

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Yüksek yatırım maliyetlerine gereksinim duyulan ve sonuçlarının geri döndürülemez bir şekilde neticelenebileceği her çalışma, öncesinde yapılan bir ön çalışmaya ihtiyaç duyar. Bu denli kapsamlı ve gerçek işlerin yürütülmesinde, matematiksel yöntemlerin yetersiz kalması analitik sonuçların elde edilebileceği başka yöntemlere olan önemi artırmıştır. Bu noktada gerçek hayat problemlerinin rassallığını ve karmaşıklığını hem analitik tahlil yönünden çözümlene yeteneğine sahip hem de geniş görsellik ağı ile sunma yeteneğine sahip simülasyon yöntemleri önemli bir noktaya ulaşmıştır. Sunulan tez çalışmasında, yatırım maliyeti çok yüksek olan ve sonuçlarının tekrar tekrar düşünülmesi gereken Kanal İstanbul Projesi'nin, Türk Boğazlar Sistemi mevcut gemi trafiğine olan etkileri ve bu etkilerin sonucunda gemi trafiği yönünden doğacak avantaj ve dezavantajlarının elde edilmesiyle ilgili bir çalışma yapılmıştır.

Öncelikle tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat ÖZKÖK'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Bu tez çalışması TÜBİTAK 118M685 nolu 3001 kodlu projesinden alınan desteklerle tamamlanmış olup TÜBİTAK kurumuna teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, tez çalışmam boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen sevgili annem Rahime YAMAK' a, abim Oğuzhan DİNLEMEK' e, bana sağladıkları manevi güçle desteğini asla esirgemeyen sevgili aileme, varlığını daime yanımda hissettiğim sevgili Fatih ÖRMECİ' ye ve anılarımızın desteğiyle ellerini her zaman sırtımda hissettiğim sevgili üniversite arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Sis Özgün YAMAK

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kanal İstanbul Projesi’nin Türk Boğazları Gemi Trafik Sistemine Olası Etkilerinin Simülasyon Tekniğı Aracılığıyla Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Murat ÖZKÖK’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/05/2020

Sis Özgün YAMAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	3
1.3. Literatür Araştırması.....	3
1.4. Tezin Akış Şeması.....	11
1.5. Türk Boğazlar Sistemi.....	12
1.5.1. Türk Boğazlar Sistemi Geçiş Rejimleri ve Montreux Boğazlar Sözleşmesi.....	13
1.5.1.1. Montreux Boğazlar Sözleşmesi.....	15
1.5.2. Türk Boğazları Tüzükleri ve Yönetmelikleri.....	15
1.5.3. Türk Boğazları Trafik Yoğunluğu.....	17
1.5.4. Türk Boğazlar Sistemi Gemi Trafik Hizmetleri ve Sektör Alanları.....	19
1.6. İstanbul Boğaz Bölgesinin Özellikleri.....	22
1.6.1. İstanbul Boğazı Jeopolitik Önemi ve Coğrafi Özellikleri.....	22
1.6.2. İstanbul Boğazı Akıntı Sistemi.....	25
1.6.3. İstanbul Boğazı'nda Deniz Trafiği.....	27
1.6.3.1. Yerel Deniz Trafiği.....	27
1.6.3.2. İstanbul Boğazı Deniz Trafiği Düzenlemesi.....	28
1.6.3.3. İstanbul Boğazı Trafik Ayrım Şeması.....	31
1.6.4. İstanbul Boğazı Gemi Trafik Yoğunluğu ve Gemi Tiplerinin Karşılaştırılması.....	32
1.7. Çanakkale Boğaz Bölgesinin Özellikleri.....	35
1.7.1. Çanakkale Boğazı Jeopolitik Önemi ve Coğrafi Özellikleri.....	35

1.7.2.	Çanakkale Boğazı Deniz Trafik Düzenlemesi.....	37
1.7.3.	Çanakkale Boğazı Trafik Ayrım Şeması.....	39
1.7.4.	Çanakkale Boğazı Gemi Trafik Yoğunluğu ve Gemi Tiplerinin Karşılaştırılması.....	40
1.8.	Marmara Denizi.....	43
1.8.1.	Marmara Denizi Yapısal Özellikleri ve Akış Rejimi.....	43
1.8.2.	Marmara Denizi Trafik Ayrım Şeması.....	45
1.8.3.	Marmara Denizi Trafik Yoğunluğu.....	46
1.9.	Dünya Üzerindeki Önemli Kanallar.....	48
1.10.	Kanal İstanbul Projesi.....	51
1.10.1.	Kanal İstanbul Projesi'nin Alternatif Güzergâhları.....	53
1.10.2.	Kanal İstanbul Projesi Teknik Özellikleri ve Tasarım Gemileri.....	54
1.10.3.	Kanal İstanbul Projesi Seyir Özellikleri	56
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	59
2.1.	Yöntem.....	59
2.1.1.	Sistem, Model ve Simülasyon Kavramı.....	59
2.1.1.1.	Sistem.....	59
2.1.1.2.	Model.....	63
2.1.1.3.	Simülasyon.....	65
2.1.1.3.1.	Simülasyonun Kullanım Yeri.....	66
2.1.1.3.2.	Simülasyonun Dünü, Bugünü, Yarını.....	68
2.1.1.3.2.1.	Simülasyonun Geçmişi.....	68
2.1.1.3.2.2.	Simülasyonun Bugünü.....	69
2.1.1.3.2.3.	Simülasyonun Geleceği.....	69
2.1.1.3.3.	Simülasyon Çalışmasının Yapılma Amacı.....	70
2.1.1.3.4.	Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları.....	70
2.1.1.3.4.1.	Simülasyonun Avantajları.....	70
2.1.1.3.4.2.	Simülasyonun Dezavantajları.....	71
2.1.1.3.5.	Simülasyon Çeşitleri.....	71
2.1.1.3.5.1.	Statik Simülasyon Modelleri.....	72
2.1.1.3.5.2.	Dinamik Simülasyon Modelleri.....	72
2.1.1.3.5.3.	Deterministik Simülasyon Modelleri.....	73

2.1.1.3.5.4.	Stokastik Simülasyon Modelleri.....	73
2.1.1.3.5.5.	Kesikli Simülasyon Modelleri.....	73
2.1.1.3.5.6.	Sürekli Simülasyon Modelleri.....	74
2.1.1.3.6.	Simülasyon Çalışmasının Aşamaları.....	75
2.1.1.3.7.	Simülasyon Yazılım Dilleri.....	77
2.1.1.3.8.	Genel Amaçlı Program Dilleri ile Simülasyon Dilleri Arasındaki Farklar.....	78
2.1.1.3.9.	Simülasyon Yazılımı.....	79
2.1.1.3.9.1.	Simülatör.....	79
2.1.1.3.9.2.	Simülasyon Dili.....	79
2.1.1.3.10.	Simülasyon Uygulamalarında Kullanılan Paket Programlar.....	80
2.1.1.3.11.	Simülasyon Uygulamalarında Kullanılan Yaklaşımlar.....	81
2.1.1.3.11.1.	Olay Bazlı Modelleme Yaklaşımı.....	81
2.1.1.3.11.2.	Süreç Bazlı Modelleme Yaklaşımı.....	81
2.1.2.	Kuyruk Teorisi	81
2.1.2.1.	Kuyruk Sistemleri	81
2.1.2.2.	Kuyruk Sistemi ve Servis Hizmetleri.....	82
2.1.2.3.	Kuyruk Teorisi ve Temelleri.....	84
2.1.2.4.	Sıra Bekleme Sistemlerinin Temelleri.....	85
2.1.2.4.1.	Girdi Süreci.....	85
2.1.2.4.2.	Servis Mekanizması.....	86
2.1.2.4.3.	Kuyruk	86
2.1.2.4.4.	Servis Disiplini.....	87
2.1.2.5.	Kuyruk Teorisi Modelleri.....	88
2.1.2.5.1.	Kuyruk Teorisi Modellerinin Sınıflandırılması.....	88
2.1.2.5.2.	Kuyruk Sistemleri İçin Tanımlanan Formülasyonun Birimleri.....	89
2.1.2.5.3.	Kuyruk Teorisi Modellerinin Karşılaştırılması	89
2.1.2.5.3.1.	Üstel Servis Zaman Dağılımlı Modeller.....	90
2.1.2.5.3.2.	Sabit Servis Zaman Dağılımlı Modeller.....	92
2.1.2.5.3.3.	Gamma Servis Zaman Dağılımlı Modeller.....	92
2.1.2.5.3.4.	Genel Servis Zaman Dağılımlı Modeller.....	93
2.1.2.5.3.5.	Yığınsal Kuyruk Modelleri.....	94
2.1.3.	Simülasyon ve Kuyruk Teorisi.....	94

2.1.4.	SIMIO.....	95
2.2.	Uygulama.....	96
2.2.1.	Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Boğazlar Sistemi Gemi Trafikine Olası Etkisinin Analizi.....	96
2.2.1.1.	Türk Boğazlar Sistemine Gelen Gemilerin Tespit Edilmesi.....	98
2.2.1.2.	Türk Boğazlar Sisteminden Uğraklı ve Uğraksız Geçiş Yapacak Olan Gemilerin Kategorize Edilmesi.....	99
2.2.1.3.	Türk Boğazlar Sistemine Giren Gemilerin ve Boğazlar Sisteminin Fiziksel Büyüklük Verilerinin Modellenmesi.....	106
2.2.1.4.	Güncel Türk Boğazlar Sistemi Simülasyon Modelinin Oluşturulması ve Sürecin Koşturulması.....	111
2.2.1.5.	Kanal İstanbul Projesinin Modellenmesi ve Mevcut Türk Boğazlar Sistemine Entegre Edilmesi.....	118
2.2.1.6.	Kanal İstanbul'u İçine Alan Türk Boğazlar Sistemi Geçiş Senaryolarının Oluşturulması.....	121
2.2.1.7.	Kanal İstanbul' u Kapsayan Türk Boğazlar Sistemi Performans Değerlendirmesi.....	123
2.2.1.8.	Mevcut Türk Boğazlar Sistemi ile Kanal İstanbul Projesini İçine Alan Türk Boğazlar Sistemi Karşılaştırması.....	125
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	128
3.1.	Model 1.....	128
3.1.1.	Model 1 Gemilerin Sistem Odaklı Davranışları.....	128
3.1.2.	Model 1 Gemilerin Güzergâh Odaklı Davranışları.....	135
3.2.	Model 2	138
3.2.1.	Model 2 Gemilerin Sistem Odaklı Davranışları.....	138
3.2.2.	Model 2 Gemilerin Güzergâh Odaklı Davranışları.....	145
3.3.	Model 1 ve Model 2 Karşılaştırılması.....	148
4.	SONUÇLAR.....	153
5.	ÖNERİLER.....	157
6.	KAYNAKLAR.....	158

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans

ÖZET

KANAL İSTANBUL PROJESİ'NİN TÜRK BOĞAZLARI GEMİ TRAFİK SİSTEMİNE
OLASI ETKİLERİNİN SİMÜLASYON TEKNİĞİ ARACILIĞIYLA ANALİZİ

Sis Özgün YAMAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Murat ÖZKÖK
2020, 167 Sayfa

Dünya üzerinde hızla artan ticaret hacminin büyük bir bölümünün yüklenicisi rolü oynayan gemilerin popülasyonu her geçen gün artma eğilimindedir. Bu artış önemli noktalarda bulunan boğazların her yönden tehdit altında kalmasına neden olmaktadır. Pek çok ülke için kritik rol oynayan İstanbul ve Çanakkale Boğazları' nı da içine alan Türk Boğazlar Sistemi (TBS), artan gemi yoğunluğu ve tanker trafiği nedeniyle büyük risk altındadır. Risklerin azaltılmasını sağlayan TBS gemi trafik rejimi kısıtları, gemilerin sistem içerisinde kalış sürelerini ve sayılarını olumsuz yönde etkilemektedir. Boğazların kuzey ve güney giriş noktalarında kalış sürelerinin yarattığı kuyruk yapıları olumsuzluğun en büyük nedeni olmakta ve darboğazlara sebebiyet vermektedir. Bu olumsuzlukları gidermek için Karadeniz ve Marmara Denizi arasında tek geçiş yolu olan İstanbul Boğazı'na alternatif olabilecek Kanal İstanbul Projesi gündeme getirilmiştir. Bu tezin amacı, yukarıda yer alan olumsuzluklara alternatif olarak geliştirilmiş Kanal İstanbul Projesi' nin, TBS mevcut gemi trafiğine olası etkilerinin analizinin yapılmasını sağlayacak bir çalışma ortaya koymaktır. Analizin yapılmasında simülasyon tabanlı yazılım programlarından biri olan SIMIO üzerinde farklı modeller oluşturularak, senaryolar dâhilinde karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kanal İstanbul, Türk Boğazlar Sistemi, Gemi Trafik, Simülasyon

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF THE POSSIBLE EFFECTS OF CANAL ISTANBUL PROJECT ON
THE TURKISH STRAITS SHIP TRAFFIC SYSTEM THROUGH SIMULATION
TECHNIQUE

Sis Özgün YAMAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Murat ÖZKÖK
2020, 167 Pages

The population of ships, which play the role of the contractor of a large part of the rapidly increasing trade volume in the world, tends to increase day by day. This increase causes to be threatened in all respects of the straits in important points. The Turkish Strait System (TBS), which includes the Istanbul and Çanakkale Straits, which play a critical role for many countries, is at great risk due to the increasing ship density and tanker traffic. Ensure the reduction of risks TBS ship traffic regime constraints, negatively affect the duration and number of ships in the system. Queuing structures created by the duration of their stay at the North and South entrance points of the straits are the biggest cause of negativity and cause bottlenecks. The Canal Istanbul Project, which is the only transit route between the Black Sea and Marmara Sea, which can be an alternative to the Bosphorus, has been brought to the agenda in order to overcome these problems. The aims of this thesis is to present a study to analyze the possible effects of Canal Istanbul, which has been developed as an alternative to the above mentioned negativities, on the existing TBS ship traffic. SIMIO, one of the simulation-based software programs, was used in the analysis. Comparative analyzes were made with scenarios created on different models.

Key Words: Canal Istanbul, Turkish Strait System, Ship Traffic, Simulation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Tez akış şeması.....	11
Şekil 1.2. Türk Boğazlar Sistemi.....	13
Şekil 1.3. Gemi sayısı ve yük tonajı arasındaki ilişki.....	18
Şekil 1.4. Gemi sayısı ve tehlikeli yük taşıyan gemi sayısının ilişkisi.....	18
Şekil 1.5. Türk Boğazlar Sistemi VTS bölgeleri.....	19
Şekil 1.6. İstanbul Gemi Trafik Hizmetleri Alanı ve sektörleri.....	20
Şekil 1.7. Marmara Denizi sektör bölgesi.....	21
Şekil 1.8. Çanakkale Gemi Trafik Hizmet Alanı ve sektörleri.....	21
Şekil 1.9. İstanbul Boğaz sınırları.....	23
Şekil 1.10. İstanbul Boğazı en dar geçiş hattı.....	24
Şekil 1.11. İstanbul Boğazı en keskin açı ile dönüş bölgeleri.....	24
Şekil 1.12. İstanbul Boğazı dönüş noktaları.....	25
Şekil 1.13. İstanbul Boğazı akıntı türlerinin yönleri.....	27
Şekil 1.14. İstanbul Boğazı trafik ayırım şeması.....	31
Şekil 1.15. İstanbul Boğazı kuzey ve güney yaklaşması.....	32
Şekil 1.16. İstanbul Boğazı gemi sayıları ve gros ton karşılaştırılması.....	33
Şekil 1.17. İstanbul Boğazı için dizayn faktörlerinin trafiğe etkisi.....	34
Şekil 1.18. İstanbul Boğazı gemi tiplerinin yıllara göre dağılımı.....	35
Şekil 1.19. Çanakkale Boğazı.....	36
Şekil 1.20. Çanakkale Boğazı akıntı haritası.....	37
Şekil 1.21. Çanakkale Boğazı trafik ayırım şeması.....	39
Şekil 1.22. Çanakkale Boğazı güneybatı yaklaşma alanı.....	40
Şekil 1.23. Çanakkale Boğazı gemi sayıları ile gros ton karşılaştırılması.....	41
Şekil 1.24. Çanakkale Boğazı için dizayn faktörlerinin trafiğe etkisi.....	42
Şekil 1.25. Çanakkale Boğazı gemi tiplerinin yıllara göre dağılımı.....	42
Şekil 1.26. Dünya üzerinde Marmara Denizi.....	43
Şekil 1.27. Marmara Denizi yüzey akıntısı.....	45
Şekil 1.28. Marmara Denizi dip akıntısı.....	45
Şekil 1.29. Marmara Denizi trafik ayırım şeması.....	46

Şekil 1.30.	Marmara içi sefer rotaları.....	47
Şekil 1.31.	Dünya üzerindeki boğaz ve kanallar.....	50
Şekil 1.32.	Kanal İstanbul Projesi olası güzergâhları.....	54
Şekil 1.33.	Kanal İstanbul'un en kesit formu.....	55
Şekil 1.34.	Kanal İstanbul Karadeniz-Marmara bekleme alanları.....	57
Şekil 1.35.	Kanal İstanbul Karadeniz girişi.....	57
Şekil 1.36.	Kanal İstanbul Marmara girişi.....	58
Şekil 2.1.	Sistemin basit ifadesi.....	60
Şekil 2.2.	Sistem bileşenleri.....	61
Şekil 2.3.	Sistemin genel yapısı.....	62
Şekil 2.4.	Sistem çalışma hiyerarşisi.....	63
Şekil 2.5.	Sistem ve model arasında ilişki.....	64
Şekil 2.6.	Model tipleri.....	64
Şekil 2.7.	Simülasyon uygulama alanları.....	67
Şekil 2.8.	Benzetim çeşitleri.....	72
Şekil 2.9.	Kesikli simülasyon dağılım grafiği.....	74
Şekil 2.10.	Sürekli simülasyon dağılım grafiği.....	75
Şekil 2.11.	Simülasyon çalışma adımları.....	76
Şekil 2.12.	Simülasyon dillerinin ayrımı.....	77
Şekil 2.13.	Kuyruk sisteminin gösterimi.....	82
Şekil 2.14.	Tek kanallı tek aşamalı kuyruk sistemi.....	83
Şekil 2.15.	Çok kanallı paralel düzenli kuyruk sistemi.....	83
Şekil 2.16.	Tek kanallı seri düzenli kuyruk sistemi.....	83
Şekil 2.17.	Çok kanallı karmaşık düzenli kuyruk sistemi.....	84
Şekil 2.18.	Kuyruk teorisi.....	85
Şekil 2.19.	Servis disiplinlerinin gösterimi.....	87
Şekil 2.20.	Kendall-Lee gösterimi.....	89
Şekil 2.21.	Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Boğazlar Sistemine entegrasyonunda izlenecek olan adımlar.....	97
Şekil 2.22.	İstanbul Boğazı veri paketi.....	98
Şekil 2.23.	Çanakkale Boğazı veri paketi.....	99
Şekil 2.24.	Veri başlıkları.....	100

Şekil 2.25.	Gemilerin geçiş rotaları.....	101
Şekil 2.26.	Aquaplot uygulaması arayüz görüntüsü.....	106
Şekil 2.27.	SIMIO basit modeli.....	107
Şekil 2.28.	Path modülünde mesafelerin tanımlanması.....	107
Şekil 2.29.	TimePath modülünde sürenin tanımlanması.....	108
Şekil 2.30.	Entity başlangıç hız değeri atanması.....	108
Şekil 2.31.	Simülasyon yazılımı servis disiplinleri.....	109
Şekil 2.32.	Veri setlerinin tablolar ile sisteme girişi.....	110
Şekil 2.33.	Satır ve sütun verilerinin modüle aktarımı.....	110
Şekil 2.34.	Türk Boğazlar Sistemi kuyruk yapısı.....	111
Şekil 2.35.	İstanbul Boğazı kuyruk yapısı.....	112
Şekil 2.36.	Çanakkale Boğazı kuyruk yapısı.....	112
Şekil 2.37.	Türk Boğazlar Sistemi gemi hareket sistemi modeli.....	114
Şekil 2.38.	Mevcut Türk Boğazlar Sistemi'nin SIMIO arayüzünde modellenmesi.....	115
Şekil 2.39.	Simülasyon yazılımı model koşturma ekranı.....	116
Şekil 2.40.	Veri analizi için sonuç göstergesi.....	117
Şekil 2.41.	Source ve Sink modüllerinin sonuç kısmındaki görünümü.....	117
Şekil 2.42.	Kanal İstanbul Projesi'nin mevcut Türk Boğazlar Sistemi üzerine entegrasyonu.....	119
Şekil 2.43.	Model 1 arayüz görüntüsü.....	120
Şekil 2.44.	Model 2 arayüz görüntüsü.....	121
Şekil 2.45.	Senaryoların SIMIO arayüzündeki oluşumunun İstanbul Boğazı için gösterimi.....	122
Şekil 2.46.	Senaryoların SIMIO arayüzündeki oluşumunun Kanal İstanbul için gösterimi	122
Şekil 2.47.	Simülasyon modeli sonuç karşılaştırma ekranı.....	124
Şekil 2.48.	Mevcut Türk Boğazlar Sistemi kuyruk yapısının SIMIO arayüzünde görüntüsü	126
Şekil 2.49.	Kanal İstanbul ile birleşik Türk Boğazlar Sistemi.....	127
Şekil 2.50.	Kanal İstanbul'un önünde bulunan gemi yoğunluğu.....	127
Şekil 3.1.	Model 1 Ege-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	129
Şekil 3.2.	Model 1 Ege-Karadeniz gemilerinin sistem içinde bulunma süreleri.....	129
Şekil 3.3.	Model 1 Ege-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	130
Şekil 3.4.	Model 1 Ege-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi.....	130

Şekil 3.5. Model 1 Karadeniz-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	131
Şekil 3.6. Model 1 Karadeniz-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi.....	131
Şekil 3.7. Model 1 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	132
Şekil 3.8. Model 1 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi.....	132
Şekil 3.9. Model 1 Marmara-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	133
Şekil 3.10. Model 1 Marmara-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma süreleri.....	133
Şekil 3.11. Model 1 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	134
Şekil 3.12. Model 1 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistem içinde bulunma süreleri.....	134
Şekil 3.13. Model 1 İstanbul Boğazı gemi sayıları.....	135
Şekil 3.14. Model 1 İstanbul Boğazı gemi kalış süreleri.....	136
Şekil 3.15. Model 1 Çanakkale Boğazı gemi sayıları.....	136
Şekil 3.16. Model 1 Çanakkale Boğazı gemi kalış süreleri.....	137
Şekil 3.17. Model 1 Marmara Denizi gemi sayıları.....	137
Şekil 3.18. Model 1 Marmara Denizi gemi kalış süreleri.....	138
Şekil 3.19. Model 2 Ege-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	139
Şekil 3.20. Model 2 Ege-Karadeniz gemilerinin sistem içinde bulunma süreleri.....	139
Şekil 3.21. Model 2 Ege-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	140
Şekil 3.22. Model 2 Ege-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi.....	140
Şekil 3.23. Model 2 Karadeniz-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	141
Şekil 3.24. Model 2 Karadeniz-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi.....	141
Şekil 3.25. Model 2 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	142
Şekil 3.26. Model 2 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi.....	142
Şekil 3.27. Model 2 Marmara-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	143
Şekil 3.28. Model 2 Marmara-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma süreleri.....	143
Şekil 3.29. Model 2 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı.....	144
Şekil 3.30. Model 2 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistem içinde bulunma süreleri.....	144
Şekil 3.31. Model 2 İstanbul Boğazı gemi sayıları.....	145
Şekil 3.32. Model 2 İstanbul Boğazı gemi kalış süreleri.....	146

Şekil 3.33. Model 2 Çanakkale Boğazı gemi sayıları.....	146
Şekil 3.34. Model 2 Çanakkale Boğazı gemi kalış süreleri.....	147
Şekil 3.35. Model 2 Marmara Denizi gemi sayıları.....	147
Şekil 3.36. Model 2 Marmara Denizi gemi kalış süreleri.....	148



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Dünyadaki ulusal ve uluslararası kanallar.....	48
Tablo 1.2. Kanal İstanbul tasarım gemilerin dizayn özellikleri.....	56
Tablo 1.3. En büyük gemi için dizayn faktörleri.....	56
Tablo 1.4. Kanal İstanbul gemi geçiş süreleri.....	58
Tablo 2.1. Simio standart modül kütüphanesi.....	96
Tablo 2.2. Uğraklı ve uğraksız geçiş yapan gemi sayısı.....	102
Tablo 2.3. İstanbul Boğazı 2017 yılı geçiş yapan gemi tiplerinin aylara göre dağılımı.....	104
Tablo 2.4. Çanakkale Boğazı 2017 yılı geçiş yapan gemi tiplerinin aylara göre dağılımı.....	105
Tablo 2.5. Model verilerinin kontrolü.....	118
Tablo 2.6. Kanal İstanbul'u içine alan Türk Boğazlar Sistemi geçiş senaryoları.....	123
Tablo 3.1. Model 1 ve 2 için gemilerin karşılaştırılması.....	149
Tablo 3.2. İstanbul Boğazı gemi sayısı performans kriterinin karşılaştırılması.....	150
Tablo 3.3. İstanbul Boğazı gemi bulunma süresi performans kriterinin karşılaştırılması.....	150
Tablo 3.4. Çanakkale Boğazı gemi sayısı performans kriterinin karşılaştırılması.....	151
Tablo 3.5. Çanakkale Boğazı gemi bulunma süresi performans kriterinin karşılaştırılması.....	151
Tablo 3.6. Marmara Denizi gemi sayısı performans kriterinin karşılaştırılması.....	152
Tablo 3.7. Marmara Denizi gemi bulunma süresi performans kriterinin karşılaştırılması.....	152

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Varışlar arasındaki dağılım
B	: Hizmet zamanının dağılımı
C	: Servis kanal sayısı
c	: Kanal sayısı
COLREG	: Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirme
d	: Kuyruk disiplini
DWT	: Dead Weight Tonnage
e	: Sistemde bulunan maksimum müşteri sayısı
f _j	: Kaynağın geliş boyutu
FIFO	: First In First Out
GK	: Güney-Kuzey yönlü
GT	: Gros Ton
IMDG	: International Maritime Dangerous Goods
IMO	: International Maritime Organization
k	: Gamma dağılım parametresi
KG	: Kuzey-Güney yönlü
L	: Sistemin tamamında olması beklenen müşteri sayısı
L _q	: Kuyrukta olması beklenen müşteri sayısı
NPSS	: Non-Preemptive Priority Service
LBP	: Lenght Between Perpendicular
LIFO	: Last In First Out
LNG	: Liquefied Naturel Gas
LOA	: Length Overall
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
P(n)	: Sistemde n tane eleman bulunma olasılığı
PR	: Service According to the Priority
PSPO	: Preemptive Service Priority Order
q	: Trafik yoğunluk oranı
r	: Servis kanalının doluluk oranı

Ro-Ro	: Roll-on/Roll-off
SIMIO	: Simulation Modeling Intelligent Objects
SIRO	: Service In Random
SPT	: Shortest Processing Time First
SP-1	: Seyir Planı 1
SP-2	: Seyir Planı 2
t	: Tam yük draftı
TBGTH	: Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri
TBS	: Traffic Seperation Schemes
TSVTS	: The Systems of Turkish Strait Vessel Traffic Services
TTA	: Tanker
μ	: Ortalama olarak hizmet alan eleman sayısı
VFH	: Very High Frequency
VTs	: Vessel Traffic Services
W	: Müşterinin sistemde geçirdiği toplam süre
W_q	: Müşterinin sadece kuyrukta geçirdiği süre
σ	: Servis zaman dağılımının varyansı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Her geçen gün artan dünya nüfusunun gereksinimlerini karşılayabilmek adına ve ülkeler arası mal, gıda, araç vb. gibi çok çeşitli tedarik edilen ürün gruplarının taşımacılığını yapmak için karayolu, denizyolu, havayolu taşımacılıkları çok kritik bir önem taşımaktadır. Ülkeler arası ihracat yarışında her zaman sınır ülkeler ile karayolu taşımacılığı açısından bir geçiş olamayacağı, kıtalar arası transferin sadece havayolu ve denizyolu ile karşılanabileceği, ancak havayolu taşımacılığının ekonomik yönden çok pahalı bir ulaşım ağı olması gibi etmenler denizyolu taşımacılığını bu aşamada önemli bir yere koymaktadır.

Denizyolu taşımacılığı hem ekonomik olması sebebiyle hem de bir seferde çok büyük hacimli ürünlerin, malların bir yerden bir yere taşınmasına müsaade etmesi açısından avantajlı bir taşımacılık şeklidir. Karayolu ve havayolu taşımacılığının aksine denizyolu taşımacılığı daha yavaş bir taşımacılık prosedürü izler, fakat taşıma maliyetleri açısından bakıldığında birim taşıma maliyetleri taşınan ürün grubu başına oldukça düşük ve aynı zamanda iş gücü olarak adam/saat açısından da oldukça düşük olması bu dezavantajını elimine etmektedir. (Baykal, 2012)'e göre, uzun ve fazla mesafelerde yapılan nakliyede ton/km maliyeti en düşük, aynı zamanda kömür, cevher, tahıl gibi kendi içerisinde ağır ve büyük hacimli ürün gruplarının en ucuza taşıma yöntemi denizyolu taşımacılığıdır (Fulser, 2015).

Yıllar içerisinde değişen ve gelişen bu nakliye grubu güçlü bir ticaret yöntemi haline gelmiş ve global bir rekabet oluşturmuştur. Gemi sahibi armatörler filolarını bu rekabetçi ortam içerisinde geliştirebilmek ve daha hızlı ulaşım sağlayabilmek yani daha çok ürün grubunu daha fazla yere nakletmek için, senelik ürün hacmini artırabilmek için, gemilerinin kullandıkları su yolu hattında rotalarını kısaltarak, seyir süresini hızlandıran bazı kanallar ve su yollarını tercih etmektedirler. Ulusal ve uluslararası boğaz ve kanal yapıları dünya ülkeleri arasında her türlü lojistik faaliyetin devamlılığının sağlanması açısından çok büyük bir ihtiyaçtır. Dünya'nın dörtte üçünün sularla kaplı olması ve yapılan ticari faaliyetlerin yaklaşık olarak %85'inin denizyolu taşımacılığı ile yapılıyor olması bu sektörü çok büyük bir noktaya taşımıştır (Yorulmaz, 2009). Sonuç olarak denizyolu taşımacılığının önemi tek bir cümle ile özetlenecek olursa bir seferde çok büyük DWT' lik yükü hem ucuz, hem

emniyetli olarak, dünya ticareti açısından önemli ve ihtiyaç halinde olunan hammaddelerin taşınması olarak kabul edilebilir.

Asya ile Avrupa arasında jeopolitik yönden önemli bir konumda bulunan Türk Boğazlar Sistemi (TBS), globalleşmenin etkisi altında bulunan bir dünya için önemli bir ticaret rotasının kesişiminde kalmaktadır. Türk Boğazlar Sistemi yapısı, iki boğaz ve bir iç denizden oluşan total yapıyı içerisinde barındırır. (Taşlıgil, 2004)' e göre, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı, Karadeniz'e komşu olan Rusya, Ukrayna, Bulgaristan, Romanya, Gürcistan gibi ülkelerin Akdeniz'e, Tuna-Ren güzergâhı üzerinden Kuzey Avrupa ülkelerinin kısa yoldan Karadeniz'e ulaşması ve İran'ın Hazar Denizi üzerinden Karadeniz'e oradan sıcak denizlere açılan kapısı olması yönüyle deniz ticari faaliyetlerinde önem arz etmektedir (Kutluk, 2018).

TBS günlük ve yıllık oranda çok fazla gemi geçişine ev sahipliği yapmaktadır. TBS içerisinde mevcut deniz trafik yoğunluğu 1936 yıllarında yıllık ortalama 4500 gemiyle sınırlanırken bu sayı 2019 yılında 45 000 civarlarına yükselmiştir. Deniz trafiğinde meydana gelen bu artış doğal olarak Türk Boğazlar Sistemi'ni olumsuz olarak etkilemektedir. Tüm bu olumsuzluklara siyasi, çevresel ve insan hayatına olan tehditler gibi faktörler de eklenince deniz trafik emniyetinin sağlanabilmesi için bir takım düzenlemeler yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Türk Boğazlar Sistemi, mevcut olan gerek coğrafi, gerek meteorolojik, gerekse çeşitli akıntı güçlüklerinden ötürü geçiş yapan gemilere bir takım seyir zorlukları yaşatmaktadır. Değişen ve gelişen teknolojinin bir etkisi olarak gemilerin dizayn faktörlerinin (boy, en, derinlik) de büyümesi bu seyir zorluklarını daha da tehdit eder hale getirmektedir. Boğazlarımızın yapısal zorluklarından ötürü tek seferde çok daha büyük hacimde malların taşınımı için dizayn özelliklerinin büyümesi doğrusal bir orantı yaratarak birer risk faktörü olmuştur. Özellikle tanker sınıfı tüm gemiler, LNG-LPG gemileri gibi tehlikeli yük taşıma sınıfına giren gemi tiplerinin son yıllarda sayıca artıyor oluşu ve boğazlarımızda uzun yıllardır bu gemilerden kaynaklı kazalar sebebiyle vahim olaylar meydana gelmesi güvenlik önlemlerinin daha sıkı alınmasına sebep olmuştur. Bu durumun bir sonucu olarak İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı girişlerinde ve çıkışlarında uzun süreli bekleme ve darboğazlar oluşmakta, bu durum uluslararası deniz ticareti açısından bazı problemlere neden olmaktadır. Karadeniz'in Akdenize açılması için alternatifsiz bir yol olan Türk Boğazlar Sistemi içinde yer alan İstanbul Boğazı, bu rota içerisinde tek yönlü trafiğe açık olması nedeniyle dar boğazın ana hattını oluşturmaktadır.

1.2. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, küreselleşme ile birlikte artan gemi trafiğinin, Türk Boğazlar Sistemi içerisinde yer alan İstanbul Boğazı'na bir alternatif olabileceği düşünülen Kanal İstanbul Projesi'nin, TBS gemi trafik durumuna olası etkilerinin belirlenmesi ve simülasyon yardımıyla modellenerek oluşan dar boğazların gözlemlenebilmesidir.

Türk Boğazlar Sistemi içerisinde yer alan ulusal, uluslararası ve kabotaj hatta çalışan gemilerin tümünün mevcut deniz trafiğinde ki hacmini belirleyerek modelleme başlayarak mevcut durumun bir bir simülasyon modeli ortaya konulacaktır. Ardından yapılması düşünülen Kanal İstanbul Projesi'nin faaliyete geçmesi durumunda bu mevcut durum üzerinde nasıl bir etki göstereceği modellenmiştir. Tüm değerlendirmeler belli senaryolar altında değerlendirilerek İstanbul Boğazı'nda, Çanakkale Boğazı'nda ve Marmara Denizi üzerinde bulunan deniz trafiği yoğunluğunun hangi oranlarda değişebileceği, sistem içerisinde gemilerin kalış süreleri, gemilerin sistem içerisinde sayıca ne oranda oldukları, kuyruk yapıları ve Kanal İstanbul'un ilerleyen süreçlerde kendi içerisinde gemi trafiği açısından nasıl etkileneceği gibi olgular incelenecektir. Oransal açıdan trafiğin yüzdelik olarak kaçta kaçının boğazdan ve kanaldan geçmesi gerektiği ile ilgili bilgiler sunulacaktır.

Tüm modellerin oluşturulabilmesi için İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı'nı bir yıl boyunca kullanan uğraklı ve uğraksız geçiş yapacak tüm gemilerin verileri modele uygun olarak düzenlenerek aktarılmıştır.

1.3. Literatür Çalışması

Literatür çalışması için İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Kanal İstanbul Projesi ve dünya üzerinde yer alan ulusal ve uluslararası boğaz ve kanallar için ayrı ayrı incelemeler yapılmıştır. Araştırma kapsamı olarak bu bölümler altında kaza çalışmalarına, simülasyon çalışmalarına ve optimizasyon çalışmalarına yer verilmiştir. Bu tez kapsamında yararlı olabilecek çalışmalar bu bölümde özetle anlatılmaya çalışılmıştır.

(Kankotan ve Orhan, 2002), yapmış oldukları çalışmada İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerin bekleme süreleri için ve risk seviyesini belirlemek adına matematiksel bir model ortaya koymuşlardır. Bu matematiksel modelin oluşturulmasında MATLAB yazılım programını kullanmıştır.

(Köse vd., 2003), yaptıkları makale çalışmalarında İstanbul Boğazı gemi trafik düzeninin AWESIM simülasyon yazılımı aracılığıyla modellenmesini yapmışlar ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Aynı zamanda yeni yapılan petrol boruhatları sebebiyle artan gemi trafiğini ve bu trafiğin deniz trafik düzenine olan etkilerini sunmuşlardır.

(Gönültaş, 2007), yılında yapmış olduğu tez çalışması kapsamında İstanbul Boğazı deniz trafiği için koyulmuş kurallar bütünü, geçiş önceliklerinin ve sıklıklarının, çevresel ve meteorolojik etkilerinin, gemilere verilen pilotaj hizmetlerinin, olumsuz hava şartlarının gemilerin geliş ve geçiş sıklıklarında ve geçiş önceliklerinin belirlenmesinde nasıl etkiler yarattığı incelenmiş ve bazı senaryo analizleri ile bu çalışma desteklenmiş ve gerçekleştirilmiştir.

(Şimşek, 2004), gerçekleştirdiği tez çalışması kapsamında kuyruk teorisi yapısını incelemiş ve bu teorinin tek servis kanallı sistem durumunu alarak İstanbul Boğazı'ndaki gemi ve özellikle tanker geçişleri için, çok servis kanallı sistem modelini ise Haydarpaşa Limanı konteyner terminali için bir uygulama olarak gerçekleştirmiştir.

(Özbaş, 2005), yaptığı çalışmada İstanbul Boğazı gemi trafiği için koyulmuş deniz trafik kurallarını, trafiğin yoğunluğu, gemilerin taşıdıkları kargo cinsleri, meteorolojik ve coğrafi koşullar, kılavuz kaptan ve römorkör hizmetleri gibi bir takım düzenlemeleri içeren bir geçiş modeli tasarlanmış ve sisteme dâhil olan beş tip gemi ve bu gemilerin özellikleri dâhilinde uygun ve güvenli geçiş yapılacağı ile ilgili bir simülasyon modeli oluşturmuştur.

(A. O. Almaz vd., 2006), İstanbul Boğazı gemi geçişi sırasında mevcut seyir kuralları ve çevresel faktörler dâhilinde sadece transit deniz trafiğini içerisinde barındıran bir simülasyon modeli ortaya koymuşlardır. Bu modelin çalışması esnasında çeşitli senaryolar dâhilinde analizler yapılmıştır. Simülasyon modeli oluşturulurken gemilerin boğaz içerisinde bekleme zamanları, gemilerin boğaz geçiş süreleri, geçiş yapan gemi sayıları ve gemi tipleri, pilotaj ve römorkör hizmetlerinin kullanımı gibi faktörler göz önüne alınarak etkili bir analiz yapılması amaçlanmıştır.

(A. Almaz vd., 2006), İstanbul Boğazı'nda var olan transit gemi trafiğinin fonksiyonel bir modelini ortaya koyarak farklı transit talepler altında trafiğin sıklık ve tipinin etkilerini ortaya koyan bazı senaryolar içeren bir model meydana getirmişlerdir. Bu modeli oluştururken çevresel faktörleri, kaynakları ve geçiş yönetmeliklerini göz önünde bulundurmışlardır. İstanbul Boğazı transit gemi trafiği ile ilgili olarak çeşitli kurallar ve kararların etkilerini incelemişler ve ayrıca boğazın meteorolojik ve coğrafik yönlerini, pilot ve römorkör servislerini, gemi profillerini, kuralları açısından değerlendirmişlerdir.

(Or vd., 2007), daha önce çalışmış oldukları bir model üzerine çalışarak daha çok özellik ekleyerek İstanbul Boğazı gemi geçiş trafiği açısından bir model ortaya koymuşlardır. Bu model 2005 sonrasında yürürlüğe koyulan yeni geçiş rejimi kapsamında hazırlanmış olup gemi varışlarının olasılıksal dağılımını ve geçmiş verilerin kapsamlı yani geniş bir halini içermektedir.

(Özbaş ve Or, 2007), Boğazdaki transit gemi trafiğine odaklanan ve boğazın trafik kurallarına ve düzenlemelerine, kargo karakteristiklerine, meteorolojik ve coğrafi koşullarına, pilotaj ve servis bot hizmetlerine dikkat eden bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada tüm bu koşullar altında İstanbul Boğazı'ndaki deniz trafiğinin etkilerini analiz edecek bir platform yaratmayı amaçlamışlardır.

(Bayar vd., 2008), İstanbul Boğazı için daha önce gerçekleşen gemi kazalarını analiz etmişlerdir. Bu analiz için 1985 yılından beri meydana gelmiş olan kazalar araştırılarak ayrımları yapılmış ve kazaların yaşam, seyir ve çevre güvenliği açısından etkileri analiz edilerek petrol kirliliğine sebebiyet verecek durumlar araştırılmıştır.

(Mavrakis ve Kontinakis, 2008), yılında yaptıkları çalışmada bir kuyruk modeli ortaya koymuşlardır. İstanbul Boğazı için yapmış oldukları kuyruk modelinde boğazın fiziksel özellikleri ve denizcilik açısından kuralları model içerisine entegre edilmiştir. Gemi trafik simülasyon modeli ve senaryo sayıları geçmişte yapılmış verilere dayandırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

(Ö. S. Ulusçu ve Altıok, 2009), tehlikeli yük taşıyan büyük gemiler için kuyrukta en uzun bekleme süresine sahip olan geminin ilk önce boğaza girmesi durumunu barındıran bir matematiksel model ve formülasyon sunmuşlardır. Bu çalışma için 2005 yılının verileri kullanılmış olup, kurulan simülasyon modeli ve algoritma bir arada çalıştırılarak bir risk analizi yapmak asıl hedeftir.

(Ö. Ulusçu vd., 2009), İstanbul Boğazı'ndaki transit gemi trafiğinin boğaz için yarattığı riskleri analiz edebilmek ve gemilerin kuyrukta beklemelerinden kaynaklı gecikmelerin önüne geçebilmesi için bazı öneriler sunan bir matematiksel model kurmuşlardır. Bu matematiksel model içerisinde coğrafi şartlar, fiziksel etkiler, hava ve meteorolojik şartlar birebir yansıtılmıştır.

(Gel, 2010), yaptığı tez çalışmasında Montrö Boğazlar Sözleşmesi kapsamında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapacak olan gemiler için kuyrukta minimum bekleme süresine ulaşmayı amaçlayan bir planlamayı oluşturmuştur. Veriler FIFO (First in First out) kuralına göre simülasyon modeline aktarılmış olup, gerçek veriler kullanılmıştır.

(Özlem, 2011), yapmış olduğu yüksek lisans tezinde İstanbul Boğazı'ndaki gemi hareketliliğini meteorolojik durumları, yasal düzenlemeleri de içine alacak bir simülasyon modeli oluşturmuştur. Boğazı kullanan gemiler, gemilerin akışı, taşınan kargo cinsi ve gemi uzunluklarına göre kategorize edilmiştir.

(Özbaş vd., 2013), bu çalışmalarında İstanbul Boğazı deniz trafiği için 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada geliştirdikleri bir simülasyon modelini daha çok genişletmişlerdir. Bu şekilde deniz trafik düzenlemesine öneri sağlayacak bir model oluşturarak, gemi trafiğinin oluşturduğu riskleri simülasyon tabanlı bir risk modeli ile incelemişlerdir.

(Eldemir vd., 2013), "AutoMod" yazılımı kullanarak İstanbul Boğazı'ndaki deniz trafiğini incelemek için bir simülasyon modeli ortaya koymuşlardır ve bu model ile birlikte meydana gelen kuyruklar için farklı stratejiler denemişler ve simülasyon üzerinde etkilerini incelemişlerdir.

(Candanoglu, 2013), yaptığı tez çalışmasında İstanbul Boğazı için bir en iyileme yani optimizasyon çalışması yapmıştır. Bu çalışmada boğaz girişinde bekleyen gemilerin oluşturduğu bekleme sürelerini azaltabilmek ve etkin bir trafik akışı sağlayarak gemiler için uygun bir takip mesafesinde, boğaz yoğunluğunu artırmayan bir model ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında sadece uğraksız geçiş yapan gemiler çalışılmıştır.

(Görçün ve Burak, 2015), İstanbul Boğazı'ndaki deniz trafik güvenliğinin 2001-2010 yılları arasındaki risklerini analiz edip, değerlendirmişlerdir. Bu analizi yaparken gemilerin boğaz seyri sırasında kaza yerleri, kaza zamanları, kaza tipleri, kaza sebepleri ve gemi spesifikasyonları gibi önemli konuları göz önüne almışlardır.

(Koşucu, 2016), İstanbul Boğazı'nın hidrodinamik ve oşinografik şartlarını inceleyerek Delf3D- Flow Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Programı ile 3 boyutlu bir modellemesini yapmıştır.

(Erol vd., 2018), yılında yapmış oldukları bir çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki meydana gelmiş olan kazaları "Neuro-Fuzzy" yöntemi ve "Genetically Optimised Fuzzy Classifiers" yöntemi kullanılarak hem nitel hem de nicel yönden değerlendirmişler ve kötü hava şartlarının gemi boyları açısından nasıl bir etkide bulunacaklarını analiz etmişlerdir.

(Y. C. Altan, 2017), yılında yapmış olduğu tez çalışmasında İstanbul Boğazı ve bu boğaz gibi dar olan su yollarında, geometrik çatışma olasılığı ile ilgili kullanabilecek bir model oluşturmuştur. Uzun süreli verileri inceleyerek modele deniz trafiğini aktarmış ve geometrik çatışma modelini uygulamıştır.

(Ö. S. Ulusçu vd., 2009), yapmış olduğu tez de İstanbul Boğazı'nda ki kirlilik ve karaya oturma konularında bir önlem alabilmek açısından matematiksel model geliştirmiştir. Geliştirdiği model ile yedi yıllık bir transit trafik durumunu taklit ederek simülasyonu oluşturmuş ve programlama algoritması geliştirmiştir. Algoritma kararları alırken gemilerin seyir esnasında uyması gereken kurallar bütünü ve giriş yapacak olan gemi tiplerini günü gününe göz önünde bulundurmıştır.

(İstikbal, 2020), İstanbul Boğazı'nda 1952 yılına kadar yürürlükte olan “sol taraflı seyir” kavramının uzun dönemli etkilerini ölçerek, üç önemli gemi kazasının sebeplerini analiz etmiştir.

Çanakkale Boğazı deniz trafiği ile ilişkili çalışmalar, İstanbul Boğazı için yapılmış olan çalışmalara nazaran daha az hatta yok denecek kadar azdır. Çalışma kapsamı genel itibariyle Çanakkale Boğazı'nda yaşanan gemi kazalarından kaynaklı risk gruplarının belirlenmesi, Marmara ile Ege Denizi arasındaki akış değişimindeki etki, taşınan ürün gruplarına göre yapılan incelemeler gibi konulardır. Yapılmış olan çalışmalardan bir takım örnekler aşağıda yer almaktadır.

(İlgar, 2002), çalışmasında ulaşım faaliyetleri açısından önemli bulunduğu Çanakkale Boğazı'nın deniz trafiğini incelemiş ve boğazı etkileyen unsurları belirlemiştir.

(Ors ve Yılmaz, 2004), yaptıkları çalışmada sığ sular için geliştirilmiş denklemlerin bir sonlu akış hesaplama modelini kullanarak Çanakkale Boğazı'ndaki petrol sızıntılarının hareketinin bir matematiksel modelini oluşturmuşlardır.

(Başar, 2010), yaptığı çalışmada Çanakkale Boğazı'nda mevcut olan deniz trafiğinin hem yerel hem uluslararası gemi trafiğini içeren bir modelini oluşturmuş ve farklı trafik koşullarında risk bölgelerini belirlemeye çalışmıştır. Bu modelin kurulumunda AWESIM simülasyon dilini kullanmıştır. Ulaşılan sonuçlarda trafik yükünün % 25 oranda artacağını ortaya koymuştur.

(İlgar, 2015), yaptığı çalışmasında Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemilerin sayıları, gemilerin tipleri ve sefer durumlarını inceleyerek, çarpışma, karaya oturma gibi çeşitli kaza tipleri için risk haritası oluşturmuştur.

Dünya üzerinde mevcut olan gerek ulusal gerekse uluslararası deniz trafiği ile ilgili yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle simülasyon ve kuyruk teorisi tabanlıdır. Çalışma örneklerinden bazıları aşağıda yer almaktadır.

(Merrick vd., 2003), San Francisco Körfez bölgesinde feribot ulaşımının sıklığını artırıp artırmamak üzerine bir soruna çözüm bulabilmek açısından geliştirilen bir deniz trafik

akış modeli ortaya konulmuştur. Bu noktada körfez bölgesini kullanan gemilerin yaratmış olduğu gemi trafiğine bu sıklığın nasıl bir etkide bulunacağı üzerine modelde çalışma yapılmış ve belli çıktılar alınmıştır.

(Franzese vd., 2005), Panama Kanalı'nın bugünü ve geleceği hakkında stratejik bir plan yaratmak, aynı zamanda gelişmiş bir model ortaya koymak için gerekli hazırlık ve metodoloji sunan bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sırasında Arena simülasyon yazılımı kullanmışlardır. Burada belli senaryo girdileri oluşturularak, istatistik ve çıktılar şeklinde sonuçlar elde etmişlerdir.

(Ö. S. Ulusçu ve Altıok, 2009), çalışmalarında İstanbul Boğazı gibi dar su yollarının girişinde tek servis kanallı bir geçişe sahip olması nedeniyle meydana gelen hizmet gecikmeleri, operasyonun sekteye uğraması gibi sorunları analiz ederek diğer dar su yollarına da tatbik edilebilmesi amacıyla eşzamanlı olmayan ve muhtemel eşzamanlı servis kesintileri ve gemilerin tek yönlü kuyruk yapısı içerisinde bekleme bazlı savlar ve servis tamamlama süreleri analizi kullanmışlardır.

(Sakai vd., 2010), Malakka ve Singapur Boğazları için deniz trafiğinin simülasyonu ile ilgili istatistiksel veri eksikliğine sahip oluşu ve çok sayıda çalışmaya elverişli olması sebebiyle bir simülasyon çalışması ortaya koymuşlardır.

(O. A. Almaz ve Altıok, 2012), Delaware Nehri gemi trafiğinin bir simülasyon modelini yapmışlar ve Arena simülasyon dili ile bu modeli kurgulamışlardır. Senaryoların performanslarını ölçebilmek için Delaware Nehri ile Bay Bölgesi'nin geniş kapsamlı bir analizini yapmışlardır.

(Qu ve Meng, 2012), Singapur Boğazı'nda gemilerin trafik hacminin yıllar içerisinde artması ile gemi hareketlerini dar, kavisli ve yoğun boğazlarda da kullanılabilir bir model geliştirmişlerdir. Bu modeli "Cellular Automoto" modelinin modifiye olan yeni bir hali ile simüle edilmiştir.

(Yip, 2013), deniz trafiği için bir akış modeli geliştirmiştir. Akış modelinde makroskopik bir model kullanarak, klasik bir trafik akışı yöntemi aracılığıyla deniz trafik akışının oluşumunun anlaşılması amaçlanmıştır.

(X. Zhang vd., 2016), çift yönlü su yollarında gemi trafiği açısından meydana gelen kısıtlamalara bir kolaylık sağlaması açısından sıralı bir gemi trafik planlaması modeli çalışması yapmışlardır. Gemilerin maksimum bekleme sürelerini azaltabilmek adına sıralı planlama algoritması geliştirerek trafiğin verimliliğini artırmaya çalışmışlardır.

(Rahimikelarijani vd., 2018), yapmış oldukları çalışmada Houston Kanalı için gemi trafiği açısından maksimum planlamayı yapmak için Arena simülasyon yazılımı ile bir model geliştirmişlerdir. Arena programı ayrık değerli bir benzetim tekniği olması nedeniyle çalışmaya büyük katkı sağlamıştır.

(Sormaz ve Malik, 2018), SIMIO programlama dili kullanarak hastaneler adına yenilikçi bakım üniteleri için veri tabanlı bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır. SIMIO formunda modeli oluştururken iki ana adım izlemişler ve bir veri tablosu ile model nesne yaratıcısı kullanmış, bu durumu da C++ kodlama dili ile yaratmışlardır.

(Meisel ve Fagerholt, 2019), Kiel Kanalı için çift yönlü bir gemi trafiği planlaması yapmışlardır. Çalışmalarında bu modeli oluştururken farklı ve yeni birkaç optimizasyon modeli kullanmışlardır. Gemilerin transit geçiş sürelerinin azaltılması yani minimize edilebilmesi için geçerli olan trafik kuralları ve güvenlik önlemleri model içerisine entegre edilmiştir. Çalışma aynı zamanda gerçek veriler ile tüm tam zamanlı modeller için kullanılabilir hale getirilmiştir.

(H. Zhang vd., 2019), yaptıkları çalışmada Yangtze nehrinin girişindeki bir kuyruk yapısını incelemişlerdir. Giriş noktasında meydana gelen derinleşmenin nehir gemi hareketliliği açısından ne gibi bir etkide bulunduğu incelenmiştir. Belli kurallar ve geçiş üstünlükleri açısından nehir girişinde bir kuyruk yapısı olmakta ve bir dar boğaz oluşmaktadır. Arena simülasyon yazılımı sayesinde senaryo analizleri yaparak bir takım önerilerde bulunulmuştur.

Tezin ana hatlarını oluşturacak olan Kanal İstanbul Projesi ile alakalı yapılmış olan çalışmalar hakkında literatür taraması yapılmış ancak deniz trafiğine olası etkisi ile alakalı bir çalışmadan fazlasına erişilememiştir. Yapılan çalışmalar bütününde Kanal İstanbul Projesi'nin hukuki sürece olan etkileri, Monteux Boğazlar Sözleşmesi açısından durumu, olası pozitif ve negatif yanları, ekolojik, ekonomik etkilerinin analizleri gözlenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

(Sucuoğlu, 2014), yaptığı tez çalışmasında SWOT analizini türk denizciliğinin Kanal İstanbul Projesi ile ilişkisi yönünde kullanmış ve projenin risklerini, dezavantajlarını, avantajlarını irdelemiştir.

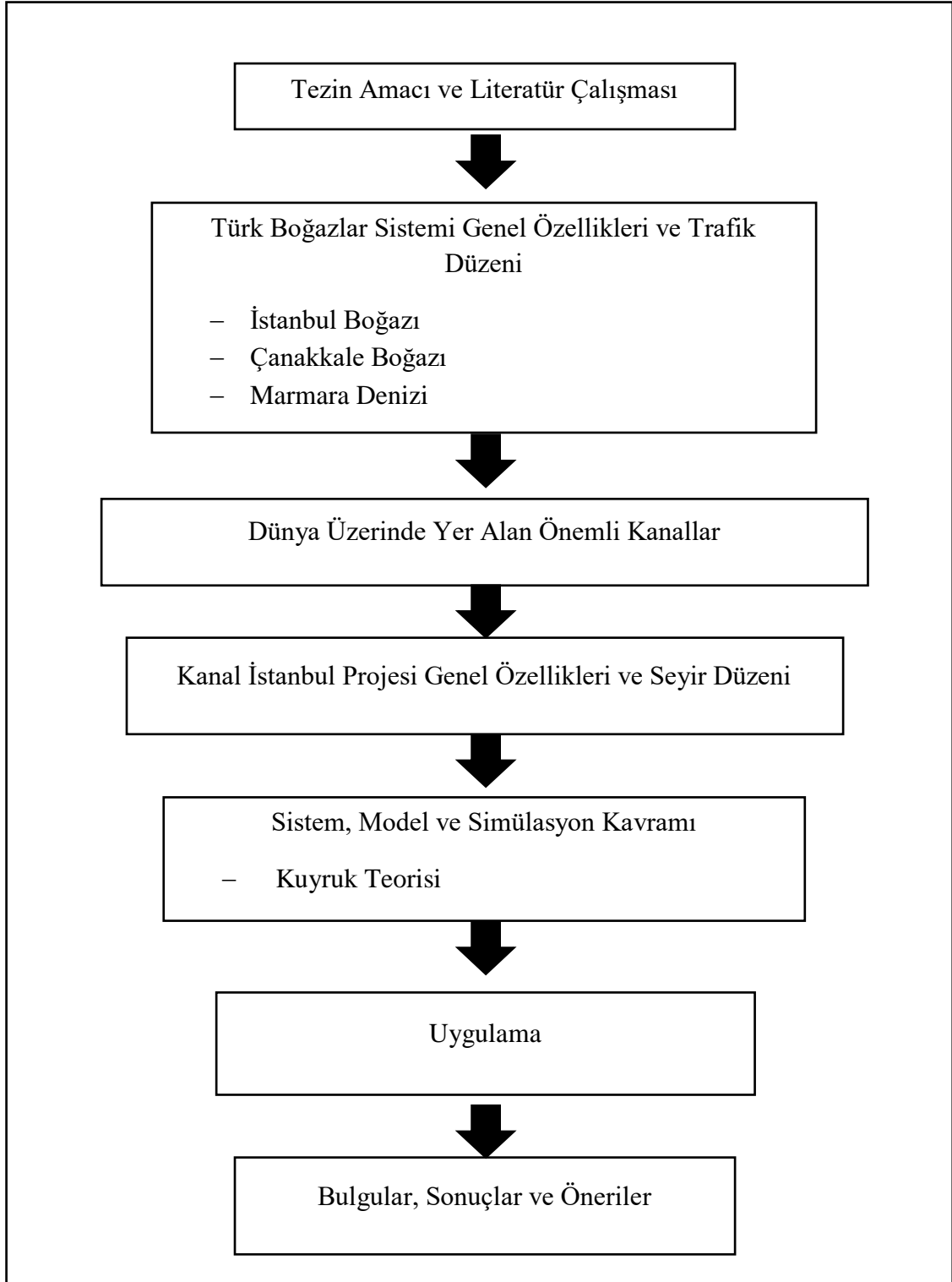
(Akman, 2016), daha önce belirlenen farklı güzergâhlar arasında en son karar verilen güzergâh için bir hidrolik modelleme yapmış ve derinlik ve zemin yapıları gibi özellikleri değiştirerek hidrolik etkilerine değinmiştir.

(Şahin, 2017), yaptığı tez çalışmasında Kanal İstanbul Projesi'nin önemini vurgulamakta ve sonucunda ortaya çıkacak olan etkileri, riskleri SWOT analizi yardımıyla ortaya koymuştur.

(Durak ve Sabuncu, 2019), yayınlamış oldukları makalede Kanal İstanbul Projesi'nin, İstanbul Boğazı gemi trafiği için gemilerin boğazın girişinde bekleme yaptıkları süreye olan etkilerini simülasyon bazlı bir analitik program ile irdelemişlerdir. Çalışma kapsamında aynı zamanda bekleme sürelerine olan etkilerin sonucunda gemilerin ne kadar kazanç sağlayacağı ile ilgili incelemeler de yapılmıştır.



1.4. Tezin Akış Şeması



Şekil 1.1. Tezin akış şeması

1.5. Türk Boğazlar Sistemi

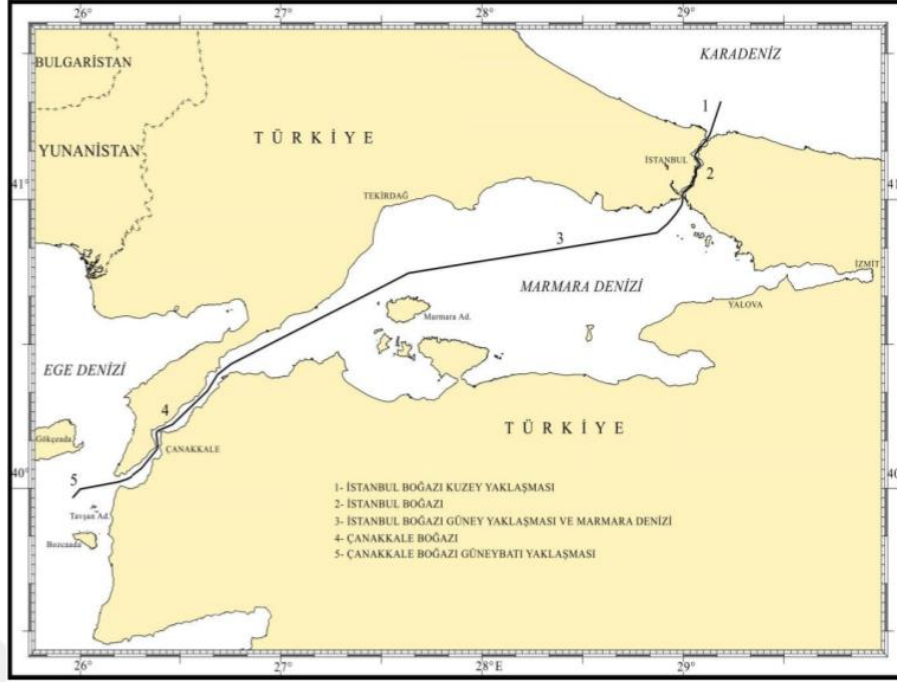
İki boğaz ve bir iç denizden oluşan, her zaman çok özel ve önemli bir konumda olan bu sistem her daim stratejik önemini korumayı devam ettirecektir. Hem ülkemiz için, hem de ekonomik ve siyasi yönden etkilenebilecek olan ülkeler açısından göz önünde olan boğazlar sistemimiz, kritik yapısından ötürü tarihin her döneminde elde edilmek istenmiş ve bu sebepten dolayı ulusal ve uluslararası antlaşmalar ve sözleşmelerle sürekli olarak korunmuştur.

Tam bir tanımlama yapılması gerekirse (Ortadoğu Stratejik Araştırmalar Merkezi, 2013)'a göre, Türk Boğazlar Sistemi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı gibi önemli iki boğaz ve Marmara Denizi gibi bir iç denizden oluşan, Avrupa ve Asya kıtalarını birbirine bağlayacak olan, Karadeniz'e kıyıdaş ülkeler diye tabir edebileceğimiz ülkeler ve bir iç deniz olan Hazar Denizi'ni Akdeniz'e bağlayan tek alternatif rota olmasıyla, yapısıyla, konumuyla, tarihiyle, kültürel yapısıyla hem ulusal hemde uluslararası ticaret için asla önemi azalmayacak olan bir su yolu olarak tabir edilmektedir.

Türk Boğazlar Sistemi'nin en büyük önemi her zaman Asya ve Avrupa arasında kesintisiz ve çok önemli bir bağlantı yolu olmasıdır. Aynı zamanda Orta-Doğu Avrupa ve Balkan ülkelerinin ticaret hattını önemli kılan Tuna-Ren Nehirlerinin ve Karadeniz'e kıyıdaş olan Romanya, Bulgaristan, Ukrayna, Rusya, Gürcistan gibi ülkelerin ekonomik yönden gelişebilmelerini sağlayacak olan ticaret hattının kesişerek, Akdeniz'e ulaşımını sağlayan kavşak noktası olarak tabir edilebilecek en önemli ve en işlek su yoludur (Milletlerarası Hukuk ve Milletlerarası Özel Hukuk Bülteni, 2017).

Son yıllarda petrol ve doğalgaz ticareti etkisini iyice arttırmış olan Hazar ve Orta Asya Bölgesi, boğazlar sistemi için çok tehlikeli bir hale gelmiştir. Bu tehlikeli diye tabir edebileceğimiz yükler tankerler ile boğazlarımız üzerinden taşınır. Her geçen gün artan bu tanker trafiği zaten uzun yıllardır dikkat çekmekte ve son zamanlarda iyice gündeme gelmiş bulunmaktadır. Teze konu olmuş olan Kanal İstanbul Projesi'nin belirtilen ilk amacı, tanker trafiğinin öncelikle İstanbul Boğazı'na, genel itibariyle de Türk Boğazlar Sistemi'ne verdiği zararı engellemek olduğu belirtilmiştir.

Türk Boğazlar Sistemi terimi ilk defa zamanın çarlık Rusya'sının ulusal danışmanı olan Frederic de Martens tarafından dile getirilmiştir (Birsell, 1948), ve Şekil 1.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Türk Boğazlar Sistemi (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)

Türk Boğazlar Sistemi içerisinde bulunan İstanbul Boğazı 17 deniz mili, Marmara Denizi 110 deniz mili, Çanakkale Boğazı 37 deniz mili uzunluklarına sahiptir. TBS, toplam olarak 164 deniz mili uzunluğuna sahiptir (Öztürk ve Oral, 2006).

1.5.1. Türk Boğazlar Sistemi Geçiş Rejimleri ve Montreux Boğazlar Sözleşmesi

İlk başta bahsedildiği gibi dünya üzerinde önemli noktalarda bulunan boğazlar için bir takım ulusal ve uluslararası kurallar uygulanır. Boğazın küresel ticarete aktifliğinin ve aynı zamanda ülke karasularının boğazın bulunduğu hatta olması gibi durumlara göre dünya üzerindeki boğazlar uluslararası boğazlar ve ulusal boğazlar olarak iki farklı kategoriye ayrılır.

İstanbul ve Çanakkale Boğazları, kendi içerisinde bir ulusal boğaz yapısı çizerken bir yandan da geçiş rejimi anlamında bir antlaşmanın konusu olduğundan ve Karadeniz'e komşu ülkelerin tek geçiş yolu olduğundan uluslararası boğaz statüsüne girmektedir (Pazarcı, 1990).

Uluslararası boğaz kavramına tabi olan boğazlarda iki farklı geçiş rejimi izlenir. Bu geçiş rejimi kapsamında “zararsız geçiş” ve “transit geçiş” terimleri dikkat çeker. Kısaca

aralarındaki ayırım yapılacak olursa, iki açık denizi birbirine bağlayan boğazların olduğu noktalarda eğer kıyı devletinin kanun ve kural yetki alanının çok dar olduğu durumlarda “transit geçiş” rejimine sahip olunurken, bir devletin karasuları ile bir açık denizi birbirine bağlayan boğazların olduğu noktalarda kıyı devletinin kendi kurallarını koyma yetkisine sahip olma durumunda “zararsız geçiş” rejimine tabi olunur (Özersoy, 1999).

Ancak bu iki geçiş rejiminin aksine, Türk Boğazlarının uluslararası boğaz olmasına karşın tam bir geçiş rejimine tabi olduğu söylenemez. Sadece gemilerin geçiş serbestisine sahip olmasının kuralsız ve serbestçe bir geçiş yapamayacağı şeklinde bir yorum yapılabilir. İlerleyen aşamalarda bu iki geçiş rejimine karşılık boğazlarımızda uygulamaya geçecek olan “uğraksız geçiş ve uğraklı geçiş” terimleri ön plana çıkacaktır. Uluslararası boyutta boğazlarda yabancı devletlere ait gemilerin geçişinde “transit geçiş” rejiminin kullanılıyor olması problem yaratmaktadır.

Türk Boğazlar Sistemi içerisinde konulan kurallar, Osmanlı Döneminden günümüze kadar gelmektedir. Şu anda herhangi bir itiraz olmaksızın, belirli kurallar dâhilinde geçiş yapan tüm gemiler o dönemlerde, şu an olduğu kadar rahat bir şekilde seyir yapamıyorlardı.

1453-1809 yılları arasında Osmanlı Devleti'nin elinde bulundurduğu boğazlar için koyduğu “ İmparatorluğun Kadim Kaidesi” ile başlayan geçiş sınırlamaları gereği tüm yabancı ticaret ve savaş gemilerine boğazlarımızı kapalı tutmuşlardır (Günes, 2007). Devamında 1809-1841 yılları arasında daha çok ikili anlaşmalar ile sağlanan mutabakat, 1841 yılı sonrasında dönemin şartları gereği çok taraflı olmak zorunda bırakılmıştır (İnan, 1995). Gemilerin hiçbir türlü boğazları kullanamıyor oluşu ve ticaret faaliyetlerini yerine getirememesinden dolayı 1841’de ilk defa dönemin büyük devletleri ile bir araya gelinmiş ve “Londra Boğazlar Sözleşmesi” imzalanmıştır (Özersoy, 1999). Bu sözleşmeden itibaren artık boğazlarımız adına çok taraflı anlaşmaların yapıldığı dönem başlamıştır. Ayrıca boğazlarımızdan yapılan geçiş rejimi bir nitelik kazanmıştır. Cumhuriyet Döneminde, aslında şu anda mevcut olan yapısal rejimin ilk adımını oluşturan sözleşme imzalanması kararı alınmıştır. 1923 yılından 1936 yılına kadarlık dönemde bir yönetici komisyon tarafından yürütülecek olan “Lozan Boğazlar Sözleşmesi” 24 Temmuz 1923 yılında imzalanmıştır (T. Altan, 2014).

Bu zamana kadar imzalanarak süre gelmiş olan anlaşmalar ile Türk Boğazlar Sistemi yapısına gelmekte olan zararlar ve uluslararası boyutta siyasi sıkıntılar yaşanmasından ötürü nihayet bugün hala geçerliliğini sağlamakta olan “Montreux Boğazlar Sözleşmesi”

1936 yılında imzalanmıştır. Boğazlarımızın can, mal ve çevre güvenliğinin tamamen Türkiye Cumhuriyeti'nin belirlediği kural ve kaideler ile yapılacağı döneme adım atılmıştır.

1.5.1.1. Montreux Boğazlar Sözleşmesi

Montreux Boğazlar Sözleşmesi, 20 Temmuz 1936 yılında imzalanmış ve 9 Kasım 1936'da yürürlüğe girmiştir. Ülkelerin ticaret gemilerinin geçiş serbestisini korumayı ve boğazdan geçiş rejiminin tekrardan güvenliği sağlayabilecek şekilde olması için revize edilmiştir. Türkiye'nin, Montreux Boğazlar Sözleşmesi kapsamında gemilerin güvenli seyir sağlaması için uluslararası boyutta kabul gören her türlü andlaşma, sözleşme ve kurallar dâhilinde seyir düzenlemesi yapabilme yetkisi vardır (Türkiye Cumhuriyeti, 2020).

Tüm çıkarlarımızı gözeterek ve Karadeniz'e kıyıdaş ülkelerin de çıkarlarını koruyarak 84 yıldır tüm kurallara mutabık kalınarak uygulaması devam eden bu sözleşme ülkemiz adına oldukça siyasi ve stratejik boyuttadır.

Montreux Boğazlar Sözleşmesi, içerdiği maddeler uyarınca üç ana bölümde düzenlenmiştir. Bu bölümler boğaza sahip olan kıyı devletinin barış durumunda, savaş durumunda ve kendisini savaş durumunda hissetme anında ayrı ayrı uygulayabileceği kural ve yetkiler ile alakalıdır. Tez kapsamında bu bölümlere ihtiyaç olmadığından dolayı burada yer verilmemiştir.

1.5.2. Türk Boğazları Tüzükleri ve Yönetmelikleri

Bu bölüme kadar anlatılmış olan tüm sözleşmeler ve andlaşmalar kapsamında ülke karasularının ve boğazlarının korunma altına alınmasında ilk adımlar atılmıştır. Ancak Türk Boğazlar Sistemi'nde yer alan İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı gibi deniz trafiğini zora sokabilecek, seyir emniyetini engelleyebilecek, dar ve kıvrımlı aynı zamanda uzun su yolları ekstra önlemler ile kontrol altına alınmalıdır. Yerel önlemlerin alınmasına boğazlarımızda meydana gelen pek çok gemi kazası neden olmuştur. Çünkü kazalar sadece buldukları konumda çevreyi, deniz ekolojisini etkilemekle kalmaz, boğaz çevresinde yaşayan insanların can ve malına da çok ciddi zararlar verir. Tüm bunları tamamen olamasa da en azından çok büyük bir kısmını elimine edebilmek amacıyla bir dizi tüzük ve yönetmelikler eskilerden günümüze kadar değişerek ve revize edilerek gelmiştir.

İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı kendi içlerinde ayrı tüzük ve yönetmeliklere sahipken, aslında benzer kurallara tabidirler. Aralarında ilk tüzük uygulaması 1965 yılının 11. Ayında yürürlüğe konulan “İstanbul Liman Tüzüğü “ dür. Her gelen tüzük bir sonraki revizyonunda bazı eksiklikleri gidererek ilerler. Bu yüzden ikinci tüzükte, 1982 yılında “İstanbul Liman Tüzüğü” ve “Çanakkale Liman Tüzüğü” işleme konulmuştur. Bu tüzüğün ilk tüzükten bir nevi farkı, tüzük kapsamında limanların sınırlarının belirlenmiş olmasıdır (Turan, 2004). İstanbul Liman sınırları (İstanbul Liman Tüzüğü, 1996)’ da, İstanbul Boğazı’nın kuzey girişinde bulunan Anadolu ve Türkeli Fenerleri ile güneyde Kartal-Büyükada-Yeşilköy hattı arasında kalan bölge olarak tanımlanır. Çanakkale Liman sınırları (Çanakkale Liman Tüzüğü, 1982) ise kuzeyde Karakova’dan Gocuk Burnu ile güneyde Büyük Kandilli Burnu ve Kumburnu hattı arasında kalan bölge ile tanımlanır.

Zaman içerisinde teknolojik faaliyetlerde meydana gelen yenilikler ile gemilerin seyri esnasında boğazların güvenliğini sağlamaya yardımcı olabilecek yeni ekipmanların ve sistemlerin gelişmesiyle birlikte eski tüzükler yetersiz kalmaya başlamıştır.

Bu eksikliklerin giderilmesi adına 11 Ocak 1994 yılında “ Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü” ortaya koyulmuştur. Getirilen bu tüzüğün ardından İstanbul Liman Tüzüğü değiştirilmiş ve 1996 yılında yeni bir “İstanbul Liman Tüzüğü” düzenlenmiştir. 1994 yılında oluşturulan tüzük kapsamında, gemilerin boğaz içerisinde kendileri için belirlenmiş trafik ayırım hattını kullanmaları zorunluluğunu getirmiştir. Boğazlarda gemilerin hem çift taraflı bir trafikte bulunuyor oluşu hem de belirli bir hattı kullanmamasından dolayı artan deniz kazalarına bir dur demek için böyle bir uygulama yapılması kararı alınmıştır. Bu yüzden “sol yönlü geçiş hattı” uygulaması 1982 yılına kadar yapılmıştır. Ancak kıyıdaş ülkelerin bu durumda büyük sayılabilecek gemilerinin geçişine bir kısıtlama geleceğini düşünerek itiraz etmişlerdir. Bu nedenle 1998 yılında “Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü” oluşturularak yürürlüğe koyulmuştur. Zamanına gelene kadar yürürlükte olan pek çok tüzüğe bir alternatif getirmiş olan bu tüzük içerik olarak daha az kısıtlamalara sahip olup bir takım yenilikleri mevcut kılmıştır. Mevcut hiçbir geçiş rejimine tabi olmayan İstanbul ve Çanakkale Boğaz’ları “transit geçiş” olarak adlandırılan ancak kendi geçiş rejimine sahip olan boğazlar için “ uğraksız geçiş” olarak değiştirilmiştir (Turan, 2004). Hem 1994 hem de 1998 tüzüklerinin hazırlanması ve yürürlüğe konulması öncesinde IMO’dan öneriler alınmış ve değerlendirilmiştir (T. Altan, 2014). Bu nedenle uygulanmakta olan tüm kurallar bütünü uluslararası alanda kabul görmüş kurallar ve yönetmeliklerdir. 1998 tüzüğünden sonra şu anda seyir güvenliğinde geçerliliği olan ve yönetmelik olarak

değiştirilen “Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği” 15/08/2019 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe konulmuştur.

Günümüzde halen geçerliliğini sürdüren “uğraksız geçiş”, “uğraklı geçiş” gibi terimler tez kapsamında da verilerin işlenmesinde ve modelleme de bu şekilde kullanılmıştır.

Terimlerin ne anlama geldiği (Türk, 2010)’ün çalışmasında aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

- Uğraklı Geçiş: Sefer sonunu Türk limanlarının herhangi birinde sonlandıracak bir geçiş yapılıyor ise bu geçiş “Uğraklı Geçiş” olarak adlandırılır.
- Uğraksız Geçiş: Sefer sonu Türk limanlarına uğranmayacak şekilde sürdürülen ve sadece durum bildiri yapılarak ülkenin boğazlarını kullanma durumunda yapılan geçiş “Uğraksız Geçiş” olarak adlandırılır.

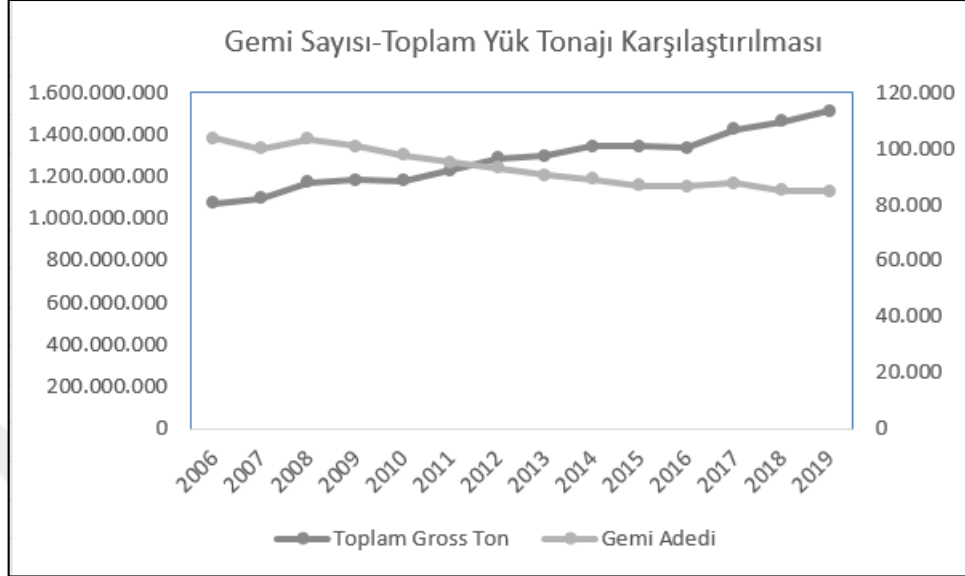
1.5.3. Türk Boğazları Trafik Yoğunluğu

Dünya çağında artan globalleşme faaliyetlerinin neticesinde denizcilik sektöründe dinamik bir atılım gerçekleşmiştir. Bu atılımlar sonucunda gemi hareketliliği açısından ülkemizin boğazlarını en çok hareketlendirenler, Hazar-Kafkas Bölgesinden aktif bir şekilde taşınımı sağlanan tehlikeli yük transferi ile Rotterdam-Köstence hattı arasında Cebelitarık’ı baypass etmek amaçlı Main-Tuna su yolunun kullanılması olmuştur.

Trafik yoğunluğunu bu denli artıran diğer önemli bir faktör ise boğazlarımızda uygulanan tüzüklerin gemi geçişini kısıtlaması noktasında boğazların kuzey ve güney girişlerinde yığılmalardan dolayı darboğazların oluşumudur. Tehlikeli yük taşınmasında teknolojik faaliyetlerin etkisinin artmasıyla gemi dizayn faktörlerinin değişimi ve büyümesi, gemilerin halihazırda bulunan coğrafi şartların zorluğu sebebiyle seyir zorluğu yaşanmasında ekstra negatif etkiler doğurmuştur. Bu durumun en büyük sebebinin, yüklerin taşınması başına düşen maliyetleri azaltmak niyetinde olan gemi sahiplerinin, piyasa içerisinde rekabet gücünü artırmak olduğunu söyleyebiliriz.

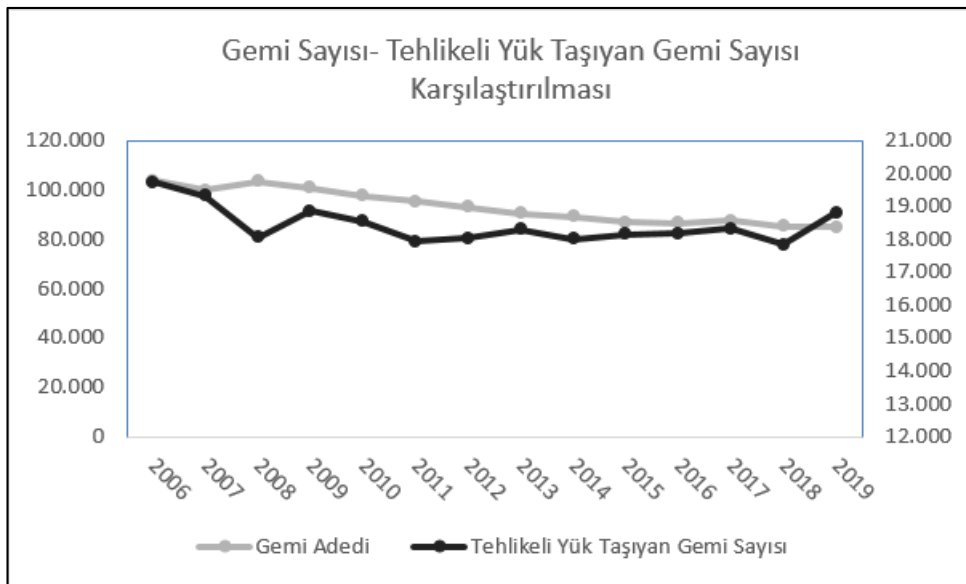
Bu bağlamda İstanbul ve Çanakkale Boğaz’larından geçen toplam gemi sayısının, taşıdıkları yükün gros tonuna olan ilişkisi Şekil 1.3 ile gösterilmiştir. Yıllar içerisinde gemi sayılarında bir azalış görünürken, gemilerin dizayn boylarının artışı ve depolama alanlarının artmasının bu sayıda nasıl etkili olduğu taşınan toplam yükün artışa geçmesiyle direkt bağdaşmaktadır.

Şekil 1.3 ve Şekil 1.4’de gösterilen verilerin tümü (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020) vasıtasıyla edinilmiştir.



Şekil 1.3. Gemi sayısı ile yük tonajı arasındaki ilişki

Tehlikeli yük grubuna giren gemilerden TTA, TCH, LNG, LPG sınıfı gemilerin yıllar içerisinde gemi sayıları ile ilişkileri Şekil 1.4 ile tasvir edilmiştir.



Şekil 1.4. Gemi sayısı ile tehlikeli yük taşıyan gemi sayısının ilişkisi

1.5.4. Türk Boğazlar Sistemi Gemi Trafik Hizmet ve Sektör Alanları

Türk Boğazlar Sistemi içerisinde sürekli devinim halinde olan gemi trafiğinin kontrol altına alınmadığı durumda, bu hem İstanbul'un tarihi dokusuna, can ve mal kaybına, çevre tahribatına, hem de daha az risk grubunda olan fakat yine de gözetim altında tutulması gereken Çanakkale için çok daha vahim durumlara sebebiyet verilebilir. Ancak bu durum ilgili otoriteler tarafından düşünülmüş ve Türk Boğazlar Sistemi'nin bir bütün olarak ele alınmasının yanı sıra, gemilerin geçişleri sırasında üç ayrı sistem tarafından takip edilmesi gerektiği kanısı oluşmuştur. Yani İstanbul Boğazı'nı ayrı bir sistem, Çanakkale Boğazı'nı ayrı bir sistem ve son olarak Marmara Denizi'ni ayrı bir sistem olarak ele almışlardır.

Bu durum ile ilgili olarak boğazlarımız üzerinden geçen gemi geçişlerine bir düzenleme getirmek için 30 Aralık 2003 yılında "Türk Boğazları Gemi Trafik Servisi" yani kısaltılmış haliyle "TSVTS" ile bir düzenleme getirerek, gerekli kontroller yapılar hale gelmiştir (Orakçı, 2006).

Şekil 1.5 ile gösterildiği gibi İstanbul Boğaz bölgesi 55 deniz mili, Çanakkale Boğazı 78 deniz mili, Marmara Denizi ise 71 deniz mili olacak kadar belirlenmiş alanlar içerisinde kendi sektörlerine, kendi operatörlerine, kendi VFH (Veri High Frequency) yani kanallarına sahiptirler.

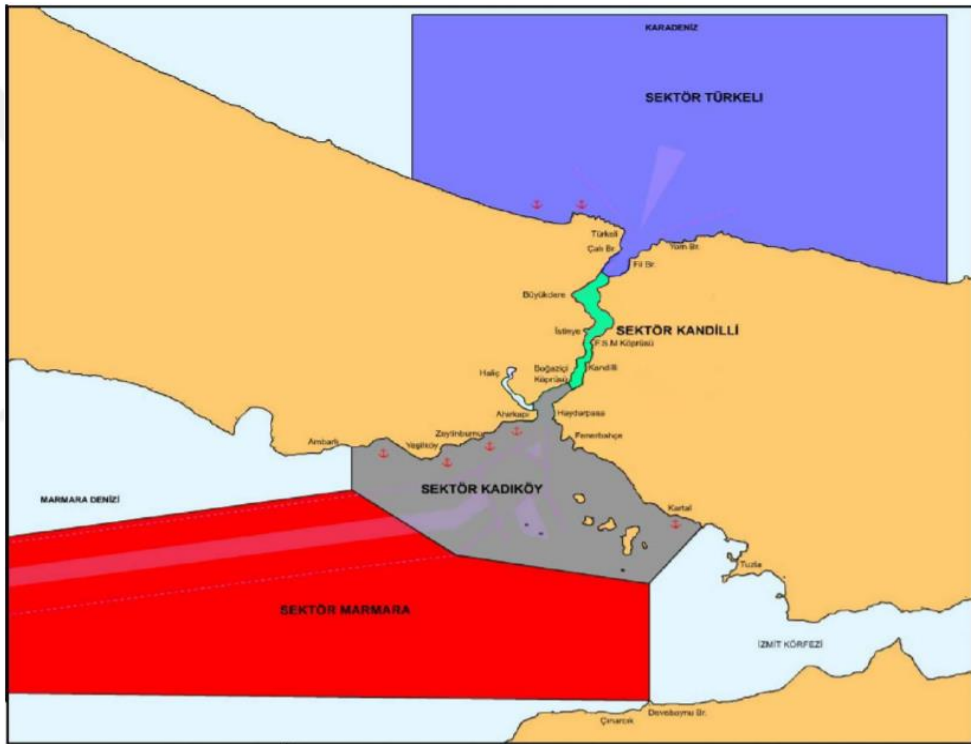


Şekil 1.5. Türk Boğazlar Sistemi VTS bölgeleri (Öztürk ve Oral, 2006).

Her bir sistemin içerisinde yer alan sektör bölgelerine tek tek bakılacak olursa Şekil 1.6, İstanbul Boğazı'nın VTS bölgesini bölen dört farklı sektör olduğu göstermektedir.

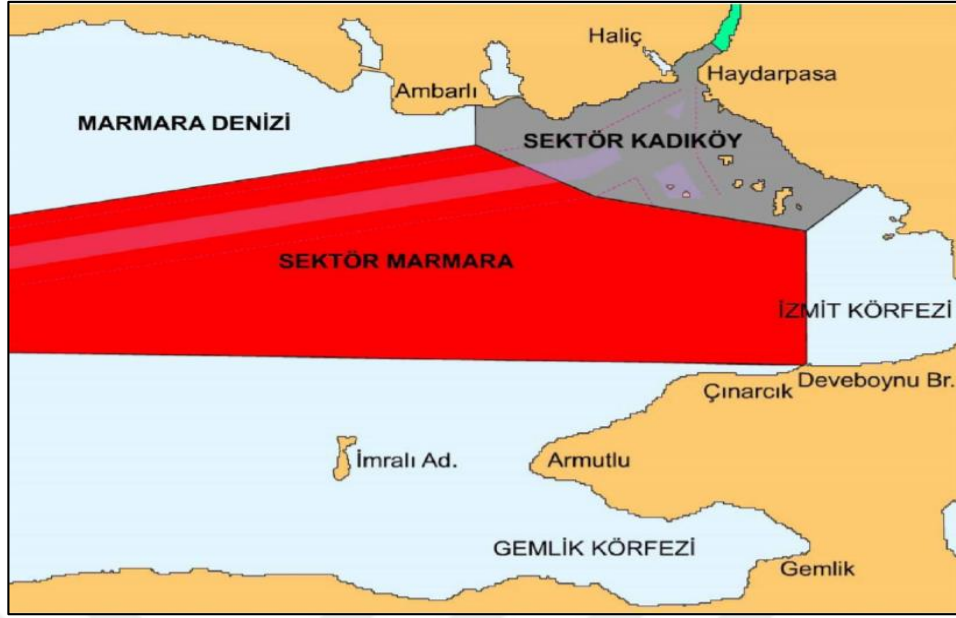
İstanbul Boğazı için belirlenmiş sektör bölgeleri bağlı oldukları kanal yapılarıyla şu şekilde ayrılır.

- Sektör Türkeli (VHF CH-11)
- Sektör Kandilli (VHF CH-13)
- Sektör Kadıköy (VHF CH-14)
- Sektör Marmara (VHF – CH 14)



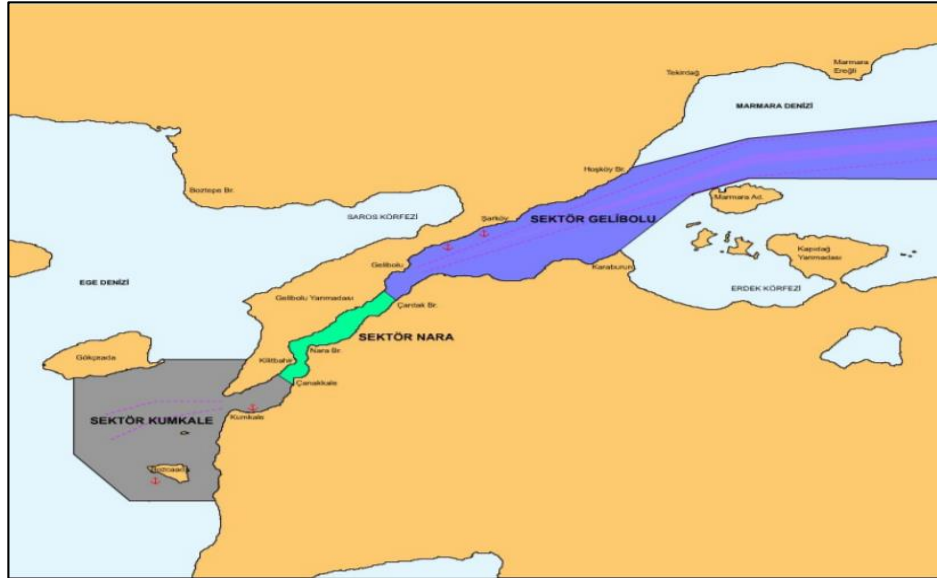
Şekil 1.6. İstanbul Gemi Trafik Hizmetleri alanı ve sektörleri (“Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri”, 2020).

Marmara Denizi için de İstanbul Boğaz Bölgesi için belirlenen sektör alanları içerisinde yer alan bir sektör bölgesi mevcuttur. Bu sektör bölgesi, İstanbul Boğazı'nın güney ucunda Sektör Kadıköy'den, Çanakkale Boğazı'nın kuzey kısmında Sektör Gelibolu'ya kadar olan kısmı kapsamaktadır. Şekil 1.7 ile bu bölge gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Marmara Denizi sektörü (“Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri”, 2020).

Son olarak Türk Boğazlar Sistemi'nin en güneyinde yer alan Çanakkale Boğaz bölgesinde mevcut olan sektörler Şekil 1.8' de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Çanakkale Gemi Trafik Hizmeti alanı ve sektörleri (“Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri”, 2020).

Çanakkale Boğazı için belirlenmiş olan VTS alanlarının ve kanallarının ayrımı şu şekildedir.

- Sektör Gelibolu (VHF – CH 11)
- Sektör Nara (VHF – CH 12)
- Sektör Kumkale (VHF – CH 13)

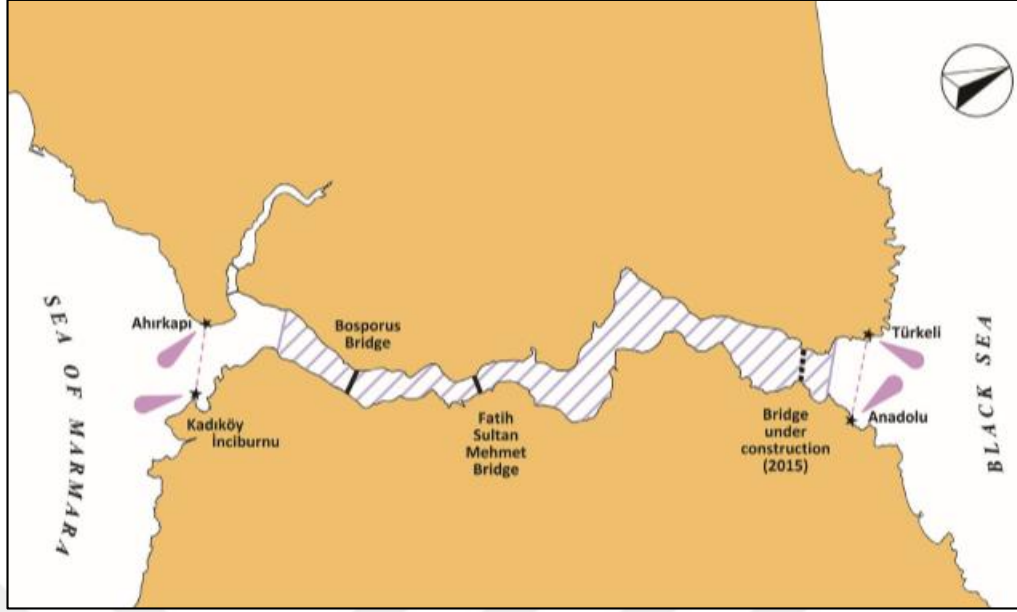
1.6. İstanbul Boğaz Bölgesinin Özellikleri

1.6.1. İstanbul Boğazı Jeopolitik Önemi ve Coğrafi Özellikleri

İstanbul Boğazı, tarih boyunca önemini hiçbir zaman kaybetmemiş ve stratejik açıdan asla kaybetmeyecek olan ve Asya ile Avrupa kıtalarını hem birbirinden ayıran hemde onları bağlayan iki önemli su yolundan birisidir. Sadece kıtaları birleştirmesiyle değil Karadeniz'in önce başka denizlere oradan da okyanuslara açılmasının temel kapısıdır. Karadeniz'e kıyıdaş olan ülkelerin, Hazar Denizi'nin ve Tuna-Ren ticaret rotasının ve günümüzde önemli olabilecek petrol taşımacılık güzergâhlarının alternatifsiz bir su yoludur. Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin savaş ve barış durumlarında her zaman boğazların geçişini elinde bulundurması, gerekli görülen yerlerde kısıtlamalara gidilmesi gibi olgular stratejik yönden oldukça önemlidir.

Tarihi ve kültürel yapısı, sadece şehrin iç kısımlarında değil kıyı şeridi boyunca da devam eder. Doğal oluşmuş yapısıyla, dar ve kıvrımlı hatlarıyla, bulunduğu stratejik konumla Anadolu ve Avrupa yakası arasında her gün yüzlerce uluslararası geminin ve binlerce yerel trafiği sağlayan gemilerin ve teknelerin geçişine izin verirken, aynı zamanda turizm faaliyetlerinin oluşmasını da sağlar.

Bu zamana kadar doğal yapısının, kentin ve çevrede yaşayan insanların kısaca can, mal ve çevrenin korunumu için bazı yönetmelikler ve tüzükler ile korunduğu konuları daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. 01.05.1982 yılında yürürlüğe giren "İstanbul Liman Tüzüğü", İstanbul Boğazı için kuzeyde Anadolu Feneri ile Türkeli Fenerini birleştiren yer ile güneyde Ahırkapı Feneri ile Kadıköy İnceburun Mendirek Fenerini birleştiren yer arasında kalan bölgeyi belirlemiştir. Şekil 1.9 ile gösterildiği üzere kuzey ve güney bölgede siyah hat ile gösterilmiş olan yerler belirtilen yerlerdir.



Şekil 1.9. İstanbul Boğaz sınırları (Sluiman, 2017).

İstanbul Boğazı fiziksel karakteristiği yönünden kuş bakışı olarak 17 deniz mili uzunluğunda, Anadolu yakası boyunca kıyı uzunluğu 35 km, Avrupa yakası boyunca kıvrımlı yapısının aşırı olması sebebiyle 55 km' dir (Usluer ve Bilen Alkan, 2016). Boğaz boyunca bir takım bank ve adalara rastlamak mümkündür. (TBSG, 2000), Boğazın en geniş yerleri kuzey bölgesinde Anadolu Feneri ve Türkeli Feneri arasında 3600 metre, güneyde Ahırkapı Feneri ve İnceburnu Feneri arasında olan 3220 metrelik olan yerler, en dar yeri ise Anadolu Hisarı ve Rumeli Hisarı bölgeleri arasında kalan Kandilli-Aşiyen diye de bilinen kısım ile 700 metre civarlarındadır (Keçeci, 2010). Bu bölge Şekil 1.10 üzerinde gösterilmiştir.

(TBSG, 2000), Derinlik özelliklerine bakılacak olursa İstanbul Boğazı boyunca 30 ile 110 metre arasında derinlik değişimleri gözlenmektedir. Bazı bölgelerde aşırı sığlaşma durumları mevcuttur. Bu sebepten ötürü gemilerin karşılaşacakları mekanik ve mürettebat kaynaklı herhangi bir sorunda karaya oturma problemleri ile karşılaşması muhtemel olabilir. En derin yerinde yani Kandilli mevkiğinde 110 metre derinlik varken bazı bölgelerde 30 metreye kadar düşen derinlik, sahil kesiminde 10 metreye kadar gerileyebilmektedir. Ortalama olarak derinlik 60 metre dolaylarında kalmaktadır (Keçeci, 2010).

Kuzey ve güney yönlü ilerleyecek olan gemiler için boğazın uzunluğu, derinliği, iklim koşulları gibi pek çok etmenin yanı sıra dar ve kıvrımlı yapısının 12 farklı bölgede keskin

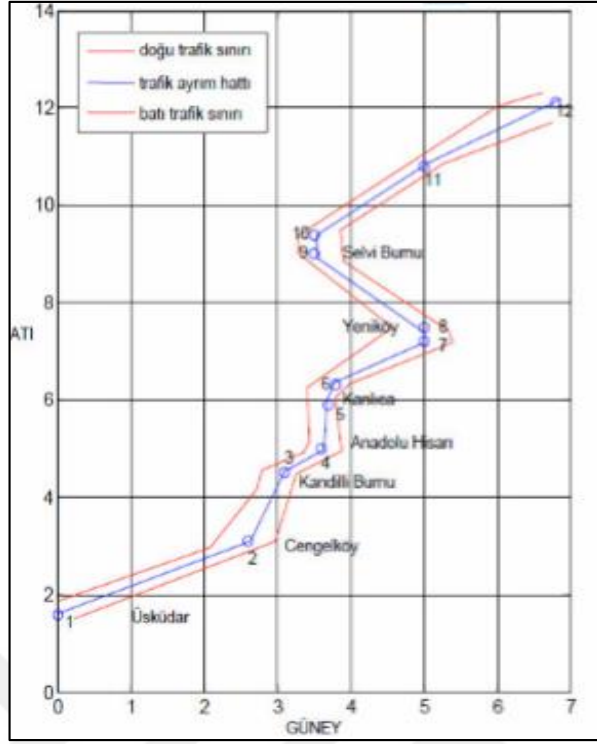
dönüslere sahip olması bir takım sorunlara neden olabilmektedir. Bu bölgelerin boğaz üzerinde gösterimi Şekil 1.12’de gösterilmektedir. Bu bölgelerden en tehlikeli olanlar boğazın en dar yeri olan Kandilli-Aşıyan arasındaki bölge olup 45° , Karadeniz’e çıkarken Beykoz civarlarında $80-85$ derece, Marmara’ya inerken Yeniköy’de 80° ve Umurbey’de 70° dönüslere varabilmektedir (Akten, 2003). Şekil 1.11 Yeniköy civarında bu açının geminin seyri üzerinde nasıl etkiler yarattığını göstermektedir.



Şekil 1.10. İstanbul Boğazı en dar geçiş hattı (Pizon, 2020).



Şekil 1.11. İstanbul Boğazı en keskin açı ile dönüş bölgesi (Pizon, 2020).



Şekil 1.12. İstanbul Boğazı dönüş noktaları (URL-1, 2007).

1.6.2. İstanbul Boğazı Akıntı Sistemi

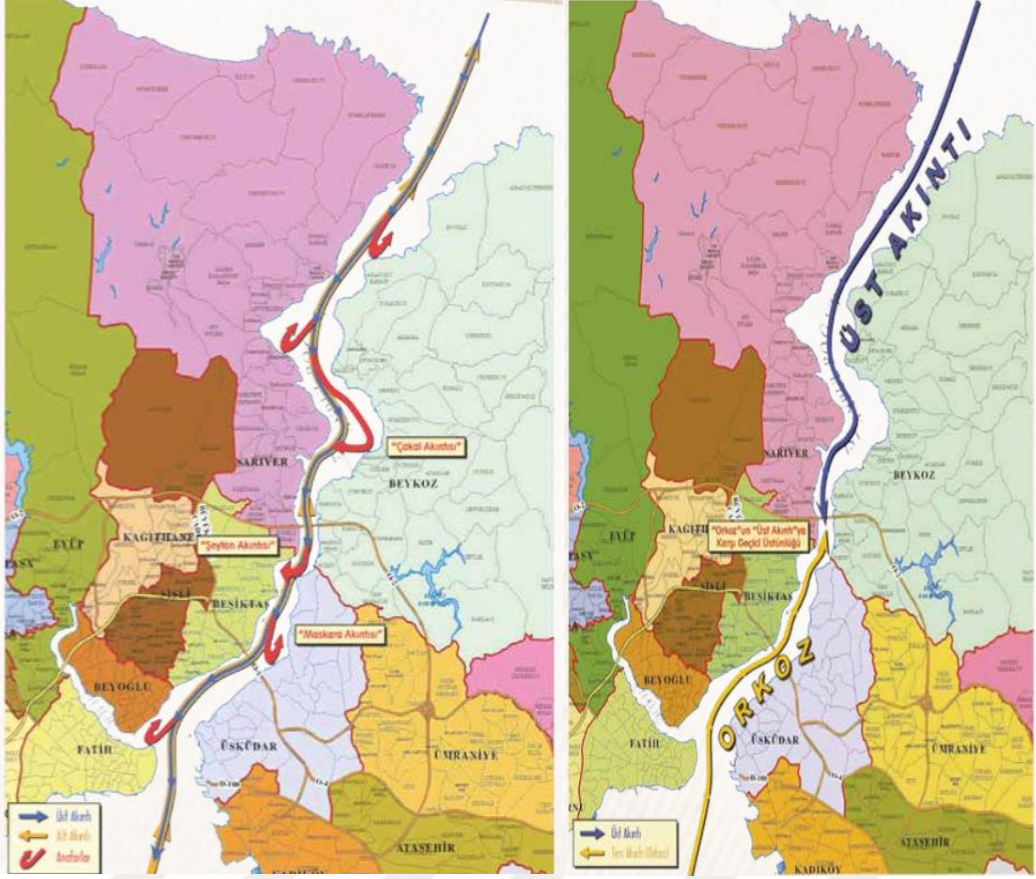
İstanbul Boğazı gerek yapısı gereği gerekse daralarak bir akarsu gibi davranıp sonrasında genişlemesi sebebiyle tek tip bir akıntı türüne maruz kalacağı düşünülemez. Kuzeyinde daha soğuk iklim şartları ve yıl içerisinde sürekli yağış alan bir Karadeniz, güneyinde Ege ve Akdeniz'in sıcak iklimi ve tuzlu suyundan nasibini almış bir Marmara Denizi nedeniyle farklı akıntı şartları ile karşılaşması muhtemel olacaktır. Genel olarak bakıldığında bu iki suyun tuzluluk farkı ve getirdiği yoğunluk farkından dolayı, iklim şartlarının farklı olması, Karadeniz'in yükseltisinin Marmara'ya göre daha fazla olması, suyun akış yönü gibi çok önemli faktörler neticesinde akıntı tipleri oluşmaktadır. İstanbul Boğazı'nda yüzey akıntısı, dip akıntısı, orkoz akıntısı ve ters akıntı/anafor olmak üzere dört tip akıntı mevcuttur.

- **Yüzey Akıntısı:** Marmara Denizi ile Karadeniz arasında kuzeyden güneye doğru bir alçalma meydana gelir. Bu yüzden iki konum arasında 40 cm bir fark vardır (Kılıç, 2015). Bu farktan dolayı zaten yıl içerisinde çok fazla hacimde yağış alan Karadeniz suyu Marmara'ya doğru akar. Düşük yoğunlukta bir su

olmasından dolayı yüzeysel olarak oluşurken, İstanbul Boğazı'nın kuzey girişinde daralarak hızlanır ve boğaz boyunca hızlanmaya devam eder, güneyde Marmara Denizi'nde birden açıldığı için hızını kaybeder.

- **Dip Akıntısı:** Yüzeysel akıntısına tersi yönde gelişen bir akıştır. Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru akan bir akıntıdır. Tuzluluğunun yüksek olması sebebiyle yoğunluğu artan su dibe çöker. Kuzeye doğru akan su tırmanışa geçtiği için Karadeniz'den gelen suyun akış hızı kadar hızlı bir su değildir. Bu yüzden sirkülasyonun az olduğu dip akıntısı daha fazla yoğunluktadır. Derinlik olarak yüzeyden 15 metre sonra 45 metreye kadar dip akıntısı mevcuttur (Atasoy, 2008).
- **Orkoz Akıntısı:** Rüzgârların akıntıları etkilemesine en önemli örneklerden biri bu akıntı türüdür. Güneyden esen rüzgârlar ve lodosun etkisi ile boğazın güney kısmında su yığılması meydana gelerek, yüzeysel akıntısına tersi yönde ancak daha fazla bir yükseltide akıntılar oluşur ve yüzeysel akıntısının derinliğini azaltarak dip akıntısını artırmaya başlar, bu da derin su çekimli gemiler için seyir sırasında büyük güçlük yaşatır (Bayar, 2010).
- **Ters Akıntılar/Anaforlar:** Boğazın kendine has yapısı oldukça kıvrımlı, girintili çıkıntılı ve zor bir yapıdadır. Tabii ki bu durumuna uygun bir akıntı da olacaktır. (TBSG, 2000), Zaman zaman ana akıntıya karşı sahil kıvrımlarında tersi yönde çok şiddetli ve tehlikeli akıntılar oluşur (Bayar, 2010). İstanbul Boğazı'nın çok farklı kıyı bölgelerinde günün farklı saatlerinde, farklı hızlarla karşımıza çıkarlar.

Oluşum gösteren bu akıntılarının yönlerinin İstanbul Boğazı'nda hareketleri ve davranışları Şekil 1.13'de gösterilmektedir.



Şekil 1.13. İstanbul Boğazı akıntı türlerinin yönleri (Kurtoğlu, 2015).

1.6.3. İstanbul Boğazı'nda Deniz Trafiği

1.6.3.1. Yerel Deniz Trafiği

Ulusal ve uluslararası deniz ticaret rotası için önemli olan İstanbul Boğazı sadece uğraklı ve uğraksız gemilerin geçişleriyle sınırlı değildir. Her gün iki yaka arasında gelip-giden milyonlarca insan vardır. 16 milyona yaklaşan İstanbul nüfusu, her geçen gün boğaz üzerinde daha fazla ulaşım hattına ve daha sık olabilecek ulaşım alternatiflerine sahip olmayı istemektedir. Günde neredeyse 150 ye yakın geminin trafik ayırım hattı üzerinde kuzeyden ve güneyden boğaza giriş yaparak geçiş yapıyor olması durumu ile yerel deniz trafiği sürekli karşı karşıya gelmektedir. Yerel deniz trafiği, uğraklı ve uğraksız geçiş yapan gemilerin rotalarına yatay olacak şekilde düzensiz ve rotasız biçimde günde 2000-2500 kere sefer düzenlemektedir.

Yerel deniz trafiğini oluşturan gemiler, İstanbul Liman Başkanlığı sınırları içerisinde hareket eden feribotlar, şehir hatları vapurları, deniz otobüsleri, düzenli olarak sefer yapan yolcu gemileri, gezinti tekneleri, acente ve servis botları, gemilere su-yakıt-kumanya ikmali yapan gemiler, balıkçı tekneleri, dip taraması yapan gemiler, araştırma gemileri, römorkörler, deniz üstü temizliği yapan tekneler gibi pek çok farklı grupta her gün seferler yapmaktadır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2018).

1.6.3.2. İstanbul Boğazı Deniz Trafiği Düzenlemesi

İlk olarak Montreux Boğazlar Sözleşmesi'nin imzalanmasıyla birlikte bir takım kurallar ile korunmaya başlayan boğazlarımız ilerleyen aşamalarda daha yerel olabilecek kurallar ile korunmaya ihtiyaç duymuştur.

Daha önce Türk Boğazları Tüzükleri kısmında açıklandığı gibi trafik yapısını düzenlemek için ilk tüzük 1994 yılında yürürlüğe koyulduktan sonra, eksik yanları olan raporlama sistemi ve Trafik Ayrım Şeritlerini de içerecek şekilde 1998 yılında tekrar yürürlüğe girmiştir. Türk Boğazları'nda uygulanan ve "Denizde Çatışmayı Önleme Sözleşmesi'nin (COLREG)" kurallarına göre düzenlenen ve "IMO" tarafından kabul edilen bir trafik ayırım şeması uygulanmaktadır (Uçan, 2013).

En son 15/08/2019' da yayınlanan "Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği" şu anda gemilerin ilgili boğazlardan geçerken seyir düzeninin sağlanması, can, mal ve deniz aynı zamanda çevre güvenliğinin sağlanması için hazırlanmıştır. Yayınlanan yönetmelikten sonra tüzükler yürürlükten kaldırılmıştır. Yönetmelikte yedi ayrı bölüm altında İstanbul ve Çanakkale Boğazları için ayrı ayrı ve ortak hükümleri içerecek şekilde sınıflandırma yapılmıştır.

Yönetmeliğin daha iyi anlaşılabilmesi için bazı tanımlar mevcuttur (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Büyük Gemi: Tam boyu 200 metre ve daha büyük olan gemiler

Tehlikeli Yük Taşıyan Gemi: IMO' nun IMDG kodu sınıf 3 yükleri taşıyan tankerler ile IMO' nun IMDG kodu kurallarına göre 1-2-5.1-5.2-6.2-7 sınıflarında tanımlanan yükleri taşıyan veya tehlikeli gazlardan arındırılmamış tüm gemiler

Çanakkale Boğazı Güney Sınırı: Mehmetçik Burnu Fenerini Kumkale Fenerine birleştiren çizgi

Çanakkale Boğazı Kuzey Sınırı: Zincirbozan Fenerinden geçen boylam

Derin Su Çekimli Gemiler: En büyük su çekimi 15 metre ve daha büyük olan gemiler

İstanbul Boğazı Güney Sınırı: Ahırkapı Fenerini Kadıköy İnceburnu/Mendirek Fenerine birleştiren çizgi

İstanbul Boğazı Kuzey Sınırı: Anadolu Feneri ve Türkeli Fenerini birleştiren çizgi

İstanbul Boğazı seyir düzeni için deniz trafik ayırım düzenine ilişkin koyulmuş kurallar ve uygulama talimatları şu şekildedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019) (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2019);

- İstanbul Boğazı'nda üst akıntının şiddeti 4 mil/saat üstüne çıktığında ya da lodos nedeniyle orkoz akıntıları oluştuğunda gemilerden hızları 10 mil/saat ve daha aşağı gemiler, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler boğaza girmeyeceklerdir. Ancak akıntı şiddeti 4 mil/saatin altına düştüğü zaman ilgili bekleme süreleri dâhilinde boğaza alınacaklardır (Mad. 36,1).
- İstanbul Boğazı'nda üst akıntı şiddeti 6 mil/saat üzerine çıktığında ya da lodos nedeniyle kuvvetli orkoz akıntıları meydana geldiğinde gemilerin hızları ne olursa olsun tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler, derin su çekimli gemiler İstanbul Boğazı'na girmeyecektir. Akıntı şiddeti 6 mil/saat altına düştüğü zaman ilgili bekleme süreleri dâhilinde boğaza alınacaklardır (Mad. 36, 2).
- İstanbul Boğazı'nın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığının 2 mil ve daha altına düşmesi durumunda, gemiler radarlarını sürekli ve iyi resim çekecek şekilde açık tutacaklardır (Mad. 37, 2).
- İstanbul Boğazı'nın herhangi bir yerinde görüş uzaklığı 1 mil ve daha altına düştüğünde deniz trafiği uygun olan yön bazında açık tutulacak ve karşı yöne kesinlikle kapatılacaktır. Tehlikeli gemiler, büyük gemiler, derin su çekimli gemiler kesinlikle boğazdan içeri alınmayacaktır (Mad. 37, 3).
- İstanbul Boğazı'nın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığı yarım mil ve altına düşerse boğaz iki yön içinde kapatılacaktır. Hiçbir gemi boğazdan içeriye alınmayacaktır (Mad. 37, 4).
- İstanbul Boğazı için hava çekimi 54-58 metre olan gemiler sefer planlanması aşamasında geçişinden 30 gün önce liman başkanlıklarına teknik hususlarını sunmalıdır (Mad. 6, c).
- Tam boyu 200 metre ve üzerinde olan tanker ve tehlikeli yük taşımacılığı yapan gemiler boğaz geçilerini sadece gündüz periyodunda yapacaklardır (Mad. 14,a)

- Tüm yedekli gemilerin boğaz geçişleri sadece gündüz periyodunda yapılır (Mad. 14, b).
- İlave geçiş şartlarına tabi gemilerin boğaz geçişleri sadece gündüz periyodunda yapılacaktır (Mad. 14, c).
- Tam boyları 250 metre üzeri tanker ve tehlikeli yük taşıyan gemiler hariç, derin su çekimli gemiler geçişlerini sadece gündüz periyodunda yapacaklardır (Mad 14, ç).

İstanbul ve Çanakkale Boğazları için ortak uyulması gereken kurallar ve uygulama talimatları vardır. Bu kurallar şu şekildedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019) (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2019).

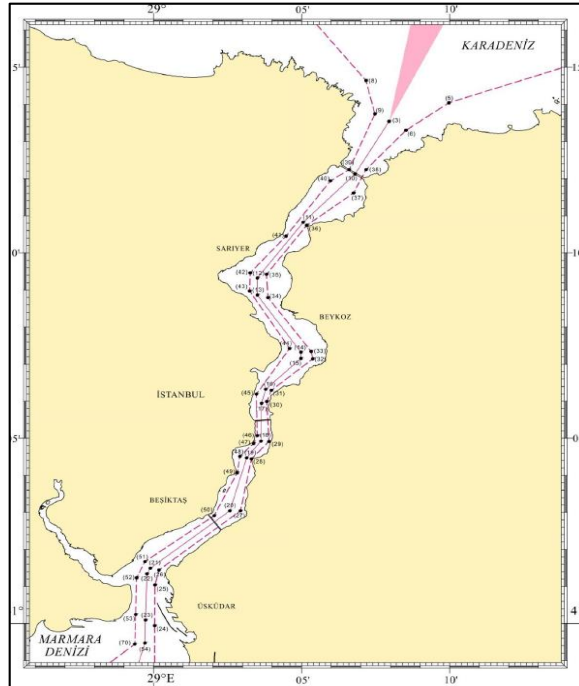
- Gemiler İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından geçerken geçiş hızlarını karaya göre saatte 10 deniz mili olarak ayarlamalıdır. Ancak dinlenme yolu elde edilemediği zaman, TBGTH Merkezine bilgi vererek çatma-çatışmayı önleyecek biçimde can, mal ve çevre güvenliğini tehlikeye atacak dalgalar çıkamadığı sürece bu hız aşılabılır (Mad. 14).
- İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında geçiş yapacak olan gemiler zorunlu bir durum olmadıkça önlerinde seyreden gemiyi geçmeyecekler ve aynı istikamette geçiş yapan gemiler aralarında en az 8 gomina mesafe bırakmalıdırlar. Köprü ayaklarının olduğu yerlerde gemiler birbirlerini hiçbir şekilde geçmeyeceklerdir (Mad. 15).
- Tehlikeli yük taşıyan gemiler İstanbul Boğazı'na kuzeyden girdiklerinde 15 Temmuz Şehitleri Köprüsü'ne kadar, güneyden girdiklerinde Hamsi Burnu-Fil Burnu hattını geçene kadar aynı nitelikte başka bir gemi boğaz içerisine alınmayacaktır. Çanakkale Boğazı için önde giden geminin Nara Burnu bölgesini terk edene kadar aynı nitelikte başka bir gemi boğaza alınmayacaktır (Mad. 26, 4).
- Hava çekimi 58 metre ve daha yüksek olan gemiler İstanbul Boğazı'ndan, 70 metre ve daha yüksek olan gemiler Çanakkale Boğazı'ndan içeri alınmayacaktır (Mad. 33, 2).
- Türk Boğazlarında tehlikeli yük taşıyan gemilerle 500 GT ve daha büyük gemiler boğazlara giriş yapmadan 24 saat önce, boyları 200 den 300 metreye kadar ya da su çekimleri 15 metreden daha büyük olan gemiler boğazlara girmeden 48 saat önce, boyları 300 metre ve daha büyük olan gemiler

boğazlara girmeden 72 saat önce, Marmara Denizi limanlarından kalkacak olan tehlike yük taşıyan gemilerle 500 GT ve daha büyük gemiler kalkmadan 6 saat önce SP1 VE SP2 raporlarını ilgili sektörlere bildirmelidir (Mad. 11, a-b-c-ç).

1.6.3.3. İstanbul Boğazı Trafik Ayrım Şeması

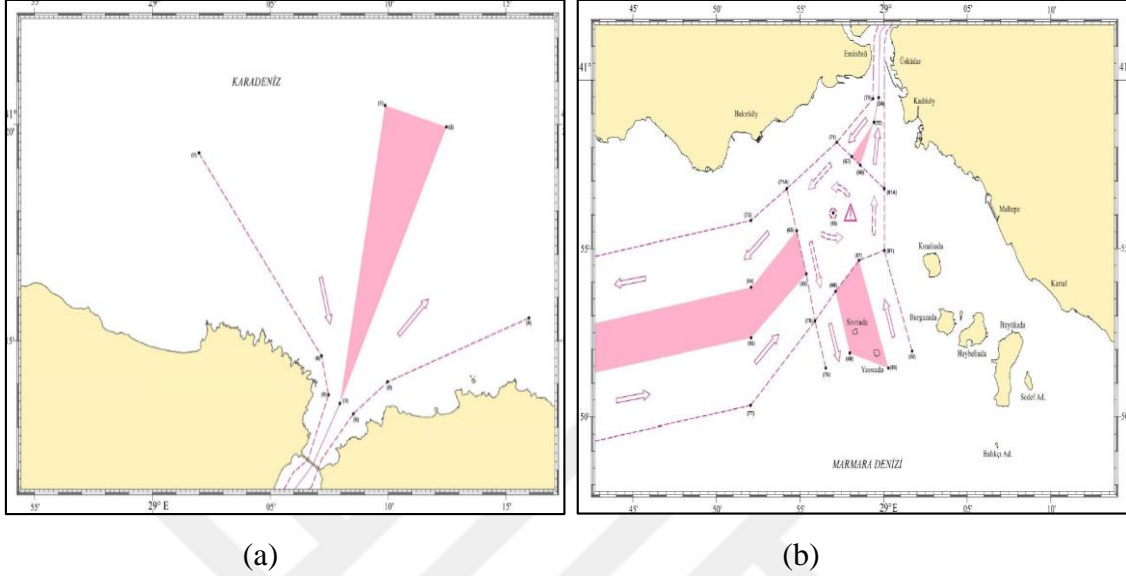
Boğazda gemilerin seyri esnasında 1934-1982 yılları arasında “Sol Seyir Düzeni” uygulaması oluşturulmuştur. Ancak boğazın yapısındaki keskin dönüşler ve aşırı daralmalar aynı zamanda meydana gelmiş gemi kazaları, çift yönlü trafiğin varlığı Türk Boğazlarına uygun bir yapı olarak görülmemiştir. Çapraz geçişlerin sözkonusu olması sebebiyle Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG 1972) uygulamaya konulmuş ve bu seyir düzeni terk edilmiştir (Bayar, 2010). Sonrasında 1994 yılına kadar “Sağ Seyir Düzeni” dönemine geçilmiştir.

İlk Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü’nün ortaya çıkmasıyla beraber sağ seyir düzeni tekrar düzenlenmiş ve hala günümüzde devamlılığını sürdüren COLREG-1972’nin 10. Kuralına göre belirlenmiş ve Şekil 1.14 ile gösterilen “Trafik Ayrım Düzeni (TSS)” gemiler için bir rehber oluşturmuştur (Viran, 2014).



Şekil 1.14. İstanbul Boğazı Trafik Ayrım Şeması (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Gemiler için boğazın güney ve kuzey girişlerinde ve çıkışlarında trafik ayırım şemasına göre izledikleri yaklaşma bölgeleri Şekil 1.15 ile gösterilmiştir.



Şekil 1.15. İstanbul Boğazı Kuzey ve Güney Yaklaşması (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

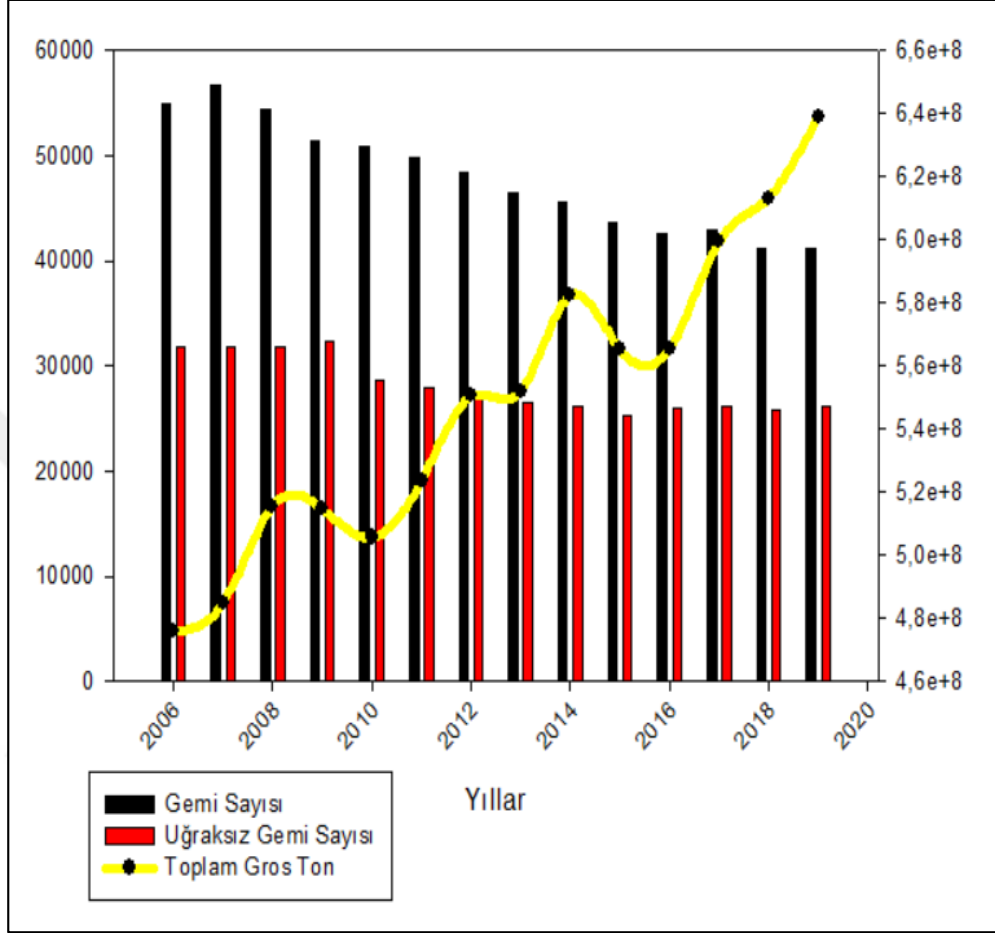
1.6.4. İstanbul Boğazı Gemi Trafik Yoğunluğu ve Gemi Tiplerinin Karşılaştırılması

Montreux Boğazlar Sözleşmesi'nin ilk imzalandığı dönemlerde ve öncesinde Osmanlı Döneminde, İstanbul Boğazı şu an olduğu kadar yüksek bir gemi trafiğine maruz kalmıyordu. O dönemler günlük gemi geçişi sadece 4000-5000 gemi ile sınırlanırken gemi tipleri açısından da geçen gemiler ticari amaçlı değil daha çok dönemin şartları gereği askeri gemilerdir. O zamandan günümüze gelene kadar pek çok şey değişmiş, gelişime uğramış ve ihtiyaç duyulan malzemenin çeşidi ve sayısının artması ile birlikte kıtalar arası taşımacılık alternatifi olmayan bir yol olan denizyolu taşımacılığı ile yapılmaya başlanmıştır. Önemli ulaşım rotalarının birinin üzerinde olan İstanbul Boğazı' da yıllar içerisinde küresel olarak artan gemi trafiğinden etkilenmiştir.

Bu trafiğin etkilerini görmek amacıyla (T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)' dan elde edilmiş istatistiksel veriler yardımıyla aşağıda gösterilen grafikler oluşturulmuştur.

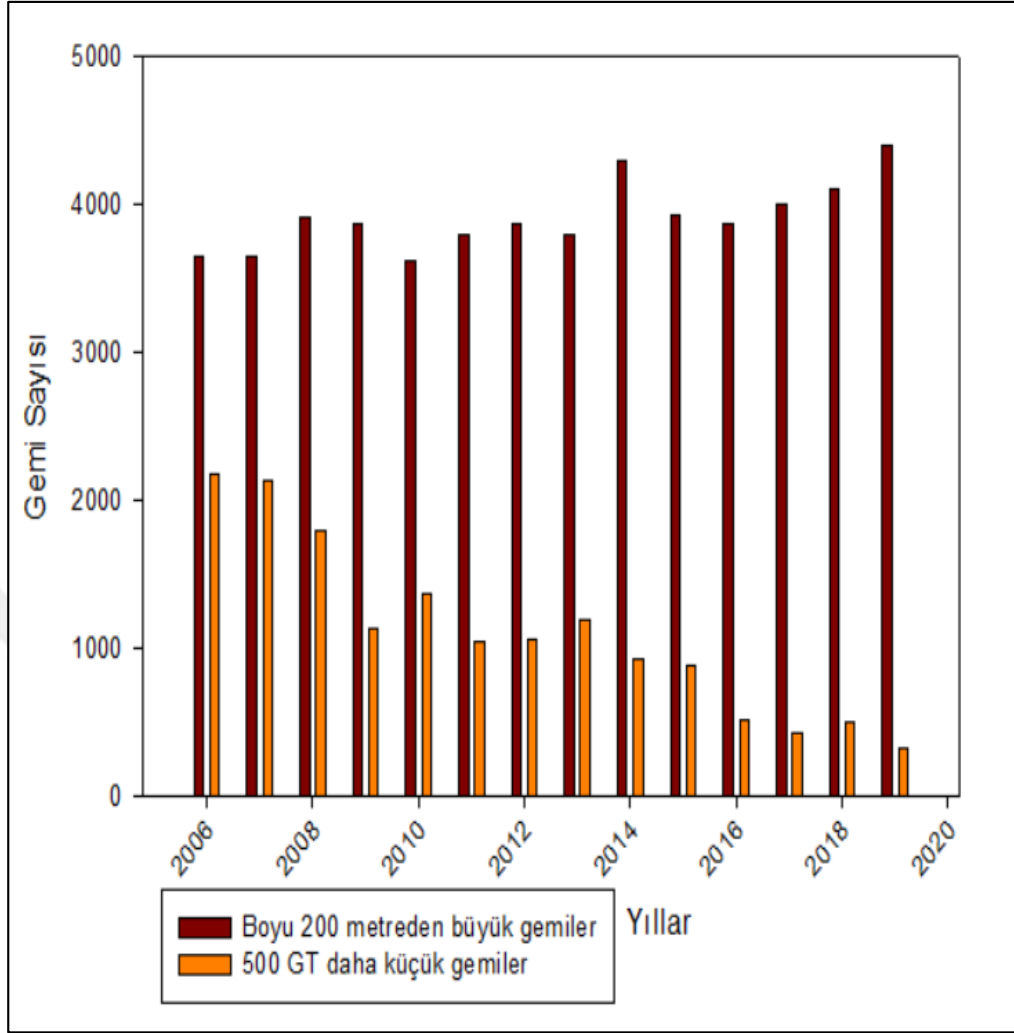
Şekil 1.16'da İstanbul Boğazı'ndan 2006 yılından bu yıla gelen kadar geçiş yapan gemi sayıları, uğraksız geçiş yapan gemi sayıları ve bu gemilerin taşıdıkları yüklerin toplam gros tonları karşılaştırılmıştır. Sayısal olarak gemiler yıllar oranında azalarak devam ederken

bunlara karşılık yüklerin taşınım tonajları hızla artmaktadır. Bunun sebebi bu bölüme kadar defalarca behsedilen teknolojinin gemi dizayn faktörlerine olan etkileridir.



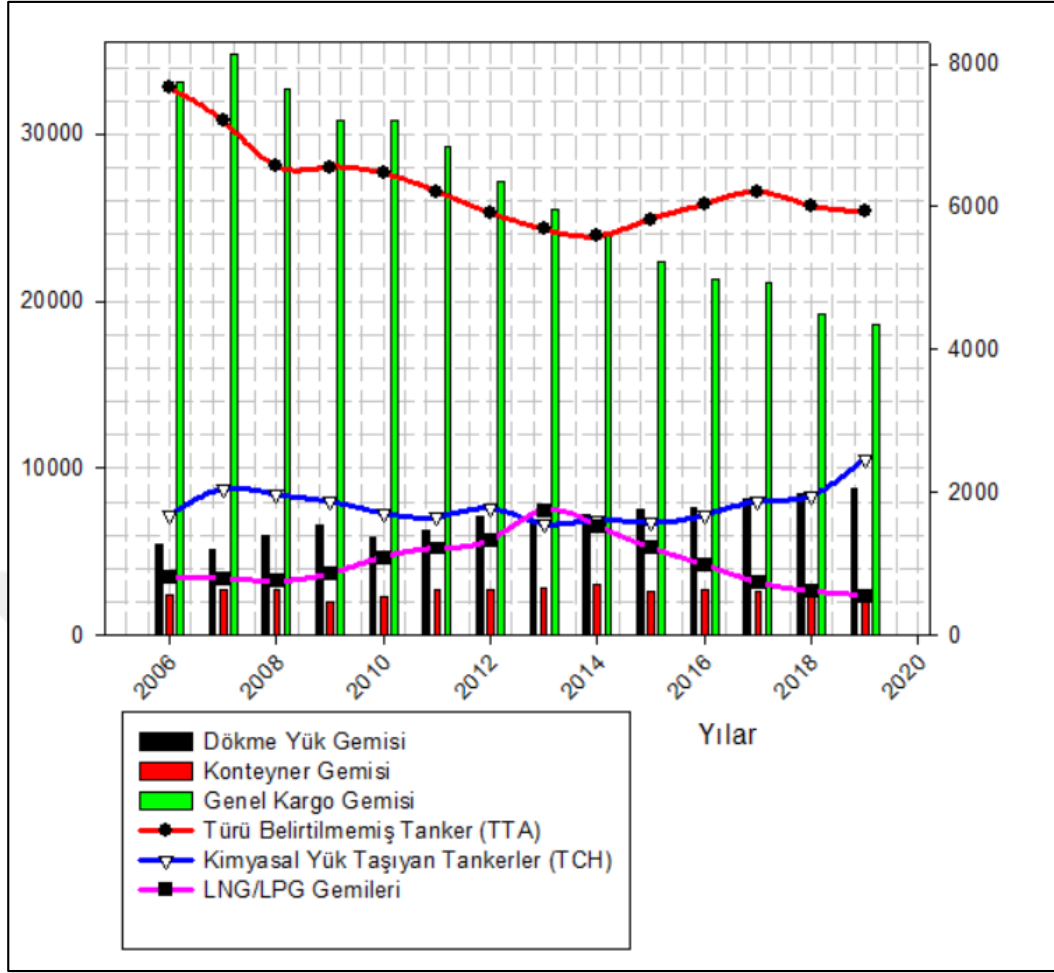
Şekil 1.16. İstanbul Boğazı gemi sayıları ile gros ton karşılaştırılması

Gemi boyu ve gros ton açısından gemilerin seneler içerisinde nasıl bir değişime uğradığını anlamak amacıyla Şekil 1.17'e bakılabilir. Burada görüldüğü üzere gemi boyları sürekli artış izlerken, 500 gros tondan daha küçük olan gemiler hızlı bir azalış göstermiş yani gemilerin gros tonları artarak yük taşıma kapasiteleri artırılma yoluna gidilmiştir.



Şekil 1.17. İstanbul Boğazı için dizayn faktörlerinin trafiğe etkisi

İhtiyaçların çeşitlenmesi ve taşımacılığın büyük hacimlerde olması isteği pek çok farklı gemi tipinin sularımızda dolaşmasına sebebiyet vermektedir. İstanbul Boğazı'nı kullanan başlıca gemiler dökme yük gemileri, konteyner gemileri, hayvan gemileri, feribotlar, savaş gemileri, yolcu gemileri, Ro-Ro gemileri, genel kargo gemileri, türü belirtilmemiş tankerler, kimyasal yük taşıyan tankerler, LNG/LPG tipi gaz tankerleri gibi pek çok türdür. Ancak en çok ticaret yükünü üzerinde barındıran gemi tipleri Şekil 1.18'de gösterilmiş ve tankerlerin arasında kimyasal yük taşıyan tanker grubunun hızla ticaret hacmini artırdığı görülmektedir.



Şekil 1.18. İstanbul Boğazı gemi tiplerinin yıllara göre dağılımı

1.7. Çanakkale Boğaz Bölgesinin Özellikleri

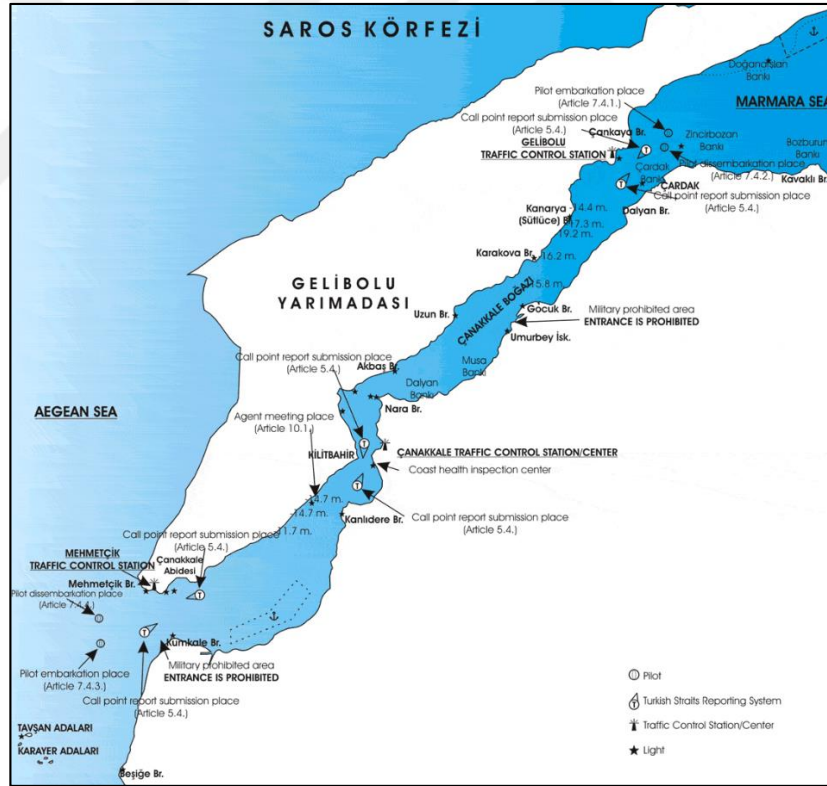
1.7.1. Çanakkale Boğazı Jeopolitik Önemi ve Coğrafi Özellikleri

Türk Boğazları kavramının önemli iki sisteminden biri olan Çanakkale Boğazı, tıpkı İstanbul Boğazı gibi kritik bir noktada yer almaktadır. Asya ve Avrupa kıtasını birbirine bağlayan iki önemli su yolundan birisidir.

İki farklı denizin geçiş noktası, hem ekonomik yönden hemde oluşumundan günümüze kadar siyasal, jeopolitik, jeostratejik açıdan önemini korumaktadır. Uğraklı ve uğraksız geçiş yapan gemiler için İstanbul Boğazı'ndan sonra en önemli ikinci geçiş noktasıdır (İlgar, 2002).

Çanakkale Boğazı; Türk Boğazlar Sistemi'nin en batısında yer alarak, kuzeyinde yer alan Marmara Denizi ile güneyinde yer alan Ege Denizi arasında bulunmaktadır.

Şekil 1.19'da görüldüğü gibi kuzeyde Zincirbozan mevkisinden, güneyde Kumkale mevki arasında yer alan bu boğaz yaklaşık 37,8 deniz mili yani 70 km uzunluğundadır. Genişliği 0,75 – 3,73 deniz mili arasındadır. Ortalama derinlik değeri 55 metre iken en derin yerinde yani en dar noktasında 113 metre derinliğe kadar inmektedir (URL-2, 2020). Tıpkı İstanbul Boğazı'nda olduğu gibi kıvrımlı ve çıkıntılı olan yapısı gereği Avrupa tarafında Gelibolu Feneri'nden başlayarak Seddülbahir bölgesinde yer alan İlyas Burnu'na kadar 78 km, Anadolu yakasında Çardak ile Kumburnu bölgesi arasında 94 km'lik bir sahil şeridinde sahiptir. En geniş yeri olan İntepe-Domuz Deresi bölgesi arası yaklaşık 7,5 km civarında, en dar yeri Kilitbahir-Çanakkale yani Nara bölgesinde 1,2 km, güney ağzında 3,2 km, kuzey ağzında 3,6 km genişliğe sahiptir (İlgar, 2015).

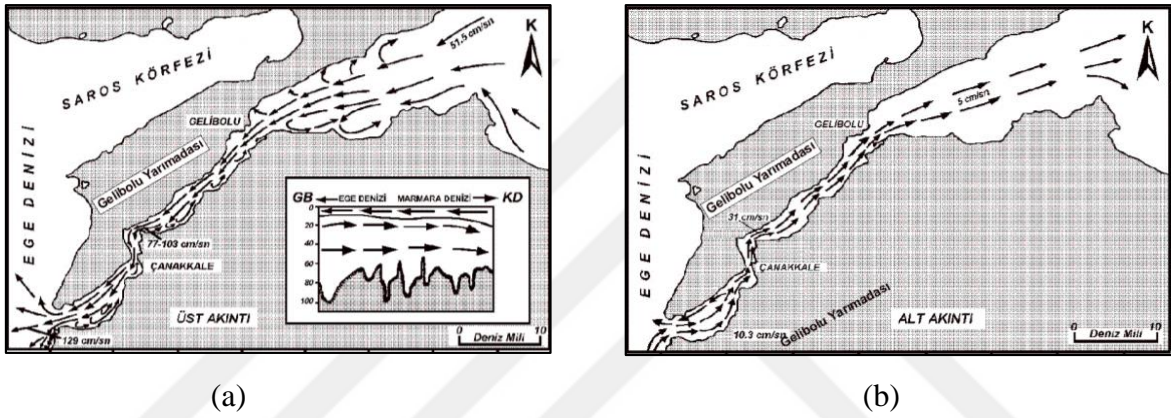


Şekil 1.19. Çanakkale Boğazı (URL-3, 2020).

Fiziksel özellikleri yönünden İstanbul Boğazı'na göre daha uzun ve daha geniş bir yapıya sahip olması seyir özellikleri konusunda da bir avantaj sağlamaktadır. Ancak dar ve

girintili çıkıntılı yapısının var olması nedeniyle gemiler İstanbul Boğazı'na göre daha uzun süre bu tehlikeye maruz kalırlar. Ayrıca kıyı bölgelerine yakın yerlerde yaşam alanlarının daha dar olması sebebiyle avantajlı konumdadır.

Gemilerin seyir esnasında maruz kaldıkları jeolojik özelliklerden olan akış rejimi, Türk Boğazları'nda mevcut olandan farksızdır. Ege Denizi ile Marmara Denizi arasında olan yükselti farkı nedeniyle yine yüzey akıntısı ve dip akıntısı oluşurken, kıvrımlı yerlerine rast gelen suyun oluşturduğu ters akıntılar mevcuttur. Şekil 1.20 bu akıntıların hangi yönlerde olduklarını göstermektedir.



Şekil 1.20. Çanakkale Boğazı Akıntı Haritası (Eryılmaz vd., 2001).

Çok dar ve kavisli yapısının getirdiği zorluklar arasında gemilerin boğazda ilerlemesi sırasında çıkan keskin rota değişiklikleri de yer alır. Bir gemi Çanakkale Boğazı'nda yol alırken 11 defa rota değişikliği yapar. Boğazın en dar yeri olan Nara , 75-80 derecelere varan en keskin dönüş rotası izlenmektedir (Karaman, 2004).

1.7.2. Çanakkale Boğazı Deniz Trafik Düzenlemesi

Gemilerin geçişlerine bir standartizasyon sağlamak, bunun yanında can, mal, çevre ve seyir güvenliğini koruyabilmek adına otoriteler tarafından bir dizi kurallar bütünü oluşturulmuştur. Bu kurallar Çanakkale Boğazı için de geçerli olmakla beraber deniz trafik düzeni yönetmelikleri, liman yönetmelikleri gibi pek çok kıstas ile belirlenmektedir. 2003 yılından beri var olan TSVTS ile de bu kısıtlar yeni teknolojiler ışığında sıkı bir şekilde ele alınmıştır.

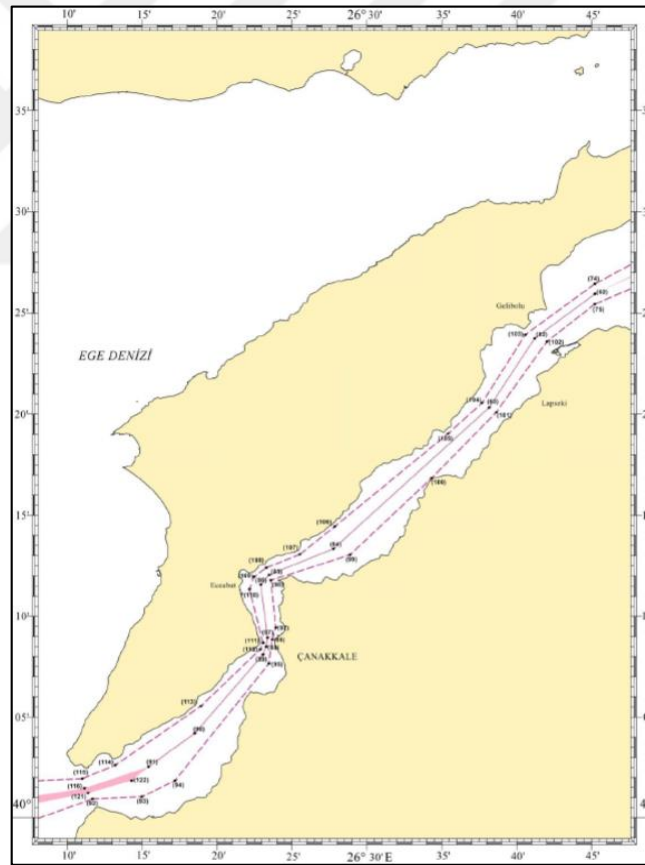
(T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019) tarafından oluşturulan “Türk Boğazları ve Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği” ve (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2019) tarafından oluşturulan “Türk Boğazları ve Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği Uygulama Rehberi” aracılığıyla oluşturulmuş bazı kurallar şu şekildedir.

- Çanakkale Boğazı’nda üst akıntı şiddeti 4 mil/saatin üzerine çıktığında, manevra hızı 10 mil/saat ve daha aşağı olan tehlikeli yük taşıyan, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler boğaza girmeyecektir ve akıntı şiddeti bu değer altına düşene kadar beklenecektir (Mad. 44,1).
- Çanakkale Boğazı’nda üst akıntı şiddeti 6 mil/saat üzerine çıktığında gemilerin hızı ne olursa olsun tehlikeli yük taşıyan gemiler, derin su çekimli gemiler, büyük gemiler kesinlikle boğaza girmeyecek ve bu değer altına düşmesini bekleyecektir (Mad. 44,2).
- Çanakkale Boğazı’nın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığı 2 mil ve daha altına düşerse boğazdan geçen gemiler radarlarını sürekli ve iyi resim verecek şekilde açık tutacaklardır (Mad. 45, 2).
- Çanakkale Boğazı’nın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığı 1 mil ve daha altına düşerse boğaz tek yöne açık tutulacak ve karşı yön kapatılacaktır. Bu sırada, tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler, derin su çekimli gemiler boğaza girmeyeceklerdir (Mad. 45,3).
- Çanakkale Boğazı’nın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığı yarım mil ve daha altında olursa boğaz çift yöne kapatılacaktır (Mad. 45, 4).
- Tam boyları 200 metre ve üzerinde olan dolu veya boş tankerler, boyu 200 metre ve üzerinde IMDG Kod 1 taşıyan gemiler ve derin su çekimli gemiler sadece gündüz periyodunda geçişlerini yapacaklardır. Nara ve Kilitbahir bölgelerinde çift yönlü geçiş yapan bu gemiler karşılaştırılmayacaktır (Mad. 14, 2a).
- Tam boyları 150-200 metre arası IMDG Kod-1 taşıyan gemiler ile tankerler Nara ve Kilitbahir geçişlerinde kendi benzerinde bir gemi ile karşılaştırılmaz (Mad. 14, 2b).
- Tam boyları 250 metre ve üzeri olan tanker ve tehlikeli yük taşıyan gemiler sadece gündüz periyodunda geçiş yapacaklardır. Bu geçiş sırasında kılavuz kaptan almaları önerilir (Mad. 14, 2c).

- Tam boyları 200-300 metre arasında tehlikeli yük taşıyan gemiler tam boyu 200 metre ve üzeri olan başka bir gemi ile ne olursa olsun karşılaştırılmayacak ve Nara Burnu'nu dönse bile karşı yönden aynı özelliklerde bir gemi boğazdan içeriye alınmayacaktır (Mad. 14, 2ç,2d).

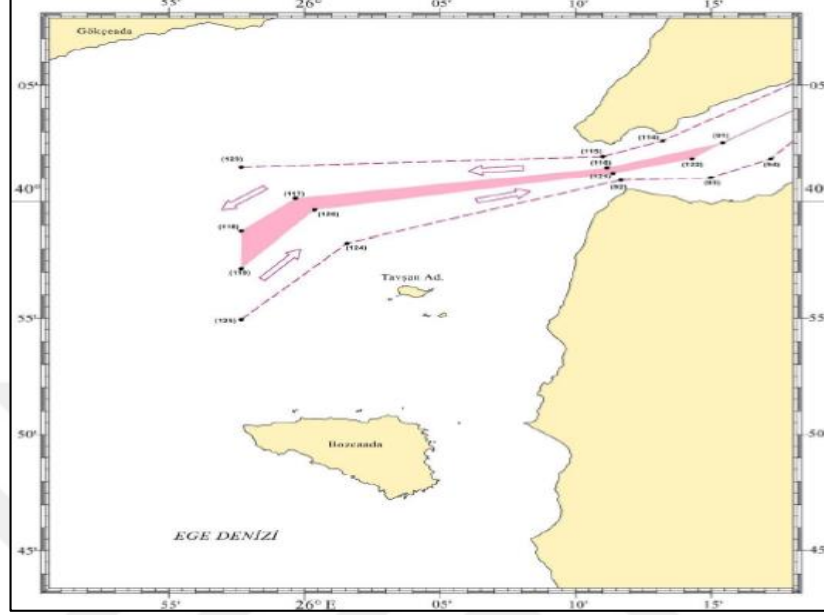
1.7.3. Çanakkale Boğazı Trafik Ayrım Şeması

Çanakkale Boğazı çift yönlü geçişe müsaade eden bir yapıdadır. İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi'nde de var olan trafik ayrım şeması Çanakkale Boğazı Boğazı içinde geçerlidir. Şekil 1.21'de sağ seyir düzenine uygun olarak düzenlenmiş trafik ayrım şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.21. Çanakkale Boğazı Trafik Ayrım Şeması (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Bu şemanın kuzey-güney yönlü ve güney-kuzey yönlü geçişlerde boğaza güneybatı girişinden giriş ve çıkış yapacak olan gemiler için ayrıntılı hâli Şekil 1.22' de yer almaktadır.

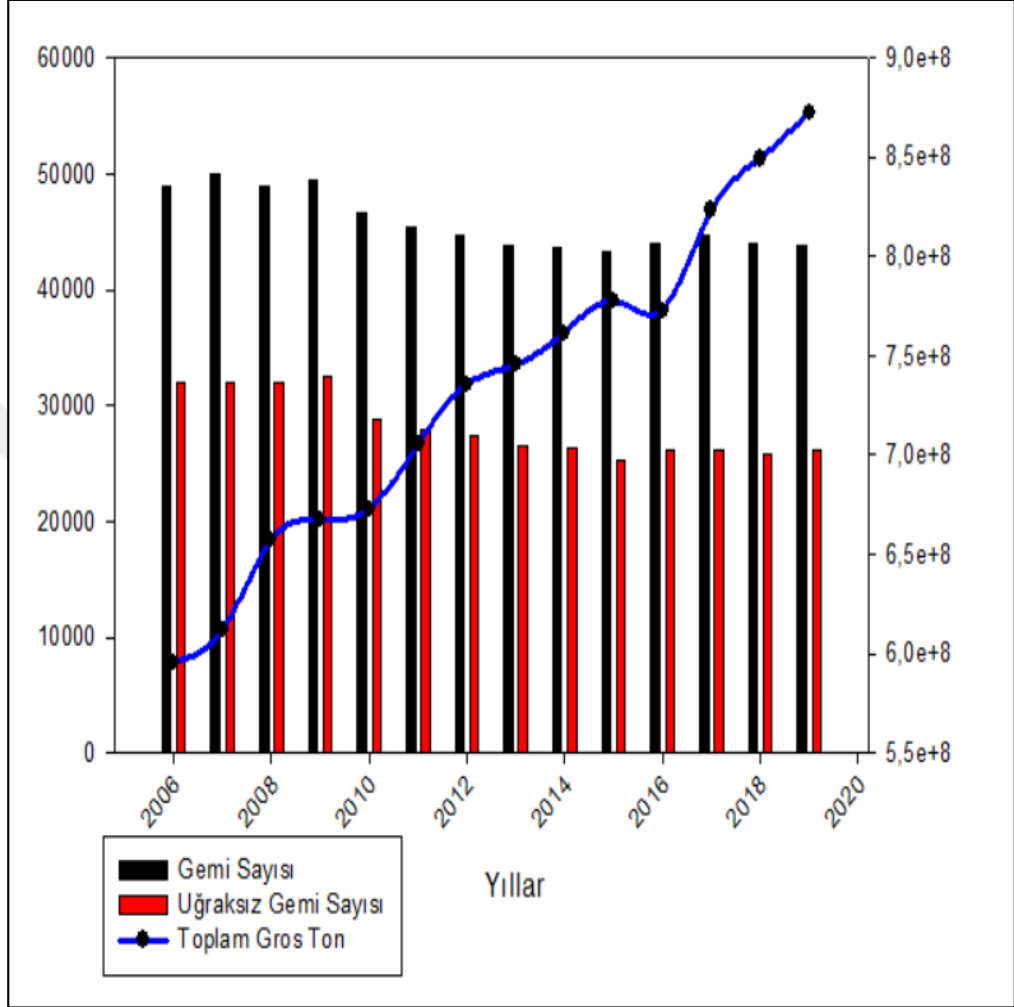


Şekil 1.22. Çanakkale Boğazı Güneybatı Yaklaşma Alanı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

1.7.4. Çanakkale Boğazı Gemi Trafik Yoğunluğu ve Gemi Tiplerinin Karşılaştırılması

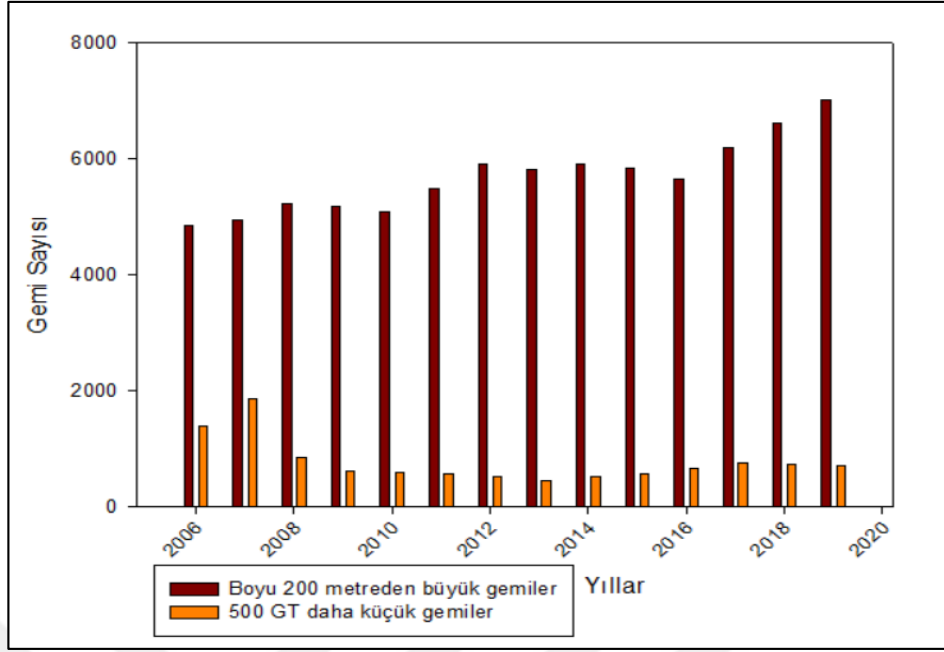
İstanbul Boğazı için geçerli olan tüm sebepler Çanakkale Boğazı için de geçerlidir. Yıl içerisinde Türk Boğazlarından geçiş yapan gemi yoğunluğuna bakıldığında Çanakkale Boğazı daha yüksek bir yoğunluğa sahiptir. Boğazda İstanbul Boğazı'ndan farklı olarak çift yönlü trafik hâkimdir. Marmara Denizi'nin üzerinde barındırdığı pek çok liman, ambarlar ve elleçleme bölgelerinin uluslararası ve ulusal ticaret için önemli olması, Çanakkale Boğazı'nın küresel ticaret için önemli bir adım olan okyanuslardan taşımacılığın ilk kapısı olmasıyla doğrudan bir ilişkisi vardır. Karadeniz ile ülkemiz arasında gerçekleşecek ticaret alternatiflerinde İstanbul Boğazı daha büyük bir önem arz ederken, Avrupa ülkeleri, Amerika ve Asya ülkeleri ile yapılacak olan ticaret alternatiflerinde Çanakkale Boğazı daha büyük bir önem arz etmektedir. Bu yüzden iki boğazın kullanılış oranları her zaman farklılık göstermektedir.

Boğazdan 2006 yılı ile 2019 yılları arasında geçiş yapan toplam gemi sayısı, uğraksız gemi sayısı ve onların gros tonajlarının değişimi Şekil 1.23 ile gösterilmiştir.

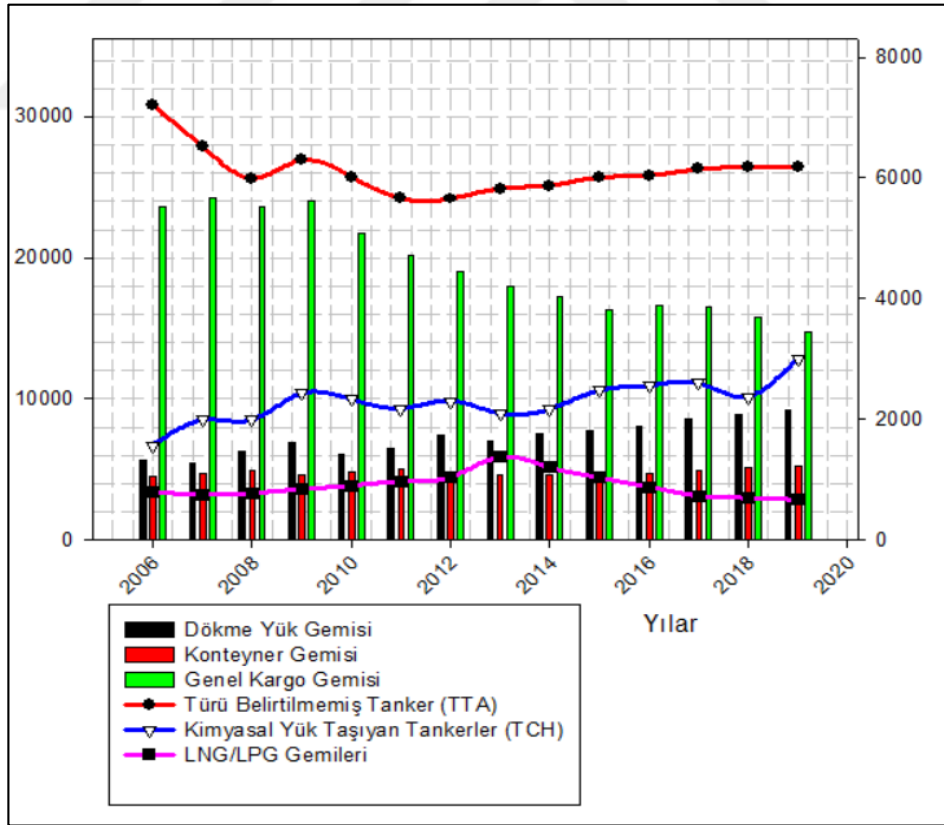


Şekil 1.23. Çanakkale Boğazı gemi sayıları ile gros ton karşılaştırılması

Gemi dizayn faktörlerinin Çanakkale Boğazı için etkilerine dair grafik ise Şekil 1.24 ile gösterilmektedir. Aynı zamanda Şekil 1.25’de gemi tiplerine göre dağılımların ve tankerlerin dağılımında meydana gelen değişimler mevcuttur.



Şekil 1.24. Çanakkale Boğazi için dizayn faktörlerinin trafiğe etkisi



Şekil 1.25. Çanakkale Boğazi gemi tiplerinin yıllara göre dağılımı

1.8. Marmara Denizi

1.8.1. Marmara Denizi Yapısal Özellikleri ve Akış Rejimi

Marmara Denizi; konum olarak İstanbul Boğazı ile Karadeniz'e bağlanan, Çanakkale Boğazı ile Ege Denizi'ne bağlanan ve oradan Akdeniz'e açılacak olan rotanın tam ortasında kalan ve alternatifsiz bir geçişin olduğu bu noktada yer alan bir iç denizdir.

Toplam olarak 164 deniz mili uzunluğuna sahip olan Türk Boğazlar Sistemi'nde Marmara Denizi 110 deniz mili ile en fazla uzunluğa sahip olan kısımdır.

Yüzölçümünün yaklaşık olarak 11.350 kilometre kare olduğu ve toplam su hacminin 3378 kilometre küp olduğu, kıyı şeridinin 1000 kilometreden fazla bir uzunluğa sahip olduğu söylenebilir. Dünya genelinde mevcut boğazlara ve iç denizlere bakıldığında hiç birinin Marmara Denizi'nin sahip olduğu özelliğe sahip olmadığı söylenebilir. Öyleki dünya üzerinde hiçbir yerde tek bir ülkenin egemenliği altında olan ve o ülkenin kıyıları ve karasuları içerisinde kalan başka bir iç deniz yoktur. Marmara Denizi'nin kuzey-güney doğrultusunda en geniş olduğu noktasının 80 kilometre, doğu-batı doğrultusunda ise en geniş noktasının 280 kilometre olduğu belirtilmektedir (Artüz, 2007).

Marmara Denizi'nin hem kendi konumunu hemde dünya üzerinde nasıl bir konumda olduğunu Şekil 1.26 göstermektedir.



Şekil 1.26. Dünya üzerinde Marmara Denizi(Norman, 2008).

Marmara Denizi'nin akıntı rejimine bakıldığı zaman aslında İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında görülen akıntının haricinde ayrı bir durum söz konusu değildir. Akıntı çeşitlerinin Marmara Denizi'ne oranla, boğazların yapısal özelliklerinden ötürü seyir zorluğuna daha çok sebebiyet verebileceği söylenebilmektedir. Marmara Denizi aslında İstanbul Boğazı'ndan sonra su kütlelerinin çok ciddi bir hacimde genişlediği bir iç deniz özelliği göstermektedir. Gemilerin geçiş yaptığı şerit kıyılara yakın olmadığından dolayı akıntıların boğazlarda olduğu kadar aktif bir rol oynadığı söylenemez.

Dünya denizlerinin tümünde etkin bir şekilde meydana gelen koriolis gücünden dolayı oluşan dairesel akıntılar Marmara Denizi içerisinde yerini üç farklı akıntı çeşidine bırakmaktadır. Bunlar kuzeydoğudan gelen yüzey akıntısı, güneybatıdan gelen dip akıntısı ve kıyı yapıları gereğince oluşan orkoz akıntılarıdır (Artüz, 2007).

Yüzey ve dip akıntısı diye iki farklı akıntının oluşmasına sebebiyet veren bazı faktörler vardır. Bunların en başında kuzey ve güney doğrultusunda olan düzey farkıdır. Aynı zamanda denizlerin farklı tuzluluk oranlarına sahip olmasında bir başka etmendir. Yıl içerisinde çok fazla yağış alan ve az tuzlu olan Karadeniz suyu kuzeyden güneye doğru hızla akarken İstanbul Boğazı'nda darlığın etkisi ile iyice hızlandığı ancak Marmara Denizi'nde tekrar hız kaybına uğradığı gözlenmektedir. Bu nedenle yüzey akıntılarının hızı en çok boğazların giriş ve çıkış noktalarında gözlenmektedir. Az tuzlu yapısı itibarıyla ve düzey farkında yukarıda kaldığı için bir yüzey akıntısı oluşturmuştur. Bunun tam tersi yönünde güneyden kuzeye doğru hareket eden ve tuzlu yapısı nedeniyle dipten geçiş yapan dip akıntısı bir yokuş tırmanma durumunda kaldığı için yüzey akıntısı kadar fazla bir hıza sahip değildir.

(Beşiktepe vd., 1994), Marmara Denizi'nde görülen bu iki farklı akım yüzeyden itibaren 25 metre derinlikte bir sınır tabaka ile ayrılarak, akış yönünde ilerlemektedir (Chiggiato vd., 2012).

Marmara Denizi için yüzey akıntılarının ve dip akıntılarının nasıl ve hangi yönde şekillendiği Şekil 1.27 ve Şekil 1.28 ile gösterilmektedir.



Şekil 1.27. Marmara Denizi yüzey akıntısı(Eryılmaz vd., 2000).



Şekil 1.28. Marmara Denizi dip akıntısı (Eryılmaz vd., 2000).

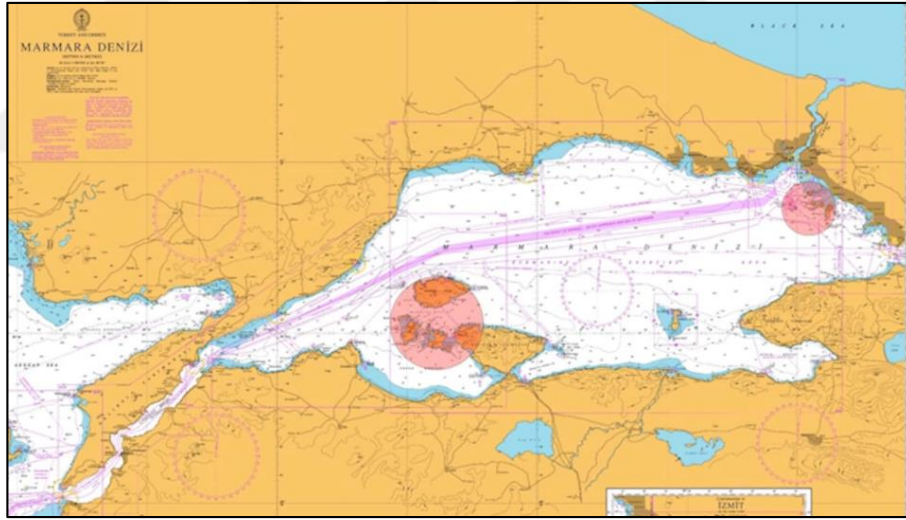
1.8.2. Marmara Denizi Trafik Ayrım Şeması

Türk Boğazlar Sistemi içerisinde en çok önem arz eden kısımlar olan İstanbul ve Çanakkale Boğazlarının yanı sıra, Marmara Denizi üzerinde çok fazla durulmamaktadır. Ancak Marmara Denizi bulunduğu konum itibarıyla gemilerin boğazlara girmeden önce demirleme bölgelerine ev sahipliği yapması ile aslında önem arz eden bir konumdadır. İstanbul Boğazı'ndan güney-kuzey yönlü geçiş yapacak olan bir geminin uğraklı olsun olmasın boğaz giriş zamanını beklemek için, ikmal yapmak için, kumanya almak için, personel değişimi yapmak için ve daha çok fazla sebepten ötürü İstanbul Boğazı'nın güney

ağzında özellikle Ahırkapı Bölgesi üzerinde gemi trafik yoğunluğu yarattığı aşikârdır. Buna ek olarak Çanakkale Boğazı'ndan kuzey-güney yönlü geçiş yapacak olan gemiler için de aynı durum söz konusudur. Çanakkale Boğazı'nın çift yönlü trafiğe açık olması demirleme bölgesinde bulunan trafik yoğunluğu açısından İstanbul Boğazı'nın tek yönlü trafiği sebebiyle bekleme durumuna göre daha rahat bir konumdadır. Bu bekleme saatleri 48 saate kadar çıkabilmektedir.

Marmara Denizi'nde gemilerin, personelin, deniz ve çevrenin korunumunun ve bölgedeki insanların can güvenliğinin ve bunları yaparken asıl hedefin seyir güvenliğinin sağlanması açısından belirlenmiş olan trafik ayırım hattı bulunmaktadır. Gemiler bu hattın dışında bir seyir güzergâhı düzenleyemezler.

Şekil 1.29 ile gösterilen Marmara Denizi trafik ayırım hattı, İstanbul Boğazı'nın güney kısmında Ahırkapı Feneri'nden, Çanakkale Boğazı'nın kuzey bölgesinde kalan Zincirbozan Feneri'ne kadar olan ve uzunluğu 110 deniz mili olan bir hattır (Kocaman, 2006).



Şekil 1.29. Marmara Denizi trafik ayırım şeması (URL-4, 2020).

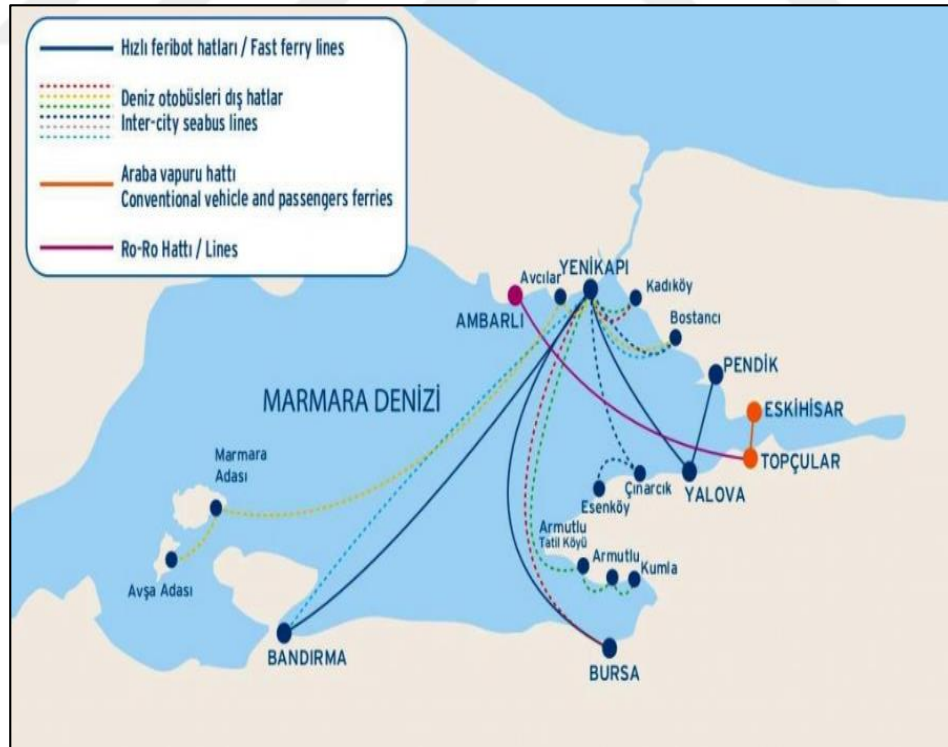
1.8.3. Marmara Denizi Trafik Yoğunluğu

Marmara Denizi kendisi ile beraber düşünülen ve asla birbirinden ayrılmayacak olan İstanbul ve Çanakkale Boğazlarının uluslararası boğaz niteliğinde olmasından dolayı, uluslararası bir iç deniz statüsündedir.

Montreux Boğazlar Sözleşmesi gereğince yabancı devletlere ait gemilerin geçişine izin vermek durumunda olan İstanbul ve Çanakkale Boğaz'larını geçecek olan bir geminin iç sular rejimine tabi olan bu iç denizi kullanması zorunludur. Bu nedenle uğraklı ve uğraksız geçiş yapacak olan gemiler büyük yoğunlukta olmak üzere günlük ve yıllık bazda bu iç denizi kullanırlar. Ancak sadece genel kargo gemileri, tankerler, konteyner gemileri gibi ulusal ve uluslararası ticari taşıma faaliyeti yapan gemiler bu güzergâhta bulunmaz.

Gemi inşa ve bakım onarım faaliyetleri açısından hızlı bir yükselme trendi yakalayan Tuzla ve Yalova Tersaneler Bölgesinin Marmara Denizi içerisinde bulunması ve uluslararası düzeyde bir hizmet sunuyor olmaları o bölgede bir yoğunluk oluşumuna sebep olmaktadır. Bunun haricinde konteyner terminallerinin, limanların, liman başkanlıklarının iç deniz içerisinde yer alması ve aynı zamanda günlük bazda İstanbul, Bursa, Yalova, Bandırma gibi iller arasında yolcu feribotlarının seferler yapması ticari trafik rotasının takip eden gemiler ile karşılaşma riskini artırmaktadır (T. Altan, 2014).

Marmara Denizi'ne ait trafik ayırım hattı haricinde hareket eden deniz araçlarının ilerlediği güzergâhlar Şekil 1.30 ile gösterilmiştir.



Şekil 1.30. Marmara içi sefer rotaları (URL-5, 2020).

1.9. Dünya Üzerindeki Önemli Kanallar

Ülkelerin yıllar içerisinde sürekli artma eğiliminde olan ticari faaliyetlerinin denizcilik açısından ne denli önemli bir boyuta geldiği bu zamana kadar olan bölümlerde anlatılmıştır. Küresel boyuta ulaşan deniz yolu taşımacılığının zamanla maksimum fayda, minimum maliyet güden işletmeciler tarafından keşfedilmesi, dünya üzerinde kritik bölgelerde bulunan bazı boğazları gemi geçişlerine olanak sağlaması yönünden zora sokmuştur. Hem de bazı bölgelerin coğrafi konumundan dolayı gemilerin takip ettikleri rotaların uzaması, seyir sürelerini gereksiz yere uzatmakta ve yakıt sarfiyatını her geçen gün daha da artırmaktadır. Bu nedenle dünya ticaretinin önemli düğüm noktalarını oluşturan boğazların yetersiz kaldıkları durumlarda, yapay olarak oluşturulmuş ve yoldan kazanç, taşımacılık maliyetlerinde düşüş sağlayarak yıllık taşınan ürün tonajını artırmaya yönelik yapılan kanal yapıları oluşturulmaya başlanmıştır.

İnsan eli değmeden kendiliğinden oluşmuş ve kara parçalarıyla bağlantılı olarak denizleri ve okyanusları birleştiren boğazların gemi geçiş sürelerini uzatmasından dolayı 19. yy'dan bu yana insan yapımı olan bu kanallardan en önemlileri Tablo 1.1 ile gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma yapılırken ulusal ve uluslararası rejime tabi olma durumuna göre kanallar ayrıştırmıştır.

Tablo 1.1. Dünyadaki ulusal ve uluslararası kanallar

Bağlantı Kurdukları Deniz/Okyanuslar/Göller	Ulusal Kanallar	Uluslararası Kanallar	Bağlantı Kurdukları Deniz/Okyanuslar/Göller
Yangtze-Pearl Nehri	Lingqu Kanalı	Süveyş Kanalı	Kızıldeniz-Akdeniz
Ontario Gölü-Erie Gölü	Welland Kanalı	Panama Kanalı	Atlas Okyanusu-Pasifik Okyanu
Hazar Denizi-Azov Denizi-Karadeniz	Don-Volga Kanalı	Kiel Kanalı	Baltık Denizi-Kuzey Denizi
Kuzey Denizi-Karadeniz	Ren-Main- Tuna Kanalı	Korint Kanalı	İyon Denizi-Ege Denizi

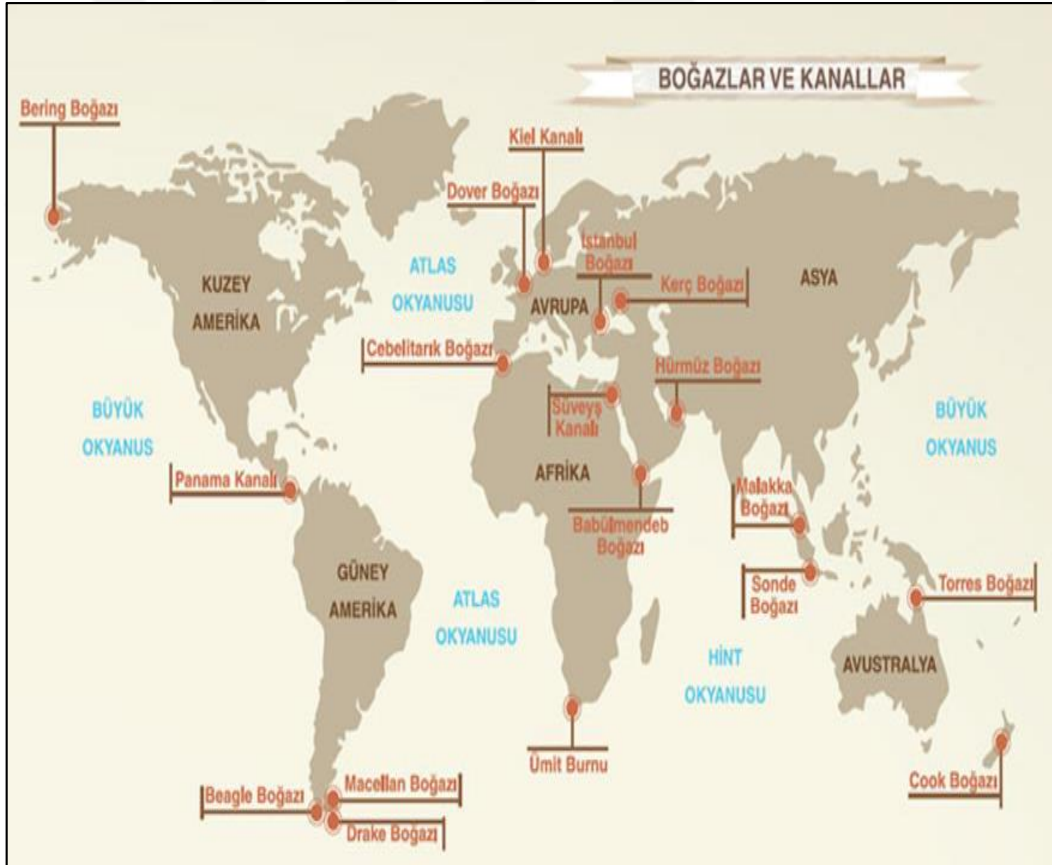
Uluslararası geçiş rejimine sahip olan kanallara ait bazı teknik bilgiler Şu Şekildedir.

- **Süveys Kanalı:** Dünya ticareti açısından çok önemli bir yerde olan Süveys Kanalı kuzeyde Akdeniz, güneyde Kızıldeniz arasında bağlantı kuran bir kanaldır. Kanalın varlığının sağladığı en büyük avantaj, gemilerin Ümit Burnu'nu dolaşmasına gerek kalmadan uluslararası ticaret rotaları arasında olan Asya/Pasifik ve Avrupa/Kuzey Amerika arasında kalacak olan deniz yolunu mümkün olduğunca kısaltarak hem zamandan hemde maliyetten bir kazanç sağlamaktır (Şahin, 2017). Teknik özellikleri bazında kanal 193 km uzunluğunda, 300 metre genişliğinde, 24 metre derinliğinde, ortalama geçiş süresinin 14 saat sürdüğü, ortalama hızın 8 knot üzerine çıkmadığı ve çift yönlü bir geçişe elverişli olması Şeklinde özetlenebilir(URL-6, 2020). Yıllık olarak kanaldan 18.880 adet gemi geçiş yapmakta ve 1.207.085 DWT'luk yük taşınmaktadır(URL-7, 2020).
- **Panama Kanalı:** Atlantik ve Pasifik Okyanusu arasında bir geçiş sağlayan Panama Kanalı Orta Amerika' nın en güney ucunda kalan Pasifik Bölgesi'nde yer alır. (Ameringer, 1963)' e göre, güney Amerika'nın en güneyinde bulunan Horn Burnu'nun konumundan dolayı 7300 deniz mili dolanmaya gerek kalmadan bir okyanustan diğerine geçiş için dünyanın en önemli su yollarından biri olmuştur (Çınar, 2018). Kanalın teknik özellikleri bazında, yaklaşık 80 km uzunluğunda, 300 metre genişliğinde, 13 metre derinliğinde olduğu söylenebilir, aynı zamanda bu kanalı kendine özgü kılan noktası, kapaklı havuzlar yardımıyla kademeli olarak yükseltilerek ve alçaltılarak gemilerin kanaldan geçmesidir (URL-8, 2020). Panama kanalını her yıl yaklaşık 14.000 adet gemi kullanmakta olup, bunun yanı sıra 469.649.173 DWT' lik yük taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir (URL-9, 2020).
- **Korint Kanalı:** Yunanistan' da bulunan yine insan eliyle oluşturulmuş yapay olan bu su yolu Korint Körfezi ile Saronik körfezi'ni birbirine bağlar. Kanal 6,3 km uzunluğunda, dar ve 24 metreye varan derin kayalıkların arasında 8 metre derinliğe kadar erişebilmiş bir yapıdadır. Coğrafi şartlarının zorluğundan ötürü kanal çok fazla genişleyememiş, derinleşememiş ve bu yüzden her türlü geminin geçişine de müsaade edememiştir. En büyük avantajı, Ege Denizi ve Adriyatik Denizi arasında seyir yapan gemiler için 400 km

yoldan bir kayıp sağlayarak tasarruf etmesidir. Ayrıca yıllık geçen gemi sayısı 11.000 civarlarındadır (URL-10, 2020).

- **Kiel Kanalı:** Kuzey Denizi'nde Elbe Irmağı'ndan başlayarak Baltık Denizi'nde Kiel limanında bulunan Holtenau'ya kadar uzanan, gemilerin Danimarka çevresini dolaşmaktan kurtararak önemli bir tasarruf sağlayan 98 km uzunluğunda, 103 m genişliğinde, 11 m derinliğinde bir kanaldır. Toplamda 7-8 saat gibi bir süre rota üzerinde seyir yapıldıktan sonra iki deniz arasında bir geçiş sağlanmış olunur. Kısa ve güvenli bir yoldur (URL-11, 2020).

Şekil 1.31'de gösterildiği gibi ülkelerin artırdıkları ticari faaliyetlerin küresel boyutta denizlerde ve okyanuslarda inanılmaz bir dolaşım ağı yaratması boğazları yetersiz kılmış ve önemli noktalarda kanallar yapılarak daha çabuk ulaşım, daha az maliyet, yıllık olarak daha fazla kargo taşınımı sağlanmıştır.



Şekil 1.31. Dünyadaki önemli boğaz ve kanallar (URL-12, 2008).

Yukarıda dünyada faaliyet gösteren en önemli dört uluslararası kanalın yapım amaçları her zaman mesafede bir minimizasyon sağlarken ticari kazanımda bir maksimizasyon sağlamaktır. Bir sonraki bölümde anlatılacak olan ve tez kapsamında incelemesi yapılan Kanal İstanbul Projesi, bu kanalların aksine yoldan kazanç sağlamayacak olan ve kendisine bir alternatif barındıran tek su yolu olacaktır.

1.10. Kanal İstanbul Projesi

Uluslararası ticaret yükünün büyük bölümünü üstlenen deniz ticaret ağı, dünya üzerindeki ekonomik ve ticari faaliyetler geliştikçe daha da artma eğilimine geçmiştir. 1930'lu yıllarda boğazdaki gemi trafiğinin 4000 adet civarı olması, yılların geçmesiyle birlikte bahsettiğimiz ticari faaliyetlerden ötürü her geçen gün artmış ve son 10 yıllık verilere bakıldığında geçiş yapan gemi sayısı 50.000 adet civarına yükselmiştir.

Geçiş yapan gemi sayılarının artışından daha önemli olan bir şey her daim boğazları tehdit altına sokabilecek olan tehlikeli yük taşımacılığı yapan gemilerin ciddi seviyede artmış olmasıdır. Daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi son yıllarda bir nebze de olsa azalma eğilimine giren gemi trafiği teknolojiden olumsuz yönde etkilenmiştir. Dünyayı her yönüyle, her dakika etkilemekte olan teknoloji gemi inşaa sanayisinde de tabiki önemli derecelere gelmiştir. Gemilerin dizayn boyutları değişmiş ve boy, en, draft, derinlik boyutları büyümüş ve en önemlisi yük taşıma kapasiteleri önemli ölçüde artmıştır. Bu durumu etkileyen en önemli faktör deniz taşımacılığında taşıma maliyetlerinin çok yüksek oranlarda artması olmuş ve bu durum rekabet etme gücünü olumsuz yönde etkilemiştir. Ana felsefesi tek seferde daha fazla yükü bir noktadan başka bir noktaya daha az yakıt ve daha az insan gücü ile taşımak olan şirketler büyük gemiler tercih eder hale gelmişlerdir.

Bahsedilen durumların boğazlarımıza olan etkisi ise, İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nın doğal boğaz yapısına sahip olarak coğrafi yapılarının zorlu şartlara sebebiyet vermesi ve gemilerin seyir şartlarını zorlaştırmalarıdır. Hem artmakta olan gemi sayılarını hem de yeni nesil dizayn edilen gemileri belli bir sürede taşıyamaz hale gelebileceği ön görülebilir.

İstanbul Boğazı'nın proje kapsamında ön görülen 2070 yılı için 50.000 adet civarı olan gemi geçişinin 86.000 adet olacağı çalışmalar kapsamında düşünülmektedir (Yüksek Proje, 2018).

Kanal İstanbul Projesi kapsamında ilk etapta incelenmesi gereken yer İstanbul Boğazı olmalıdır. İstanbul Boğazı'nın tek yönlü bir trafiğe sahip olması, insanların yerleşik olarak yaşam yerlerinin boğaz kıyısı şeridi boyunca devam etmesi tehlike boyutunu daha da artırmaktadır. Bu doğrultuda Karadeniz'den Marmara Denizi'ne oradan da Akdeniz'e açılan en önemli ve alternatifsiz bir yol olan İstanbul Boğazı'na alternatif bir güzergâh oluşturma düşüncesi her zaman bir fikir olarak belirmiştir.

Eski tarihlerden beri düşünülen bir fikir olmasına karşın Kanal İstanbul Projesi tam anlamıyla ilk defa 2011 yılında konuşulmuştur. Genel olarak projenin geçmişine bakılacak olursa Nisan 2011 yılında duyurulmasından sonra, 2017 senesine kadar aralıklı haberleri çıkmış ancak Ocak 2017 yılında artık yapım çalışmalarının başlanacağı duyurulmuştur. 2018 yılında yapılması düşünülen güzergâh netleşmiş ve kamuoyuna açıklanmış, 2019 yılında ilk "Kanal İstanbul Projesi Çevre Etki Değerlendirme Raporu" yayınlanmıştır (Megaİstanbul, 2020).

Genel itibariyle Kanal İstanbul Projesi'nin yapılma sebepleri maddeler halinde aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- İstanbul Boğazı'nın coğrafi yapısının seyir etkisine olumsuz yaklaşımı
- Tehlikeli yük taşımacılığının hızla artması ve bu durumun İstanbul Boğazı'nı riske etmesi
- İstanbul Boğazı'nın kıyı şeridi boyunca yerleşim yerlerinin olması
- İstanbul şehrinin tarihi yapısının bu güzergâh hattı boyunca bulunması
- İstanbul Boğazı'nın ulusal ve uluslararası gemi trafiği süresince iki yaka arasında yerel trafiğin yüksek miktarda sefer planlaması
- Boğazın olumsuz akıntı özellikleri ve meteorolojik özellikleri
- Boğazı kullanan gemilerin tek yönlü bir güzergâhı takip ederek, tek yönlü trafiğe maruz kalması
- Gemilerin dizayn özelliklerinin teknolojinin etkisi ile gelişerek büyümesi

Bu etkiler dâhilinde düşünülerek yapılması önerilen Kanal İstanbul Projesi'nin İstanbul Boğazı gemi trafik yükünü bir nebze olsun azaltacağı düşünülmektedir.

(Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)'a göre, "Çevresel Etki Değerlendirme Raporu" proje için amacı, İstanbul Boğazı içerisinde bulunan gemi hareketliliğinden kaynaklı baskıyı azaltmak ve gerçekleşmesi muhtemel olabilecek olan deniz kazalarının yaşanmasını önleyerek boğazda can, mal, seyir ve çevre güvenliğini hem ülkemiz için hem de Türk Boğazlarını kullanan diğer ülkeler için sağlamak, İstanbul Boğazı'ndaki kültürel

yapıyı koruma altına alarak gemi sayısını minimize etmek, tek yönlü trafik sebebiyle boğazın kuzey ve güney girişlerinde uzun süreli beklemler yapan gemiler için bir alternatif yaratmak olarak bildirilmiştir.

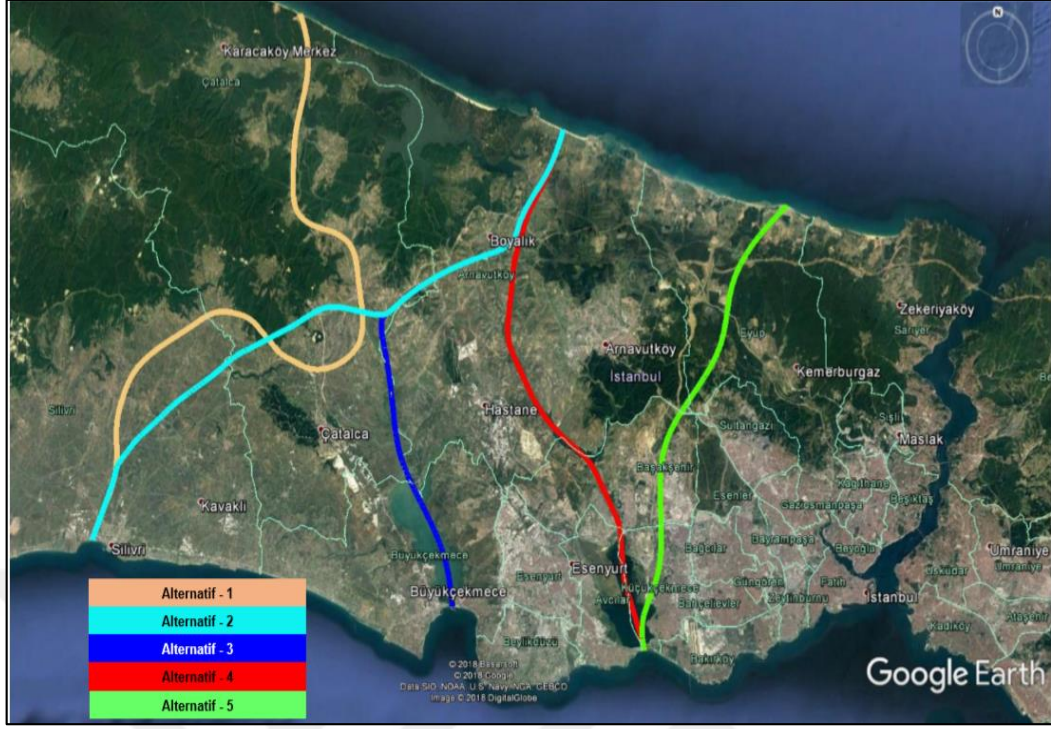
Ayrıca (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019), “Kanal İstanbul Projesi’ni”, Karadeniz’ i Marmara Denizi’ne bağlayan, güneyde Küçükçekmece Gölü ve Sazlıdere Barajı ile kuzeyde Durusu Bölgesinden Karadeniz’e ulaşan güzergâh ile İstanbul’un Avrupa yakası içerisinde kalan, boğazın gemi trafik yükünü hafifletecek olan ve tehlikeli yük taşıyan tanker, LNG-LPG gibi gemilerin olası tehlikelerini minimize edecek olan 45 km uzunluğunda olması öngörülen, hukuki kurallara tabi yapay bir su yolu olarak tanımlanmaktadır.

Yapılması söz konusu olan Kanal İstanbul Projesi’ nin tamamlanma yılına herhangi bir sorun olmadan ulaşılması, uygun bir şekilde tasarlanması ve gerekli olan her koşul için hassas ölçümler yapılarak değerlendirilmesi ve rutin bakımlarının yapılması ile 100 yıllık bir işletme süresine sahip olacağı düşünülmektedir.

1.10.1. Kanal İstanbul Projesi Alternatif Güzergâhları

Kanal İstanbul Projesi için ilk etapta en önemli olgu şüphesiz güzergâhının ne olacağı olmuştur. Bu sebeple uygun güzergâhın ne olacağına karar verilene kadar birçok rota üzerinde durulmuş ve sonunda birinde karar kılınmıştır.

Öncelikle 5 ana güzergâh üzerinde durulmuş ve yapılması düşünülen proje ve proje içerisine dâhil pek çok yapıyı kaldırabilecek oluşu, geçiş yapacak olan gemilerin dizayn özelliklerine cevap verecek biçimde oluşu, çevreyi ve ekonomiyi kötü yönde etkilemeyecek olması gibi pek çok etmene göre değerlendirilmiş ve elenmiştir. Ayrıca alternatif rotaların değerlendirilmesi işleminde en önemli faktörlerden biri güzergâhın geometrisi ve rotanın geçiş uzunluğudur. Rota boyunca geminin kanal içerisinde kalış süresi ne kadar uzarsa deniz emniyeti o kadar tehlikeye girmektedir. Bunun yanında mesafenin artışı gemiler için yakıt sarfiyatını arttırdığından ve deniz, hava kirliliğine daha çok sebep olacaklarından kısa rota seçimi bir avantaj sağlayacaktır. Tüm yapılan bu değerlendirmelerin sonunda Şekil 1.32’ de gösterilen alternatif güzergâh konumlarından 4 numaralı alternatif rota seçilmiştir. Bu güzergâh üzerinde gemiler beş kere rota değişimine maruz kalacaklardır. Ayrıca rotalar 17° şeklinde modelize edilmiştir. Gemilerin bağlama alanları ve manevraları kolayca yapmaları açısından tüm alternatiflere göre Alternatif-4 en uygun alternatif olmaktadır.

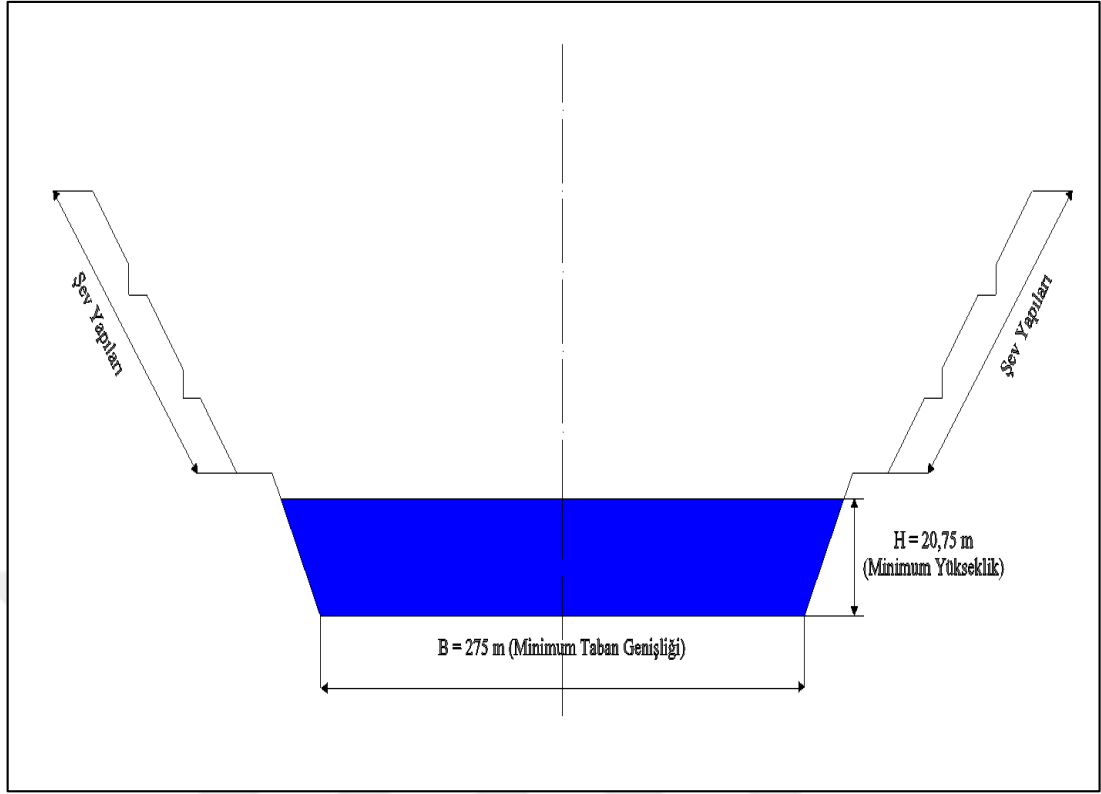


Şekil 1.32. Kanal İstanbul Projesi olası güzergâhları (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Güzergâhların uygunluğu noktasında pek çok kriter arasından iyi yönlü seçilen Alternatif-4 güzergâhı, güney uçta Küçükçekmece Gölü'nden başlayarak, Sazlıdere Barajı'nı, Sazlıbosna Köyü'nü, Dursunköy ve Baklalı Köyü'nü de içine alarak kuzey uçta Terkos Gölü'ne ulaşarak oradan Karadeniz'e açılan bir rota izlemektedir.

1.10.2. Kanal İstanbul Projesi Teknik Özellikleri ve Tasarım Gemileri

Bir önceki bölümde anlatılan güzergâhta yapılması öngörülen proje için elbette bir takım kısıtlamalar olması muhtemeldir. İstanbul Boğazı'nda gemi karakteristikleri açısından herhangi bir kısıt yoktur. Ancak kanal kullanımında gemilerin dizayn boyutları için belirli sınırlamalar mevcut olacaktır. Öncelikle kanalın yapısal karakteristiğine bakılacak olursa kuzey girişinden güney çıkışına kadar devam edecek olan hatta 45 km bir rota uzunluğu olması planlanmaktadır. Görsel olarak nasıl bir yapıda olacağı Şekil 1.33 'te gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.33. Kanal İstanbul'un enkesit formu

Yukarıdaki şekile baktığımızda taban boyunca genişliğin 275 metre olacağı, tabandan yüksekliğin ise 20,75 metre olacağı açıkça ÇED Raporunda belirtilmiştir. Ancak şekilde görüldüğü gibi kanalı kenarlarından saracak olan ve şev adı verilen eğimli basamak yapılarının kanal boyunca değişim göstermesi düşünüldüğünden kanal genişliği ile ilgili kesin bir yargıda bulunulmamıştır. Bu eğimli yapıların en dik olması ön görülen yerlerde kanal genişliğinin minimum 360 metre olması, en geniş bölgesi olacak Küçükçekmece Gölü'nün genişliğinin ise kanalın en yüzeyde en geniş yer olacağı söylenmektedir. Verilen veriler minimum ölçülerdir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Kanalı kullanacak gemilerin bazı prototipleri simülasyon tabanlı programlarda denenmiş ve maksimum sınırlar belirlenmiştir. Bazı gemi tipleri için bu çalışmalar yapılmıştır. Tablo 1.2 ve Tablo 1.3 için ilgili değerler (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019) 'dan edinilmiştir.

Tablo 1.2'de üç tip gemi için maksimum sınırdaki değerler verilmiştir. Bu değerleri aşan gemi tipleri kanal yapısına uygun olmadığı için kanalı kullanamayacaktır.

Tablo 1.2. Kanal İstanbul tasarım gemilerin dizayn özellikleri

	Tanker	Konteyner	Kruvaziyer
LOA	275 m	350 m	333 m
LBP	260 m	334 m	296 m
B	48 m	49 m	37,9 m
t (Tam Yük Draftı)	17 m	16 m	8,4 m
DWT (Net Ağırlık Tonajı)	176,000	185,700	63,300

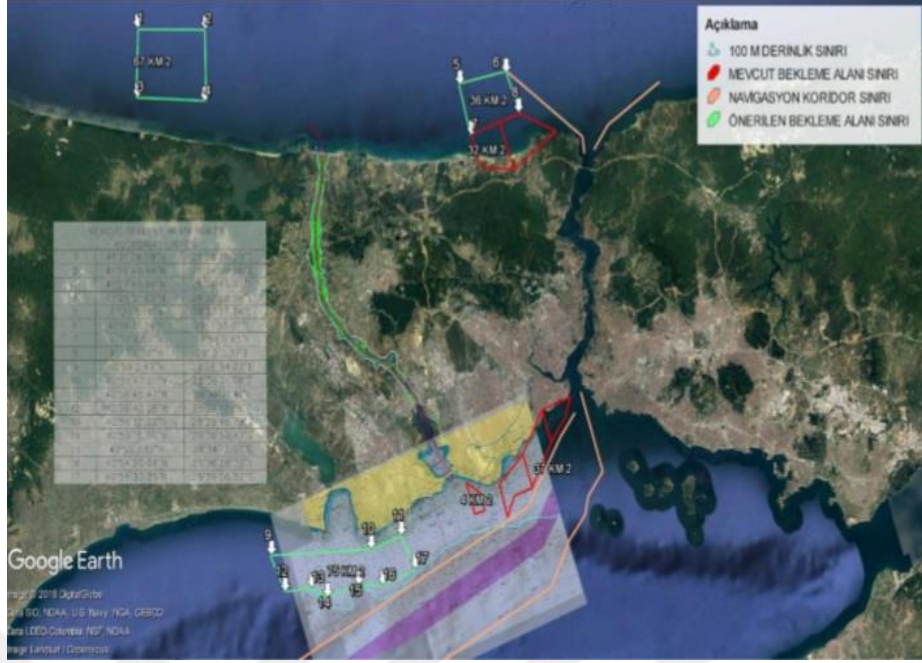
Kanalı kullanacak en büyük geminin tasarım parametreleri aşağıdaki Tablo 1.3 'de verilen değerlerdedir.

Tablo 1.3. En büyük gemi için dizayn faktörleri

	LOA	B	T	Air Draft
En Büyük Gemi	275-300 m	50 m	17 m	54-58 m

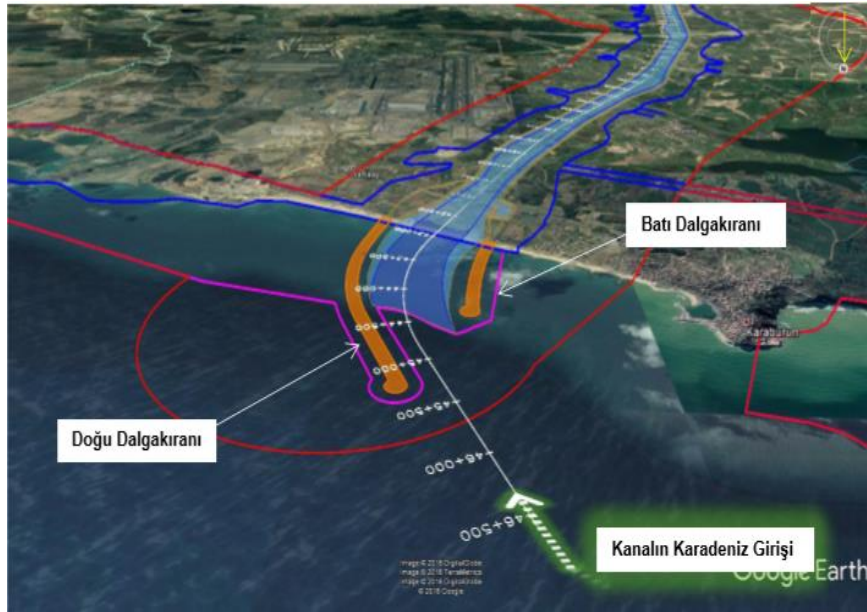
1.10.3. Kanal İstanbul Projesi Seyir Özellikleri

Kanal İstanbul'u kullanacak olan gemiler için seyir sınırlamaları da tabii ki mevcut olacaktır. Tıpkı İstanbul Boğazı'nda olduğu gibi gemi trafiğinin tek yönlü olması planlanmıştır. Ancak bu trafik yönünün İstanbul Boğazı'nda olduğu gibi 12 saat kuzey-güney yönlü, 12 saat güney-kuzey yönlü olup olmayacağı bilinmemektedir. Gemiler kanalın güney ve kuzey girişlerinde belirlenmiş bekleme alanları içerisinde giriş için sıra bekleyecektir. Bu bekleme alanları Şekil 1.34'de gösterilmektedir. Kırmızı ile gösterilen bekleme alanları aynı zamanda İstanbul Boğazı'nı kullanan gemiler için de ortak bekleme alanıdır. Bu bekleme alanları Karadeniz'de 32 km², Marmara' da 41 km² olarak belirlenmiştir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).



Şekil 1.34. Kanal İstanbul Karadeniz-Marmara Bekleme Alanları (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Kanal İstanbul'a Karadeniz ve Marmara'dan giriş yapacak olan gemiler için giriş noktaları Şekil 1.35 ve Şekil 1.36 ile görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 1.35. Kanal İstanbul Karadeniz Girişi (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).



Şekil 1.36. Kanal İstanbul Marmara girişi (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Kanal İstanbul seyir rejimi gereği kötü hava şartlarında ve seyri imkânsız kılan deniz şartları altında kesinlikle gemilerin seyir yapmalarına izin vermeyecektir. Tüm gemiler seyir için kılavuz kaptan ile geçiş yapmak zorundadır. 7 gün 24 saat herhangi bir aksaklık yaşanmadığı sürece aktivitesi devam edecektir. İstanbul Boğazı'nda olduğu gibi kuzeyden güneye giden gemiler, güneyden kuzeye giden gemilerden daha kısa sürede kanalı geçeceklerdir. Kuzeyden güneye ve güneyden kuzeye doğru giden gemiler için belirlenmiş süreler Tablo 1.4 üzerinde belirtilmektedir.

Tablo 1.4. Kanal İstanbul gemi geçiş süreleri

KG Gemi Geçiş Süreleri (saat)	GK Gemi Geçiş Süreleri (saat)
2.2	2.4
1.9	2.4
2.5	3.0
2	3

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yöntem

2.1.1. Sistem, Model ve Simülasyon Kavramları

Hayat boyu gelişimini devam ettirmekte olan üretim ve yeni sistemler kurma isteği rekabetçi bir dünya içerisinde var olmaya devam edecektir. Bu isteğin devamında daha efektif ancak yatırım maliyeti daha düşük olan sistemler yaratma ihtiyacı vardır. İhtiyaçlara başlarda analitik olarak yanıtlar verilerek problemlerin çözümü yapılmak istenmiş olsada bir süre sonra bu yöntemler yetersiz kalmıştır. Analitik çözümler, ancak basit sistem elemanlarının arasındaki ilişkiyi anlayabilmek adına geliştirilen cebirsel veya teoriksel matematiksel modellerin kullanılabildiği durumlarda bir çözüm üretebilecektir (Law ve Kelton, 2000). Gerçek hayat problemleri her zaman çözümü daha zor ve teorikte çözülmesi analitik olarak mümkün olmayacak kadar karmaşık çözümlere sahip problemlerdir. İnsan zihninin bu denli karmaşık sistemleri algılayarak, çözümleyebilecek yeteneğe sahip olmaması sebebiyle başka yöntemler ile çözümlenmeler yapılması gerekmektedir. Realistik modellemelerin yapılmasında bilgisayar tabanlı belli başlı simülasyon yazılımları vazgeçilmez birer seçenek olmuşlardır. Geçmişte çok eskiye dayanmasa bile kırk yılı aşkın bir zamandır simülasyon çok farklı ve sayıca çok fazla alanda kullanılmaktadır (Kelton vd., 2011). Ancak simülasyon kendi içerisinde tek bir odak olarak görülmemelidir. Aslında sistem ve model kavramları etrafında şekillenebilir olduğu anlaşılmalıdır. Bu yüzden bu kavramlar içerdikleri değişkenler ve bileşenler ile sonraki bölümlerde ifade edilecektir.

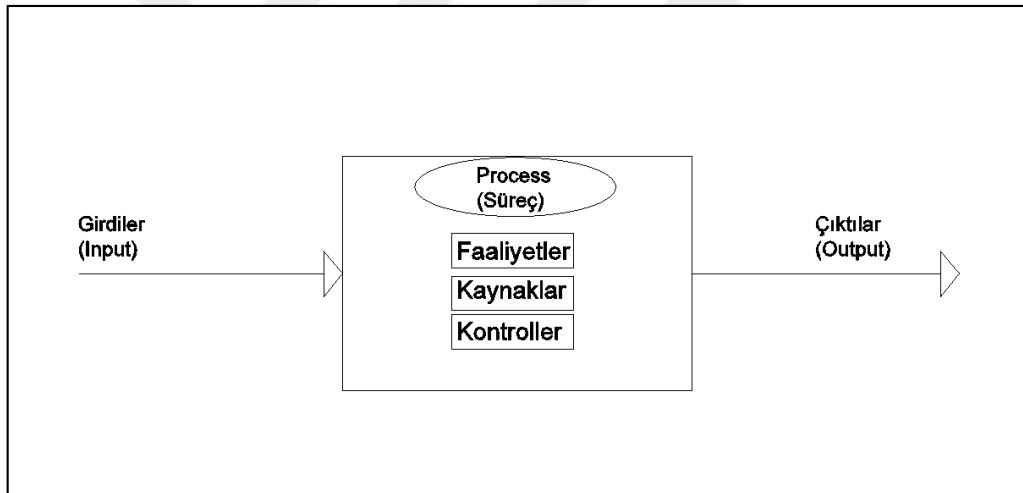
2.1.1.1. Sistem

Sistem, ana mantığında bir amacı ortaya koymak için bir araya gelmiş “entity” olarak adlandırdığımız, çalışmanın konusuna göre şekillenecek olan olguların bir araya gelerek belirlenen zamanlar içerisinde bir bütün oluşturmasıdır (Bonney vd., 1971). Sistemlerin tümü içerisinde insan, parça, makine vb. gibi çok sayıda, farklı “entityler” barındırır, bunun yanı sıra başka değişkenler de sistem içerisinde mevcuttur. Buna bir örnek (Fishman, 1978) tarafından, bir banka için gerekli olan bankacı sayısının belirlenmesi ile ilgili bir çalışmada

yer verilmiş ve müşterilerin nakit para, yatırımsal faaliyetler, kredi faaliyetleri gibi farklı isteklerine cevap verebilmek adına meşgul bankacılar, bankada mevcut müşteri sayısı ve müşterinin işini bitirerek bankadan ayrılana kadar içeride geçireceği süre gibi değişkenler sistem için ortaya koyulmuştur (Law ve Kelton, 2000).

Sistem pek çok farklı tanım ile anlatılabilir. (Ersöz, 2019)'e göre, oluşturulması düşünülen bir sistem yapısı için belirli sınırların olduğu, çevresinden etkileneceği ve en önemlisi bir girdi, çıktıya sahip olacağı, varlıkların kendi içerisinde matematiksel ve mantıksal olarak bir araya gelmesi gerektiği şartlarını sağlaması durumunda bir sistem oluşabileceği ortaya konulmuştur.

Sistemi meydana getiren ana elemanlar Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Bu şekil en basit haliyle sistemi tanımlar. Girdiler ve çıktılar olarak tanımlanan varlıklar sistemi oluşturmada kullanılan “ entity “ adıyla farklı özelliklere sahip nesnelere sahiptir.



Şekil 2.1. Sistemin basit ifadesi

Bir sistemin bütün olarak sahip olması gereken öğeler şunlardır (Ö. Aydın, 2015);

- Sistemin Girdileri
- Sistemin Çıktıları
- Sistemin Geri Beslemesi
- Sistemin Çevresi
- Sistemin Sınırları

Girdi değişkenleri dışsal değişkenler, strateji değişkenleri, rassal değişkenler, deterministik değişkenler olarak gruplandırılırlar. Çıktı değişkenleri ise girdi değişkenleri gibi gruplandırılmazlar. Geri besleme kavramı, sistem içerisinde mevcut proseslerde görülen işlerin takibini yaparak bu takip esnasında meydana gelebilecek her türlü kararın kontrolü hakkında bilgilerin karar vericiye aktarılması durumudur (zden, 2015). Girdi değişkenleri olarak adlandırılan kavramların, hizmet kanalında bazı süreçleri tamamlamasından sonra sistemi terk ederek belli sonuçları sağlaması sistemin çıktılarını oluşturmaktadır. Sistem evresi, her sistemin dışında mevcut olarak bulunan ve her daim sistemi etkileyecek olan bir yapıyı tanımlamaktadır.

Sistem kuruluşu için çok büyük önem arz eden bir takım bileşenler Şekil 2.2 ile ifade edilmiştir.

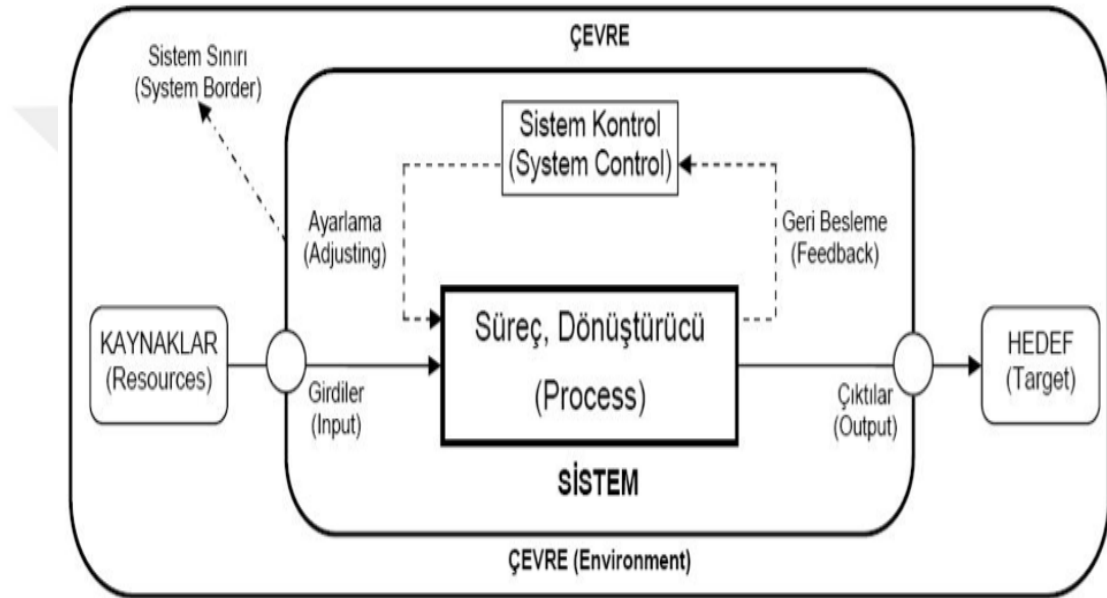


Şekil 2.2. Sistem bileşenleri

Durum, belirlenen herhangi bir zaman dilimi içerisinde nesnelere faaliyetlerini belirtir. Aktivite, sistemin bulunduğu konumdan başka bir konuma, yani proses değişkeni olarak, geçişinde hareketlerini tasvir eder. Bu aktivite dışsal faaliyet ve içsel faaliyet olarak ayrılır. İçsel faaliyetler sistemin belirlenen sınırları içerisinde meydana gelen faaliyetlerken, dışsal faaliyetler sistem sınırları dışarisinde gerçekleşerek sistemi etkileyen faaliyetlerdir. Varlık sistem içerisine entegre edilen “entity” dediğimiz olgudur (Ocaktan, 2016). Kısıt,

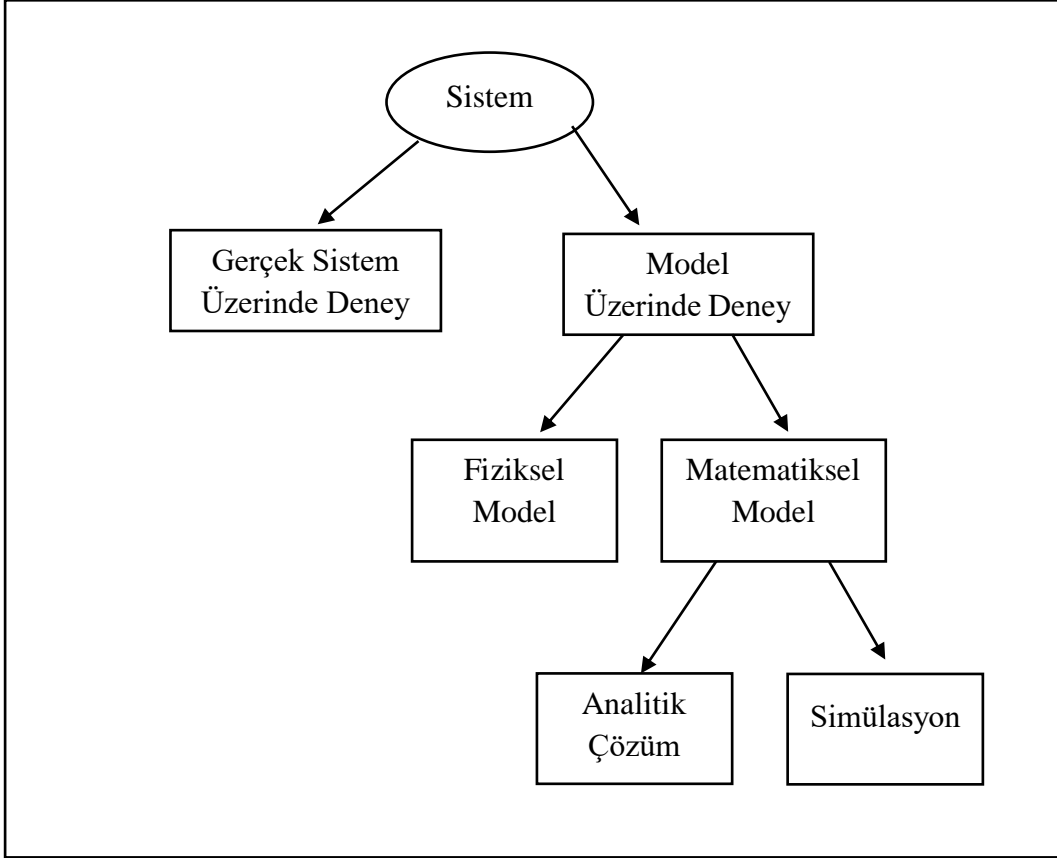
sistem bileşenleri arasında bir sınır oluşturabilmek adına değişkenlerin süreç boyunca birbirleri üzerinde etkide bulunacak kısıtlamaları gösterir. İlişki kavramı sistem değişkenlerinin arasındaki her türden etkileşimin ne yönde olduğunu ifade eder. Parametre, her sistem için farklı olabilecek bazı durumlarda olmasına gerek duyulmayan ve analiz boyunca kullanılan sabit bir katsayıdır.

Yukarı da bahsedilen bileşenlerin ve değişkenlerin genel bir gösterimi Şekil 2.3'de ifade edilmiştir.



Şekil 2.3. Sistemin genel yapısı (URL-13, 2016).

Sistem ile simülasyon arasında olan bağ ise basit bir şekilde Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere simülasyonun en temeli sistem ve sistemin bütünleştiricisi olan model yapısıdır.

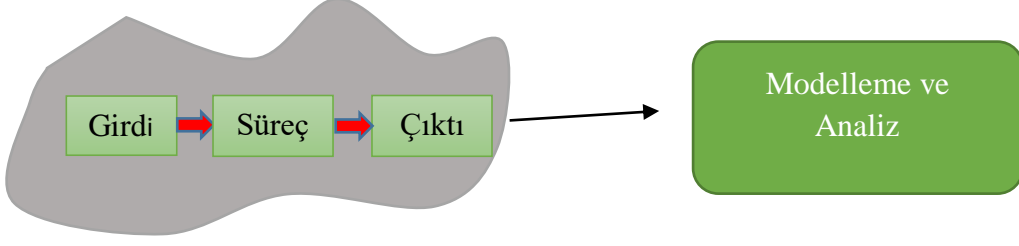


Şekil 2.4. Sistem çalışma hiyerarşisi (Law ve Kelton, 2000)

2.1.1.2. Model

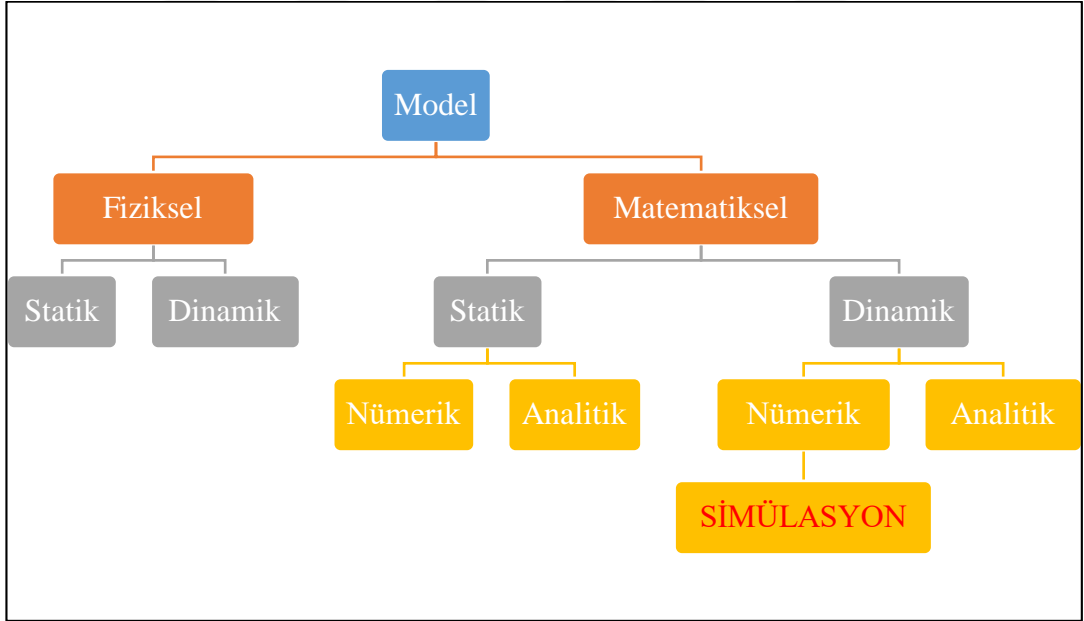
Sistemlerin anlaşılabilir olması için içerdiği bileşenler ile birlikte resmedilmesi gerekir. Model tanımsal olarak, oluşturulmuş bir sistemin işlemleri sonucunda elde edeceği sonuçlara ulaşmak için yeterli detaya sahip bir sistem gösterimidir (Ersöz, 2019).

Sistem elemanları arasında ilişkilerin ortaya konulması aşamasında uygulanmak istenilen işlemler yani deneyler her zaman sistem üzerinde yapılmaya elverişli olmadığı için bir model uygulaması üzerinde bunları gerçekleştirmek her zaman daha pratik ve akılcı bir işlem olacaktır (Ocaktan, 2016). Soyut olarak hayal edilen bir olayı sistemleştirerek sonrasında modelleştirmek her kişi için farklı şekilde bir oluşum gösterir. Ancak temelinde model kavramı her akıl için bir başlangıç noktasından hareketle oluşmaktadır. Planlanmış bir sistemi oluşturma işleminden sonra modelleme ve analiz aşaması gelmektedir. Bu geçişe örnek teşkil edecek bir görsel Şekil 2.5 ile gösterilebilir.



Şekil 2.5. Sistem ve model arasında ilişki

Gerçek dünya problemlerinin ve yapılarının anlaşılmasının zorluğu, onları basitleştirerek zihinde somutlaştırmayı sağlaması açısından model kavramı çok önemlidir. Sistem konusunda anlatılan bilgiler dâhilinde tüm bileşenleri ile bir sistem ortaya konulması ilk aşamadır. Bu noktada artık modelin ihtiyacına göre matematiksel mi yoksa fiziksel bir model mi oluşturulması gerektiği sorusuna cevap aranmalıdır. Şekil 2.6 modelin alt elemanlarını göstermektedir.



Şekil 2.6. Model tipleri (URL-13, 2016).

Fiziksel modellere örnek olarak rüzgâr tünelleri içerisinde performansları ölçülen araba modelleri, dalga havuzlarında testleri yapılan küçük ölçekli gemi tiplerinin modelleri ve pilot eğitimlerinde uçak simülatörlerinin modelleri olarak gösterilebilir. (Swart ve Donno,

1981)'e göre, fiziksel modeller, birer “ikonik” model olarak adlandırılır ve bu modellemenin mühendislik faaliyetleri için prototip oluşturmada, masaüstü model oluşturmada ve tam ölçekli fiziksel modellerin oluşturulmasında yararlı olabileceklerdir (Law ve Kelton, 2000). Fiziksel ölçütlerin daha önemli olduğu ve görsel prototiplerin oluşturulması gereken durumlarda kullanılan modellerdir.

Matematiksel modeller, sistem davranışlarının deneysel gözlemler ile değil de, sistemin temsili bir formu olabilecek formülasyonlar aracılığıyla süreç davranışlarını gerek analitiksel yönden gerekse bilgisayar programları yoluyla gözleme imkânı sunmaktadır. Modelleme işlemi gerçek bir veri seti üzerinde yapılmadığı durumlarda, bilgisayar modellemesi aracılığı ile yapılma fırsatı verdiği için kolay, ucuz ve daha hızlı bir yol olarak karşımıza çıkmaktadır.

Model daha basit bir form ise, matematiksel yöntemlere dayanan kuyruk teorisi, diferansiyel metodlar, lineer-nonlinear programlamalar bu formların çözümlerinde çok iyi çalışacaktır. Fakat kolay analitik formülasyonlar ile rahatça modelleme yapılamayacak durumlarda sayısal cevapları üretebilmek için simülasyon ile çalışmak zorunludur. (Kelton vd., 2014).

Statik ve dinamik modeller arasında yapılacak olan ayırmda statik modeller kendi anlamından da anlaşılacağı gibi zaman ile herhangi bir ilgisi olmayan durağan haldeki sistemleri tanımlamada kullanılırlar. Dinamik modeller ise sürekli değişkenlik gösteren ve direkt olarak sistemin işleyişinde zaman kavramını önemseyen modellerdir.

Analitik yöntemler denklemlerin çözüme uygun bir şekilde matematiksel olarak bir araya gelmesiyle elde edilmiş bir bütündür. Nümerik yani sayısal yöntemler ise bir dizi hesaplama aşamalarını baz alarak ilerleyen simülasyonu da içerisinde barındıran bir yöntem grubudur (URL-13, 2016).

2.1.1.3. Simülasyon

Matematiksel formülasyona dökme zorluğu ve analitik yönden sorunların çözümünün zor olduğu durumlarda bir kolaylık sağlaması açısından simülasyon tekniği çok önemli bir araçtır. Bu zamana kadar anlatılan konular itibariyle en başta sistemin peşi sıra gelen model oluşturma kavramı yapılan işin aslında süsleme yani sanatsal bir yönünü ortaya çıkartırken, simülasyon modeli kurma işlemi işin bilimsel bir yönünü ortaya koyar (Ersöz, 2019).

Üretim içerisinde olan her türlü işletme, rekabet dünyası içerisinde talep türlerine göre yeterli esnekliği sağlayabilmek için üretim olanaklarının sistem performansını artırıcı yönde yeni modeller geliştirerek, değişimleri düşük maliyetli ve hızlı şekilde tasarımları gerekmektedir (Kırbaş, 2013). Devamlı olarak artış göstermekte olan tüketici istekleri çeşitlenmiş ve artmıştır. Teknolojinin daha az geliştiği dönemlerde tüketici istekleri o yönde daha az olmaktadır. Ancak günümüzde teknolojinin kendini yenilediği her gün, üretimlerin değişimine ve gelişimine bir ön ayak olma etkisi göstermiştir. Bu durumda tüketicinin sürekli ürüne daha hızlı, daha ucuz ve daha kolay yoldan erişim isteği oluşmuş ve oluşmaya devam etmektedir.

Simülasyon, sistem içerisinde gerçekleşen davranışların sonuçlarını görsel olarak ortaya koyabilen, bunu yaparken tüm senaryolar ve detaylar ile sistemin iç süreçlerini, operasyonlarını taklit ederek gerek animasyon olarak zihinde anlamlandırmayı, gerekse matematiksel olarak sonuçları analiz etmeyi sağlayan bir sistem taklitidir.

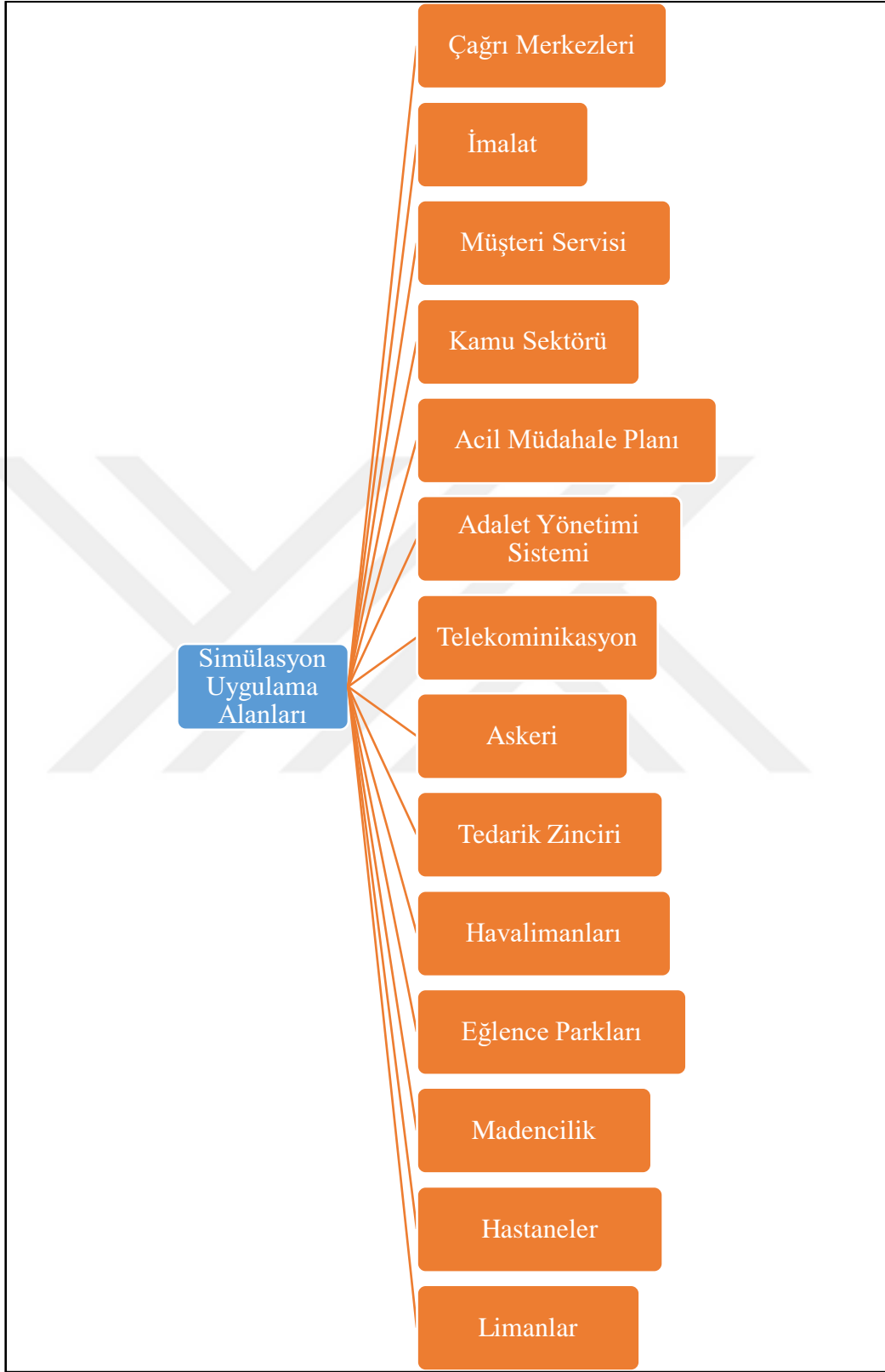
Simülasyonun oluşturulabilmesi için aşağıda maddeler halinde yer alan bazı elemanlar bir araya gelmelidir.

- Değişkenler
- Bileşenler
- Ölçütler
- İlişkiler
- Parametreler
- Varsayımlar
- Kısıtlar (Ersöz, 2019)

2.1.1.3.1. Simülasyonun Kullanım Yeri

Gerçek dünya problemleri artık en büyük işletmelerden, orta ölçekli üretim faaliyeti gösteren kurumlara hatta bireysel olarak bir sistem ortaya koyarak performans analizi yapmak gibi pek çok farklı kullanıcının uygulamalarında kendine yer bulmaktadır. Bu kullanım alanlarından bazıları Şekil 2.7’de gösterilmektedir.

Simülasyon bilinenin aksine sadece üretim hatlarında kullanılan bir yöntem olmayıp Şekil 2.7’ de uygulama alanlarının bir kısmına yer verilmiştir. Buradan simülasyonun aslında ne kadar geniş bir alanda çalışma fırsatı sunan bir yöntem olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.7. Simülasyon uygulama alanları (Kelton vd., 2011).

2.1.1.3.2. Simülasyonun Dünü, Bugünü, Yarını

Günümüz şartlarına kıyasla eskiden bu denli büyük işletmelerin var olmaması ve problemlerin bu şartlarda olduğu gibi çok karmaşık olmaması simülasyonun kullanımını geçmiş zamanlara kadar götürmemiştir. Çoğu durumda analitiksel açıdan sorunlara cevaplar bulunabilmiştir. Ancak sanayileşme faaliyetlerinin büyümesi ve üretimde arz talep dengesinin artması küçük işletmelerden büyük şirketlere geçiş aşamalarında etkili olması sebebiyle daha gelişmiş sistemlere olan ihtiyaçlar artmıştır.

Simülasyon geçmişi itibariyle 40-50 yıllık bir dönemi kapsamaktadır. Bu dönemler öncülük dönemi, yenilik dönemi, devrim dönemi, gelişim dönemi olarak şekillenmektedir (Robinson, 2005). İşte bu gelişme aşamasında simülasyonun evrimi ile alakalı olan bir bölüm aşağıda sunulmuştur.

2.1.1.3.2.1. Simülasyonun Geçmişi

1950 ve 1960'lı yılları kapsayan dönemlerde simülasyon tekniklerinin kullanımı bir yana, matematiksel modeller ile işlem yapabilme yeteneğine sahip olan herhangi bir uygulama bile erişim yönünden oldukça kısıtlı, kolayca çalıştırılmayan, problem çözme kapasitesi ileri düzeyde olmayan uygulamalardı (Kelton vd., 2014). Bu uygulamaların kullanıldığı programlar döneminde kısıtlı sayıda olan bilgisayarlarda işlem yapma yeteneğine sahip olduğu için işlem lisansları çok pahalı olarak ediniliyor ve bu yüzden sadece o dönemde yatırım yapılmasına inanılan çelik üretimi yapan ve uzay çalışmaları yapan büyük şirketler bazında kullanılabilir olmasına sebebiyet veriyordu. Bu dönemlerde de simülasyon programları şimdiki etkinliğinde olmadığı için karmaşık süreçleri içerisinde barındırarak, çok hizmet kanallı sistemlerde fazla veri ile çalışmaya elverişli değillerdi. Bundan dolayı sadece yatırım yapılacak olan noktaların kararını verirken kullanılan simülasyon 1980' li yılların sonlarında evrilmeye başlayarak üretim faaliyetlerine geçmeden önce kaynak oluşturabilmek adına kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojinin evrimi ile doğru orantılı olarak simülasyonun gelişebilmesinde ana etken olan bilgisayarların gelişimi o dönemlerde daha yavaş olduğu için simülasyon da aynı oranda gelişimini tamamlayamamıştır. Bu yüzden sadece yüksek yatırımlar yapabilme kabiliyetine sahip

büyük şirketler ölçeğinde kullanımına devam edilen benzetim seksenli yılların sonuna kadar küçük çaplı işletmelerde kullanılamamış ve yaygınlığını sürdürmemiştir.

2.1.1.3.2.2. Simülasyonun Bugünü

Küçük işletmelerin bile 1990' lı yıllarda artık büyük çaplı şirketler ile rekabet haline girmesiyle birlikte projelerini büyütme isteği ve global hitap etme isteği oluşmuştur. Bu büyüme isteği ile birlikte gerçek bir olayın modelini oluşturmaya olan ihtiyaç aslında artık bir zorunluluk haline gelmiştir (Kelton vd., 2014). Çünkü yapılan her türlü faaliyet içerdiği soru işaretleri ve bileşenleri itibariyle sürekli gelişim ve ilerleme süreci içerisine girmektedir. Yapılacak olan herhangi bir yatırım veya üretim için ilerleyen aşamalarda kendilerini ne bekleyeceğini öğrenmek için şirketler simülasyon uygulamalarını benimsemeye başlamışlar ve düşünsel olarak tasarlayıp gerçekte yapmayı planladıkları her türlü projenin ilk aşamalarında bu uygulamalardan yararlanmaya başlamışlardır. Ancak yine de günümüzde simülasyon gerek kişisel dizayn ve projelerin ortaya koyulmasında, gerekse büyük ölçekli işler yapan yerler açısından tam anlamıyla standartize olmuş bir uygulama olamamıştır.

2.1.1.3.2.3. Simülasyonun Geleceği

Daha öncede değinildiği gibi simülasyonun uygulama alanları saymakla bitirilemeyecek kadar fazladır. İnsanların zaman içerisinde istekleri ile doğru orantılı olarak artacak yeni birimler ve teknolojinin sürekli olarak geliştiği bu evrede gelecek için simülasyonun aynı yerde kalabileceği olgusu pek akılcı gelmemektedir. Bugün bile yapay zekânın kullanım alanlarının çok küçük yaşlara inmiş olması, görselliğin bu denli önem arz etmeye başlaması geniş kitleler tarafından gelecekte kabul göreceği anlamına gelmektedir. Kişisel yönden pek çok alanda insanlar artık hayal ettikleri birçok şeyi taklit ederek gerçek deneyimleri oturdukları yerden kazanım haline getirmek istemektedirler. Büyük yapıların üretimleri, işlem faaliyetlerini gerçekleştirmeleri açısından simülasyon kullanım kolaylığı, sonuç verme hızı, kurulmuş bir model üzerinde sürekli değişikliklere izin vermesi ile optimizasyon konusunda bir kolaylık sağlaması, senaryolar bazında değerlendirme olanakları ile kuşkusuz tek olacaktır. Tabii tüm bu gelişmelerin oluşabilmesine ön ayak olan bilgisayar sistemlerinin gelişimi simülasyon uygulamalarının diğer tüm uygulama tipleri ile entegrasyonunu daha iyi sağlayabilecek bir konuma gelmesine vesile olacaktır.

2.1.1.3.3. Simülasyon Çalışmasının Yapılma Amacı

Tasarımın gerçek olarak var olmadığı, ancak gerçeğinin belli koşullarda ortaya koyulmak istendiği fakat analizinin çok detaylı bir şekilde yapılmak istendiği durumlarda başvurulan simülasyonun yapılma amaçları detaylandırılmıştır.

- Gerçek sisteme erişimin olmaması veya zor olması
- Gerçek sistem ile yapılacak olan deneylerin ortam şartları için yarattığı tehlikeler
- Gerçek sistem ile yapılacak olan deneylerin çevre için rahatsız edici olgular içermesi
- Sistemin matematiksel yönden modellenmesini yapamamak ve analiz edememek
- Sistemin fizik olayları gibi bazı olaylar kapsamında çok hızlı veya çok yavaş gelişiyor olması
- Sistemin gerçekte deney yapmaya ekonomik yönden elverişli olmaması (Sözen, 2007)

2.1.1.3.4. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları

2.1.1.3.4.1. Simülasyonun Avantajları

Benzetim yöntemlerinin avantajları aşağıda belirtilmektedir (Ersöz, 2019).

- Simülasyon modellerinin oluşturulmasında uzmanlık gerektirecek analitik bilgilere ihtiyaç duyulmaz.
- Simülasyon sayesinde kurulmuş olan sistem modelinde parametrelere, bileşenlere istenildiği durumlarda müdahale edilebilir ve değişik senaryolar altında sistemin davranışları gözlenerek, analiz edilebilir.
- Analitik yöntemlerde olduğu gibi sistemi bir kısıt içerisine sokmadan daha esnek bir hareket imkânı sunar.
- Gerçek hayat problemleri sistem olarak matematiksel ifadelerden çok simülasyon ile daha doğru ifade edilebilir.

- Değişkenlik gösteren senaryolar altında alternatiflerin değerlendirilmesine olanak sağlayarak uygulamaların gerçek sistem üzerinde denenmesine müsaade eder.
- Simülasyon sayesinde sürekli yeni alternatifler gözlemlenebildiği için farklı açılardan sistem düzenlenebilir.
- Gerçek sistemi oluşturup üzerinde deneyleri yaparak iyi mi yoksa kötü bir yatırım mı olup olmayacağını ekonomik yönden herhangi bir harcama yapmadan, bir kaynak yatırımı yapmadan test etme fırsatı sunar.
- Duyarlılık analizi yapılmasına katkı sağlar.
- Uzun zaman sürebilecek olan çalışmaların çok kısa sürede test edilmesine olanak sağlar.

2.1.1.3.4.2. Simülasyonun Dezavantajları

Benzetim yönteminin dezavantajları aşağıda sıralanmıştır (Ersöz, 2019).

- Modeller sistem özelinde geliştirildiği için genellikle her sistem için bir model kullanılır. Çoklu sistemlere uygulanabilecek kadar geniş bir modelleme oluşturulamaz.
- Simülasyon içerisinde ilgili parametreleri değiştirmeden, sisteme sınırlar koymadan, kısıtlar getirmeden herhangi bir değişim gözlenemez.
- Kodlama için her sisteme karmaşık yapısına uygun bir süre harcanır. Bu durum bazı zamanlarda çok uzun bir zaman alabilir.
- Modelleme sırasında doğru bir yol izlenmezse yanlış bir model ortaya konulmasına yol açar. Sonuçların yanlış olmasına ve hatalı işlemler yapılmasına sebebiyet verilebilir.
- Simülasyon senaryo bazında değerlendirmede iyi olsa bile, optimizasyon kısmında biraz yetersiz kalabilmektedir.

2.1.1.3.5. Simülasyon Çeşitleri

Simülasyon modellerinin ayrıştırılmasında üç farklı yaklaşım gurubu vardır. Bu gruplar Şekil 2.8 'de kategorize edilmiştir. Yaklaşımlarda kendi içlerinde iki farklı gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.8. Benzetim çeşitleri

2.1.1.3.5.1. Statik Simülasyon Modelleri

(Sevgin, 2000)'e göre, statik model, sistemin belirli bir anındaki gösterimi olup, zamandan etkilenmeyen bir model türüdür. Model içerisinde meydana gelen olaylar zamanın değişimine göre değişiklik göstermez (K. Aydın, 2007).

Zamandan bağımsız olarak hareket eden, yani zamanın model için önemli olmadığı, olayların rassal, stokastik, deterministik olup olmamasıyla ilgilenen bir simülasyon yöntemidir. Ancak zamanın kritik derecede değerli olabileceği üretim amaçlı sistemlerin oluşturulmasında kullanımı uygun olamayacak bir model türüdür.

2.1.1.3.5.2. Dinamik Simülasyon Modeli

Tamamen zaman kavramı etrafında şekillenen bir model türüdür. Üretim hatları gibi sistemin işlemesi sırasında belirli çalışma saatlerine mutabık kalınacak durumlarda, bir çok operasyonel çalışmada dinamik simülasyon modelleri kullanılır.

Bu tezin konusu gereği tamamen süre odaklı datalar barındıran bir veri seti kullanılması sebebiyle olayların zamanla değiştiği dinamik bir simülasyon modeli olabileceği söylenebilir.

2.1.1.3.5.3. Deterministik Simülasyon Modeli

Deterministik yani belirli simülasyon modelleri rassal herhangi bir girdi içermez. Girdi olarak tanımlanan veri setleri aynı şekilde çıktı veri seti olarak kendine yer bulur. Kimyasal tepkimeler gibi girdi olarak gösterilen maddelerin tek bir madde oluşturarak sistemi terk etmesi durumu buna örnek gösterilebilir (Ersöz, 2019).

2.1.1.3.5.4. Stokastik Simülasyon Modeli

Stokastik yani anlam olarak barındığı rassallığı içerisinde bulunduran ve olasılıklı olarak tanımlanan simülasyon modelidir. Deterministik simülasyon modellerinin tam aksinde rassal değişkenler içeren bir modeldir.

Stokastik simülasyon modelinin kurulduğu bir sistemde çıktılar rassaldır ve olasılıklar içerirler. Bankalarda gelen müşterilerin işlem zamanlarının ne kadar süreceği, müşteriler arasında bekleme sürelerinin ne olacağı, servis zamanlarının ne olacağı gibi durumlar bu duruma örnektir (Ersöz, 2019).

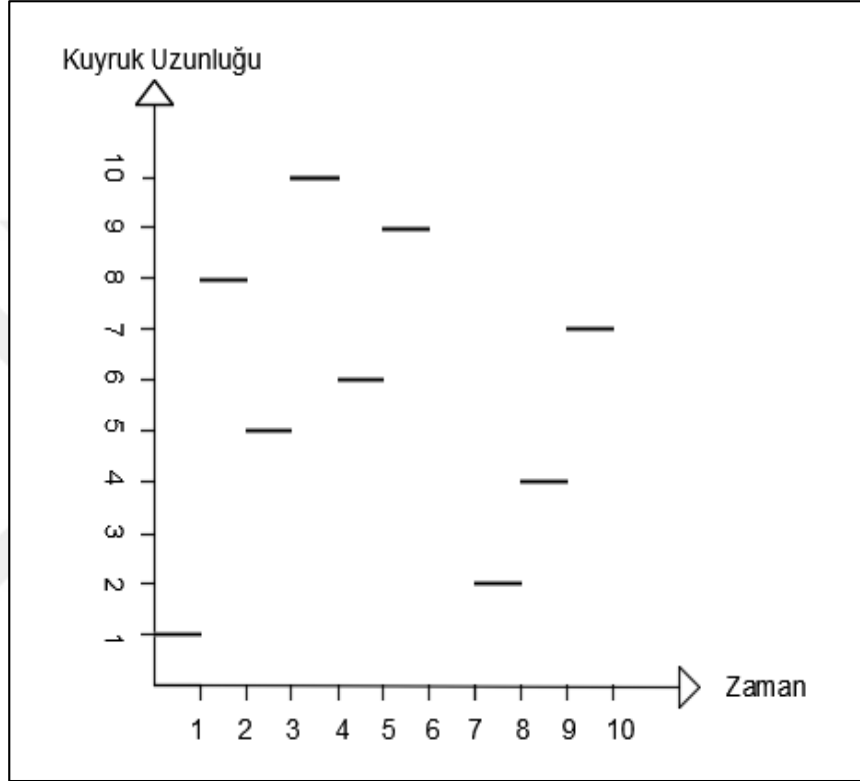
Bu tezin konusu gereği sisteme işlenen verilerin rassallık içermesi sebebiyle stokastik simülasyon modeline uyumlu olduğu söylenebilmektedir.

2.1.1.3.5.5. Kesikli Simülasyon Modeli

Eğer durum değişkenleri sadece zaman süresince anlık olarak değişiyorsa, değişkenler ayrılıyorsa ve dinamik bir model mevcutsa biz bu modele kesikli simülasyon modeli diyebiliriz. Kuyruk modeli gibi simülasyon modelleri kesikli simülasyon modellerine çok uygun bir yapıdadır (Kelton vd., 2011). Kuyruk modellerinde sistem kuyruğunun uzunluğu, “server” olarak adlandırılan hizmet kanalının zaman içerisinde doluluk oranı, “entity” lerin sistemden ayrılışı, hizmet kanallarının servise ara vermesi gibi kesikli olarak tabir edilecek olaylar bütününde zamana göre değişmesi örnek olarak gösterilebilir.

Kesikli simülasyon modelinin grafik olarak nasıl bir dağılıma sahip olduğu Şekil 2.9'da gösterilmektedir.

Bu tezin konusu gereği gerçekte mevcut bir sistemin taklidi olacağından, sistemi meydana getiren olayların belirli zamanlar dâhilinde dönüşüp değişeceği düşünüldüğü için kesikli simülasyon modeline uygun olduğu söylenebilmektedir.

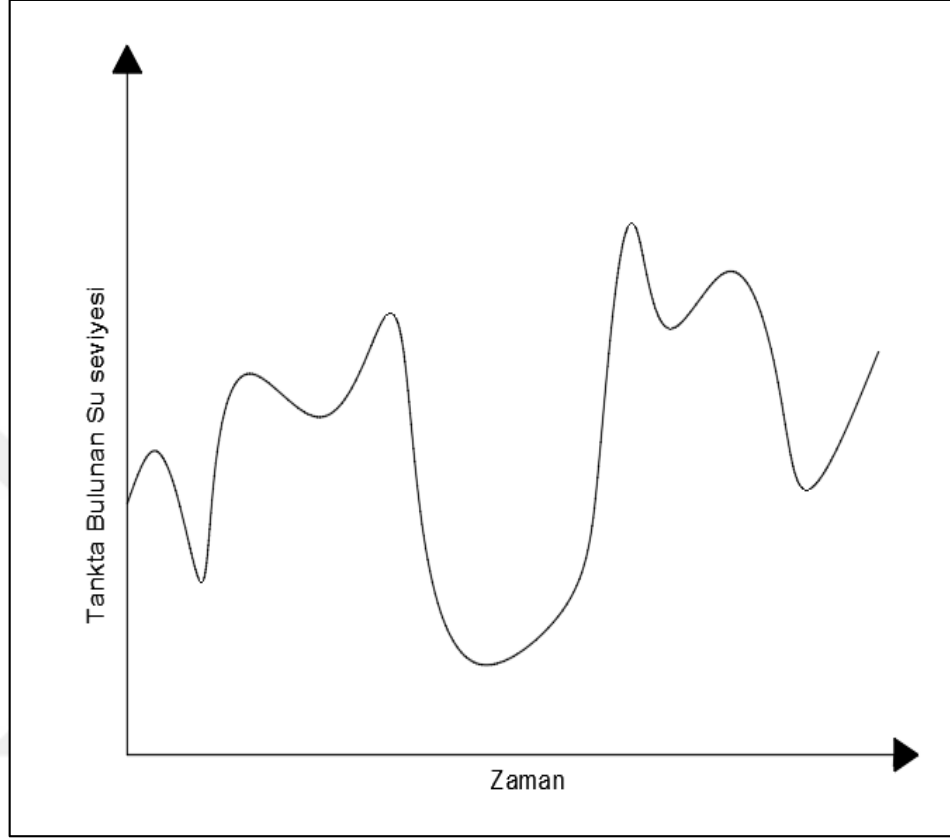


Şekil 2.9. Kesikli simülasyon dağılım grafiği

2.1.1.3.5.6. Sürekli Simülasyon Modeli

Eğer durum değişkenleri bir simülasyon modelinde zamanlar dâhilinde sürekli değişime uğruyorsa bu model yapısı sürekli simülasyon modeli olarak adlandırılır. Bu modele uygun bir örnek verilecek olursa su tanklarındaki su seviyesinin sürekli olarak tanımlanan bir zaman diliminde sürekli değişime uğraması olabilir. Herhangi bir makinenin de çalışma süreci boyunca işlediği parça sayısının işlem sonucunda sayılması da örnek verilebilir (Kelton vd., 2011).

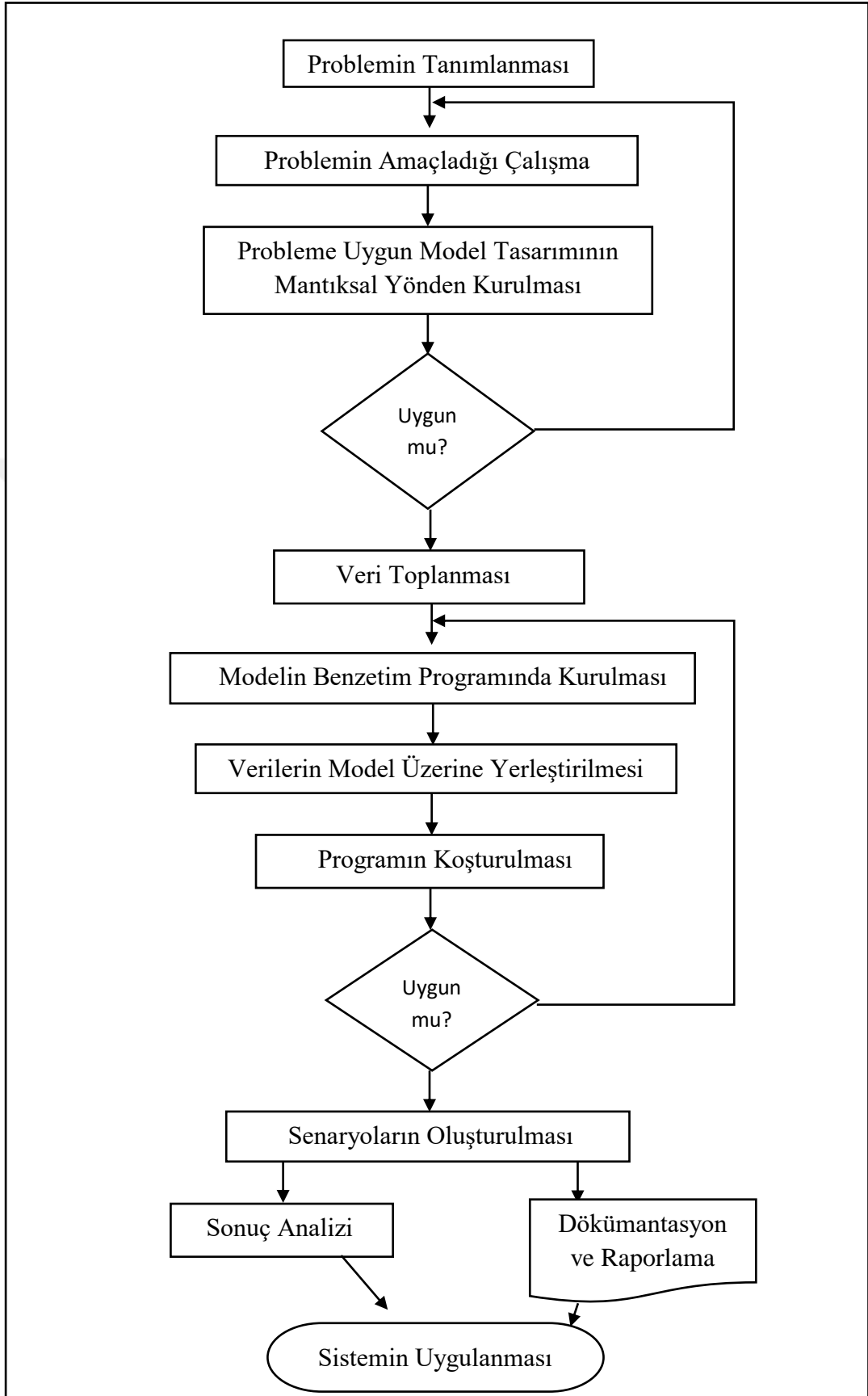
Sürekli simüasyon modelinin grafik olarak nasıl bir dağılıma sahip olduğu Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Sürekli simüasyon dağılım grafiği

2.1.1.3.6. Simüasyon Çalışmasının Aşamaları

Her sistem modelinin çalışıldığı simüasyon uygulamaları, çalışmanın kendine özgü bir modelini içerir. Dolayısıyla içerisinde insan faktörü barındıran çalışmalarda, model kurulumu asla birbirinin aynısı olamaz. Ancak her modelleme genelinde spesifik bir durum olmadığı sürece belli başlı adımları izler ve bu şekilde bir sonuca varır. Bu işlem basamakları Şekil 2.11'de gösterilmiş olup, tez çalışmasında ki uygulamaya özgü bir şekilde ilerletilmiş bu adımlar etrafında şekillenmiştir.

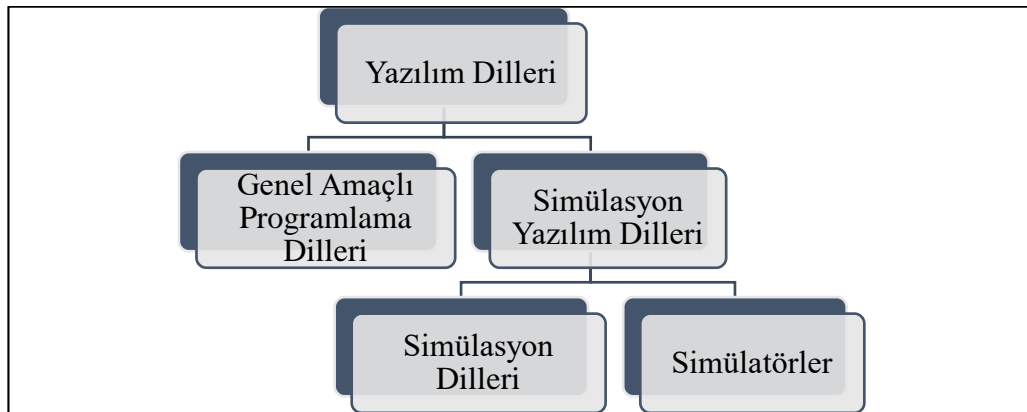


Şekil 2.11. Simülasyon çalışma adımları

2.1.1.3.7. Simülasyon Yazılım Dilleri

Pek çok kişi tarafından dilsel ifade yolu ile anlatılan ve hayali boyutta zihinde çizilen sistemler gerçek halinde uygulanarak üzerinde çalışmalar yapmaya eğer uygun değilse, bu olayın bir şekilde modellenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Modellemeyi sağlayacak olan pek çok simülasyon programı mevcuttur. Ancak bu programlarda alt metni itibariyle bir takım yazılım dilleri kullanılmaktadır. İnceleme yapılacak konu ve ifade edilmesi istenilen alanlar olarak ayrı ayrı şekillendirilebilmesi gereken sistemler için farklı formatlarda dil yapıları içeren simülasyon programları oluşturulmuştur. Bazı durumlarda sadece üretim ve üretim senaryoları dâhilinde sonuçlara odaklanıldığı ve görselliğin çok önemsenmediği, modelin önemsendiği durumlarda kodlama dili daha yalın olan matematiksel ve mantıksal boyutu daha ağır basan programlar kullanılabileceği gibi, animasyon yönü ağır basması gereken görselliğe önem verildiği durumlarda da kullanılabilecek olan yazılım dilleri vardır. Burada teknolojinin gelişiyor olması ve bilgisayarların eskiye oranla görsel kabiliyetlerinin işlem sırasında hem problem çözmeye hem de animasyonel etkiler üzerinde gelişiyor olması son zamanlarda bu yazılım dillerini de geliştirmiştir. Bu sayede aslında yapay zekasında etkisiyle sistem içerisinde hareket edebilir olma hissi simülasyon kullanıcıları tarafından rahatlıkla algılanabilmekte ve görsel bir işleme dönüşebilme fırsatını yakalayabilmektedir.

Sistem tasarımı sırasında sistem bileşenlerini en iyi çözümlenecek olan simülasyon dilinin seçiminde farklı yaklaşımlar öne sürülmüştür. Bu yaklaşımlar tarih boyunca gelişim göstererek devam etmiştir. Şekil 2.12'de yaklaşımların birbirinden ayrımı yapılmaktadır.



Şekil 2.12. Simülasyon dillerinin ayrımı

2.1.1.3.8. Genel Amaçlı Programlama Dilleri ile Simülasyon Dilleri Arasındaki Farklar

Simülasyon ile ilgili yapılacak herhangi bir projeye başlarken verilecek en önemli karar yapılacak olan modele uygun kodlama dilinin seçimidir. Çalışmanın başarılı olup olamayacağını belirleyecek olan temel faktör budur. Genel amaçlı diller ile simülasyon dillerinin ayrımının bilinmesi bu noktada önemli bir kavramdır. FORTRAN, C, Pascal, BASIC gibi diller genel amaçlı programlama dillerine birer örnek olarak gösterilebilir.

Bu iki yaklaşım arasındaki farklar aşağıdaki gibidir (Law ve Kelton, 2000).

- Simülasyon dilleri bir simülasyon modelinin ihtiyaç duyduğu her türlü özelliği içerisinde otomatik olarak barındırır ve programlama süreçlerinde kayda değer bir süre bazında azalış görülür.
- Simülasyon modellemesi için simülasyon dilleri doğal bir çerçeve hazırlayarak, genel simülasyon dillerinin karmaşık yapısının aksine daha yalın bir dile sahiptirler.
- Genel amaçlı diller modellendikleri durumda herhangi bir değişikliğin yapılmasında daha karmaşık bir süreç izlenmesini gerektirirken, simülasyon dilleri müdahale şansını daha rahat ortaya koymaktadır.
- Simülasyon dilleri modelde bir hatayı tespit etme aşamasında otomatik tanımlama yaparak daha hızlı ve daha kolay çözüm şansı vermektedir.
- Genel amaçlı dillerde simülasyon dillerine nazaran daha kolay ulaşılabilirliği sayesinde daha çok kişinin bilgisayarlarında rastlanabilir. Bunun sebebi genel amaçlı dillerin kullanıldığı programlara ulaşım maliyetlerinin simülasyon dillerinin yer aldığı programlara göre daha uygun oluşudur.
- Genel amaçlı dillerin kodlama süreleri daha kısa süreleri alırken, simülasyon dillerinin kodlama işlemleri daha uzun sürelerde yapılır. Genel amaçlı dillerin kullanıldığı programlar sistemlerin belirli kısımları için uygulanabilir hale getirilirken, simülasyon dilleri sistemin çok daha geniş bir modelini dizayn edebilecek kapasitedir.

2.1.1.3.9. Simülasyon Yazılımı

2.1.1.3.9.1. Simülatör

Simülatör kelimesi daha çok havacılık faaliyetlerinde pilotların eğitiminde, gemilerin seyir faaliyetlerini sürdürecektir olan kaptanların eğitiminde kısaca matematiksel bir analiz yapmaktan çok yapay bir ortamda gerçeklik yaşatmak için oluşturulmuş yazılımlardır.

Simülatörler, simülasyon modellemesi yapma uzmanlığı olmayan kişiler yada bu konuda çok az bilgisi olan kişilerin bile çalışmasına müsaade eden bir simülasyon yazılımıdır. Sistemin belirli bir kısmının spesifik yönden simüle edilmesini sağlar. Kominikasyon sistemleri, bilgisayar sistemleri, üretim sistemleri gibi pek çok mevcut alanda simülatörler kullanılmaktadır (Law ve Kelton, 2000). Analitik olarak çalışma yapmaya uygun simülasyon dillerine karşın en büyük avantajı modelleme esnasında programlama için ihtiyaç duyulan sürenin çok daha az olmasıdır. O yüzden simülatörler model geliştirme süresinin kısıtlı tutulduğu ve basit adımlar ile kolayca model geliştirme yetisine sahip kişiler içinde rahat kullanıma uygundur. Simülatörlerin belkide en büyük dezavantajı matematiksel yönden işlem basamakları gerektiren ve modelleme geçmişi aranan kişiler adına standart dışı öğelere izin veren sistemlerin modellemesine kısıt getirmesidir.

2.1.1.3.9.2. Simülasyon Dili

Simülatörlerden en büyük farkı spesifik özelliklere sahip olan sistemlerin modellemesine katkı sağlamasıdır. SIMAN, SLAM II gibi simülasyon dilleri bunlara örnek olarak gösterilebilir (Law ve Kelton, 2000). Simülasyon dili yapısı itibariyle bir kodlama uzmanlığı gerektirmektedir. Bu yüzden dezavantaj olarak uzun modelleme süreleri ve programlamaya hâkimiyet gerektirecek kadar bilgi, hata olması durumunda hataları ayıklayarak modeli düzeltme becerilerine sahip olunması gerekir. Bu simülasyon dilleri arasında da kullanım yerleri açısından elbette bir takım farklılıklar vardır. Geçerli sistem için uygun dil yapısının kontrollü bir şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Simülasyon dillerinin tarihler içerisinde gelişimi şu şekilde olmuştur (Sözen, 2007).

- Simülasyon mantığından ilk defa bahsedildiği 1950-1960 yılları arasında simülasyon dilleri daha gelişmemiş olduğundan, basit bilgisayarlarda uzun kodlama dilleri ile sadece genel amaçlı programlama dilleri kullanılıyordu.

FORTRAN genel amaçlı programlama dili ile başlayan bu süreç bir sonraki evrede programlama dillerinin gelişmesiyle daha da artmıştır.

- 1960- 1965 yılları arasında özel amaçlı olarak oluşturulan GPSS, SIMULA, SIMSCRIPT, CSL gibi simülasyon dilleri ortaya çıkarak hem ilerleyen tarihlerde devam edecek olan simülasyon çalışmalarına birer ön ayak olmuşlar hem de döneminin çalışma alanlarına farklı kodlama dilleri ile yardımcı olmuşlardır.
- 1966- 1970 seneleri arasında, bir önceki evrede geçerli olan simülasyon dilleri geliştirilerek başka formları üretilmiştir. Bu diller GASP II, III, 360 ve V kuşağı olarak adlandırılmıştır. Bir önceki versiyonda adı CSL olan simülasyon dili bu evrede gelişerek adını ECSL olarak devam ettirmiştir. SIMULA simülasyon dilinin yeni versiyonu bu tarihlerde kullanılmaya başlanılmıştır.
- 1971-1978 yılları arasında artık karmaşıklaşan dünya problemleri nedeniyle modelleme yetenekleri daha gelişmiş olan SLAM, Q-gere, SIMSCRIPT II.5, GASP IV gibi birden fazla modeli anlayıp uygulayabilme yeteneğine sahip diller ortaya çıkmıştır.
- 1978 yıllarından sonra artık program yazmanın bir önemi kalmamış ve hazır programlama paketleri üzerinden bir model ortaya koymak esas alınmıştır. Çünkü hazır paket programlar içerisinde kendi kodlama dillerini barındırır hale gelmişlerdir.

2.1.1.3.10. Simülasyon Uygulamalarında Kullanılan Paket Programlar

Üretim sistemlerinin modellenmesinde kullanılan, programlamasının kişi tarafından yapılmadığı veya bir kısmının yapıldığı, program içinde bulunan prosesler yardımıyla modele uygun bir süreç yaratıldığı belli başlı simülasyon paket programları vardır. Bu programlar kesikli, sürekli olayların modellenmesinin yapılmasına katkı sağlarlar. Bu programlara örnek teşkil edecek bazı program örnekleri aşağıda verilmiştir.

- Promodel
- Arena
- Flexsim
- Simio
- Simulink

- SIMUL8 (URL-14, 2020)

2.1.1.3.11. Simülasyon Uygulamalarında Kullanılan Yaklaşımlar

2.1.1.3.11.1. Olay Bazlı Modelleme Yaklaşımı

Sistem modellenmesinde önemli olan sistemin karakteristik olaylarının tanımlanması ve süreç boyunca meydana gelen olayların herhangi bir ‘t’ anında gösterdiği değişimin detaylı bir şekilde entegre edilmesi ve bir olay setinin oluşturulmasıdır (Law ve Kelton, 2000). Olay bazlı modelleme yapılacağı zaman kullanılacak programlama dillerine örnek GASP, SEAL, SIMCOM, SIMPAC, SIMSCRIPT, SIMTRAN, SIMAN, SLAM II gibi diller gösterilebilir (Kiviat, 1969).

2.1.1.3.11.2. Süreç Bazlı Modelleme Yaklaşımı

Süreç bazlı programlama dillerinde sistemin içerisinde yer alan olaylar belli zaman aralıkları boyunca sürekli olarak belli prosesler içerisine girerek işlem görür. Varlık olarak adlandırılan “entity” model içerisinde devamlı olarak proseslerde gördüğü işlemler ile belirlenen zamanlar dâhilinde akar. Bu bir örnek olarak gösterilebilir (Law ve Kelton, 2000).

Süreç bazlı da olsa, olay bazlı da olsa aslında iki simülasyon yaklaşımı benzer özellikler gösterirler. Aralarında meydana gelen fark sadece dil yapısının şekillenme farkıdır. Eğer bir kuyruk sistemi tasarımı yapılacaksa bu durumda kullanılması gereken programlama dili süreç bazlı bir programlama dili olmalıdır. Çünkü kuyruk yapısında sisteme giren varlık farklı zaman aralıklarında farklı süreçlerde işlem görerek olayları bağlar ve sistemi terk eder. Ayrıca süreç bazlı programlama dilleri sürekli olarak farklı işlemlerin hâkim olduğu sistem tasarımlarında daha çok tercih edilebilecek bir dil grubudur.

2.1.2. Kuyruk Teorisi

2.1.2.1. Kuyruk Sistemleri

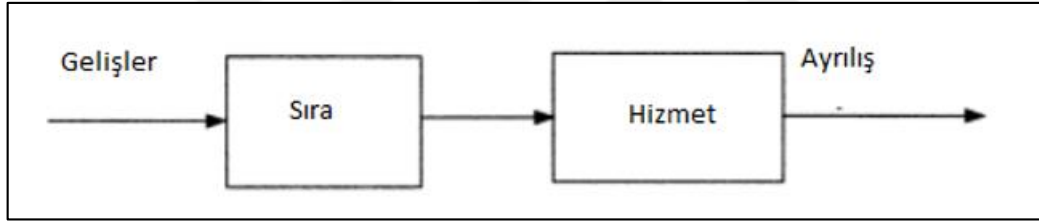
Yaşantımızın çok büyük bir kısmında hizmet görebilmek adına uzun kuyruklar içerisinde bulunuruz. Her zaman bekleme sürecinde olma durumu var olmuştur ve var

olacaktır. Bu konu eski dönemlerden beri çok dikkat çeken bir konu olmuş ve bekleme sürelerini azaltabilmek, kayıpları minimuma indirebilmek, servis süresi ile bekleme süresi arasında bir denge kurabilmek için bazı çalışmalar yapılmıştır.

(Gross, 2008)'e göre, kuyruk sistemi, gelişler ayrılışlar ve servis mekanizması gibi basit bileşenlerden oluşan bir sistem olmakla beraber, sisteme giren “entity” nin hizmet almak için kuyrukta beklemesi ve servisi aldıktan sonra sistemden ayrılmasıdır (Arsoy İlkan, 2014).

(Kelton vd., 2011)'a göre ise kuyruk sistemleri, yapısal olarak parça, müşteri, mesaj, iş vb. gibi çok farklı alanlarda sistem içerisinde dönen “entity” nin modele giriş yapması, işlem görmesi gerektiği kadar hizmet kanalının seri veya paralel olarak dağılım gösterdiği çerçevede dönmesi ve bir veya daha çok kuyruk bekleme işleminden sonra sistemi terk etme durumunu gösterir.

Kuyruk sistemi yapısının en basit hali Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

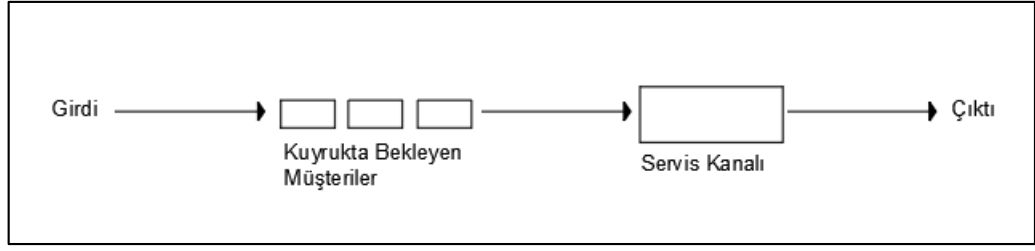


Şekil 2.13. Kuyruk sisteminin gösterimi

2.1.2.2. Kuyruk Sistemi ve Servis Hizmetleri

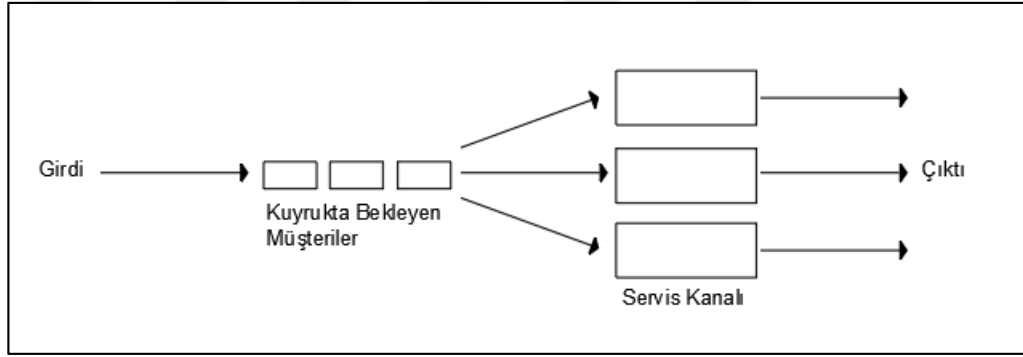
Hizmet görmek için servis kanallarının önünde oluşabilecek kuyruk yapısından sonra karar verilmesi gereken en önemli karar, hizmeti görecektir müşteri için hangi servis hizmetinin kullanılması gerektiğidir. Kanal sayısı, kuyruk yapısının dağılımında çok büyük bir önem arz eder. Aynı şekilde servis istasyonu sayısı kanal sayısı ile doğru orantılı olarak etkili bir kriterdir. Kanallarının tek veya çok kanallı, servis hizmetinin seri veya paralel olması durumuna göre dört farklı kuyruk yapısından bahsedilebilir.

Servis kanalı tek kanallı ve tek sıralı bir yapıya sahip olması durumunda tek bir kuyruk hattı üzerinde bekler ve hizmeti alarak sistemi terk eder. Bu yapı Şekil 2.14'de görülmektedir.



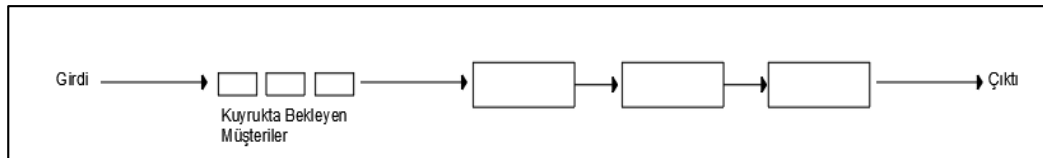
Şekil 2.14. Tek kanallı tek aşamalı kuyruk sistemi

Tek bir kuyruktan pek çok servis kanalında hizmet görme olanağı sağlayan kuyruk sistemi yapısı Şekil 2.15’de gösterilmektedir. Girdi sürecinden sonra kuyrukta beklemeye giren müşteriler çoklu servis kanalında hizmet görüp sistemi terk ederler.



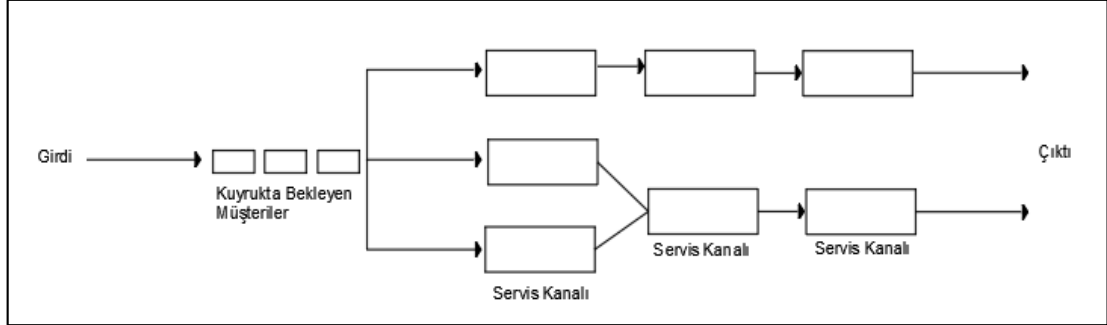
Şekil 2.15. Çok kanallı paralel düzenli kuyruk sistemi

Tek bir kanaldan sisteme girerek seri düzenli bir şekilde sıralanmış hizmet istasyonlarında peşi sıra gelecek şekilde işlem gördükten sonra sistemi terk eden kuyruk sistemi Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Tek kanallı seri düzenli kuyruk sistemi

Şekil 2.17’de birden fazla servis kanalı önünde kuyruk yapısının oluştuğu ve müşterilerin göreceği hizmet türüne göre farklı sayıda ve düzende servis kanalında hizmet görerek sistemi terk ettiği kuyruk sistemi yapısı görülmektedir.



Şekil 2.17. Çok kanallı karmaşık düzenli kuyruk sistemi

2.1.2.3. Kuyruk Teorisi ve Temelleri

Kuyruklar sadece insan bazlı olmayıp, pek çok işletme için ürün gruplarını da içine alan bir olgu olabilir. Bu durumda limanlar için gemilerin doldurulup boşaltılmasında, havalimanlarında uçakların geliş ve gidiş sıralamalarında, üretim faaliyeti içinde olan işletmeler için ürünün seçimi ve üretilmesi işlemlerinde, otomobillerin gişe geçişlerinde ve beklemelelerinde, pek çok telekomünikasyon ağında müşterilerin sorunlarının halledilmesinde ve çok daha farklı konularda kuyruk yapısından bahsetmek mümkündür.

Tüm yaşamı etkileyen bu bekleme sorunu her zaman araştırılmak istenilen bir konu olmuş ve sıra bekleme sistemleri olarak ortaya koyulmuştur. Başta işletmeler için bir sorun haline gelen kuyruk temelli bekleme olayı maliyet kaybına, zaman içerisinde müşteri kaybına sebep olacak ve rekabet için bir zorluğa sebebiyet verecektir.

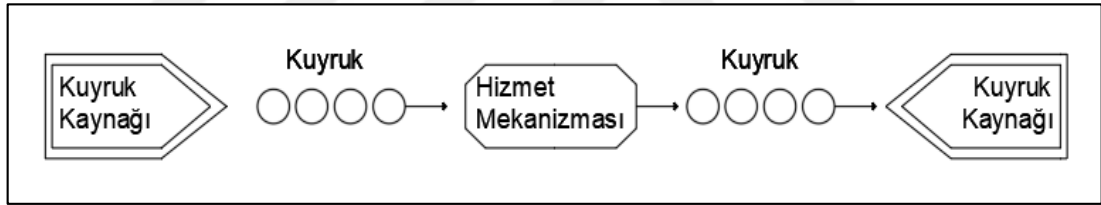
Sıra bekleme sistemleri, kuyruk teorisi ve simülasyon teknikleri aracılığıyla biçimlendirilebilirler. Problemlerin karmaşıklığının artması ile birlikte nümerik olarak ifade yöntemlerinden olan kuyruk teorisi yetersiz kalarak, benzetim yöntemiyle bir tasarım yapılmak zorunda kalınır.

Kuyruk teorisi, kuyrukları ve bekleme hatlarını inceleyen ve matematiksel formüller yardımıyla, sistemin içerdiği olgular ve kısıtlara göre değişen farklı model yapılarında şekillenen bir konudur.

(Jackson ve Saaty, 1962)' a göre, yöneylem araştırması ve sistem analizi gibi disiplinlerden de önce ortada olan kuyruk teorisi geçmişi oldukça eskilere dayanmaktadır. Yapılmış ilk çalışmayı Danimarkalı bir mühendis olan Karl Erlang'ın yapmış olduğu söylene bile, literatürde yer alan ilk makale 1907 yılında Johannsen tarafından yazılmış olan "Waiting Times and Number of Calls" adlı makaledir. Kuyruk teorisi anlamında ilerleyen dönemlerde yapılacak olan çalışmalara ön ayak olan bu makale, daha sonrasında 1927 yılında C. Molina ve 1928 yılında C. Fry'ın çalışmaları ile daha da zenginleşmiştir. Bu süreç içerisinde çalışılan konular Erlang'ın üzerine çalışma yaptığı telefon sistemlerinde kuyruk bekleme süreciyle alakalı olan problemlerin analizini yapmaktadır. (Sarıaslan, 1986).

(Pollaczek, 1965)'e göre, Telefon sistemlerinin bekleme hattıyla ilgili yapılan çalışmalar 1930 ve 1950 yılları arasında da çalışılmaya devam etmiş ve Crommelin, Pollaczek, Khintchine, Kolomogorov ve Palm gibi bilim insanları aracılığıyla farklı formüller ve farklı modeller ile gelişimini sürdürmüştür (Sarıaslan, 1986).

Kuyruk teorisinin genel anlamda şekillendirilmiş hali Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Kuyruk teorisi

2.1.2.4. Sıra Bekleme Sistemlerinin Temelleri

Kuyruk teorisi karakteristik olarak birkaç temel üzerine oturtulur. Bu bileşenlerin birinin bile olmaması durumu modelin oluşumunu engellemektedir. Bu sebeple aşağıda dört başlık altında anlatılan temeller ışığında sıra bekleme sistemleri oluşturulmalı ve iyice irdelenmelidir.

2.1.2.4.1. Girdi Süreci

Müşteri olarak genel bir birimi kapsayan terim girdi sürecinin sisteme geliş akışını belirtir. Müşteri, hizmet görmek için gelebilecek bir insan olabilirken, CNC makinesi

önünde bekleyen bir parça, iniş veya kalkış bekleyen bir uçak ve üretim yapan fabrikalarda mal vb. gibi çok daha farklı şekillerde sisteme girebilecek elemanlar olabilmektedir.

(Higgins vd., 1967), girdi süreci için müşterilerin geliş kaynağının, geliş sıklıklarının, geliş sayılarının önemli olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca bu terimlerin her türlü sistem için parmak izi gibi değişim gösterip farklı ampirik dağılımlar sergileyeceğini, müşteri gelişlerinin bazen tek tek bazen ise yığınsal bir şekilde olabileceği belirtilmiştir (Sarıaslan, 1986).

2.1.2.4.2. Servis Mekanizması

Sisteme giren parçanın göreceği iş faaliyetlerini belirtir. Tıpkı girdi sürecinde olduğu gibi servis mekanizmasında da sistem bazında her zaman değişiklik gösterir. Bu değişiklik parça işlenmesinde servis kanalının tek kanallı, çok kanallı, seri düzenli, paralel düzenli, karmaşık düzenli olması gibi etmenlerle sağlanır. Her sistem için farklılık gösteren kanal sayısı kuyruk yapısını bu şekilde etkiler.

(Sarıaslan, 1986)'a göre, servis mekanizmasının oluşabilmesi için sistemde hizmet veren kanalların yerlerinin ve sayısının belirlenmesi, hizmet merkezinde verilen hizmet süresinin uzunluğunun, ortalama işlem alan müşteri sayısının ve servis süreleri arasındaki farkın belirlenmesi gerekmektedir.

2.1.2.4.3. Kuyruk

Sistemlerde verilen hizmet için ayrılmış olan birimlerin gelen müşteriyi kaldıramadığı durumlarda servis kanallarının önünde kuyruk dediğimiz yapılar oluşur.

Kuyrukta önemli olan iki ayrıntı vardır. Bunlar kuyruğun uzunluğu ve kuyrukta bekleme süresidir. Kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi trafik yoğunluk oranına bağlı olarak değişim gösterir. Trafik yoğunluk oranı ise sistem için müşterinin geliş oranının, müşteri için belirlenen servis oranına oranlanmış halidir. Gerçekte asla olamasada teorikte trafik yoğunluk oranı asla 1'den büyük olamaz. Çünkü trafik yoğunluk oranının 1'den büyük oluşu sınırsız bir kuyruk yapısını ortaya koyacaktır, bu da pratikte mümkün olmadığından imkânsızdır.

2.1.2.4.4. Servis Disiplini

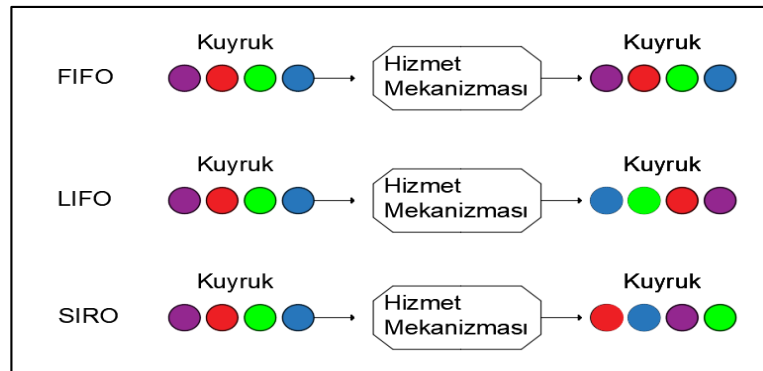
Müşterilerin sisteme alınmasından sonra servis kanalları önünde hizmet görmek için bekledikleri sırada işlem süresinin ürün bazlı değişimi bir süre sonra kuyruk oluşturmaya başlar. Servis disiplini, kuyruktaki müşterilerin hizmet kanalına hangi mantığa göre alınacağına kararının verilmesinde rol oynar.

Çeşitli servis disiplini tipleri bulunmaktadır bunlar arasında en çok karşılaşılanlar şunlardır.

- FIFO (First in First Out)- İlk Giren İlk Çıkar
- LIFO (Last in First Out)- Son Giren İlk Çıkar
- SIRO (Service in Random)- Rastgele Servis
- SPT (Shortest Processing Time First)- En Kısa İşlem Süresine Sahip Olan İlk Girer
- PR (Service According to the Priority)- Öncelik Sıralamasında İlk Olan İlk Girer
- PSPO (Preemptive Service Priority Order)- Tam Öncelikli Servis
- NPSS (Non-Preemptive Priority Service)- Tam Öncelikli Olmayan Servis (Sarıslan, 1986) (Ersöz, 2019)

Servis disiplinlerinin sistemde değiştirilmesi kuyrukta bekleme süreleri üzerine etkili olup, dağılımda oynamalara sebebiyet verebilir. Bu yüzden sistem modeline uygun bir disiplinin seçilmesi ve optimizasyon sağlanabilmesi için sistemin işleyişinin iyice kavranması gerekecektir.

Bu disiplinlerin izlediği mantık Şekil 2.19 ile görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 2.19. Servis disiplinlerinin gösterimi

2.1.2.5. Kuyruk Teorisi Modelleri

2.1.2.5.1. Kuyruk Teorisi Modellerinin Sınıflandırılması

Kuyruk sistemlerini yukarıda anlatılan dört temel bileşen yardımıyla sınıflandırılabilir. Bir süre sonra yetersiz kalmaya başlayacaktır. Bu nedenle modelleri daha spesifik hale getirmek önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Pek çok kuyruk teorisi modeli vardır. Ancak bu modellerin anlaşılabilmesi için öncelikle gösterim şekillerinin anlaşılması gerekmektedir.

1953 yılında Kendall tarafından geliştirilen ve sonrasında Lee ve Taha tarafından genişletilmesiyle Kendall-Lee gösterim şeklinin aldığı hâl şöyledir. (Reynolds ve Lee, 1969).

$$(A/B/C) : (d/e/f)$$

Bu gösterimde;

A : Varışlar Arasındaki Dağılım

B : Hizmet Zamanının Dağılımı

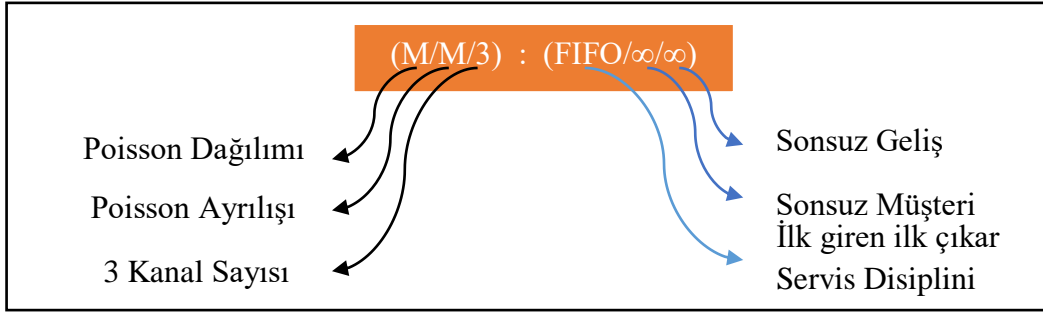
C : Servis Kanalı Sayısı

d : Kuyruk Disiplini

e : Sistemde Bulunan Maksimum Müşteri Sayısı

f : Kaynağın Geliş Boyutu

A ve B, ifade edilen karakterler için Poisson dağılımını ifade eden M, deterministik yaklaşımlar için D, genel dağılımları simgeleyen G, K-Erlang dağılımı için E_k ifadeleri ile kullanılır (Arsoy İlihan, 2014). “d” daha önce anlatılan kuyruk disiplinlerinin bir gösterimidir. Geri kalan ifadeler sisteme göre değişkenlik gösterecek sayısal ifadelerdir. Şekil 2.20, bu ifadeleri kullanarak bir kuyruk yapısının tanımlanmasını göstermektedir.



Şekil 2.20. Kendall-Lee gösterimine örnek

2.1.2.5.2. Kuyruk Sistemleri İçin Tanımlanan Formülasyonun Birimleri

Pek çok model içeren sıra bekleme sistemleri yaklaşımında uzun ve karmaşık formüller, içerdikleri birimler ile bir bütündür. Ancak bu performans ölçütlerinin gösterim şekillerinin ve tanımlamalarının bilinmesi gerekmektedir (Ersöz, 2019).

- L : Sistemin tümünde olması beklenen müşteri sayısı (Kuyruk+Servis Kanalı)
- L_q : Kuyrukta olması beklenen müşteri sayısı
- W : Müşterinin sistemde geçirdiği toplam süre (Kuyruk+Servis Kanalı)
- W_q : Müşterinin sadece kuyrukta geçirdiği süre
- λ : Müşterinin ortalama geliş oranı
- μ : Ortalama olarak hizmet alan eleman sayısı
- $1/\mu$: Bir müşterinin ortalama hizmet alma süresi
- ρ : Trafik yoğunluk oranı
- c : Kanal sayısı
- $P(n)$: Sistemde n tane eleman bulunma olasılığı
- r : Servis kanalının doluluk oranı
- k : Gamma dağılım parametresi

2.1.2.5.3. Kuyruk Teorisi Modellerinin Karşılaştırılması

Modelleme işlemi sıra bekleme sistemlerine uygulandığı zaman bunu tüm sistemlere uygulama işleminin mümkün olmayacağı ve her sistemin bileşenleri ile kendine has bir oluşum sergilediği daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Sıra bekleme sistemlerinden

hangisinin kişinin kendi sistem modeline uygulanacağı konusu büyük bir sorun teşkil etmektedir. Çünkü kesin bir şekilde bu ayırım yapılmamıştır. Kanal sayısı, kanal düzeni, eleman gelişlerinin sonlu veya sonsuz olması, sistem kapasitesinin sınırlı veya sınırsız olması gibi pek çok faktöre göre değişik sınıflandırmalar yapılmıştır.

Bu bölümde anlatılacak olan modeller geliş kaynaklarına göre şekillenecek ve servis zaman dağılımı esas olacaktır.

2.1.2.5.3.1. Üstel Servis Zaman Dağılımlı Modeller

Bir diğer adıyla negatif üstel zamanlı model olarak bilinirler. Bu modelin oluşması için gerekli olan varsayımlar şöyledir (Sarıslan, 1986).

- Tek servis kanallı modellerdir.
- Hizmet kanalına gelişler rassal veya Poisson dağılımlı gelişir
- Servis süreleri üstel dağılım gösterir
- Modelin tek servis kanallı olmasından dolayı müşteriler tek tek gelir ve tek tek hizmet görerek bu şekilde çıkar.
- Sistem durumunun zamanla değişmediği bir model olup sistem her zaman dengededir.
- Tüm servis disiplinlerine adaptedir.

Üstel servis zaman dağılımlı modellerde tek bir kaynaktan müşteri çekerek, tek bir kuyruk ile tek kanallı hizmet veriliyorsa M/M/1 : (GD) modeli kullanılmalıdır. Bu modelin genel formülasyonu aşağıda ki gibidir (Sarıslan, 1986).

$$\rho = \lambda/\mu < 1 \quad (1)$$

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} \quad (2)$$

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (3)$$

$$W = \frac{1}{\mu-\lambda} \quad (4)$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (5)$$

Verilen denklemler ile bir önceki bölümde anlatılan formül birimlerinin tanımlamasına bakıldığı zaman 1 nolu denklem sistem için trafik yoğunluk oranını gösterirken 1 den küçük olmak zorundadır. 2 nolu denklem, sistemde bekleyen toplam eleman sayısını, 3 nolu denklem, sadece kuyrukta bekleyen eleman sayısını, 4 nolu denklem, elemanın sistem içerisinde geçirdiği süreyi, 5 nolu denklem ise kuyrukta elemanın geçirdiği süreyi göstermektedir. Bu model çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çok kanallı sistemler için uygun olmayan bu M/M/1 : (GD) modeli yerine, tek sıralı ancak çok kanallı sistemler için kullanılabilir M/M/c : (GD) modeli geliştirilmiştir. Diğer modelde olduğu gibi kısıtların hepsi kanal sayısının değişmesi farkıyla aynıdır. Bu modele ait formülasyonlar aşağıda gösterilmiştir (Sarıoğlu, 1986).

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} < 1 \quad (6)$$

$$P(0) = 1 / \left\{ \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \left[\frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c \left(\frac{c\mu}{c\mu-\lambda} \right) \right] \right\} \quad (7)$$

$$L_q = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c}{(c-1)! (c\mu-\lambda)^2} P(0) \quad (8)$$

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad (9)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (10)$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (11)$$

Formüllerde P(0) t, t anında sistemde müşteri bulunmama olasılığını temsil etmektedir. “n” ise sistemde olması gereken müşteri sayısını göstermektedir. Trafik yoğunluk oranı tıpkı diğer modelde olduğu gibi 6 nolu denklemde gösterilmiş ve 1 den küçük olması gerektiği belirtilmektedir. Geri kalan 7, 8, 9, 10 ve 11 nolu denklemler diğer modelde olduğu gibi

uzun ve zahmetli işlemler dâhilinde oluşturulmuş ve bu hale getirilmiştir. M/M/c modeli ile M/M/1 modeline göre kanal sayısı bazında bir üstünlük kurmaktadır.

2.1.2.5.3.2. Sabit Servis Zaman Dağılımlı Modeller

Teorikte üstel servis zaman dağılımlı pekçok model kullanılmaktadır. Ancak pratikte yapılan işlemler için üstel dağılım yerine Poisson dağılımı görüldüğü, servis sürelerinde ise sabit bir süre olamayacağı ve servis zaman dağılımının varyansının sıfır olacağı söylenebilir. Bu durumda yapılan işlemler sonucunda yeni bir model olan M/D/1 : (GD) modeli ortaya konulmuş ve M/M/1 : (GD) modelinin değerlerinin yarıya düşürülmüş hali aşağıda ki gibi formüle edilmiştir (Panico, 1969).

2 ve 4 nolu denklemler 2'ye bölünmüş ve 12 ve 13 nolu denklemler oluşturulmuştur.

$$L = L/2 \quad (12)$$

$$W = W/2 \quad (13)$$

Bu şekilde sabit servis zamanlı modeller, üstel servis zamanlı modellere servis hizmet zamanı ile ilgili bir esneklik kazandırmış ve böylece sıra bekleme sistemlerine yeni alternatiflerin gelmesini sağlamışlardır (Sarıaslan, 1986). M/D/1 : (GD) modeli tek kanallı sistemler için uygulanabilirken, çok kanallı sistemlere uygulanabilmesi için M/D/c : (GD) modeli uygulaması getirilmiştir.

2.1.2.5.3.3. Gamma Servis Zaman Dağılımlı Modeller

Bu zamana kadar anlatılan modeller Poisson gelişli kuyruk yapıları için tam anlamıyla yapıcı modeller değildir. Erlang, Poisson gelişli olan ancak üstel ve sabit servis zamanlı model yapısına uymayacak sistemler için gamma dağılımını önermiştir. Bu nedenle k parametrelili E_k ile Gamma dağılımını modele uyarlamıştır. Böylece M/ E_k /1 : (GD) modeli oluşturulmuştur. M/M/1 : (GD) modelindeki formüllerin $\frac{k+1}{2k}$ denklemi ile çarpılmasıyla bu model formülleri oluşturulmuştur. “k” parametresinin 1 olması durumunda dağılım üstel olarak oluşmakta, “k”nın ∞ olması durumunda dağılım sabit zamanlı olmaktadır (Macmillan ve Gonzales, 1973).

2 ve 4 nolu denklemler gamma dağılımına uygun hale getirilmiştir ve 14 ve 15 nolu denklemler ile aşağıda gösterilmiştir.

$$L = \frac{k+1}{2k} \frac{\lambda}{\mu-\lambda} \quad (14)$$

$$W = \frac{k+1}{2k} \frac{1}{\mu-\lambda} \quad (15)$$

M/M/1 ve M/D/1 modelleri sadece tek kanallı kuyruk yapılarına uygun bir model tasarlarken, M/M/c ve M/D/c paralel yapıda olabilecek servis kanalları için uygun modellerdir. M/E_k/1 modeli tüm bu kısıtları esneterek seri şekilde sıralanmış servis kanalları için de kullanılacaktır. Çok kanallı sistemler için ise tıpkı diğer modellerde olduğu gibi M/E_k/c modeli önerilmiştir.

2.1.2.5.3.4. Genel Servis Zaman Dağılımlı Modeller

Servis zaman dağılımına esneklik kazandırabilmek amaçlı olarak sürekli yeni modeller geliştirilmiş ve birbirlerini takip etmişlerdir. Ancak Pollaczek ve Khintchine, servis zaman dağılımını bir çerçeve içinde kısıtlamamak için genel bir dağılım gösteren model ortaya koymuşlardır. Tek kanala sahip olan sistemler için M/G/1 : (GD) modelini geliştirmişlerdir. Modelin geliştirilmiş formülasyonları aşağıdaki gibidir (Sariaslan, 1986).

$$L_q = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \lambda^2 \sigma^2}{2\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)} \quad (16)$$

$$L = \frac{\lambda}{\mu} + L_q \quad (17)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (18)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (19)$$

Tüm modellerde yer alan simgeler daha öncesinde anlatıldığı anlamları taşımaktadır. 16 nolu denklemde yer alan " σ^2 ", servis zaman dağılımının varyansı olarak yer almaktadır. Bu modelin kanal sayısının 1 den daha fazla olması durumunda M/G/c : (GD) modeli kullanılmaktadır.

Gelişlerin Poisson özellik göstermediği ve servis zaman dağılımının üstel olmadığı durumlarda modellenmesi gereken sistemler için tek kanallı olmaları ihtimalinde G/M/1, çok kanallı olma durumlarında ise G/M/c modeli geliştirilmiştir (Giffin, 1978).

2.1.2.5.3.5. Yığınsal Kuyruk Modelleri

Teorik ve pratik hayatta gerçekleşen durumların birbirinden tamamen zıt olmasından kaynaklı müşterilerin hizmet kanalına tek tek gelmesi durumu gerçek hayat sistemlerinin çoğunda uygulaması zor durumlardır. Bu durumda gelişlerin yığınsal olarak yapıldığı gerçek sistemlere uyarlanabilen modellere ihtiyaç vardır.

(Giffin, 1978)'e göre, oluşturulmuş tüm modellerin aksine gelişlerin Poisson veya üstel dağılım göstermediği, tek kanallı ve çok kanallı olma durumunun değişik varyasyonlar taşıması gibi durumlarda analitik çözümler yetersiz kalacak ve benzetim tekniklerine ihtiyaç duyulacaktır (Sariaslan, 1986).

2.1.3. Simülasyon ve Kuyruk Teorisi

Bu bölümde şimdiye kadar anlatılan simülasyon ve kuyruk teorisi kavramları karşılaştırılacak ve genel bir ayırım yapılacaktır.

- Kuyruk teorisi matematiksel formüller yardımıyla analizlerini gerçekleştirdiği için sonuçta kesin yargılar edinir. Simülasyon gözle görünür nümerik analizler yapmadığı için kesin olmayan istatistiksel sonuçlar ortaya koyar. Ancak bu durum simülasyonun asla doğru sonuçlar üretemeyeceği anlamına gelmemelidir. Doğru modeller ortaya koyulduğu sürece benzetim çok doğru sonuçlar elde edebileceğimiz bir modelleme yöntemidir.
- Kuyruk teorisi formülasyon zincirinden oluştuğu için her adımda bazı varsayımlara ihtiyaç duyulur. Çünkü kuyruk teorisinde model gerçek hayat problemlerine sürekli olarak adapte edilmeye çalışılır. Ancak simülasyon için

böyle bir kaygı gütmeye gerek yoktur. Çünkü pratikte karşılaşılan sorunlar modellemek için ortaya atılmadığından varsayım yapılmaz (Kelton vd., 2011).

- Kuyruk teorisi modellerinin oluşturulmasında uzun işlem basamakları takip edildiğinden analiz süreci çok uzun sürebilmektedir. Simülasyon süreci problemin karmaşıklık seviyesine göre modelleme süresinde bir artış sergilerken, sonuç alma kısmında dakikalar içerisinde sonuç verebilmektedir.
- Simülasyon modelleri, gerçek sistem gibi davranıp gelişlerin nasıl yapılacağı, geliş sıklığının ne kadar olabileceği gibi durumlara anında müdahale şansı sunduğundan kuyruk teorisi yöntemlerine göre daha realistik bir yöntem ortaya koyar.

2.1.4. SIMIO

Tez çalışmasında, modelleme için kullanılan program simülasyon bazlı bir paket programdır.

SIMIO paket programı açılım olarak, “Simulation Modeling Intelligent Objects” ‘dir (URL-15, 2020). Simio LLC şirketinin altında çıkarılmış karmaşık sistem tasarımı, geliştirilmesi ve optimizasyonu gibi pek çok işlevi yerine getiren bir programdır.

Genel tanımı, ağır programlama süreçlerine girilmeden daha hızlı bir modelleme imkanı sunan ve bunu yaparken sistemin yapısına uygun süreç esnekliği sağlayan çoklu bir paradigma modelleme programı olmasıdır (URL-16, 2020).

Pek çok simülasyon tabanlı paket programlara göre Simio animasyonel yönden ve görsel olarak çok başarılı bir program olmasının yanı sıra, kompleks problemlerin çözümünde, kritik noktalarda karar vermede, dar boğazların aşılmasında, gerçek zamanlı problemlerin analizinde de anlaşılabilir bir araç çubuğu sunarak modellemeyi zorlaştırmamaktadır. Temel olarak programın araç çubuğunda yer alan ve modellerin temelini atacak birkaç modül Tablo 2.1 ‘de gösterilmektedir. Tablo 2.1 ile tarif edilen objeler sistem simülasyonu için sadece giriş temelli bir model oluşturur. Program içerisinde bu modüller arasında gerçekliği kazandıracak ve sisteme zekâ katacak pek çok alt yapı bulunur. Bu şekilde oluşturulan model üzerinde çok daha karmaşık süreçler modellenebilmekte ve reel olay gerçeğe çok daha yakın bir şekilde benzetilebilmektedir.

Tablo 2.1. Simio standart modül kütüphanesi

İsim	Açıklama
Source	Sisteme girecek olan “entity” nin yaratıldığı yer
Sink	Yok edilecek “entity” lerin sistemden çıkış yapacağı yer
Server	Kuyruk ile çoklu kanal servis sürecinin modeli
Combiner	“Entity”lerin grular halinde kombine edilmesi
Seperatör	Grup halinde olan “entity”lerin ayrılması
Workstation	Kurulum, süreç ve söküm gibi üç aşamalı iş istasyonlarının modellenmesi
Resource	Başka objeler tarafından kullanılabilir olan kaynakların modeli
Vehicle	Belirli objeler arasında entitylerin taşınımı
BasicNode	Bağlantı yollarının basit bir kesişimi
TransferNode	“Entity”lerin ulaşım sırasında bekleme sürecinde varış yerinde kesişimi
Connector	İki nodun arasında zamansız bağlantı
Path	“Entity”lerin belirli hızlar ile iki node arasında ilerlediği yol
TimePath	Spesifik bir ulaşım süresinin kullanılacağı yol
Conveyor	Yığılmacı ya da yığılmacı olmayan konveyör aracı

2.2. Uygulama

2.2.1. Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Boğazlar Sistemi Gemi Trafikğine Olası Etkisinin Analizi

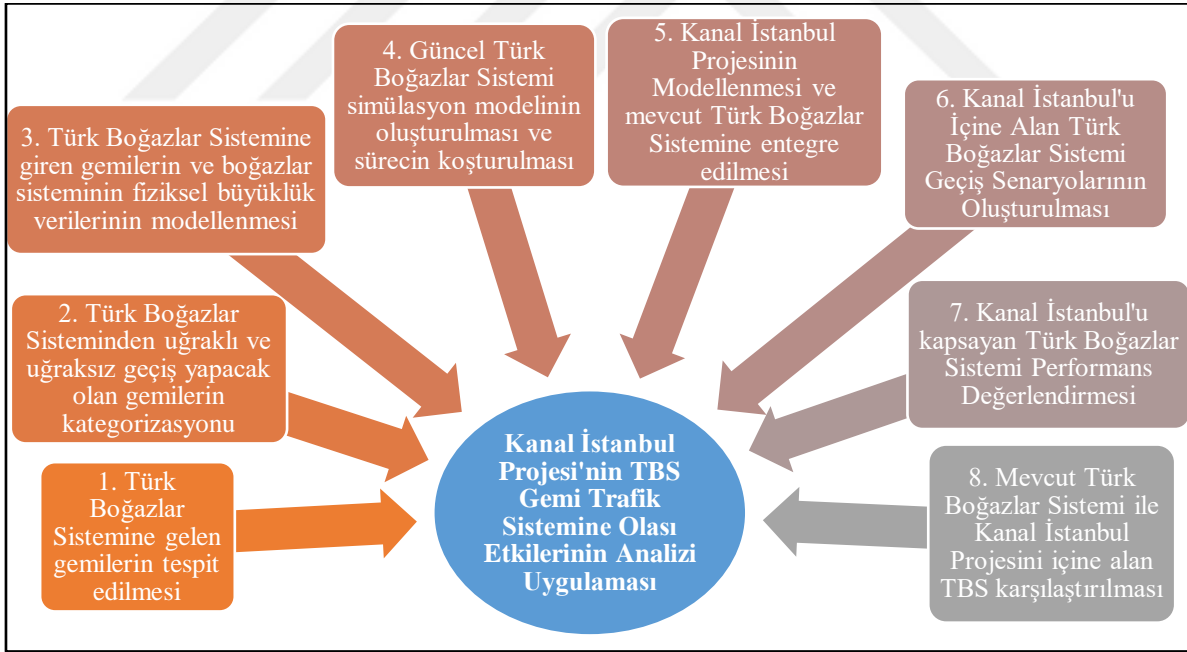
Bu bölümde yapılması düşünülen Kanal İstanbul Projesi'nin uygulamaya geçmesi hâlinde mevcut şartlarda aktivitesini devam ettiren Türk Boğazları için gemi trafiğine olabilecek olan etkilerini ortaya koyacak bir uygulama yapılmıştır. Bu şekilde, Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Boğazlar Sistemi gemi trafik düzeni üzerindeki etkileri tespit edilecek ve zayıf/güçlü olabilecek yönleri hakkında bir takım bilgiler edinilebilecektir.

Analizlerin yapılabilmesi ve fikir edinebilmesi için yöntem kısmında detaylı bir şekilde incelenen simülasyon yardımıyla modeller oluşturulması gerekmektedir. İlerleyen aşamalarda da anlatılacağı üzere çok fazla sayıda, kategoride ve karmaşık yapıda olan

verilerin gerçeğe yakın bir şekilde modellenebilmesi için matematiksel modellerin önüne geçen simülasyon yöntemleri daha uygun bir tercih olmaktadır.

Kanal İstanbul Projesi gibi yatırım maliyetleri yüksek olan ve bir kere gerçek modeli yapılmaya başlandığı zaman geri dönüşü olmayacak olan uygulamalar için etkilerin önceden görülebilecek olması çok büyük önem arz etmektedir. Bu tarz gerçek olayların ne bir matematiksel modelinin kurulabilmesi nede bir prototipinin deneysel ortamlarda test edilebilme şansının olmaması sürekli gelişmekte olan simülasyon yazılımlarının belirleyici etkisi ile aşılmıştır. Bu çalışmada ise, simülasyonun gerçeğe en yakın modellerin kurulabilmesinde ki başarısının bir örneği olan SIMIO simülasyon paket programı ile Türk Boğazlar Sistemi modellenmiş, Kanal İstanbul Projesi ile entegre edilmiş ve tüm modeller matematiksel yönden analiz edilerek sonuçlar oluşturulmuştur.

Uygulamanın ilerleyişinde bazı adımlar izlenmektedir. Simülasyon çalışmasının daha önce anlatılan aşamaları referans alınarak bu uygulama için 8 aşamada bir analiz yapılmıştır. Ana başlıklar halinde Şekil 2.21 ile gösterilen adımlar izlenecektir.



Şekil 2.21. Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Boğazlar Sistemine entegrasyonunda izlenecek olan adımlar

2.2.1.1. Türk Boğazlar Sistemine Gelen Gemilerin Tespit Edilmesi

Uygulamanın ilk adımını oluşturacak olan bu bölüm, sistemin, modelin ve onların bir göstergesi olacak olan simülasyon için veri paketinin elde edildiği yer olacaktır. Veri işlemin başından sonuna kadar sistemde dönecek olan varlığın ne olduğunun, sayıca ne kadar olduğunun ve ne amaçla, ne kadar süre döndürülmesi gerektirildiğinin bir bütünüdür. Bu uygulama için veri kendisi için belirlenen sürelerde sistemde kalacak olan gemilerdir. Uygulamanın temelini oluşturacak olan veriler T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı olan Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Veri seti 1 Ocak 2017-1 Ocak 2018 yılları arasında İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı'nı geçen gemilerin bilgilerini içermektedir. Bu bilgiler, gemilerin bağlı oldukları bayrak ülkeleri, fiziksel özellikleri, kalkış limanları, varış limanları, IMO numaraları, isimleri, İstanbul ve Çanakkale Boğazları'na giriş ve çıkış tarihleri, geçiş süreleri gibi içerisinde paylaşılmasında sakınca olan ve olmayan bilgi setleri içerir. İki farklı veri setini içeren bu bilgilerin sakıncalı görülmeyen setlerinin nasıl düzenlendiğine ait görseller Şekil 2.22 ve 2.23 ile Çanakkale Boğazı ve İstanbul Boğazı için gösterilmektedir.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Geçiş Yönü	Bayrağı	Tipi	Boyu	Gross Ton	Net Ton	Kalkış Limanı	Kalkış Ülkesi	Varış Limanı	Varış Ülkesi	Boğaz Giriş Zamanı	Boğaz Çıkış Zamanı	Boğazdan Geçiş Süresi (saat)
1													
2	GK	LIBERIA	GENERAL CARGO	132,6	6278	3687	TUZLA	TRK	NIKOLAYEV	UKR	31 Aralık 2016 21:45	1 Ocak 2017 0:12	2,5
3	GK	TURKEY	CHEMICAL TANKER	91,7	2699	1059	DERINCE	TRK	CONSTANTA	RUM	31 Aralık 2016 22:15	1 Ocak 2017 0:21	2,1
4	GK	TURKEY	GENERAL CARGO	91	2558	1404	DILISKELESI	TRK	GALATI	RUM	31 Aralık 2016 22:17	1 Ocak 2017 0:31	2,2
5	GK	TURKEY	CHEMICAL TANKER	99	3353	1465	GEBZE	TRK	TEMRYUK	RUS	31 Aralık 2016 22:27	1 Ocak 2017 0:34	2,1
6	GK	TURKEY	GENERAL CARGO	108,28	5581	2849	ISKENDERUN	TRK	ZONGULDAK	TRK	31 Aralık 2016 22:39	1 Ocak 2017 0:49	2,2
7	GK	RUSSIA	TANKER	138,7	4534	1904	MERSIN	TRK	ROSTOV-NA-DONU	RUS	31 Aralık 2016 22:48	1 Ocak 2017 0:57	2,2
8	GK	MALTA	GENERAL CARGO	139	5684	3230	ALEXANDRIA	EGY	ROSTOV-NA-DONU	RUS	31 Aralık 2016 23:06	1 Ocak 2017 1:11	2,1
9	GK	TURKEY	GENERAL CARGO	90	2163	1359	BANDIRMA	TRK	UNYE	TRK	31 Aralık 2016 22:55	1 Ocak 2017 1:12	2,3
10	GK	MOLDOVA	GENERAL CARGO	106	4426	2376	IZMIR	TRK	KHERSON	UKR	31 Aralık 2016 23:22	1 Ocak 2017 1:22	2,0
11	GK	ISLE OF MAN	TANKER	184,2	23270	9925	ALIAGA	TRK	NOVOROSSIYSK	RUS	31 Aralık 2016 23:54	1 Ocak 2017 1:35	1,7
12	GK	HONG KONG, CHINA	GENERAL CARGO	169,54	18096	9649	NEMRUT BAY	TRK	CONSTANTA	RUM	1 Ocak 2017 0:18	1 Ocak 2017 2:06	1,8
13	GK	SINGAPORE	BULK CARRIER	184,93	25676	13991	HAIFA	ISR	NIKOLAYEV	UKR	1 Ocak 2017 0:39	1 Ocak 2017 2:45	2,1
14	GK	MALTA	CHEMICAL TANKER	142,98	9104	4522	DERINCE	TRK	YUZHNY	UKR	1 Ocak 2017 1:10	1 Ocak 2017 2:50	1,7
15	GK	UKRAINE	GENERAL CARGO	88,17	1733	714	MARMARA EREGLISI	TRK	KHERSON	UKR	1 Ocak 2017 0:10	1 Ocak 2017 2:51	2,7
16	GK	MALTA	GENERAL CARGO	130,86	6055	3522	YARIMCA	TRK	MARIUPOL	UKR	1 Ocak 2017 0:30	1 Ocak 2017 2:57	2,5
17	GK	PANAMA	CHEMICAL TANKER	121	6085	2714	IZMIT	TRK	VARNA	BUL	1 Ocak 2017 1:15	1 Ocak 2017 3:07	1,9
18	GK	CONGO	GENERAL CARGO	114	2457	1134	DILISKELESI	TRK	AZOV	RUS	1 Ocak 2017 0:45	1 Ocak 2017 3:12	2,4

Şekil 2. 22. İstanbul Boğazı veri paketi

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
Geçiş Yolu	Bayrak	Tipi	Boyu	Eni	Deadwt Tonnage	Gross Tonnage	Net Tonnage	Kalkış Limanı	Kalkış Ülkesi	Vary Limanı	Vary Ülkesi	Boğaz Geçiş Zamanı	Boğaz Çıkış Zamanı	Bölgeler Geçiş Süresi (saat)	
2	GK	SINGAPORE	RORO CARGO	199,9	32,3	55775	21359	BEIRUT	LEB	YALOVA	TRK	31 Aralık 2016 21:20	1 Ocak 2017 0:10	2,8	
3	GK	RUSSIA	GENERAL CARGO	156	19,3	7850	8026	TARTOUS	SYR	TEKIRDAG	TRK	31 Aralık 2016 20:45	1 Ocak 2017 0:11	3,4	
4	KG	TANZANIA	GENERAL CARGO	87,9	14	4750	2592	CONSTANTA	RUM	TSIGELI	GRC	31 Aralık 2016 20:59	1 Ocak 2017 0:21	3,4	
5	GK	NETHERLANDS	GENERAL CARGO	89,98	14	4504	2993	CORINTH	GRC	FATSA	TRK	31 Aralık 2016 21:12	1 Ocak 2017 0:25	3,2	
6	GK	UKRAINE	GENERAL CARGO	108,4	15	3104	2571	ALIAGA	TRK	NIKOLAYEV	UKR	31 Aralık 2016 19:46	1 Ocak 2017 0:37	4,9	
7	GK	RUSSIA	GENERAL CARGO	89,73	15	3756	2604	IZMIR	TRK	BRAILA	RUM	31 Aralık 2016 20:17	1 Ocak 2017 0:37	4,3	
8	KG	RUSSIA	GENERAL CARGO	114	13,2	3150	2892	ROSTOV-NA-DONU	RUS	IZMIR	TRK	31 Aralık 2016 21:09	1 Ocak 2017 0:47	3,6	
9	GK	TANZANIA	LIVESTOCK CARRIER	80	13,8	2995	1777	1102	SYR	MIDIA	RUM	31 Aralık 2016 20:35	1 Ocak 2017 1:02	4,4	
10	GK	COOK ISLANDS	GENERAL CARGO	104,75	15,2	4175	3564	1681	BEIRUT	LEB	TEKIRDAG	TRK	31 Aralık 2016 21:33	1 Ocak 2017 1:15	3,7
11	GK	MARSHALL ISLANDS	TANKER	182,55	27,3	37238	23217	11036	BEIRUT	LEB	TEKIRDAG	TRK	31 Aralık 2016 22:03	1 Ocak 2017 1:17	3,2
12	GK	TURKIYE	CONTAINER SHIP	168,77	27,3	19325	15120	6764	CAGLIARI	ITL	GEMLIK	TRK	31 Aralık 2016 22:40	1 Ocak 2017 1:20	2,7
13	KG	MARSHALL ISLANDS	CONTAINER SHIP	168,87	27,4	20976	16211	8328	ALGECIRAS	SPN	AMBARLI	TRK	31 Aralık 2016 22:58	1 Ocak 2017 1:30	2,5
14	GK	COOK ISLANDS	BULK CARRIER	167,2	26	26536	15786	9209	DAMIETTA	EGY	NIKOLAYEV	UKR	31 Aralık 2016 22:13	1 Ocak 2017 1:34	3,4
15	GK	HONG KONG, CHINA	GENERAL CARGO	166,5	27,8	28377	20454	9908	SKUNDA	ALG	KARADENIZ EREGLI	TRK	31 Aralık 2016 22:49	1 Ocak 2017 2:00	3,2
16	KG	LIBERIA	TANKER	183,05	32,2	46745	29597	11929	IZMIR	TRK	YALOVA	TRK	31 Aralık 2016 23:12	1 Ocak 2017 2:08	2,9
17	GK	RUSSIA	TANKER	139,95	16,6	7008	4681	2273	MERSIN	TRK	TAMAN	RUS	31 Aralık 2016 22:00	1 Ocak 2017 2:11	4,2
18	KG	COOK ISLANDS	GENERAL CARGO	149	23,2	20427	13781	6607	BEIRUT	LEB	NIKOLAYEV	UKR	31 Aralık 2016 23:36	1 Ocak 2017 2:15	2,7
19	GK	ITALY	RORO CARGO	176	31,1	12594	37726	13441	ANTWERP	BLG	YENIKÖY (IZMİT)	TRK	31 Aralık 2016 23:57	1 Ocak 2017 2:31	2,6
20	GK	MALTA	TANKER	140	16,8	7103	4684	2273	ELEUSIS	GRC	UKRAINE	UKR	31 Aralık 2016 22:37	1 Ocak 2017 2:36	4,0
21	GK	TURKIYE	CONTAINER SHIP	182,85	28	26811	21092	8600	GAZI MAGUSA	TCY	GEMLIK	TRK	1 Ocak 2017 0:13	1 Ocak 2017 2:37	2,4
22	KG	BAHAMAS	VEHICLES CARRIER	176	31	12300	41009	22395	YENIKÖY (IZMİT)	TRK	SALERNO	ITL	1 Ocak 2017 0:36	1 Ocak 2017 2:50	2,2
23	KG	PANAMA	BULK CARRIER	189,99	32,3	57696	33226	19294	ISKENDERUN	TRK	VARNA	BUL	1 Ocak 2017 0:13	1 Ocak 2017 3:00	2,8
24	GK	TURKIYE	GENERAL CARGO	87	12	3533	2313	1329	IZMIR	TRK	AMBARLI	TRK	31 Aralık 2016 23:25	1 Ocak 2017 3:10	3,8
25	KG	MALAYSIA	BULK CARRIER	229	32,3	81420	44096	27155	CHERNOMORSKOYE	UKR	IRAN (?)	IRN	1 Ocak 2017 0:50	1 Ocak 2017 3:17	2,5
26	GK	TURKIYE	TUG	29,34	7,81		178	39	ALIAGA	TRK	TUZLA	TRK	31 Aralık 2016 23:28	1 Ocak 2017 3:20	3,9
27	KG	BAHAMAS	BULK CARRIER	225	32,3	73583	40160	25869	TOROS	TRK	BANDIRMA	TRK	1 Ocak 2017 0:23	1 Ocak 2017 3:30	3,1
28	KG	TURKIYE	RORO CARGO	193	26	11636	29004	8702	TUZLA	TRK	TOULON	FRA	1 Ocak 2017 1:20	1 Ocak 2017 3:36	2,3
29	GK	MALTA	CHEMICAL TANKER	99,9	15	4600	3269	1429	FOS	FRA	GEZE	TRK	1 Ocak 2017 0:43	1 Ocak 2017 3:53	3,2
30	GK	MALTA	CHEMICAL TANKER	129,5	19	11289	7315	3589	RAVENNA	ITL	DNEPROBUGSKIY	UKR	1 Ocak 2017 0:46	1 Ocak 2017 4:05	3,3
31	GK	SIERRA LEONE	CONTAINER SHIP	100	16,2	5203	4107	2016	TSIGELI	GRC	BANDIRMA	TRK	1 Ocak 2017 0:55	1 Ocak 2017 4:12	3,3
32	GK	RUSSIA	TANKER	140	16,6	6640	4531	1969	LIMASSOL	CYP	TAGANROG	RUS	1 Ocak 2017 1:20	1 Ocak 2017 5:07	3,8
33	KG	SINGAPORE	TANKER	175,5	29,2	29013	19758	8014	TAMAN	RUS	DAMIETTA	EGY	1 Ocak 2017 3:05	1 Ocak 2017 5:30	2,4
34	GK	TURKIYE	RORO CARGO	193,3	26	11526	29004	8702	TRIESTE	ITL	TUZLA	TRK	1 Ocak 2017 3:50	1 Ocak 2017 6:07	2,3
35	KG	PANAMA	CHEMICAL TANKER	134,16	20,5	14045	8253	4735	YALOVA	TRK	PIRAEUS	GRC	1 Ocak 2017 3:25	1 Ocak 2017 6:15	2,8
36	KG	ANTIGUA & BARBUDA	CONTAINER SHIP	166,17	25	18444	15334	5983	TUZLA	TRK	VALLETTA	MTA	1 Ocak 2017 3:38	1 Ocak 2017 6:24	2,8
37	GK	PANAMA	GENERAL CARGO	105,5	16,8	6830	4338	2504	PORTO MARGHERA	ITL	GIURGLESTI	MOL	1 Ocak 2017 3:12	1 Ocak 2017 6:25	3,2
38	KG	PORTUGAL	CONTAINER SHIP	294,13	32,2	52726	32613		PORT SAID	EGY	AMBARLI	TRK	1 Ocak 2017 4:05	1 Ocak 2017 6:28	2,4
39	KG	TURKIYE	GENERAL CARGO	72	9,07	1429	879	524	BANDIRMA	TRK	AKCANS/EGE	TRK	1 Ocak 2017 3:30	1 Ocak 2017 6:40	3,2
40	GK	TURKIYE	CHEMICAL TANKER	117,6	19	9016	6190	2901	AGIOT THEODOROI	GRC	KOCAELI	TRK	1 Ocak 2017 4:50	1 Ocak 2017 8:20	3,5

Şekil 2. 23. Çanakkale Boğazı veri paketi

2.2.1.2. Türk Boğazlar Sisteminden Uğraklı ve Uğraksız Geçiş Yapacak Olan Gemilerin Kategorize Edilmesi

Bu bölümde ilk aşamada elde edilen verilerin tasnif işlemi yapılacaktır. Bir modelleme işlemi yapılacağı zaman çoğu durumda datalar ham, bir işlem görmemiş halde elde edilir ve direk sistemi modelleme işlemine kullanılmaya elverişli değildir. Bu yüzden bir takım eleme ve kategorizasyon işleminden geçmesi gerekir. Boğazlardan geçecek olan gemilerin genel bilgileri kısmında anlatıldığı üzere uğraklı, uğraksız ve yerel trafikten oluştuğu düşünüldüğünde bu uygulama için model verileri tasnif edilmiştir. Yerel trafik ile alakalı bilgiler bu çalışma için geçerli olmadığından uğraklı ve uğraksız gemi trafiğini kapsayan veriler dikkate alınmıştır. Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan veriler Şekil 2.24' de ayrıştırılmış başlıklar altında sayılan ve kullanılabilir hale getirilmiştir.

Veriler bazı durumlarda eksik veya hatalı olabilecek durumlarda olabilir. Bunların tamamlanması olası olmadığından dolayı belirsiz olanlar diye bir gruba yapılmıştır. Yıllık olarak belli sayılarda ve ilgili geçiş sözleşmeleri gereğinde geçiş yapan askeri gemiler de diğer gemilerden ayrı tutulması gerektiği için başka bir gruba dâhil olmuştur. Toplamda

sekiz ayrı veri kategorizasyonuna sahip olan bu uygulama için belirsiz verilerin eksik veri içermesinden, askeri gemilerin istek doğrultusunda kullanılmasına izin verilmediğinden dolayı altı ayrı bölümde işlem yapılmıştır.



Şekil 2. 24. Veri başlıkları

Güney ve kuzey yönlü olarak hareketleri ayrıştırılan gemiler için Marmara-Karadeniz, Ege Denizi-Marmara, Ege Denizi-Karadeniz güneyden kuzeye (GK) doğru yönlenmiş gemiler olarak düşünülecektir. Karadeniz-Marmara, Marmara-Ege Denizi, Karadeniz-Ege Denizi verileri ise kuzeyden güneye (KG) doğru yönlenmiş gemiler olarak düşünülecektir.

- Karadeniz-Marmara Verileri: Karadeniz bölgesinde bulunan bir limandan hareket ederek Marmara Denizi üzerinde bir limana gelecek olan uğraklı gemilerdir.
- Marmara-Ege Denizi Verileri: Marmara Denizi'nde bir limandan ayrılarak Ege Denizi üzerinden Türk limanlarına olursa uğraklı, olmazsa uğraksız geçiş olabilecek gemilerdir.
- Karadeniz-Ege Verileri: Karadeniz bölgesinde bir limandan ayrılarak Ege Denizi üzerinden Türk limanlarına uğrayacaksa uğraklı, uğramayacaksa uğraksız geçiş yapacak olan gemilerdir.

- Marmara-Karadeniz Verileri: Marmara Denizi bölgesinden bir limandan hareket ederek Karadeniz’de ülkemiz sınırları içerisinde kalacak bir limana gidiyorsa uğraklı, gitmiyorsa uğraksız gemilerdir.
- Ege-Marmara Verileri: Ege Denizi bölgesine dünyanın herhangi bir limanında gelen Marmara Denizi içerisinde liman yapacak uğraklı gemilerdir.
- Ege-Karadeniz Verileri: Ege Denizi bölgesine dünyanın herhangi bir limanından gelen Karadeniz’de ülkemiz limanlarından biriye uğraklı, değilse uğraksız gemilerdir.

Gemiler ayrıştırılan kategorilerinde Şekil 2.25 ile gösterilen rotalar üzerinde ilerlerken, kırmızıyla belirtilmiş olan boğazlardan geçeceklerdir.

Karadeniz-Marmara	Marmara-Ege Denizi	Karadeniz-Ege	Ege-Karadeniz	Ege Denizi-Marmara	Marmara-Karadeniz
<ul style="list-style-type: none"> • Karadeniz • İstanbul Boğazı • Marmara Denizi 	<ul style="list-style-type: none"> • Marmara Denizi • Çanakkale Boğazı • Ege Denizi 	<ul style="list-style-type: none"> • Karadeniz • İstanbul Boğazı • Marmara Denizi • Çanakkale Boğazı • Ege Denizi 	<ul style="list-style-type: none"> • Ege Denizi • Çanakkale Boğazı • Marmara Denizi • İstanbul Boğazı • Karadeniz 	<ul style="list-style-type: none"> • Ege Denizi • Çanakkale Boğazı • Marmara Denizi 	<ul style="list-style-type: none"> • Marmara Denizi • İstanbul Boğazı • Karadeniz

Şekil 2.25. Gemilerin geçiş rotaları

Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü’nden alınan veriler tam bir yıllık bir veri setini baz alır. Belirlenen geçiş rotaları üzerinde toplamda ne kadar gemi geçtiği, bu gemilerin ne kadarının uğraklı, ne kadarının uğraksız geçiş yaptığı Tablo 2.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Uğraklı ve uğraksız geçiş yapan gemi sayısı

Marmara-Karadeniz		Marmara-Ege Denizi		Ege Denizi-Karadeniz	
Uğraklı	1929	Uğraklı	3509	Uğraklı	662
Uğraksız	6462	Uğraksız	4882	Uğraksız	11058
Toplam	8391	Toplam	8391	Toplam	11720
Karadeniz-Marmara		Ege Denizi-Marmara		Karadeniz-Ege Denizi	
Uğraklı	7518	Uğraklı	9940	Uğraklı	2537
Uğraksız	0	Uğraksız	0	Uğraksız	11055
Toplam	7518	Toplam	9940	Toplam	13592

Uygulamanın ilerleyen aşamalarında sonuçlar alınmaya başladıkça programın “Source” olarak adlandırılmış kaynak noktası yani gemilerin belirlenen zamanlarda üretilerek sisteme sokulduğu olgunun “OutputBuffer” olarak adlandırılan çıkış ara bölgesinde bulunan gemi sayısı ile “Sink” olarak adlandırılan ve gemilerin sistemden çıkış yaptığı bölgeyi niteleyen “InputBuffer” bölgesindeki gemi sayısının birbiriyle eşit olması gerektiği vurgulanacaktır. Eğer bu sayılar birbirine denk gelmezse, sistem “entity” üretmiyor ya da sistemden dışarıya atılmıyor demektir. Bu oluşturulan modellerde bir hata yapıldığının göstergelerinden biridir.

İstanbul ve Çanakkale Boğazı’ndan geçiş yapan gemiler için bir diğer önemli faktör gemilerin türlerine göre aylık bazda yaptığı geçiş sayısıdır. Boğazlarda uygulanan yönetmelikler gereği gemi geçişleri için günlük olarak bir standartizasyon sağlanamamaktadır. Bunun önemli nedenlerinden biri Türk Boğazları bölgesinde meteorolojik şartların kış boyu daha zorlu geçmesinden dolayı görüş kaybının azalması, yağışların artmasından ötürü akıntıların hızlanması ve seyir zorlukları yaşatması gibi özelliklerdir. Bundan dolayı kış aylarında ve havaların daha soğuk ve elverişsiz olduğu dönemlerde boğazların önünde gemiler darboğazlar oluşturmakta ve geçiş yapan gemi sayılarında azalış yapılması durumunda kalınmaktadır. Bunun tam tersi olarak yaz aylarında ve hava şartlarının gemilerin geçişlerini daha az etkiledikleri dönemlerde boğazlardan gemi geçiş sayısında bir artış gözlenmektedir. Veriler düzenlenirken bu durumlar göz önünde bulundurularak 1 Ocak 2017-1 Ocak 2018 tarihleri arasında geçiş yapan gemilerin 12 aylık periyotta nasıl bir karaktere sahip oldukları, İstanbul Boğazı için Tablo 2.3, Çanakkale Boğazı için Tablo 2.4 ile gösterilmektedir.

İstanbul Boğazı'ndan 2017 yılında yapılan geçişlere bakıldığında aylar bazında kış aylarına denk gelen zamanlarda yapılan gemi geçişleriyle, yaz aylarında denk gelen zamandaki geçişler arasında fark vardır. Gemilerin seyir zorluğu açısından sıkıntı çektikleri bir dönem olan kış aylarında gemiler azalmaktadır. Boğazın sabah periyodunda geçiş yapacak olan ve gece periyodunda geçiş yapacak olan gemileri demirleme sahasında bir darboğaz, bir yığılıma sebep olmaktadır. Bu durum meteorolojik şartlarında elverişsizliği ile birlikte boğazın bazen saatlerce, bazende gün bazında gemi trafiğinin durmasına sebep olmaktadır. Bu etkiler İstanbul Boğazı'nın 12 saat güney-kuzey, 12 saat kuzey-güney yönlü trafiğe açık olması sebebiyle katlanmaktadır. İstanbul Boğazı için 2017 yılında ez az gemi geçişinin olduğu aylar ocak, şubat ve eylül iken, en çok gemi geçişinin olduğu aylar mayıs, haziran, temmuz, ağustos aylarıdır.

Çanakkale Boğazı'ndan 2017 yılında yapılan gemi geçişlerine bakıldığında İstanbul Boğazı'ndan farklı bir yapı gözlenmemektedir. Benzer özelliklerde olan bu iki boğaz neredeyse aynı meteorolojik şartlara ve akıntı özelliklerine sahip olduklarından İstanbul Boğazı için olan kısıtlamalar Çanakkale Boğazı içinde geçerli olmaktadır. Aralarında oluşabilecek en büyük fark Çanakkale Boğazı'nda çift yönlü trafiğin olmasıdır. Uygulamada kullanılan verilerde bazı zaman dilimleri için datalar alındığında iki boğazda ortalama günlük gemi geçiş sayısı 100-150 adet arasında olmaktadır. Fakat Çanakkale Boğazı için yıllık geçiş yapan gemi sayısının, İstanbul Boğazı'ndan daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun ana sebeplerinden biri Avrupa limanlarından Marmara Denizi'deki Ro-Ro limanlarına gelen Ro-Ro gemileri ve konteyner limanlarına gelen konteyner gemilerinin Çanakkale Boğazı'nı sıklıkla kullanmalarıdır.

Tablo 2.3. İstanbul Boğazı 2017 yılı geçiş yapan gemi tiplerinin aylara göre dağılımı

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Barç	0	0	0	5	1	4	1	3	3	1	0	0	18
Dökme Yük Gemisi	636	528	702	615	655	559	674	825	764	750	762	736	8206
Çimento Gemisi	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	1	6
Konteyner Gemisi	230	197	217	202	226	242	206	203	214	220	253	249	2659
Feribot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Genel Kargo Gemisi	1660	1397	1817	1783	1908	1782	1662	1790	1595	1976	1859	1934	21163
Hayvan Gemisi	30	33	32	49	69	71	56	68	36	30	27	43	544
Savaş Gemisi	26	17	28	21	21	10	21	15	21	19	24	14	237
Yolcu Gemisi	19	18	19	19	20	36	36	38	33	38	32	28	336
Ro-Ro Gemisi	21	29	33	36	39	28	38	35	32	37	32	36	396
Türü Belirtilmemiş Tanker	555	474	611	484	523	510	492	488	456	510	546	563	6212
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker	145	132	159	169	184	170	158	147	129	170	161	154	1878
Gaz Tankeri	61	64	72	78	70	55	64	58	49	49	51	71	742
Römorkör	15	18	26	14	19	22	26	20	18	34	29	21	262
Diğer	16	6	19	27	28	12	14	19	23	20	23	20	227
Toplam	3414	2913	3736	3508	3764	3501	3448	3709	3373	3856	3800	3870	42887

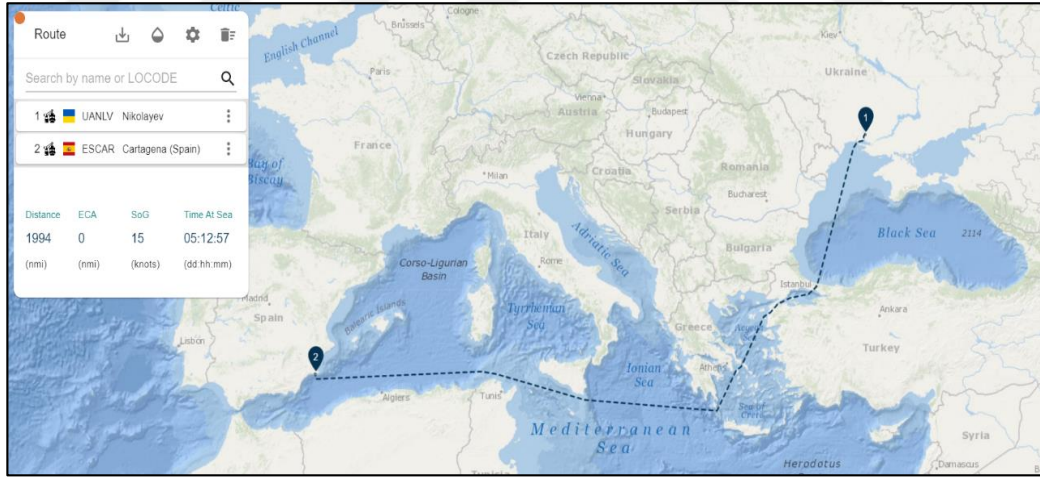
Tablo 2.4. Çanakkale Boğazı 2017 yılı geçiş yapan gemi tiplerinin aylara göre dağılımı

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Barç	1	3	3	10	9	1	1	7	11	23	18	3	89
Dökme Yük Gemisi	650	564	748	635	697	589	710	867	781	787	788	769	8585
Çimento Gemisi	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	6
Konteyner Gemisi	367	334	416	408	439	414	422	394	410	437	453	463	4957
Feribot	4	0	1	5	3	0	0	5	2	2	1	1	24
Genel Kargo Gemisi	1265	1101	1439	1354	1448	1383	1328	1425	1351	1581	1409	1401	16485
Hayvan Gemisi	34	35	36	48	73	75	65	81	46	39	40	55	627
Savaş Gemisi	29	20	27	22	20	10	27	14	24	23	37	18	271
Yolcu Gemisi	0	5	4	5	2	13	9	3	4	2	1	1	49
Ro-Ro Gemisi	200	189	221	226	220	197	204	195	199	220	203	205	2479
Türü Belirtilmemiş Tanker	532	466	600	514	524	511	513	478	428	507	540	532	6145
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker	222	190	189	220	245	233	243	209	192	220	199	237	2599
Gaz Tankeri	74	70	67	76	76	49	51	52	41	46	52	80	734
Römorkör	27	27	30	31	19	42	33	22	25	32	34	43	365
Diğer	31	16	28	46	61	56	45	44	55	51	45	33	511
Toplam	3436	3020	3809	3600	3837	3573	3651	3796	3570	3972	3820	3841	43926

2.2.1.3. Türk Boğazlar Sistemine Giren Gemilerin ve Boğazlar Sisteminin Fiziksel Büyüklük Verilerinin Modellenmesi

İlk iki bölümde detaylı bir şekilde anlatılan verilerin modellenmesi ve bir zekâ verilerek sistemde iş görmesi kısmı bu bölümden sonra başlamaktadır. Türk Boğazlar Sistemi'nin modellenerek simülasyon modelinin oluşturulması işlemi birebir gerçek veriler yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

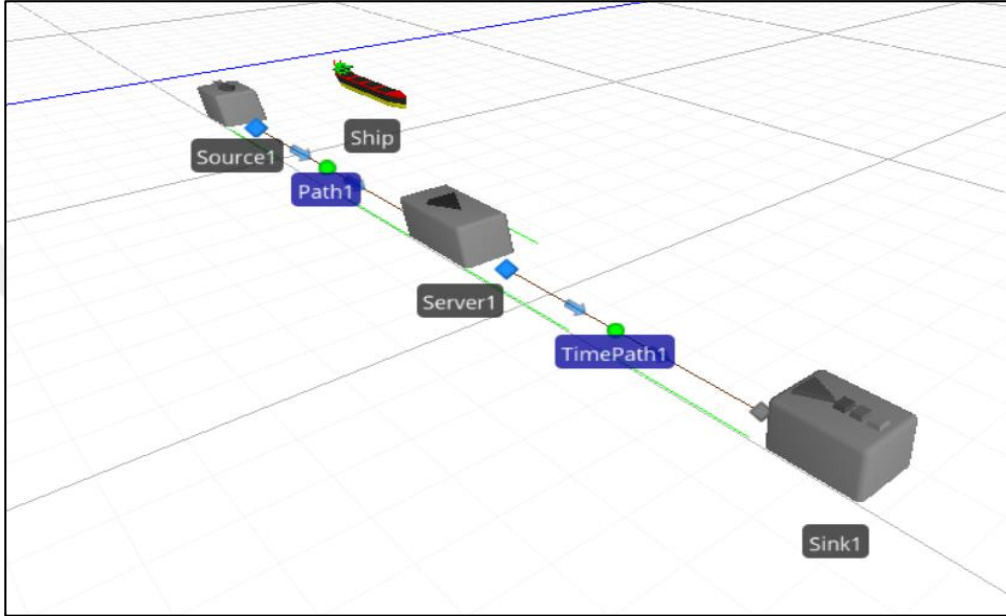
Gemilerin boğazlarda seyir esnasında kat ettikleri yol sürelerinin yanı sıra izledikleri rotaların mesafeleri de önemlidir. Güzergâhların mesafeleri ve bu mesafeler arasında geçen süreler “AquaPlot” adlı bir uygulama yardımıyla elde edilmiştir. Programın arayüzü Şekil 2.26 ‘da gösterildiği gibidir. Arayüz görüntüsünde yer alan “Distance” kısmı ile limanlar arası mesafelerin deniz mili cinsinden değeri elde edilirken, “Time At Sea” kısmı ile limanlar arası seyir zamanı gün, saat ve dakika olarak elde edilmektedir. Programa verilerde yer alan kalkış limanları ve varış limanları tek tek girilerek limanlar arası mesafe ve süreler tespit edilmiştir.



Şekil 2.26. Aquaplot uygulaması arayüz görüntüsü

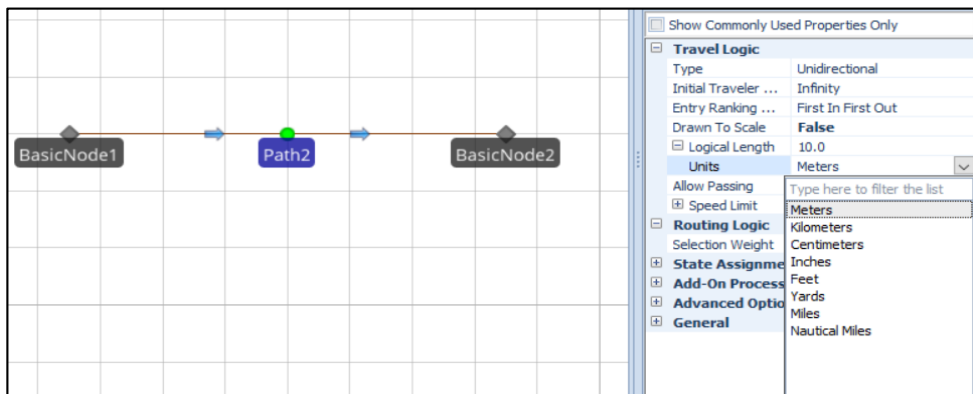
Türk Boğazlar Sistemi'nin modellenmesi için kullanılacak olan SIMIO simülasyon yazılımının nasıl bir program olduğunu anlayabilmek açısından yazılımda kullanılan temel modüllerin programda nasıl konumlandığı Şekil 2.27 ile gösterilmektedir. “Ship” olarak gösterilen “Entity”, çalışma için kullanılacak olan verinin sistemdeki halidir. “Source” olarak gösterilmiş “Kaynak”, verinin üretilerek sisteme girmesini sağlayan ilk aşamadır.

“Server”, sistemin işlem kanallarını oluşturma görevine sahipken, bu uygulama için boğazların güney ve kuzey bölgelerinde giriş noktalarının oluşmasını sağlayacaktır. “Sink”, işlem görerek sistemdeki görevini tamamlayan entitylerin(gemilerin) sistemi terk ederek analizin tamamlandığı noktadır. Modüller arası geçiş için farklı opsiyonlar olmasına karşın uygulamada “Path” ve “TimePath” modülleri kullanılmıştır.



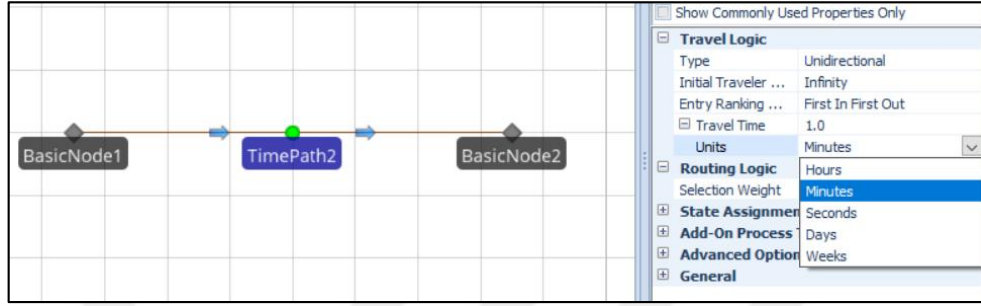
Şekil 2.27. SIMIO basit modeli

Aquaplot uygulamasından elde edilen mesafe verileri programda “Path” modülünde Şekil 2.28’ de gösterildiği gibi eklenerek, sisteme tanımlanmaktadır.



Şekil 2.28. Path modülünde mesafelerin tanımlanması

Modellemenin bazı aşamalarında mesafenin yanı sıra zamanın da önemli olduğu konular olabilir. Bu uygulama içinde boğazlarda gemilerin geçiş süreleri önemli bir ölçü olduğundan programda bunun yansıtılabileceği kısım olan “TimePath” Şekil 2.29 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.29. TimePath modülünde sürenin tanımlanması

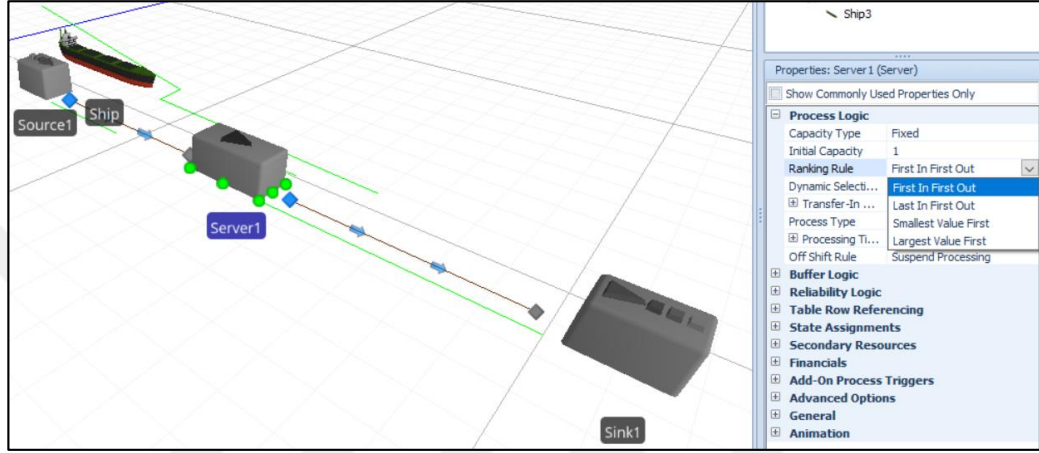
Gemilerin sistem içerisinde hareketlerine bir hız kısıtı koyulması gerektiğinde program yine ona uygun bir modülün altında seçenek sunmaktadır. Şekil 2.30 ile gösterilmekte olan bu seçenek “entity”nin bağlı olduğu modül ile ilişkili olacaktır. Türk Boğazlarında hareket halinde olan gemiler için seyir hızları 10 mil/saat ile sınırlandırıldığı için bu uygulamada da kısıt 10 mil/saat olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 2.30. Entity başlangıç hız değeri atanması

Gemilerin işlem görmesi için gereken servis disiplini çalışma için önemli olan bir diğer husustur. Verilerin ilk iki aşamada ayrıştırılması sırasında “FIFO(First In First Out)” servis

disiplinine göre bir düzenleme yapılmıştır. Hizmet kanalına girecek olan geminin giriş zamanları ile alakalı veriler gerçek veriler olduğundan “rastgele(SIRO)” veya “son giren ilk çıkar(LIFO)” servis disiplinlerinin benimsenmesi yerine “ilk giren ilk çıkar(FIFO)” servis disiplininin benimsenmesi daha doğrudur. Servis disiplininin simülasyon yazılımında kullanım yeri Şekil 2.31’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.31. Simülasyon yazılımı servis disiplinleri

İstanbul ve Çanakkale Boğazı’na ait verilerin model üzerine indirgenmesi işlemi “Data” bölümünde yer alan “Table” kısmı ile şekillenmektedir. Burada altı farklı kaynaktan gemi sisteme sokulacağından altı farklı tablo oluşturulmuştur. Tablolar içerisinde yer alan her veri setinin içindeki datalar programda birer statik giriş parametleri olarak değerlendirilir ve içerdikleri birimlere göre reel, tamsayı, ifade, olay gibi pek çok standart özellik bazında programda kendilerine yer bulurlar. Sistem modeline ait data girişleri Şekil 2.32’ de gösterilmektedir.

Program bünyesinde dataların model içerisine tablolar halinde kodlanması yeterli gelmemektedir. Bu nedenle bu tabloların satır ve sütun numaralarının modüller tarafından fark edilmesi ve program içinde okunmasını sağlamak adına ayrık veya sürekli değişken tanımının kodlanması gerekmektedir. Bu sayede modüller hangi tablodan, hangi verileri, hangi sıradan çekmesi gerektiğini anlayabilecektir. Model üzerine eklenmiş ayrık düzenli değişkenler, Şekil 2.33’ de gösterilen şekillerde, içerilerine gömülen kodlamalarla program koşturmasına dahil edilmektedir.

	Bogaz Giriş Zamanı	İstanbulBogazBekleme (Hours)	MarmaraDenizBekleme (Hours)	CanakkaleBogazBekleme (Hours)
1	1.01.2017 03:30:00	1,83861111111613	18,328055555583	2,70000000006985
2	1.01.2017 03:50:00	1,9666666679084	44,0074999998906	3,30916666664416
3	1.01.2017 04:01:00	1,9833333333721	12,493055555562	2,6444444444962
4	1.01.2017 04:06:00	2,0666666676756	17,4261111110682	3,5855555553176
5	1.01.2017 04:22:00	1,8833333333605	16,5	4,437222222155
6	1.01.2017 04:38:00	1,93333333334886	17,9344444443122	2,8430555553874
7	1.01.2017 04:57:00	2,01666666660458	12,7900555556132	2,81861111096805
8	1.01.2017 04:58:00	1,8833333333605	14,107222221992	2,7508333341172
9	1.01.2017 05:18:00	1,90000000008149	20,429999999993	2,5577777777985
10	1.01.2017 05:30:00	1,9713888890692	18,608888887316	3,4255555567378
11	1.01.2017 05:34:03	1,67111111112172	17,276388889458	3,58527777768904
12	1.01.2017 05:50:56	1,8922222240642	17,758888887549	2,94972222216893
13	1.01.2017 05:56:00	1,96750000014436	18,598888888387	3,21777777769603
14	1.01.2017 06:05:00	1,81166666687932	9,3549999998496	2,14277777785901
15	1.01.2017 06:17:15	1,8863888893183	16,742777777775	3,00583333329996
16	1.01.2017 06:47:31	1,9116666668141	9,080000000163	2,52916666661622
17	1.01.2017 07:05:00	1,96916666667676	17,362777777729	3,09305555548053
18	1.01.2017 07:16:09	1,73111111111776	61,931388887991	3,1516666666721

Şekil 2.32. Veri setlerinin tablolar ile sisteme girişi

Name	Object Type	Display Name
State Variables (Inherited)		
State Variables		
RowNumber 1	Real State Variable	RowNumber 1
RowNumber 2	Real State Variable	RowNumber 2
RowNumber 3	Real State Variable	RowNumber 3
RowNumber 4	Real State Variable	RowNumber 4
RowNumber 5	Real State Variable	RowNumber 5
RowNumber 6	Real State Variable	RowNumber 6

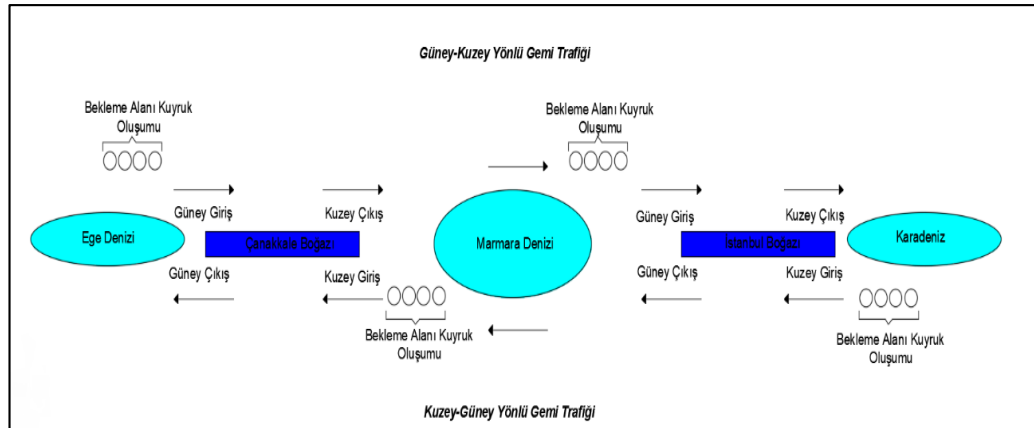
Şekil 2.33. Satır ve sütun verilerinin modüle aktarımı

2.2.1.4. Güncel Türk Boğazlar Sistemi Simülasyon Modelinin Oluşturulması ve Sürecin Programda Koşturulması

İlk olarak verilerin elde edilmesiyle başlayan işlem basamağı, ikinci aşamada uygulamanın en önemli basamağı olan verilerin yazılıma uygun olarak düzenlenmesiyle devam etmiş ve üçüncü aşamada gemilerin sistem içerisinde uyması gereken kurallar bütününe göre fiziksel ve matematiksel büyüklükleri yazılım zekâsına göre modellenmiş ve mevcut Türk Boğazlar Sistemi'nin oluşturulması için bir zemin hazırlanmıştır.

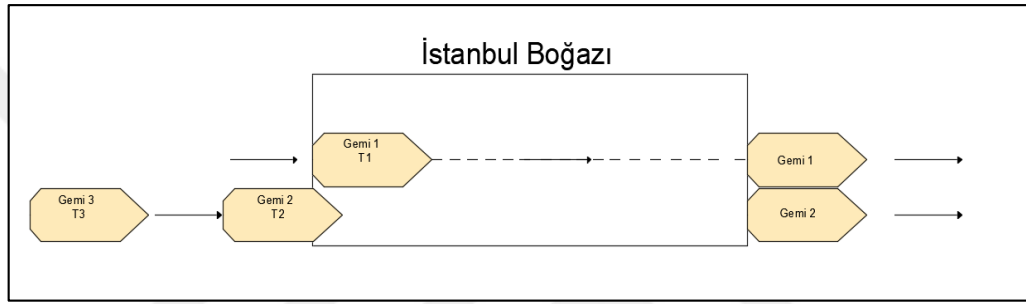
Türk Boğazlar Sistemi modelde İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır.

Modelin oluşturulacağı simülasyon yazılım programının ana mantığını oluşturan kuyruk teorisine göre Türk Boğazlar Sistemi, Şekil 2.32 ile gösterilmektedir. Türk Boğazlar Sistemi'nde iki ana akış yönü bulunmaktadır. Uygulama için sadece ulusal ve uluslararası bazda temel trafik ayırım şeridini kullanan uğraklı ve uğraksız geçiş yapan gemiler, kuzeyden güneye ve güneyden kuzeye doğru trafik oluştururlar. Şekilde de görüldüğü gibi boğazların giriş noktalarında mevcut olan bekleme alanları içerisinde bir süre sonra kuyruk yapısı oluşmaya başlar. Burada gemiler için en uzun süren bekleme ve geçiş süreleri Marmara Denizi içerisinde oluşmaktadır. Bundan dolayı Marmara Denizi trafik yükünün çok büyük bir kısmını üstlenmektedir.



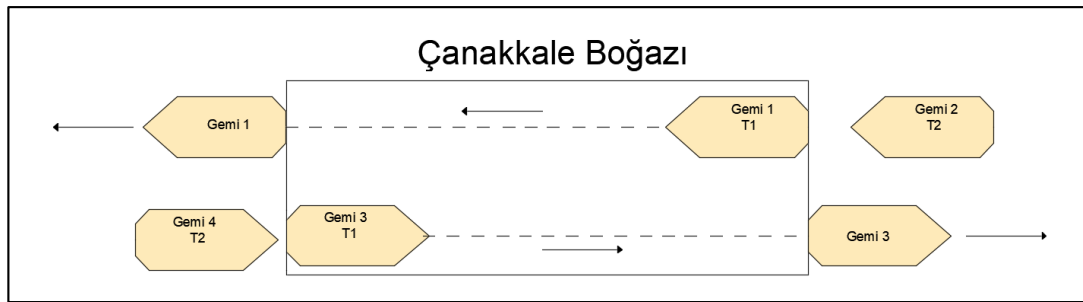
Şekil 2.34. Türk Boğazlar Sistemi kuyruk yapısı

Türk Boğazlar Sistemi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı'nı tek bir çatı altında konumlandırmış olsa bile, iki farklı boğaz geçiş yapısı ve kuyruk temeli mevcuttur. Her birini kendi özelinde incelemek gerekirse İstanbul Boğazı için kuyruk yapısı Şekil 2.35 ile gösterilmektedir. İstanbul Boğazı'nda tek yönlü bir gemi trafik akışı mevcuttur. Bu nedenle İstanbul Boğazı'na gemiler her zaman belirli aralıklarla, boğaz içerisinde birbirilerinin önüne geçemeyecek şekillerde ve sürelerde alınır. Bu yüzden her zaman gemiler arasında ΔT 'lik bir zaman farkı mevcut olmak zorundadır. Gemi 1 ile Gemi 2 arasında bulunan ΔT süresi ($T_2 - T_1$) lik bir zamanı tanımlamaktadır.



Şekil 2.35. İstanbul Boğazı kuyruk yapısı

Türk Boğazlar Sistemi'nin ikinci önemli boğazı olan Çanakkale Boğazı'nda ise çift yönlü trafiğe elverişli bir gemi geçiş sistemi vardır. Çanakkale Boğazı'nda oluşacak olan kuyruk yapısı Şekil 2.36'da gösterilmektedir. Gemiler aynı anda Ege Denizi tarafında bulunan giriş noktası ile Marmara Denizi tarafında bulunan giriş noktasından Çanakkale Boğazı'na alınabilir. Burada önemli olan nokta gemilerin birbirlerinin önüne geçmeden kuyruk takibinde kalmalarıdır.



Şekil 2.36. Çanakkale Boğazı kuyruk yapısı

Uygulama için gemiler arasında boğaza giriş süresi yani ΔT , belirli bir süre olarak atanmamakta ve gerçek veriler olmasından dolayı her gemi için özel bir süreyi kapsamaktadır. Ancak bir genelleme yapılması gerekirse İstanbul Boğazı için gemilerin boğaza alınmaları arasındaki süre gece ve gündüz değişkenlik göstermektedir. Tankerlerin boğaza alınmasında koyulan keskin kısıtlardan ötürü bu süre bazen 1 saate çıkabilmektedir. Standart bir geçiş süresi söylenmesi çok mümkün olmasada gemilerin birbirilerini takip etmesinde herhangi bir sıkıntı görünmeyen gemiler arasında 10 dakika ile 30 dakika arasında bir süre farkı mevcuttur. Çanakkale Boğazı için tankerlere koyulan kısıtlar gemiler arasında 1- 1.5 saat gibi farklar koyabilmekte, diğer gemiler için ise 10-20 dakika arasında bir süre farkı oluşturabilmektedir. Burada önemli olan olgu gemiler arasındaki kuyruk takibinde 8 gomina mesafenin korunabilmesidir.

İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı için meteorolojik ve akıntı şartlarındaki elverişsizlik haricinde günlük kuyruk yapısında 100-150 adet arasında olmak üzere bir gemi yoğunluğu gözlenmektedir.

Çalışma içerisinde sistem modellenirken bazı kısıtlar göz ardı edilmektedir:

- Meteorolojik şartlardan ötürü boğaz geçişlerinin belirli sürelerle durdurulması
- Boğazların akıntı yapılarından ötürü boğaz geçişlerinin askıya alınması
- Görüş mesafesinin azaldığı durumlarda boğaz geçişlerinin askıya alınması
- Boğaz geçişinde gemilerin kılavuz kaptan alma durumları
- Gemilerin boğaz içerisinde yapması olası kazalar sebebiyle geçişlerin kısıtlanması
- Kuzey-Güney ve Güney-Kuzey yönlü geçiş yapan gemilerin trafiğini doğu-batı yönlü olarak kesen yerel trafik durumu

Bu kısıtların sistem modeli üzerinde uygulanmama sebeplerinin ana temeli gerçek verilerin tüm kısıtları bünyesi içerisinde bulunmasıdır.

Mevcut sistem için çalışmada uygulanan kısıtlar ise şu şekildedir:

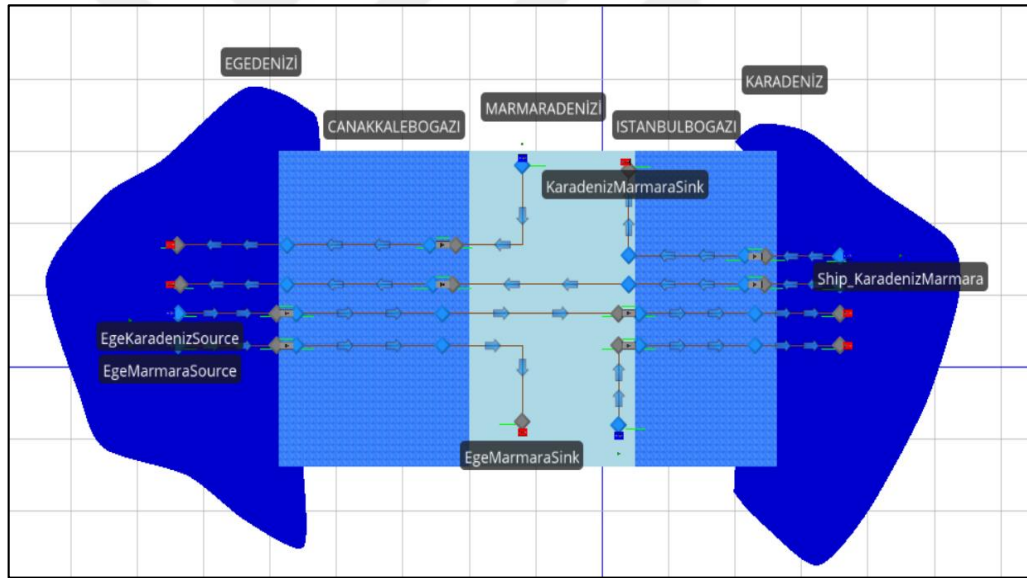
- Gemilerin boğaz geçişleri sırasında hızları
- Boğazlarda mevcut olan gemi geçiş kuralları
- Gemilerin seyir esnasında kullandıkları rotalar ve seyir düzeni
- Gemilerin takip ettiklerin rotaların uzunlukları

Sistemin modellenmesinde sırasında belirlenen değişkenler ise girdi değişkenleri ve çıktı değişkenleri olarak iki farklı şekilde kategorize edilmiştir. Çıktı değişkenleri süreç

sonunda alınacak olan sonuçları kapsamaktadır. Modellenen sistemin girdi değişkenleri şu şekildedir:

- Güney-Kuzey ve Kuzey-Güney yönlü gerek uğraklı gerek uğraksız geçiş yapan gemilerin boğazlara giriş zamanları
- Güney-Kuzey ve Güney Kuzey yönlü hareket halinde olan gemilerin boğazlardan çıkış zamanları
- Gemilerin İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nı geçiş süreleri
- Gemilerin öncelik sıralamaları

Türk Boğazlar Sistemi'nde işlemekte olan kuyruk yapısı ve kurallar anlaşıldıktan sonra simülasyon yazılımında Türk Boğazlar Sistemi için ilk adımı oluşturacak olan model oluşturulmaya başlanmıştır. En basit hâliyle Türk Boğazlar Sistemi gemi hareket modeli Şekil 2.37 ile gösterilmektedir.

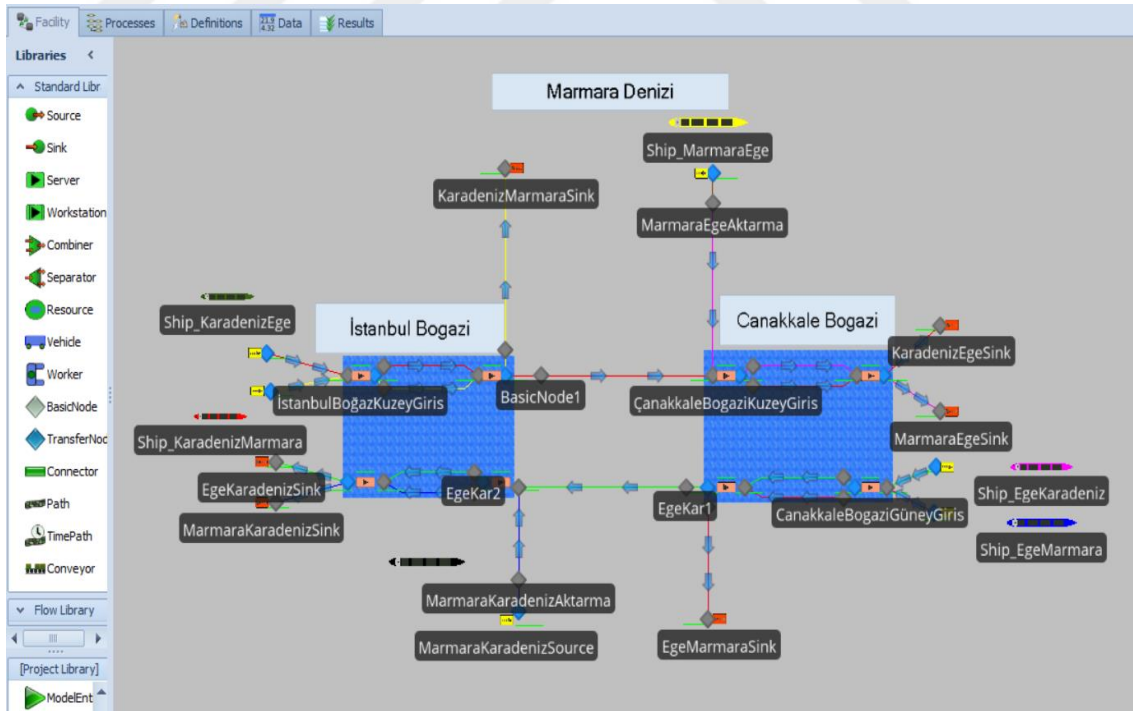


Şekil 2.37. Türk Boğazlar Sistemi gemi hareket sistemi modeli

Simülasyon yazılımını kullanan programlarda ilk modelin oluşturulması sistemin çalışmasının denetlenmesi amaçlı olmaktadır. Özellikle bu tez çalışmasında yapılan uygulamada olduğu gibi 90.000 adetlik yüksek bir veri ile çalışılması gereken durumlarda sistem sıklıkla hata verebilmektedir. Çalışmanın verilerinin doğrallığını bozmamak ve farklı bir yöntem kullanmamak için verilerin düzenlendiği uygulama üzerinden simülasyon yazılımı üzerine bir aktarım sağlanmıştır. Oluşturulan ilk model mantıksal oluşuma herhangi

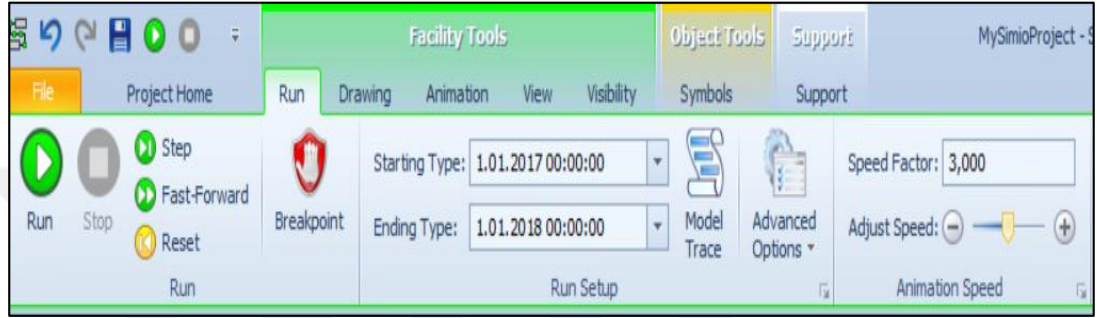
bir engel olmayacağını analiz ile gösterdikten sonra asıl modelin oluşturulması işlemi başlamıştır. Bu aşamaya gelene kadar denemelerle elde edilmiş bilgiler ve değiştirilemeyecek kesin veriler ile Şekil 2.36 ile gösterilen model ortaya çıkarılmıştır.

Modelin arayüzünde gösterilen sadece şeklen modelin anlaşılabilmesini sağlamaktadır. Ancak simülasyon yazılımının izin verdiği ölçüde alt metinlerinde sistemin kurularak, modelin oluşturulması için bir takım kodlama adımları mevcuttur. Şekil 2.38’de sağ üst köşede görülen beş adımdan “Data” kısmı veri setinin giriş önceliği, rotalarda geçiş süreleri, boğaza giriş süreleri gibi tanımlamaların ve değerlerin oluşturulduğu ve kodlandığı kısımdır. Ayrıca modelin çalışma sürelerinin sistem içerisinde nasıl olması gerektiği pencere listesinde yer alan “Data” bölümünün altında bulunan “Work Schedules” ile çalışma planlaması yapılarak belirlenmiştir. Modelin denenmiş mantıksal oluşumundan sonra bu kısımdan veriler ilgili yerlere kodlanır ve sistem her seferinde tekrar tekrar programda koşturularak hata verip vermediği denetlenmektedir. Sonuçların doğruluğunu kontrol edilmek için “Result” kısmından her tür modülün ayrıntılı bir dökümü elde edilir ve yorumlanır.



Şekil 2.38. Mevcut Türk Boğazlar Sistemi'nin SIMIO arayüzünde modellenmesi

Simülasyon yazılımı kullanan SIMIO benzeri programlar ve kodlama amaçlı kullanılan programlarda kullanılan “koşturma” terimi, sistem oluşturulup gerekli kodlamalar yapıldıktan sonra programın çalıştırılması ve bir sonuç vermesinin sağlanması bölümüdür. Bu uygulama için koşturma işlemi belirli bir süre kısıtı içermektedir. SIMIO simülasyon yazılımı programında koşturma eyleminin gerçekleştirildiği sekme Şekil 2.39 ile gösterilmektedir.



Şekil 2.39. Simülasyon yazılımı model koşturma ekranı

“Run” simgesi altında yer alan “Starting Type” kısmı istenilen zaman aralığının başlangıcını göstermekten, “Ending Type” kısmı istenilen zaman aralığının son bulacağı noktayı göstermektedir. Bu uygulamada kullanıldığı gibi spesifik bir aralık seçilebilirken programın atadığı başka koşturma kurulumu da yaratabilmektedir. “Run” sekmesi altından sistemin işlemesi sırasında adım adım verilerin işleyişi takip edilebilir. Sistem için girdiğimiz veriler ve komutlardan sonra programın koşturulmasının devamında olası sonuçların analizini yapabilmek adına “Result” kısmına bakılmaktadır. “Result” kısmının görseli olarak bir örneği Şekil 2.40 ile gösterilebilmektedir.

Views < Drop Filter Fields Here						
Average						
Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	
ModelEntity	DefaultEntity	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	
				Maximum		
				FlowTime	TimeInSystem	Average (Ho...
					Maximum (Ho...	
					Minimum (Ho...	
					Observations	
Path	Path1	[Travelers]	Throughput	NumberCreated	Total	
				NumberDestroyed	Total	
			Content	NumberOnLink	Average	
				Maximum		
			FlowTime	TimeOnLink	Average (Ho...	
					Maximum (Ho...	
	Minimum (Ho...					
Path2	[Travelers]	[Travelers]	Throughput	NumberEntered	Total	
				NumberExited	Total	
			Content	NumberOnLink	Average	
				Maximum		
			FlowTime	TimeOnLink	Average (Ho...	
					Maximum (Ho...	
	Minimum (Ho...					
Server	Server1	[Resource]	Capacity	ScheduledUtilization	Percent	
				UnitsAllocated	Total	
			UnitsScheduled	Average		
				Maximum		

Şekil 2.40. Veri analizi için sonuç göstergesi

Ancak ilk aşamada mevcut Türk Boğazlar Sistemi için yapılan sonuç alma işleminde verinin sisteme girmesini sağlayan “Source” kısmı ile sistemden çıkışını gösteren “Sink” bölümüdür. Her zaman kurulan sistem de giren veri sayısının çıkışta da aynı olması istenir. Bu şekilde, verinin tümü istenildiği gibi modelde ki hizmet kanallarında işlem görmüş ve istenilen zamanda işlemi bitirerek sistemi terk etmiş demektir. Şekil 2.41, “Source” ve “Sink” modüllerinin “Result” yani sonuç ekranındaki görünümünü göstermektedir.

Sink	Sink1	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Ho...
					Maximum (Ho...
					Minimum (Ho...
					Observations
Source	Source1	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total
				NumberExited	Total
		Processing	Throughput	NumberEntered	Total
				NumberExited	Total

Şekil 2.41. Source ve Sink modüllerinin sonuç kısmındaki görünümü

Buffer alan olarak isimlendirilen ve “Source” modülünün çıkışında, “Sink” modülünün girişinde yer alan “Number Entered” ve “Number Exited” bölümleri birbiriyle sayısal olarak eşleşmek zorundadır. Ayrıca “NumberCreated” ve “NumberDestroyed” sayıları da uyuşmak zorundadır. Simülasyon programlarında modelin doğruluğunu kanıtlayacak test olmaları ve duyarlılık analizinin yapılabilmesi açısından çok önemlidir. Bu uygulama için oluşturulmuş altı adet “Source” modülü ve her birine eş “Sink” modülü bulunmaktadır. Modelin bir çok defa koşturularak karşılaştırılmış analizlerinden yararlanılarak Tablo 2.5 oluşturulmuştur.

Tablo 2.5. Model verilerinin kontrolü

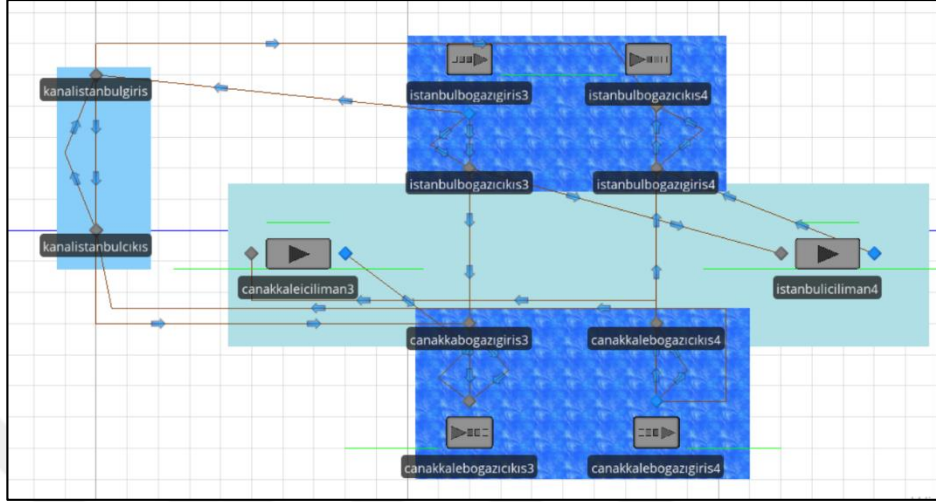
<i>Gemilerin Hareketlilik Yönü</i>	<i>Source</i>	<i>Sink</i>
	<i>Output Buffer</i>	<i>Input Buffer</i>
Ege-Karadeniz	11720	11720
Ege-Marmara	9940	9940
Karadeniz-Ege	13592	13592
Karadeniz-Marmara	7518	7518
Marmara-Ege	8391	8391
Marmara-Karadeniz	9209	9209

Türk Boğazlar Sistemi'nin simülasyon yazılımı ile oluşturulan modelinde sisteme giren ve çıkan gemi sayılarının uyuşması modelin doğruluğunu artırmış ve bir sonraki aşamaya geçiş için kontrol sağlamıştır. Bu şekilde, oluşturulan modelin geçerli olduğunu teyit edilmiştir.

2.2.1.5. Kanal İstanbul Projesinin Modellenmesi ve Mevcut Türk Boğazlar Sistemine Entegre Edilmesi

Mevcut Türk Boğazlar Sistemi'nin modellenmesi aşamasında yapılan her türlü işlem basamağı bu bölümde de uygulanmıştır. Öncelikle basit bir model ile mantığı anlaşılan ve uygulanması durumunda çalışabilen bir sistem oluşturulmuştur. Sonrasında daha gelişmiş ve daha çok verinin içerisinde yer aldığı başka bir formu oluşturulmuştur. Mevcut Türk

Boğazlar Sistemi modeli üzerine kuzeyde Durusu hattından başlayarak güneyde Küçükçekmece Gölü'nün Marmara Denizi ağzında son bulacak 45 km'lik bir kanal eklenmiştir. Basit model gösterimi Şekil 2.42 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.42. Kanal İstanbul Projesi'nin Mevcut Türk Boğazlar Sistemi üzerine entegrasyonu

Kanal İstanbul'u kullanacak olan gemiler için de tıpkı Türk Boğazları'nda uygulanan manevra hızı kısıtı olan 10 mil/saat uygulanmıştır. Modelin oluşturulması aşamasında çift yön veya tek yön gemi trafiğine açık olup olamayacağı ile alakalı herhangi bir bilgi bulunmadığından, Kanal İstanbul'da bir model için çift yön trafiği, diğer model için tek yön trafiği düşünülerek işlem yapılmıştır.

Türk Boğazlar Sistemi'ni kullanan gemilerin iki farklı geçiş türü olan uğraklı gemi geçişi ve uğraksız gemi geçişi güncel halinde olduğu gibi Kanal İstanbul üzerinden geçirilmektedir. Kanal İstanbul Projesi'nin uğraksız gemi geçişi için kullanılması ön görülmesi rağmen uygulamada iki farklı Kanal İstanbul Projesi geçiş modeli uygulanmıştır. Bunun başlıca sebebi yapılan bu çalışmanın TUBITAK tarafından desteklendiği ve çalışma raporunun Ulaştırma ve Habercilik Bakanlığı'nın Kanal İstanbul'a ait ÇED Raporunu yayınlamasından önce teslim edilmiş olması ve bundan dolayı geçişler ile alakalı bir bilinmezliğin olmasından ötürüdür. Oluşturulan modeller şu şekildedir.

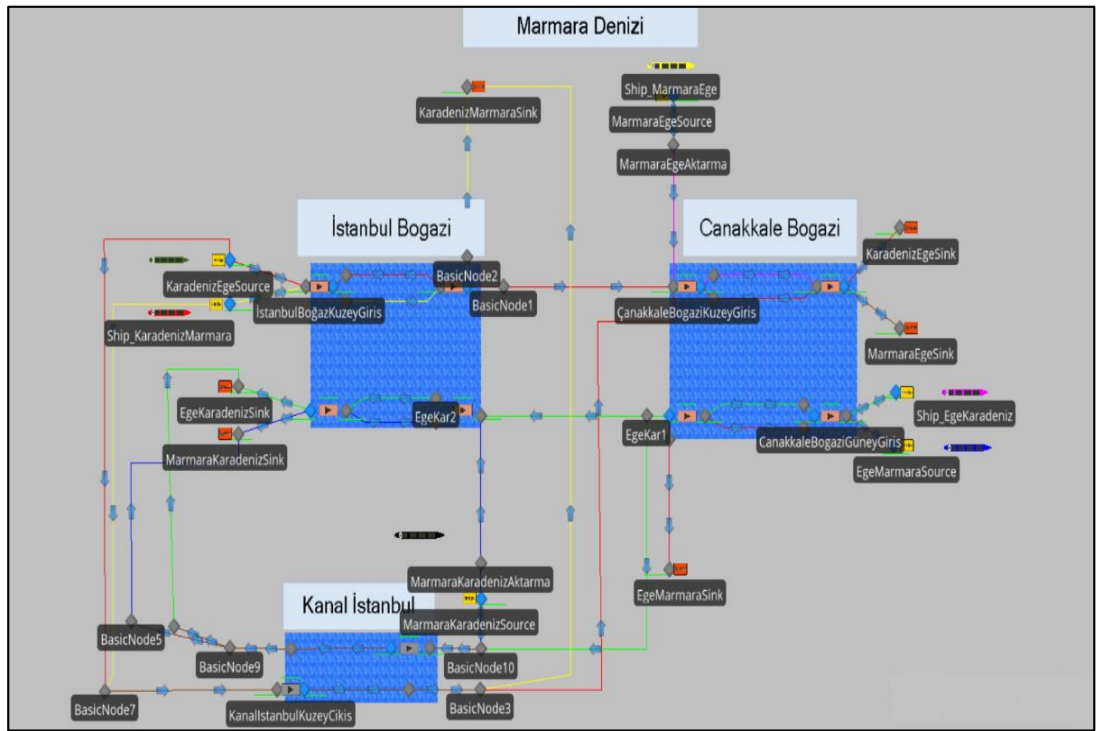
1. Model 1: Karadeniz-Marmara yönlü hareket eden uğraklı gemiler, Marmara-Karadeniz yönlü hareket ederek uğraklı ve uğraksız geçiş yapacak olan gemiler, Karadeniz-Ege yönlü hareket ederek uğraklı ve çoğunluğu uğraksız geçiş yapacak gemiler, Ege-Karadeniz yönlü hareket ederek Karadeniz' de

Türk limanları için uğraklı, Karadeniz'e kıyıdaş başka ülkelerin limanlarına gitmek için uğraksız geçiş yapan tüm gemiler Kanal İstanbul'u kullanma hakkına sahiptir.

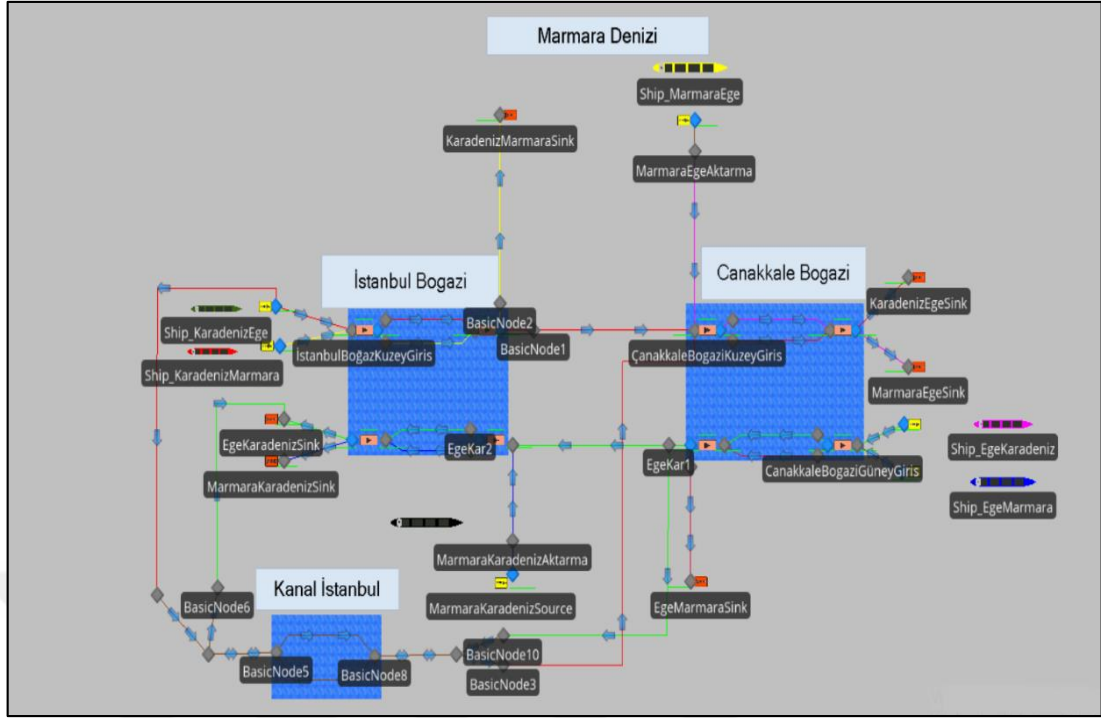
2. Model 2: Kanal İstanbul için ön görülen şekliyle, Karadeniz-Ege yönlü hareket eden uğraklı ve uğraksız geçiş yapan gemiler ile Ege-Karadeniz yönlü hareket eden uğraklı ve uğraksız geçiş yapan gemiler Kanal İstanbul'u kullanma hakkına sahiptir.

Model 1'in bir arayüz görüntüsü Şekil 2.43'de gösterilmektedir. Şekil üzerinde de görüldüğü gibi sol taraftan sağ tarafa doğru Karadeniz-Ege rotası oluşmaktayken, tam tersi yönde Ege-Karadeniz rotası oluşmaktadır. Modüllerin daha rahat fark edilebilmesi ve ayırımının yapılabilmesi için renklendirilmiştir. Her bir renk ayrı bir rotayı göstermektedir.

Model 2'ye ait bir arayüz görüntüsü ise Şekil 2.44 ile gösterilmektedir. Bu model ile Kanal İstanbul'un tek yönlü bir trafik güzergâhını benimsemesi sağlanmıştır. Gemilerin geliş yoğunluğuna göre kuzey-güney yönlü trafik açık oluyor ve güney-kuzey yönlü trafik duruyor. Tam tersi bir yoğunluk düzeyinde ise güzergâhların açıklık durumu kendini otomatik olarak düzenleyebilmektedir.



Şekil 2.43. Model 1 arayüz görüntüsü



Şekil 2.44. Model 2 arayüz görüntüsü

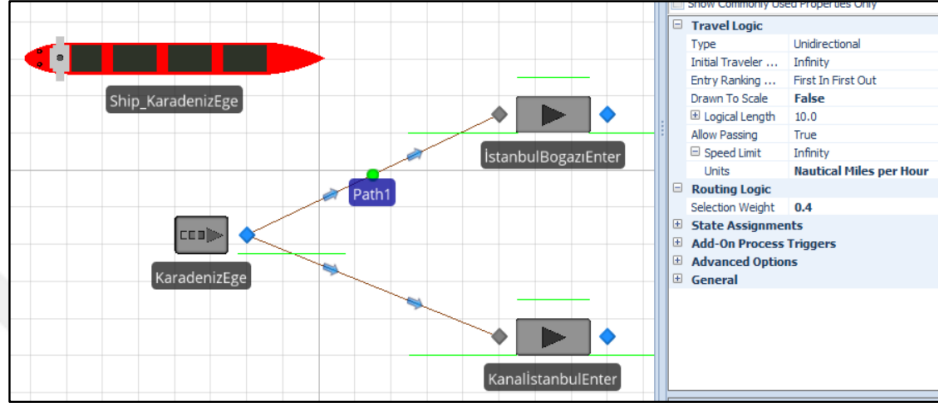
2.2.1.6. Kanal İstanbul'u İçine Alan Türk Boğazlar Sistemi Geçiş Senaryolarının Oluşturulması

Kanal İstanbul'un bir sonraki bölümde anlatılacak olan performans kriterlerinin değerlendirilmesi aşamasında bir takım farklı durumlar altında sistemin işleyişi gözlemlenmeli ve çıkarımlar yapılması gerekmektedir. Bunun için uygulamada 10 farklı senaryo değerlendirmeye alınmıştır. Analizin derinliğine göre ve veri sayısının artımıyla doğru orantılı olarak senaryo sayıları artırılıp azaltılabilmektedir. Bu çalışma için bir yıllık bir veri seti incelendiğinden 10 senaryo uygun bir sayı olarak görülmüştür.

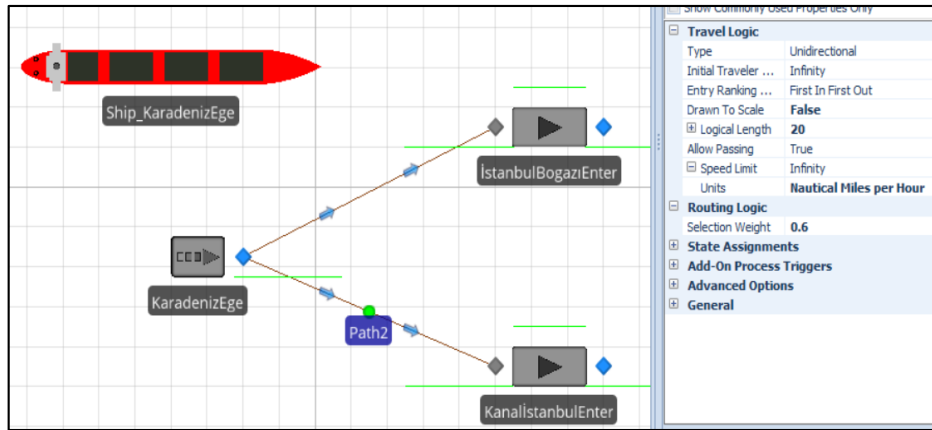
Simülasyon yazılım programlarında öncelikle programın bu senaryoları oluşturabileceği bazı bölümler olmalıdır. SIMIO yazılımında kaynaktan hizmet kanalına doğru verilmiş yön üzerinde bulunan "Path" modülleri "Selection Weight" olarak adlandırılan rotalama mantığı içermektedir. Bu içerik ile sisteme uygun olabilecek herhangi bir senaryo oluşturulabilmektedir.

Uygulamada Karadeniz'den Ege Denizi ve Marmara Denizi'ne geçecek olan gemilerin ya Kanal İstanbul'u ya da İstanbul Boğazı'nı kullanması için bir rotalama mantığı oluşturulmuştur. Bu durumunun aynısı Ege Denizi üzerinden Çanakkale Boğazı'nı

kullanarak Marmara Denizi üzerinden ya İstanbul Boğazı ya da Kanal İstanbul'u kullanarak Karadeniz'e çıkacak olan gemiler içinde geçerli olmaktadır. Gelişmiş modelde kullanılan senaryo gösterimi görsel açıdan daha karmaşık olduğundan daha basit anlamda Şekil 2.45 ve Şekil 2.46 ile gösterilmiş olan arayüz görüntüsünden bu senaryoların dağılım mantığı anlaşılabilir.



Şekil 2.45. Senaryoların SIMIO arayüzündeki oluşumunun İstanbul Boğazı için gösterimi



Şekil 2.46. Senaryoların SIMIO arayüzündeki oluşumunun Kanal İstanbul için gösterimi

Uygulamada kullanılacak olan 10 senaryonun “Selection Weight” kısmında yüzdeler oranda nasıl bir dağılım göstereceği Tablo 2.6 ile gösterilmektedir. Senaryo 1 modelde mevcut Türk Boğazlar Sistemi’ni simgelemektedir. Geri kalan senaryolardan bir örnek verilmesi gerekirse, Senaryo 5’ de gemilerin yüzde 60’ı İstanbul Boğazı’nı kullanırken geri

kalan yüzde 40'ı Kanal İstanbul'u kullanmaktadır. Model içerisinde bu senaryolar dâhilinde dolanacak tüm gemiler rassal olarak seçilecek ve modelde gözlemlenecektir. Burada her zaman yüzdeler olarak iki senaryonun toplamının 100 olması gerekmektedir.

Tablo 2.6. Kanal İstanbul'u içine alan Türk Boğazlar Sistemi geçiş senaryoları

Senaryolar	Selection Weight	
	İstanbul Boğazı (%)	Kanal İstanbul (%)
Senaryo 1	100	0
Senaryo 2	90	10
Senaryo 3	80	20
Senaryo 4	70	30
Senaryo 5	60	40
Senaryo 6	50	50
Senaryo 7	40	60
Senaryo 8	30	70
Senaryo 9	20	80
Senaryo 10	10	90

2.2.1.7. Kanal İstanbul'u Kapsayan Türk Boğazlar Sistemi Performans Değerlendirmesi

Bir önceki aşamada belirlenmiş olan senaryoların her birisi için Kanal İstanbul Projesi mevcut Türk Boğazlar Sistemi'ne tatbik edilerek, 1 Ocak 2017-1 Ocak 2018 tarihlerini kapsayacak şekilde programın koşturulmasıyla analiz işlemi başlamıştır. Bundan sonra her bir sistem modeli için alınması düşünülen sonuçlar adına performans ölçütlerinin belirlenmesi işlemi yapılmıştır. Kanal İstanbul'un Türk Boğazlar Sistemi'ne olan etkilerinin performans ölçütleri şu şekildedir;

- TimeInSystem: Sistemdeki kalış süreleri
 1. Ortalama
 2. Maksimum
 3. Minimum
- NumberInSystem: Sistemde bulunan gemi sayısı
 1. Ortalama

2. Maksimum
 3. Minimum
- TimeOnLink: Rota üzerinde kalış süreleri
 1. Ortalama
 2. Maksimum
 3. Minimum
 - NumberOnLink: Rota üzerinde bulunan gemi sayısı
 1. Ortalama
 2. Maksimum
 3. Minimum
 - Geçiş Yapan Toplam Gemi sayısı

Bütün performans kriterlerinin analizi görüldüğü üzere üç farklı değer için yapılmaktadır. Minimum değerler genellikle sistem performansını çok fazla etkilemeyeceği için bazı yerlerde göz ardı edilmiştir. Ortalama ve maksimum değerler daha çok dikkate alınmıştır. Yöntem kısmında da anlatıldığı gibi kriterlerin değerlendirilmesinde sistem için bütüncül bir yaklaşım ve daha öznel olacak şekilde kuyruk yapılarına inen başka bir yaklaşım türü uygulanmaktadır.

SIMIO programında kriter parametrelerinin okunması için olan “Result” bölümünde ki görüntü Şekil 2.47 ile gösterildiği gibi olmaktadır. Sarı renk ile belirtilen kısımlar bu çalışmanın analizi için önemli olan performans kriterlerinin değerlerini göstermektedir.

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic
ModelEntity	DefaultEntity	[Population]	Content	NumberInSystem	Average
					Maximum
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)
					Maximum (Hours)
					Minimum (Hours)
			Throughput	NumberCreated	Total
NumberDestroyed	Total				
Path	Path1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Average
					Maximum
			FlowTime	TimeOnLink	Average (Hours)
					Maximum (Hours)
					Minimum (Hours)
	Throughput	NumberEntered	Total		
		NumberExited	Total		
	Path2	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Average
					Maximum
			FlowTime	TimeOnLink	Average (Hours)
				Maximum (Hours)	
				Minimum (Hours)	
Throughput	NumberEntered	Total			
	NumberExited	Total			

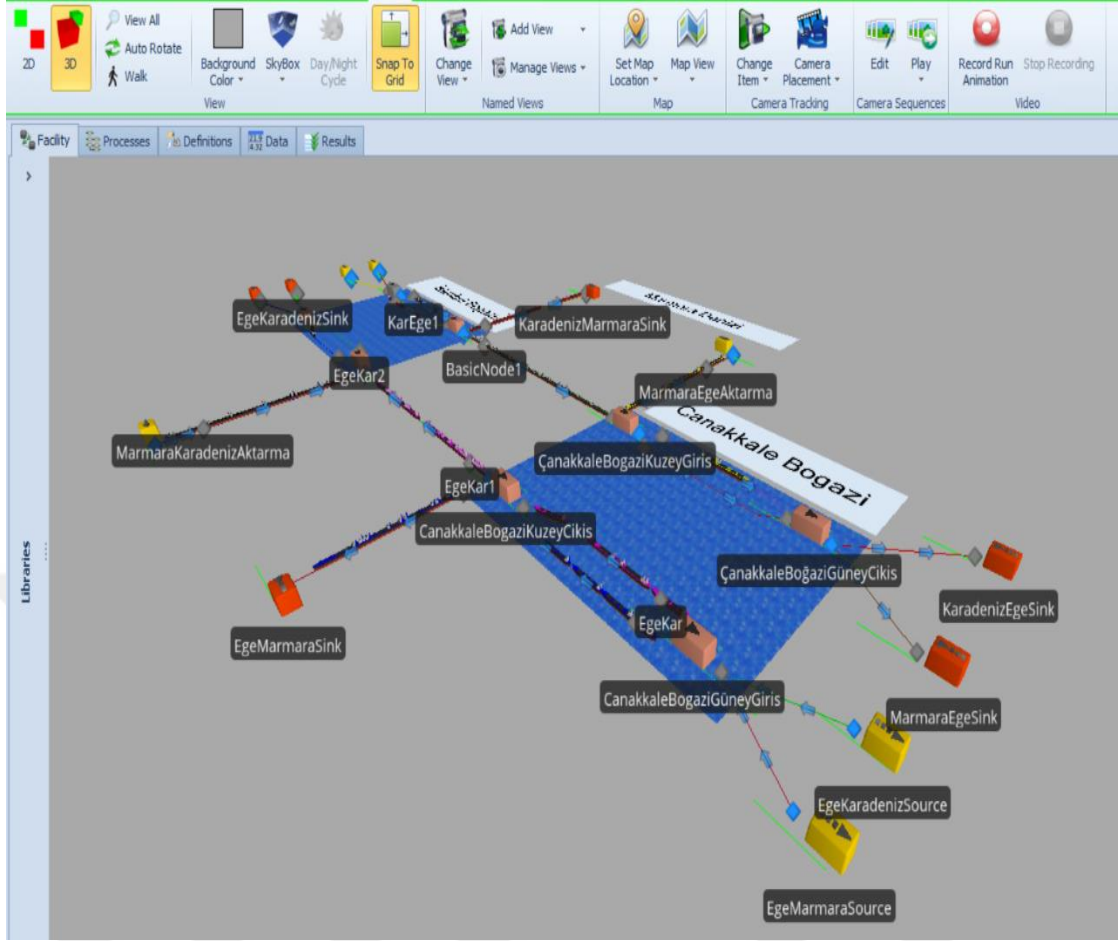
Şekil 2.47. Simülasyon modeli sonuç karşılaştırma ekranı

2.2.1.8. Mevcut Türk Boğazlar Sistemi ile Kanal İstanbul Projesini içine Alan Türk Boğazlar Sistemi Karşılaştırılması

Son uygulama adımı olan bu aşamada modellerin senaryolar dâhilinde koşturulması aşamasından sonra performans kriterlerine göre değerlendirilmelerinin birer karşılaştırılması yapılacaktır.

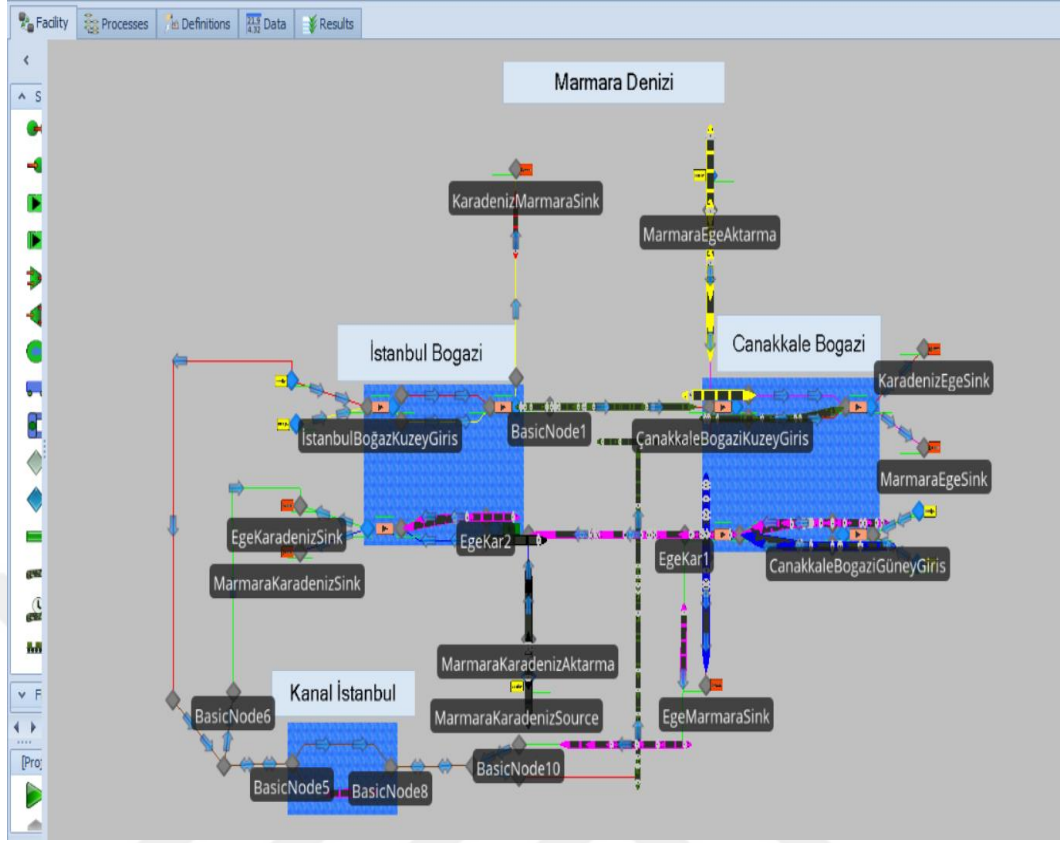
Uygulama aşamasının 6. Adımındaki senaryolardan hangilerinin mevcut duruma göre bir üstünlük oluşturabileceği, hangilerinin daha elverişsiz olabileceği ve senaryoların kendi içlerinde birbirlerine ne yönde bir üstünlük kurduğunun değerlendirmesi yapılmıştır. Kanal İstanbul'un entegre edildiği Türk Boğazlar Sistemi'ne gemilerin hangi oranlarda dağılım göstermesi gerektiğinin bir karşılaştırılması yapılmıştır. Bir başka ifadeyle İstanbul Boğazı'na ve Kanal İstanbul'a hem Karadeniz üzerinden hemde Ege Denizi üzerinden gelecek olan gemilerin oransal olarak nasıl yönlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu sayede, Türk Boğazlar Sistemi için olabilecek en iyi şartlar herhangi bir prototip hazırlanmadan, büyük yatırımlarda bulunmadan, zorlu deney şartlarına maruz kalmadan simülasyon yazılımını kullanarak modellenmiş ve bazı karşılaştırmalar yapılarak önerilerde bulunulmuştur.

Karşılaştırmaların yapılmasında modelin işleyişi sırasında nasıl görüntüler ortaya çıktığı önemli olmaktadır. Simülasyon programının mevcut Türk Boğazlar Sistemi'ni içeren modeli koşturması sırasında bazı anlarda programın durdurulması ile Şekil 2.48' de ortaya çıkan görüntü elde edilmiştir. Marmara Denizi'nde bulunan darboğazlar görülmektedir. Gemilerin bu şekilde birbirleri içine geçmiş görüntüsü koşturma esnasında "Fast-Forward" adımı ile "Step" yardımıyla aşama aşama sürecin hızlandırılmış hâlinde bir yıllık gemi trafiğinin oluşturacağı sonuçların dakikalar içerisinde alınmak istenmesinden kaynaklanmaktadır. Sürecin koşturma hızı düşürüldüğünde daha intizamlı bir süreç izlenebilmektedir.

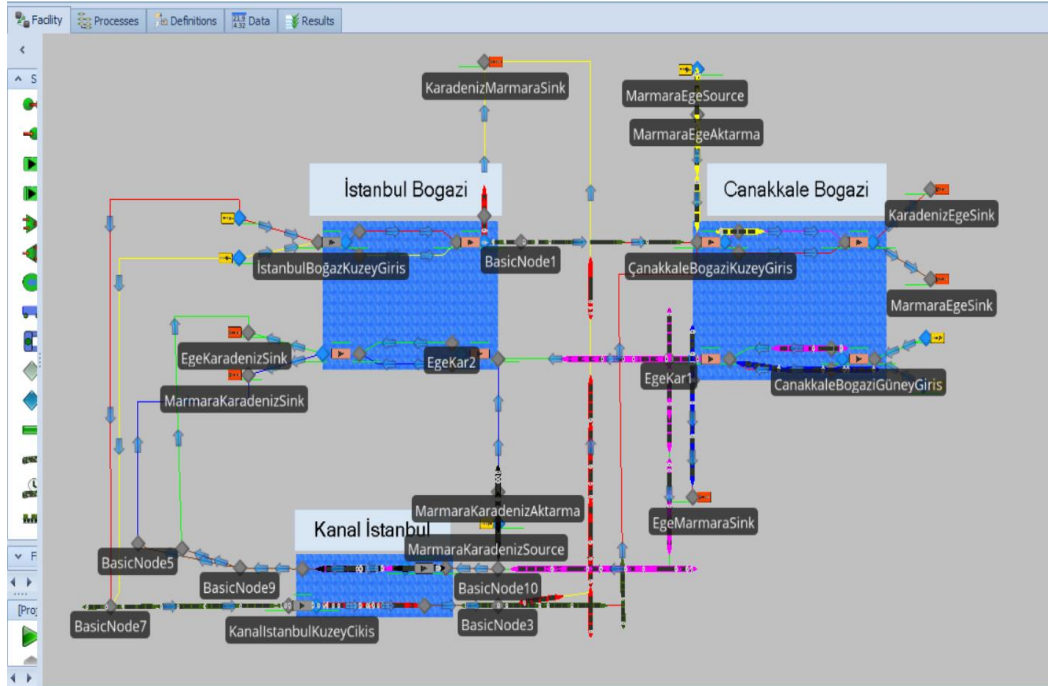


Şekil 2.48. Mevcut Türk Boğazlar Sistemi kuyruk yapısının SIMIO arayüzünde görüntüsü

Kanalın sistemle olan tümleşmesine örnek görüntüler Şekil 2.49 ve Şekil 2.50 ile gösterilmektedir. Kanal İstanbul'un Marmara Denizi'nde bulunan gemi karmaşına ve dar boğazlarına nasıl bir etkide bulunduğu ve ilerleyecek olan zamanlarda gemilerin yığılma gösterdiği alanların kanalın güney ve kuzey girişlerinde toplanmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 2.49. Kanal İstanbul ile birleşik Türk Boğazlar Sistemi



Şekil 2.50. Kanal İstanbul'un önünde bulunan gemi yoğunluğu

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama kısmında ilerleyen işlem basamakları sonucunda incelenecek olan performans parametreleri iki model üzerinde ayrı ayrı incelenmektedir. Bu modellerin Türk Boğazlar Sistemi üzerinde bulunacakları etkiler grafikler hâlinde aşağıda iki farklı model ile sunulmaktadır.

3.1. Model 1

3.1.1. Model 1 Gemilerin Sistem Odaklı Davranışları

İstanbul Boğazı'nı şu anda hâlihazırda kullanmakta olan gemilerin tümünün yansıtıldığı bu model üzerinde, Karadeniz-Ege, Ege-Karadeniz, Karadeniz-Marmara ve son olarak Marmara-Karadeniz yönlü olarak uğraklı ve uğraksız geçiş kategorisinde çalışan gemiler yer almaktadır.

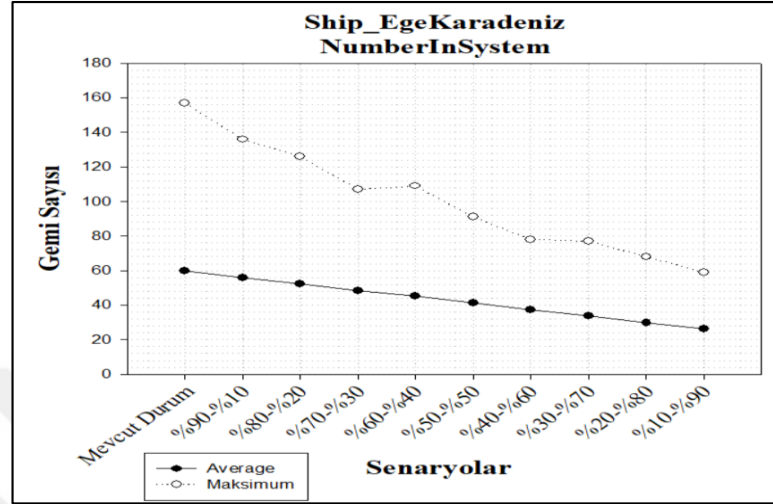
Modellemesi yapılan sistemlerin performans ölçütlerinde sistemin ve kuyruk yapılarının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiği bir önceki bölümde bulunan yöntem kısmında irdelenmiştir. Buradan yola çıkılarak modellerin performans kriterleri ölçülürken daha geneli baz alan sistem araştırması yapılırken bir yanda da model elemanları arasında daha öznel olabilecek güzergâhlar yani bağlantılar incelenmiştir.

Aşağıda bulunan grafikler ile kaynaktan altı farklı şekilde üretilen gemi tipleri öncelikle sistem içinde bulunma sayıları ve sistem içerisinde geçirdikleri sürelerle göre oluşturulmuştur. “NumberInSystem” olarak gösterilen grafikler, gemilerin sistem içerisinde yani izledikleri tüm rotalar üzerinde bulunma sayılarını belirtmektedir. “TimeInSystem” olarak gösterilen grafikler, gemilerin buldukları rotalar üzerinde bulunma sürelerinin saatlik bir gösterimidir.

Performans kriterleri incelenirken maksimum, minimum ve ortalama değerlere göre bir ayırım yapılmaktadır. Minimum değerler, bu çalışma için bir önem arz etmediği için bazı grafiklerde yer almamaktadır. Sonuçları etkileyecek olan maksimum ve ortalama değerler asıl farkları ortaya koyacak olanlardır.

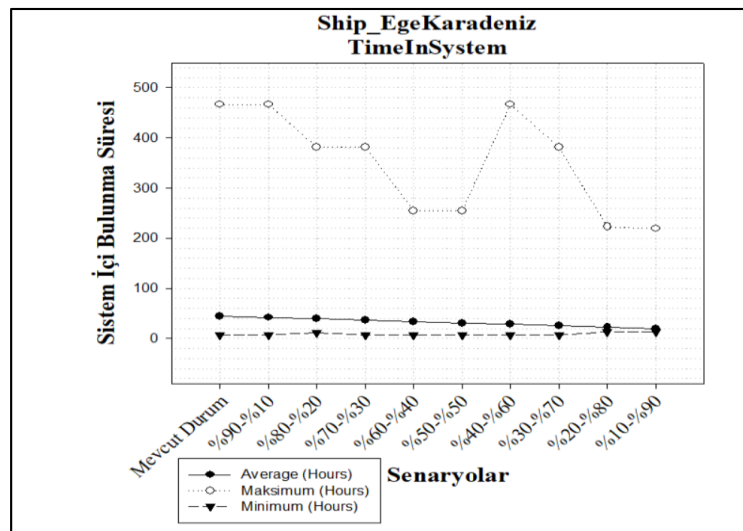
İlk irdelemesi yapılan gemi olan “Ship_EgeKaradeniz” için sistemde bulunma sayısı açısından senaryolar ölçeğinde nasıl bir değişim izlediği Şekil 3.1 ile gösterilmektedir. Bu

şekil gemilerin büyük bir kısmının Kanal İstanbul üzerine kaymasıyla ciddi bir değişiklik yakalanacağını sunmaktadır. Değerlerin en çok iyileştiği senaryo son senaryo 10. Senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır.



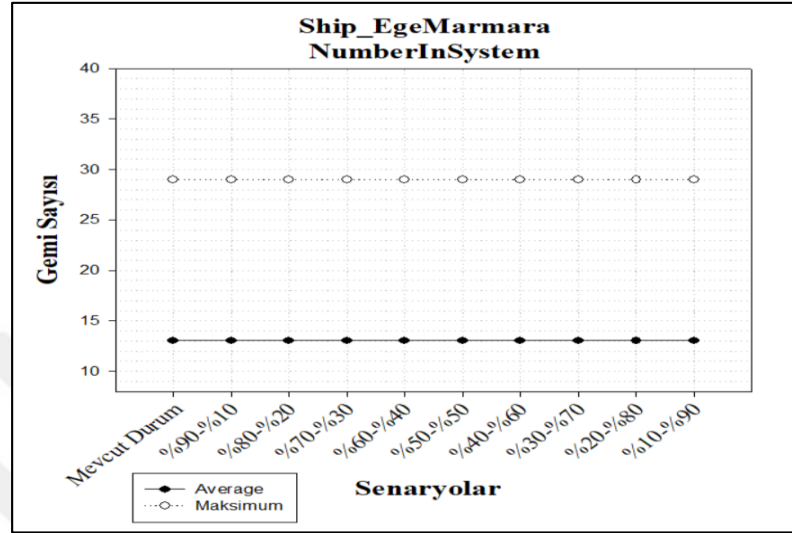
Şekil 3.1. Model 1 Ege-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı

Ege-Karadeniz yönünde ilerleyen gemiler için sistem içinde bulunma sürelerinin saat olarak değişimi Şekil 3.2 ile gösterilmektedir. Gelişlerin rassal olduğu düşünülerek programın koşturulması esnasında bazı senaryolarda grafik pik değerler elde etmektedir. En iyi sonucun elde edileceği senaryo 10. Senaryo olmaktadır.



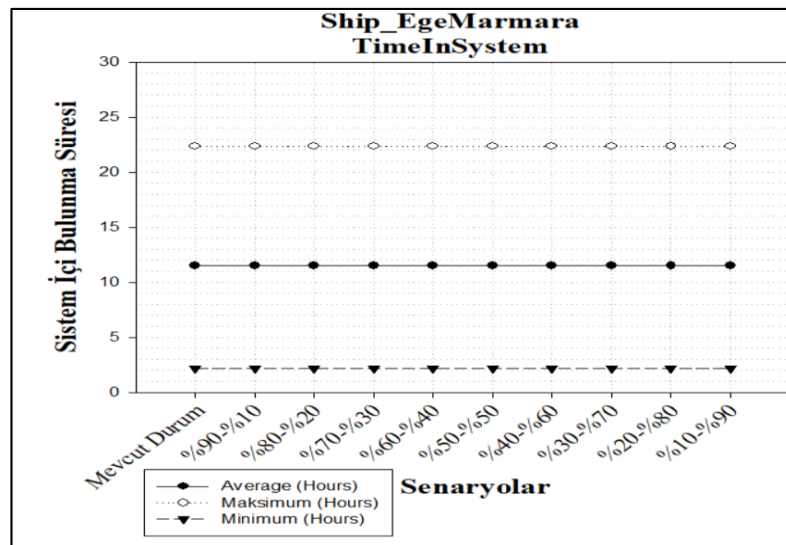
Şekil. 3.2. Model 1 Ege-Karadeniz gemilerinin sistem içinde bulunma süreleri

Ege-Marmara istikametinde harehet hâlinde olan gemiler Kanal İstanbul'u kullanmadığı için bu sistem modelinde senaryolar için de kararlı bir yapı izlemiştir. Sistem içerisinde hareket eden gemi sayıları Şekil 3.3 ile gösterilmektedir.



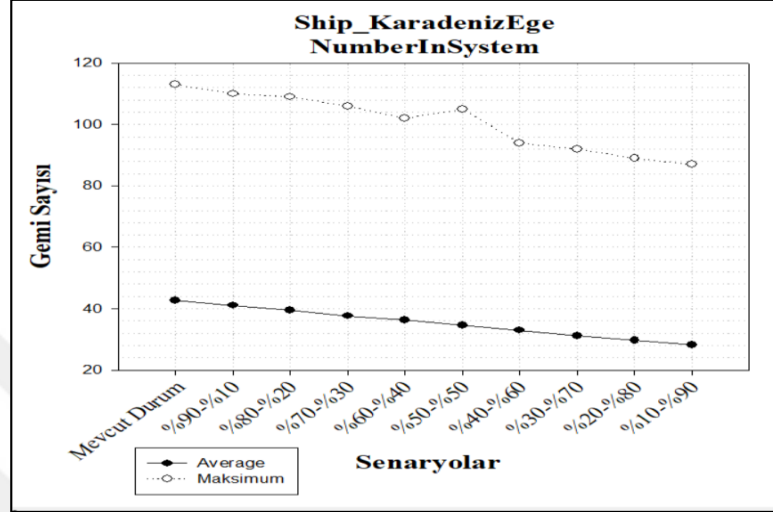
Şekil 3.3. Model 1 Ege-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı

Ege-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma süreleri de tıpkı bulunma sayıları gibi Şekil 3.4' de görüldüğü gibi senaryolarda düzenli bir gidiş göstermektedir.



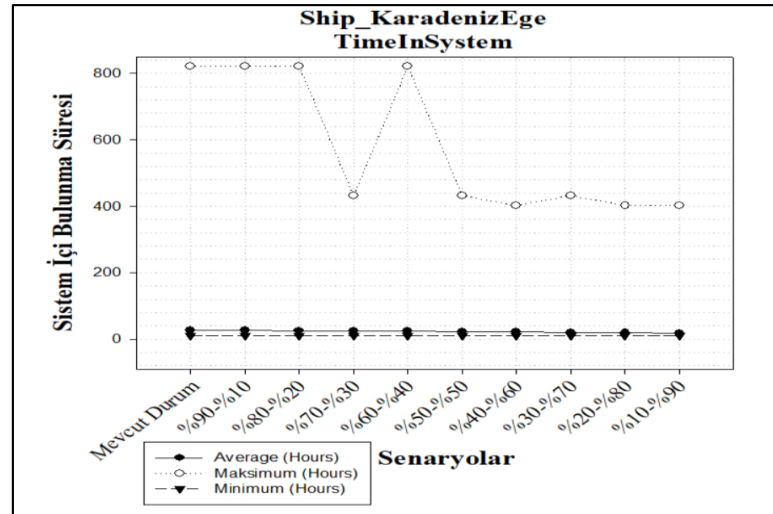
Şekil 3.4. Model 1 Ege-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi

Karadeniz-Ege yönünde ilerleyen gemiler için sistem içi bulunma sayıları Kanal İstanbul'un etkisi ile iyi yönde bir iyileşme göstermektedir. 10. Senaryoda maksimum değerde 113 adet olan gemi sayısının 87 adete düşmüş olması Şekil 3.5 ile gösterilmektedir.



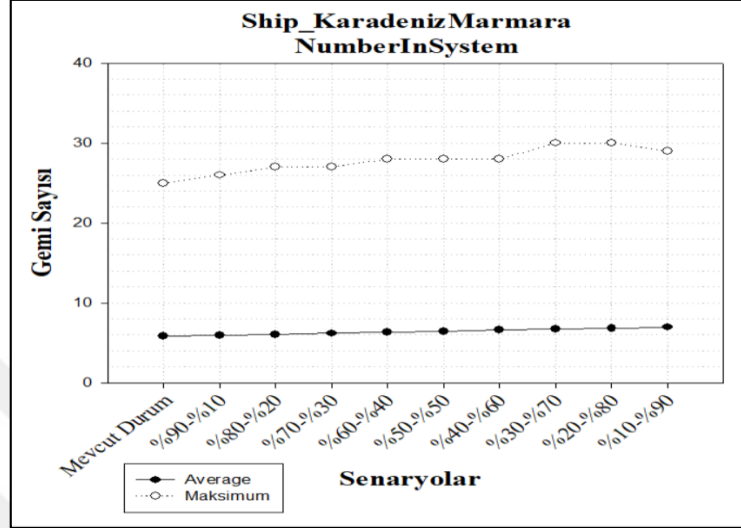
Şekil 3.5. Model 1 Karadeniz-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı

Karadeniz-Ege yönlü geçiş yapan gemilerin sistem içerisinde buldukları süre neredeyse yarı yarıya azalmıştır. En iyi sonucu sağlayan 10. Senaryo değerine gelen kadarki değişim Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



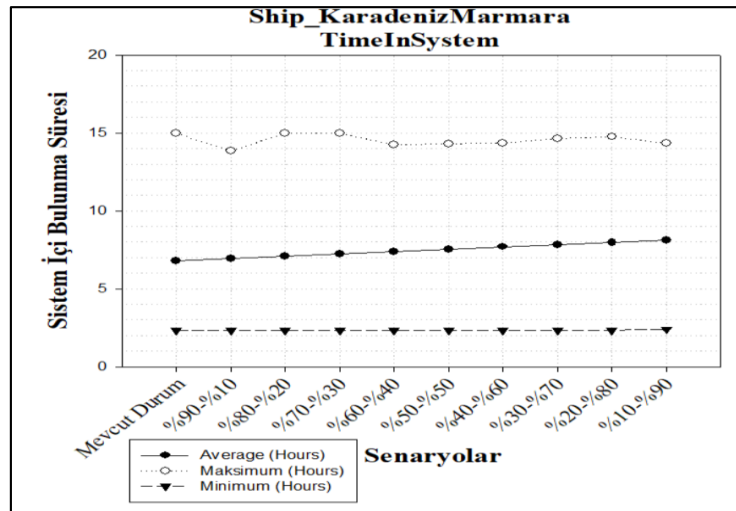
Şekil 3.6. Model 1 Karadeniz-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi

Karadeniz-Marmara yönünde ilerleyen gemiler için Kanal İstanbul faktörü bir artışa sebebiyet vermiştir. Şekil 3.7’de de görüldüğü gibi farklar çok olmasa bile bir artış olduğu söylenebilmektedir.



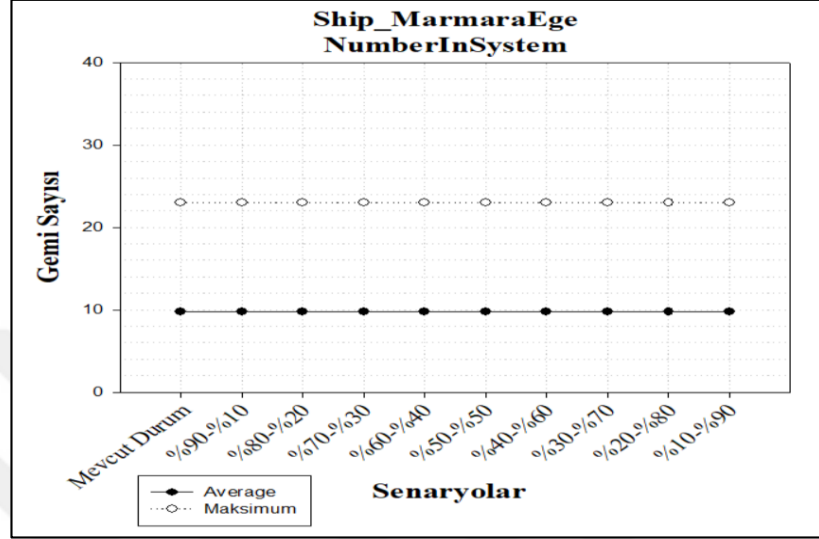
Şekil 3.7. Model 1 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı

Karadeniz-Marmara gemilerinin sistme içerisinde buldukları sürenin senaryoların ilerlemesinde gösterdikleri değişim Şekil 3.8’de gösterilemektedir.



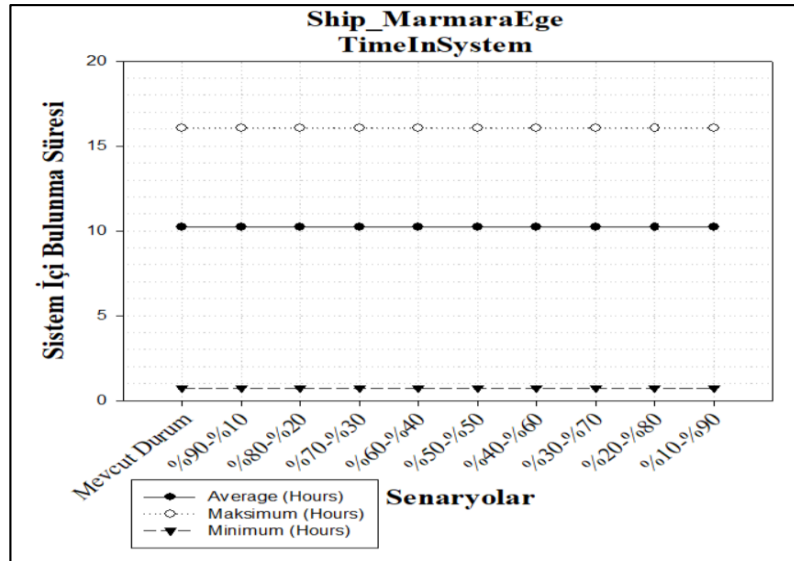
Şekil 3.8. Model 1 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistem içerisinde bulunma süreleri

Marmara-Ege yönlü ilerleyen gemilerin zıt yönünde olduğu gibi Kanal İstanbul hattını kullanmayacak oluşları Şekil 3.9’da görüldüğü gibi senaryolar açısından bir değişime sebep olmamaktadır.



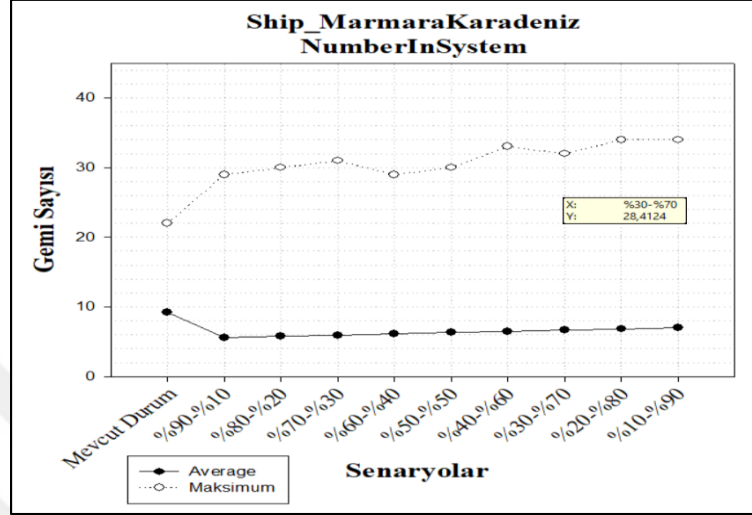
Şekil 3.9. Model 1 Marmara-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayıları

Marmara-Ege yönlü ilerleyen gemilerin sistem içerisinde bulunma süreleri de bulunma sayıları ile aynı özellikleri göstererek Şekil 3.10’da ifade edildiği gibidir.



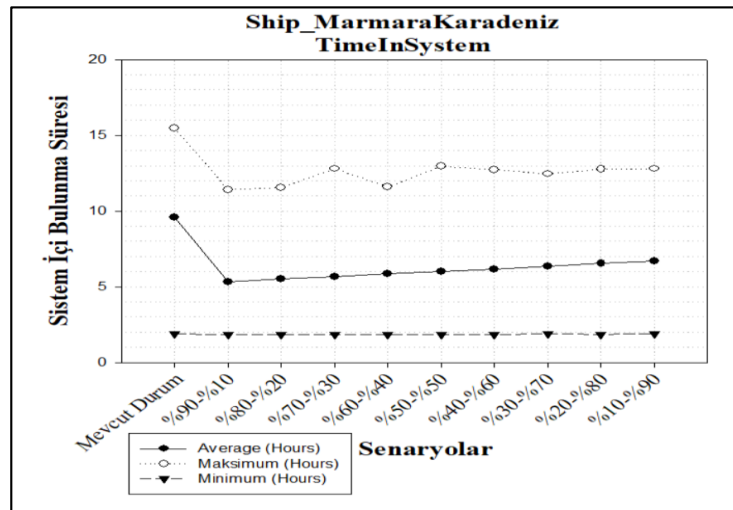
Şekil 3.10. Model 1 Marmara-Ege gemilerinin sistem içerisinde bulunma süreleri

Marmara-Karadeniz yönlü hareket eden gemilerin Karadeniz-Ege ve tam tersi istikamette hareket eden gemilerin geçiş sayısının azalması ile ters orantılı olarak artış gösterdiği Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Model 1 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı

Marmara-Karadeniz gemileri, sayıca bir artış göstermelerine karşılık daha az bekleme yaparak sistemde daha az süre bulunma şansı bulduğu için Kanal İstanbul ile iyi yönde bir iyileşme yakalamışlardır.

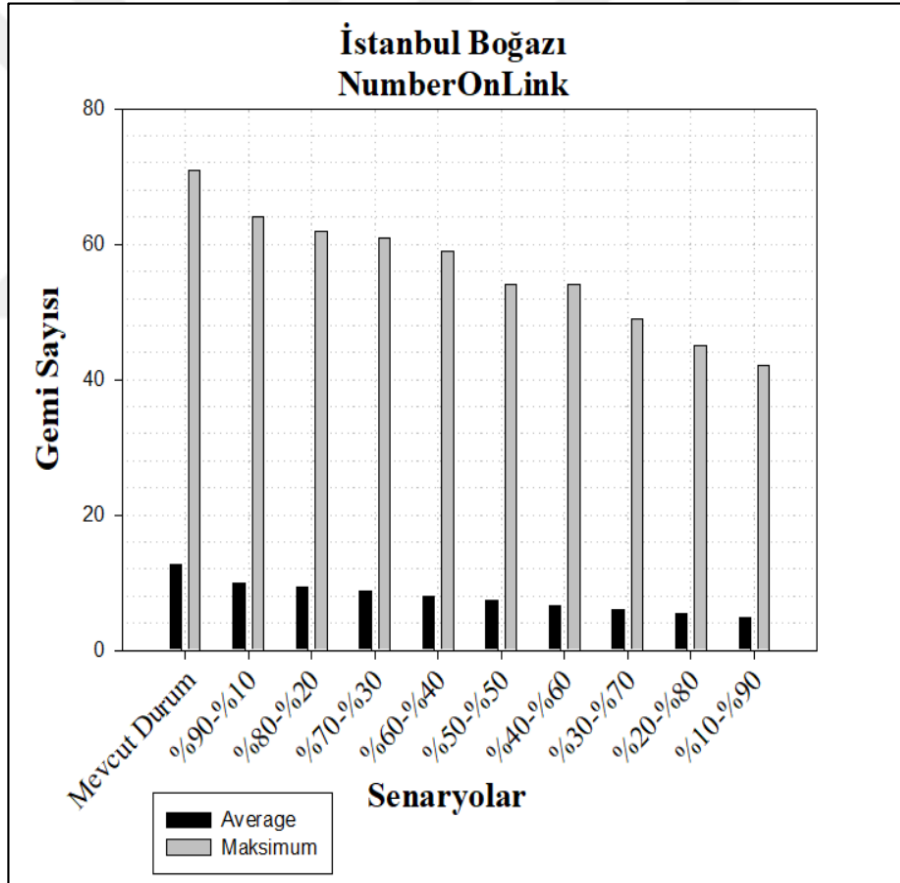


Şekil 3.12. Model 1 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma süresi

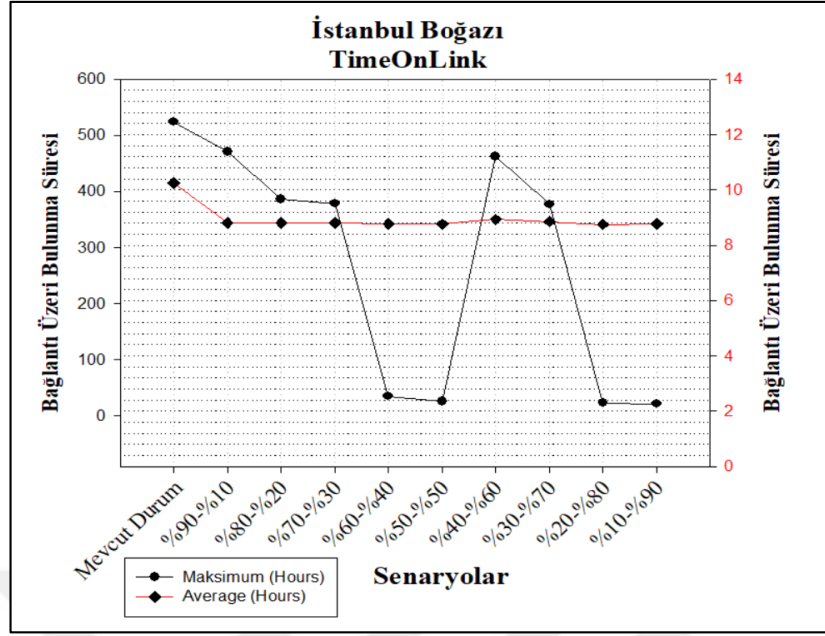
3.1.2. Model 1 Gemilerin Güzergâh Odaklı Davranışları

Sistem genellemesinden çıkarak daha küçük birimleri anlamak açısından İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi güzergâhları üzerindeki gemi sayılarının ve bulunma sürelerinin anlaşılabilmesi için aşağıdaki grafikler tek tek oluşturulmuştur.

İstanbul Boğaz rotası üzerinde bulunan gemilerin senaryo süreçleri boyunca azalış göstermesi Şekil 3.13’de gösterilmektedir. Çift yönlü trafiğe elverişsiz yapısından ötürü İstanbul Boğazı üzerinde daha az gemi barındırırken, daha uzun sürelere varan bekleme ve kalış süreleri gösterirler. Bu sürelerin arasındaki ilişki Şekil 3.14’de gösterildiği gibi olmaktadır.

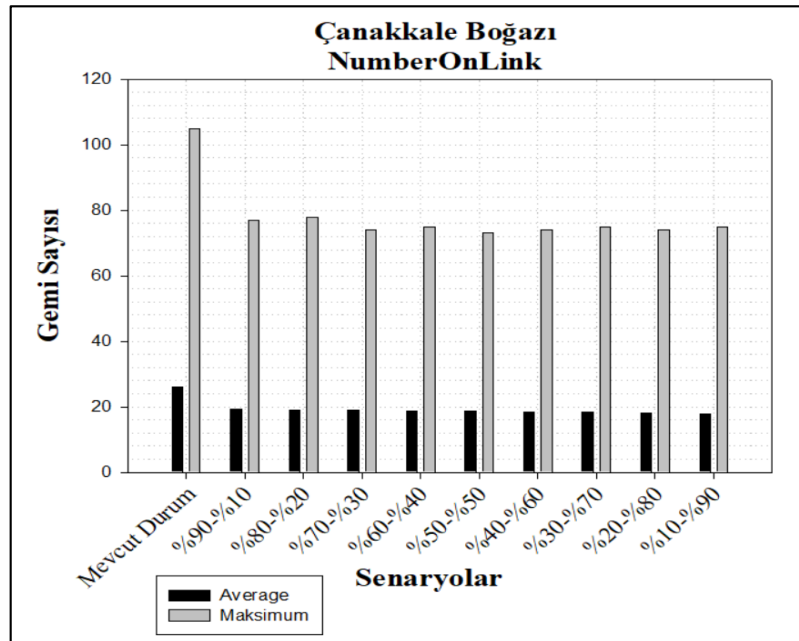


Şekil 3.13. Model 1 İstanbul Boğazı gemi sayıları



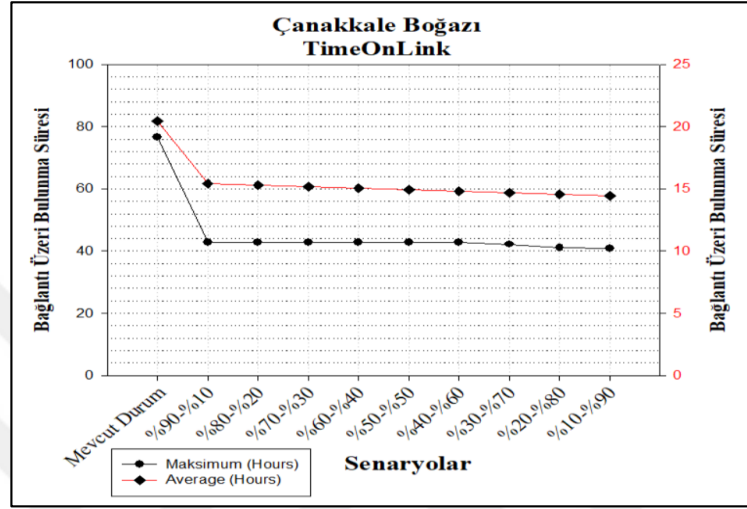
Şekil 3.14. Model 1 İstanbul Boğazı gemi kalış süreleri

Çanakkale Boğazı güney-kuzey ve kuzey-güney yönde iki farklı yönde gemi geçişine entegre bir yapıda olduğundan İstanbul Boğazı'na göre iki kat daha fazla bir gemi sayısına sahiptir. Bu durumun Kanal İstanbul etkisinde senaryolar sürecinde değişimi Şekil 3.15'de gösterilmektedir.



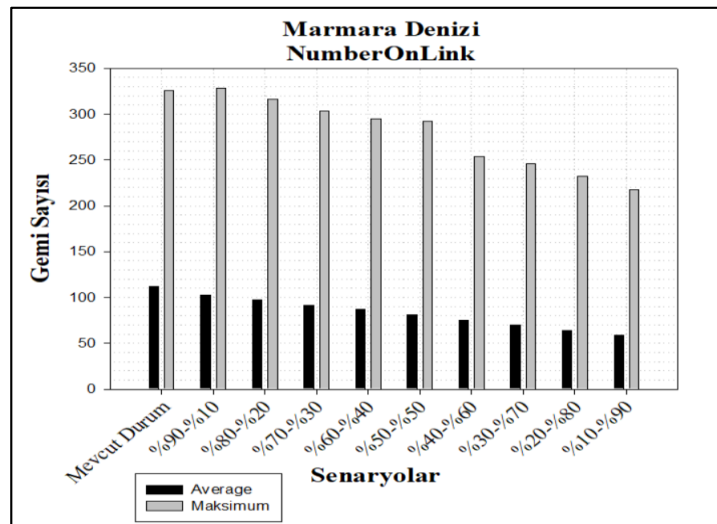
Şekil 3.15. Model 1 Çanakkale Boğazı gemi sayıları

Çanakkale Boğazı'nı kullanacak olan gemiler için geçiş sürelerinin değişim grafiği Şekil 3.16'da verilmektedir. Şekile bakıldığı zaman sürelerde senaryoların devamlılığında bir azalma gözlemlenmektedir. Ancak bu azalış İstanbul Boğazı'nda olduğu kadar belirgin olmamaktadır.



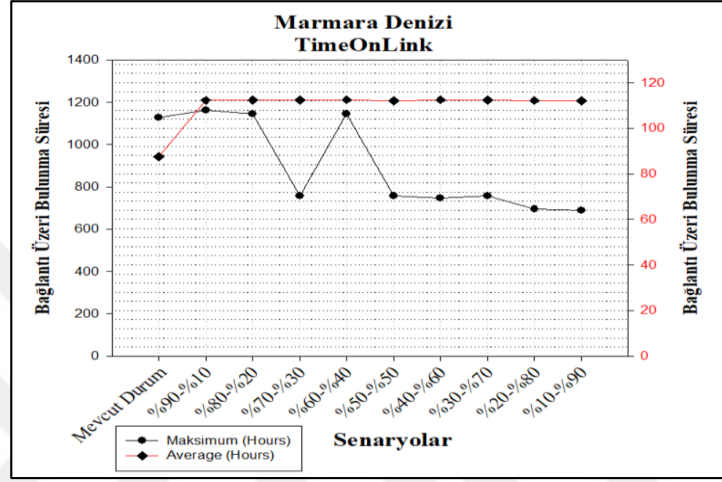
Şekil 3.16. Model 1 Çanakkale Boğazı gemi kalış süreleri

Marmara Denizi içerisinde bulunan gemilerin sayısal değerlerinde bir iyişme sağlanmıştır. Maksimum değerde 326 adet olan bu değer en iyi sonucu veren 10. Senaryo da 218 adete kadar gerilemiştir. Değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Model 1 Marmara Denizi gemi sayıları

Marmara Denizi üzerinde bulunan gemilerin sayısal olarak azalışının tersine bulunma yani kalış sürelerinde ortalama değerde bir takım artışlar gözlenmiştir. Kanal İstanbul senaryolarının devamında maksimum değerlerin azalmasında yardımcı olmaktadır. Ancak değerler istenildiği ölçüde bir azalış sergilememektedir. Senaryoların etkileri Şekil 3.18’de gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Model 1 Marmara Denizi gemi kalış süreleri

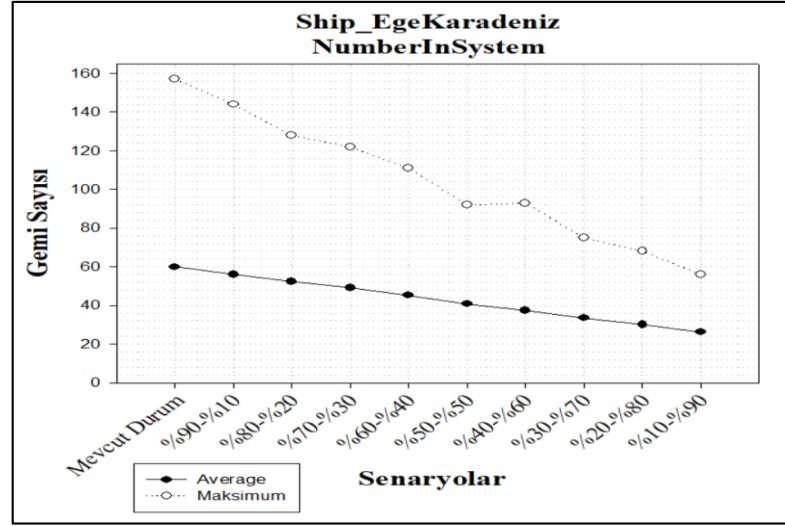
3.2. Model 2

3.2.1. Model 2 Gemilerin Sistem Odaklı Davranışları

Kanal İstanbul Projesi’ne ait raporlarda direkt olarak kategorize edilmiş bir gemi popülasyonunun geçip geçmeyeceği ile alakalı bir bilgi yer almamaktadır. Ancak başından beri ifade edilen şekliyle Marmara Limanlarına hareket eden uğraklı gemilerin ve Marmara Limanlarından hareket edecek olan gemilerden ziyade, Türk Boğazlar Sistemi’ni boylu boyunca herhangi bir duraklama yapmadan Karadeniz-Ege ve Ege-Karadeniz hattı üzerinde hareket eden gemilerin kullanabileceği ifade edilmektedir.

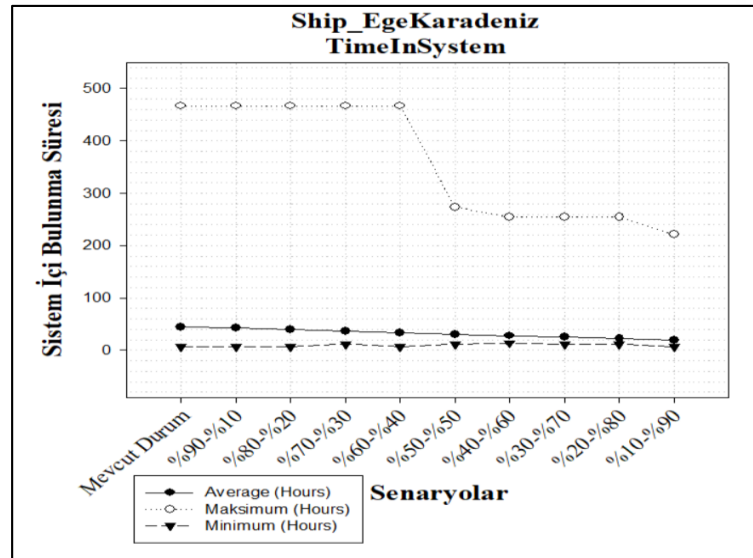
Tüm bu sebeplerden ötürü Model 1’e karşılık sadece Karadeniz-Ege ve Ege-Karadeniz hattı üzerinde geçiş yapan gemilerin Kanal İstanbul’u kullanmasına izin verilen bir ikinci model yani Model 2 oluşturulmuştur.

Ege-Karadeniz hattı üzerinde geçiş yapan gemilerin sayısal değerlerinin Kanal İstanbul tek yönlü güzergâhı üzerinde senaryolara göre dağılımı Şekil 3.19’da verilmektedir.



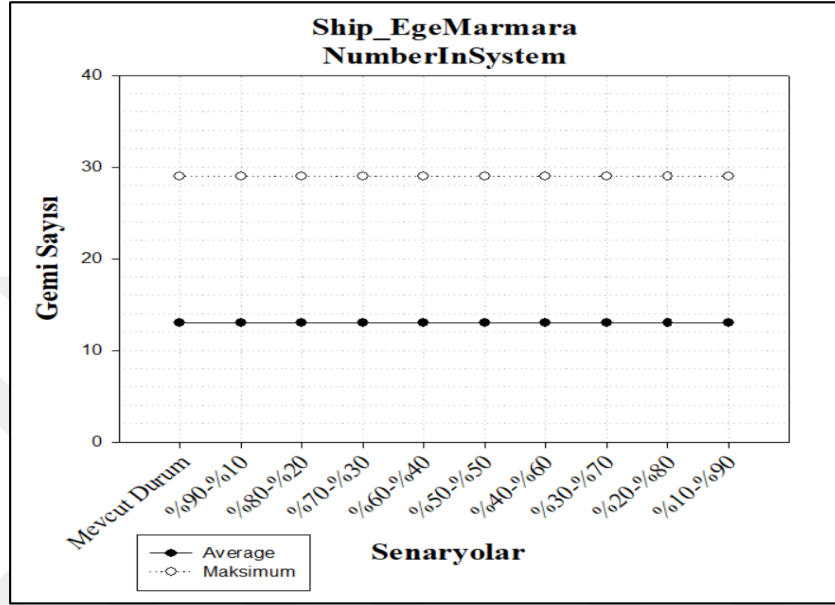
Şekil 3.19. Model 2 Ege-Karadeniz gemilerinin sistem içerisinde bulunma sayısı

Ege-Karadeniz hattında hareket eden gemilerin sistem içerisinde bulunma sürelerine bakıldığı zaman 10. Senaryoya doğru hızlı bir iyileşme kaydettiği Şekil 3.20 üzerinde gösterilmektedir.

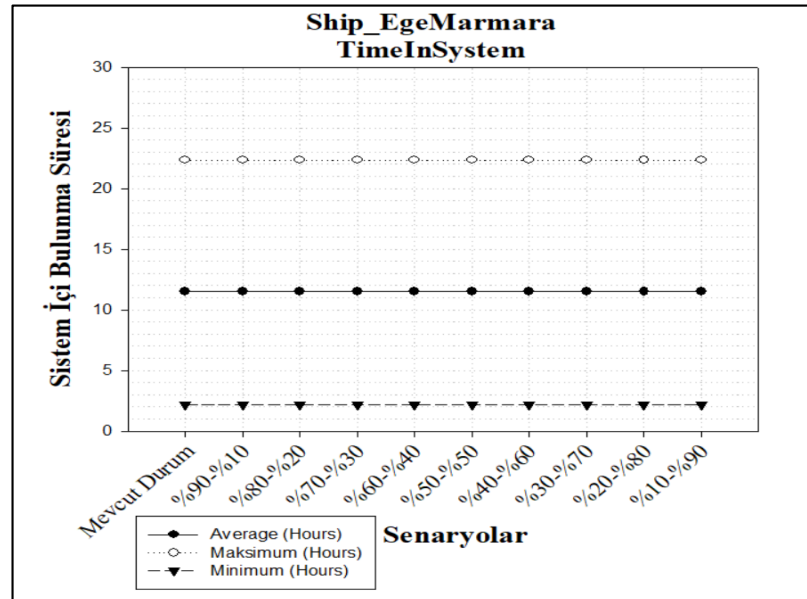


Şekil 3.20. Model 2 Ege-Karadeniz gemilerinin sistemde bulunma süreleri

Ege-Marmara güzergâhı üzerinde çalışan gemiler Model 1’de olduğu gibi sistem içerisinde etkili bir rol oynamadığı için değerleri senaryolar boyunca düzenli gitmektedir. Bu değerlerin gemi sayısı açısından etkisi Şekil 3.21’de, süre açısından etkisi Şekil 3.22’de gösterilmektedir.

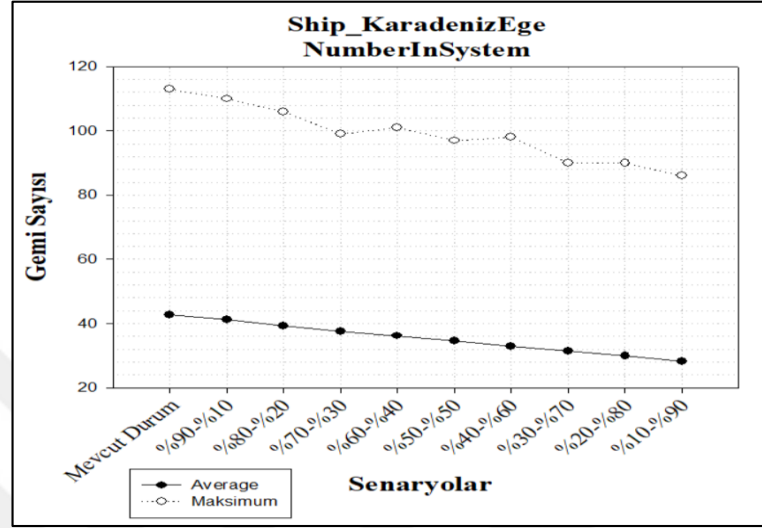


Şekil 3.21. Model 2 Ege-Marmara gemilerinin sistemde bulunma sayısı



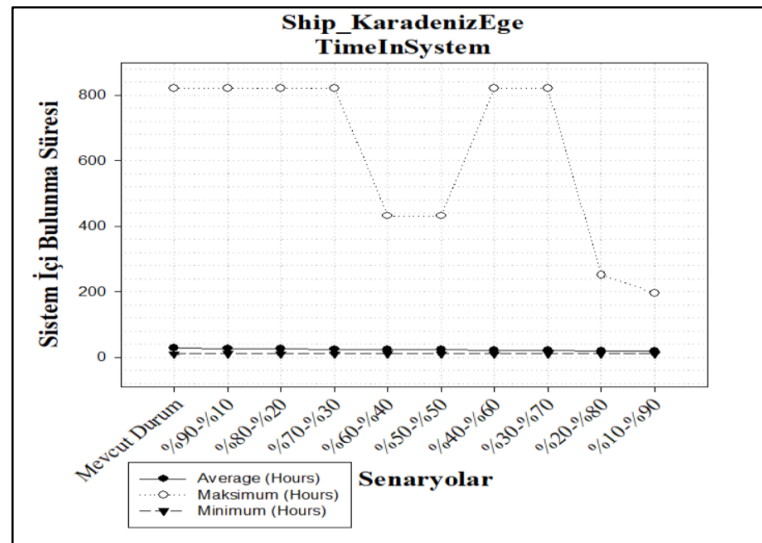
Şekil 3.22. Model 2 Ege-Marmara gemilerinin sistemde bulunma süresi

Karadeniz-Ege kaynaklı gemiler sistem içinde Kanal İstanbul'un etkisi ile sayıca düşmüştür. 10. Senaryo için en iyi değeri sağlamış olan bu gemilerin tüm senaryolar içinde karşılaştırılması Şekil 3.23 ile verilmiştir.



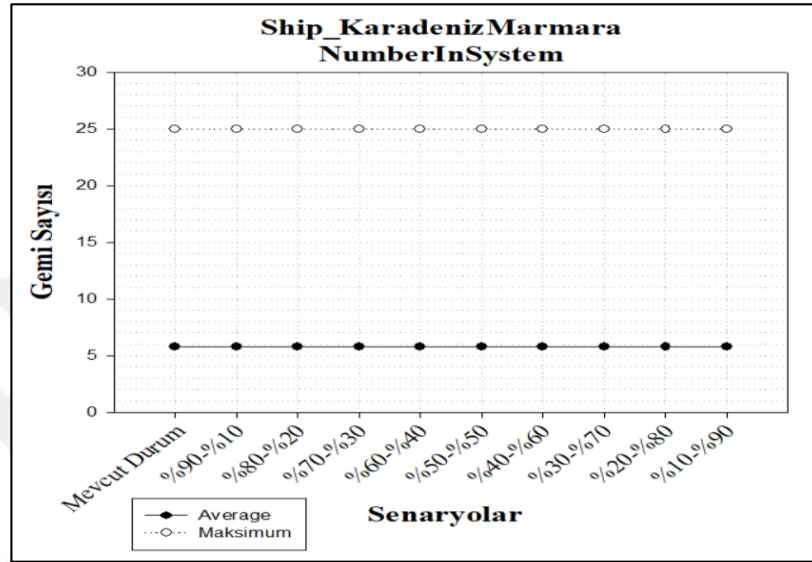
Şekil 3.23. Model 2 Karadeniz-Ege gemilerinin sistemde bulunma sayısı

Karadeniz-Ege güzergâhı üzerinde hareket eden bu gemilerin sistem içi bulunma süreleri de iyi yönde bir etkilenme yaşamaktadır. Senaryo karşılaştırmaları Şekil 3.24'de gösterilmektedir.

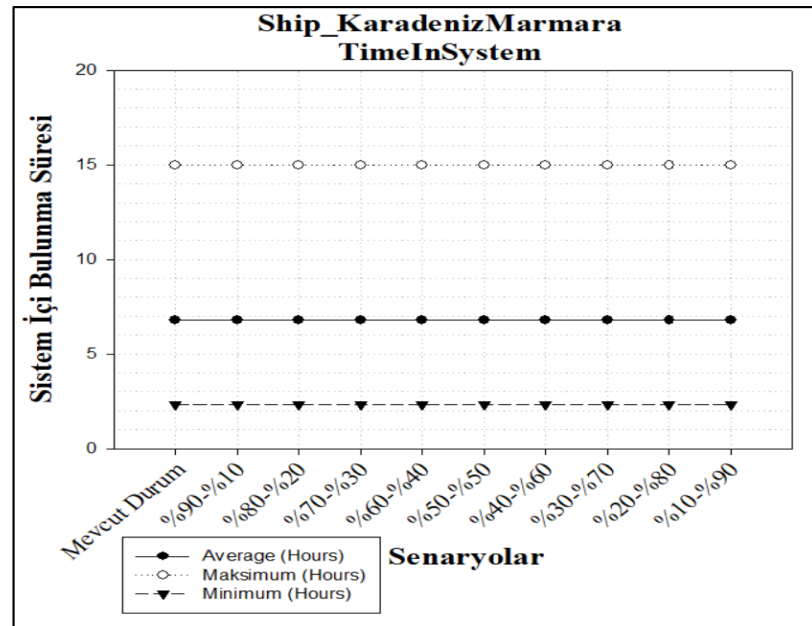


Şekil 3.24. Model 2 Karadeniz-Ege gemilerinin sistemde bulunma süresi

Karadeniz-Marmara hattı gemileri, bu modelde Kanal İstanbul'a etki etmemektedir. Şekil 3.25'de gösterildiği gibi süreçler dâhilinde bir değişim gözlenmemiştir. Bu durumla doğru orantılı olarak sistemde bulunma süreleri de durumdan etkilenmemektedir. Şekil 3.26'da bu durum gözlenebilir.

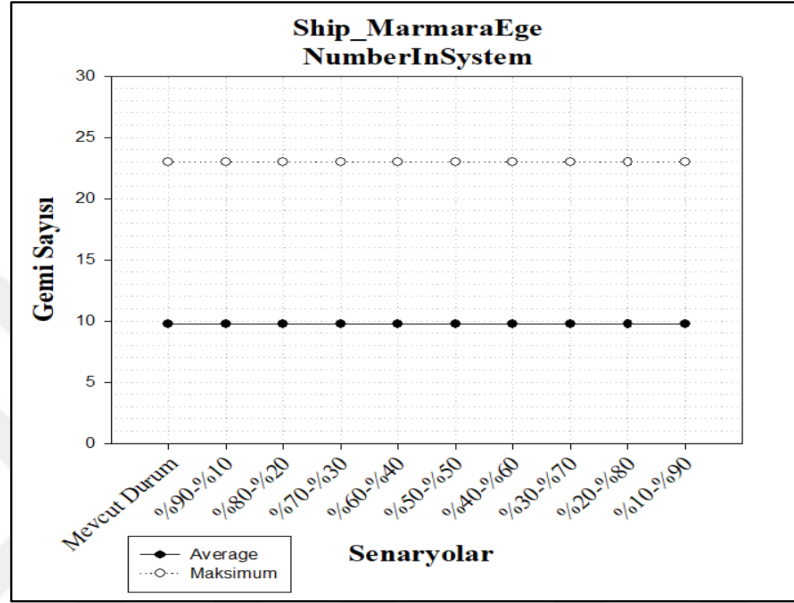


Şekil 3.25. Model 2 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistemde bulunma sayısı

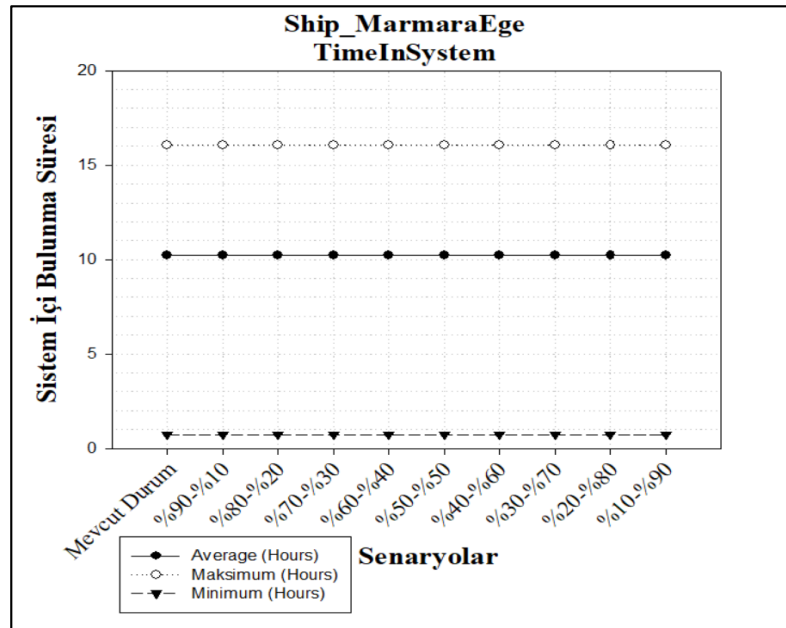


Şekil 3.26. Model 2 Karadeniz-Marmara gemilerinin sistemde bulunma süresi

Marmara-Ege güzergâhı üzerinde çalışan gemiler, Model 1’de olduğu gibi sistem içerisinde etkili bir rol oynamadığı için değerleri senaryolar boyunca düzenli gitmektedir. Bu değerlerin gemi sayısı açısından etkisi Şekil 3.27’de, süre açısından etkisi Şekil 3.28’de gösterilmektedir.

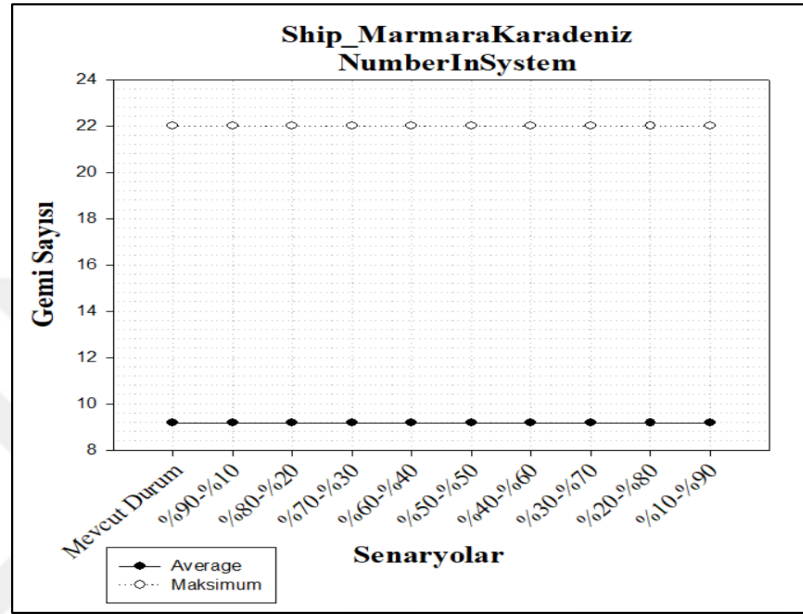


Şekil 3.27. Model 2 Marmara-Ege gemilerinin sistemde bulunma sayısı

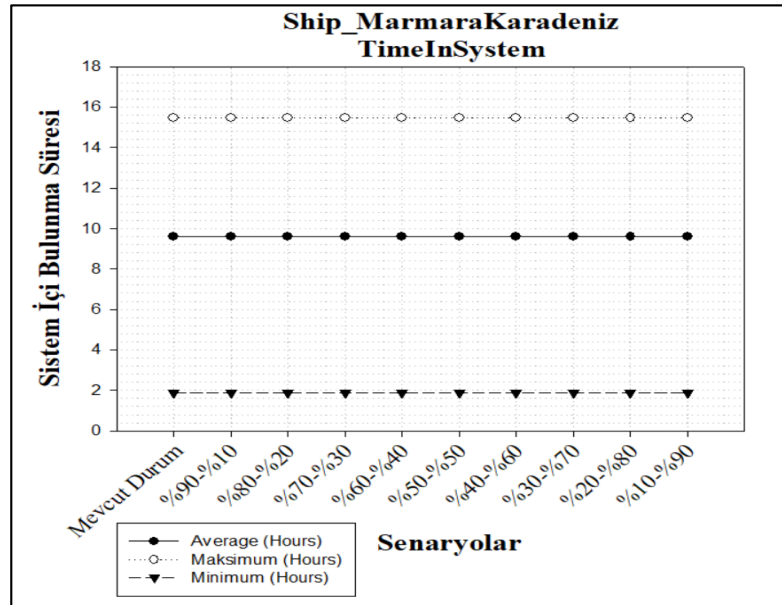


Şekil 3.28. Model 2 Marmara-Ege gemilerinin sistemde bulunma süresi

Marmara-Karadeniz hattı gemileri, bu modelde Kanal İstanbul'a etki etmemektedir. Şekil 3.29'de gösterildiği gibi süreçler dâhilinde bir değişim gözlenmemiştir. Bu durumla doğru orantılı olarak sistemde bulunma süreleri de durumdan etkilenmemektedir. Şekil 3.30'da bu durum gözlenebilir.



Şekil 3.29. Model 2 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistemde bulunma sayısı



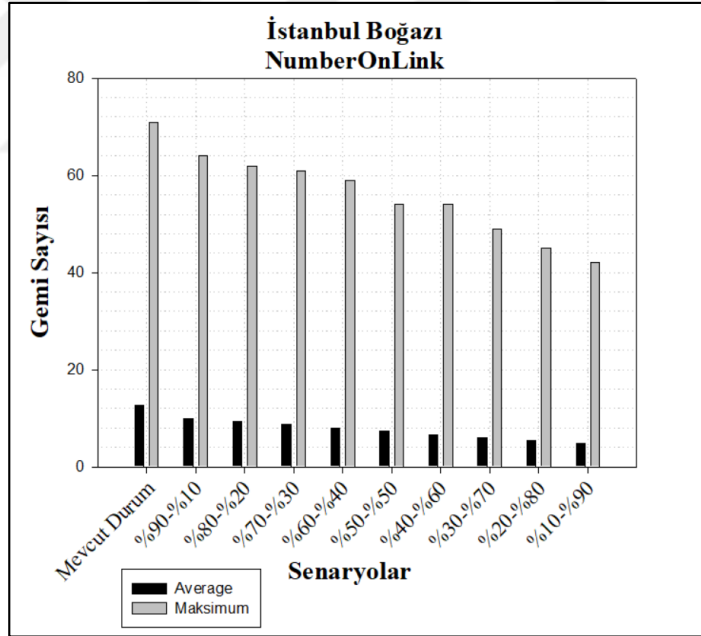
Şekil 3.30. Model 2 Marmara-Karadeniz gemilerinin sistemde bulunma süresi

3.2.2. Model 2 Gemilerin Güzergâh Odaklı Davranışları

Model 2 ile sağlanan yapıda İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi nin gemilerin o hatta bulunma sayısı ve süresi açısından durumları aşağıda ki grafiklerde gösterilmektedir.

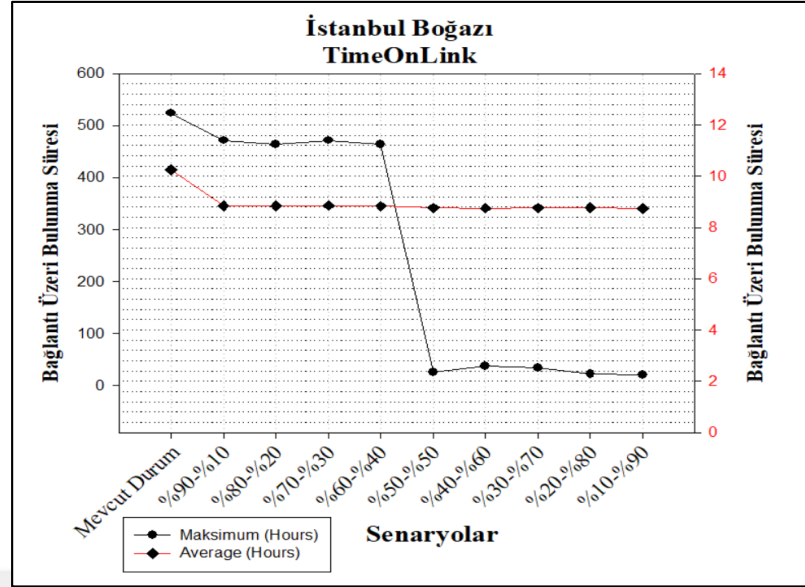
İstanbul Boğazı'nı kullanan gemilerin bir kısmının Kanal İstanbul üzerine kaydırılmasından sonra senaryolarda 10. Senaryonun en düşük değerleri verdiği Şekil 3.31'de gösterilmektedir.

Diğer model ile bir karşılaştırılması yapılması gerekirse İstanbul Boğazı'nı mevcut halinde olduğu gibi kullanmaya edecek olan Marmara-Karadeniz ve Karadeniz-Marmara gemileri sistemde bulunan gemi yoğunluğunu artırıcı etkide bulunmaya devam edecektir. Ancak yine de Kanal İstanbul'a yönlendirilmiş gemiler Türk Boğazlar Sistemi'nin gemi trafik yükünün çok büyük bir kısmını üstlendikleri için sayıda ciddi bir düşüş yaşanmaktadır.



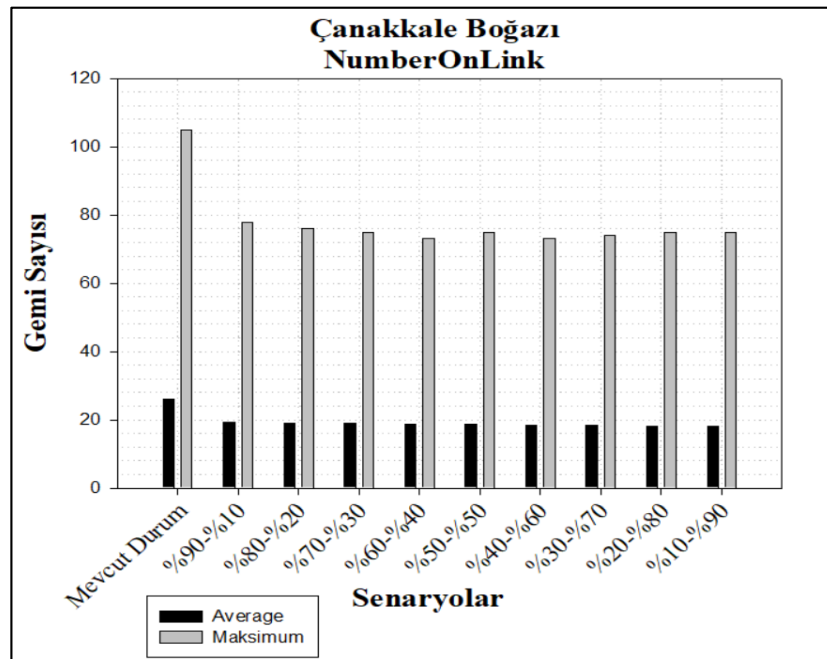
Şekil 3.31. Model 2 İstanbul Boğazı gemi sayıları

Gemi sayılarında meydana gelen düşüşe doğru orantılı olarak gemilerin sistem içerisinde bulunma süreleri de düşmektedir. Bu düşüşün senaryolar çerçevesinde gösterimi Şekil 3.32'de olduğu gibidir.



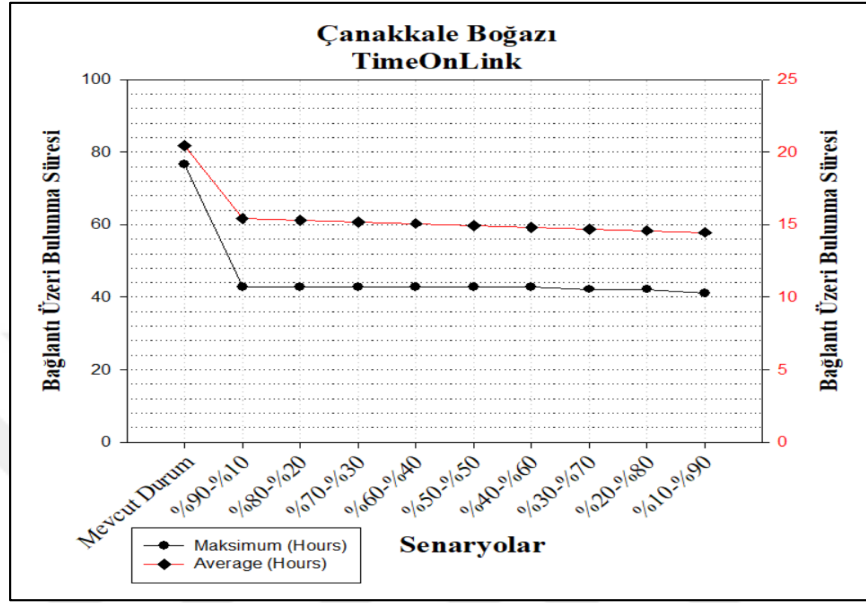
Şekil 3.32. Model 2 İstanbul Boğazı gemi kalış süreleri

Çanakkale Boğazı açısından gemilerin sistem içerisinde sayısı Şekil 3.33'de de gösterildiği gibi çok ciddi bir düşüş sergilemese bile önemli ölçüde bir azalma göstermiştir. Çanakkale Boğazı için her zaman çift yönlü trafiğinden ötürü İstanbul Boğazı'na göre daha az düşüş sergileyeceği unutulmamalıdır.



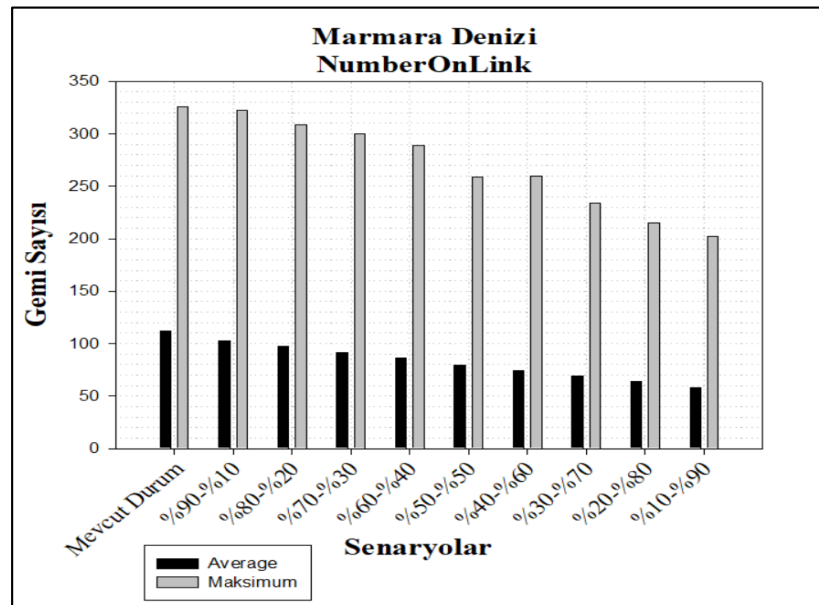
Şekil 3.33. Model 2 Çanakkale Boğazı gemi sayıları

Çanakkale Boğazı gemi sayılarına doğru orantılı olarak ilerleyen sistem içi gemi kalış sürelerinin değerleri Şekil 3.34’de gösterildiği gibi 20 saatlik değerlerden 15 saat dolaylarına azalış sergilemiştir.



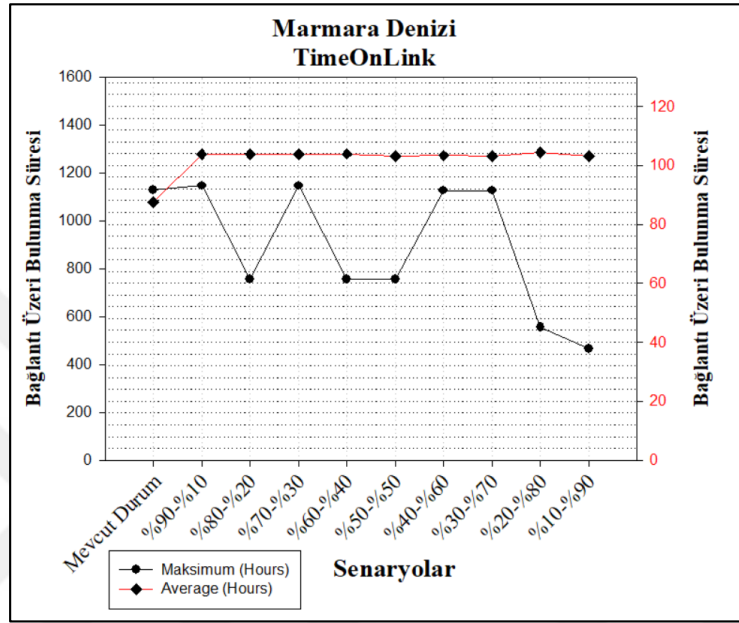
Şekil 3.34. Model 2 Çanakkale Boğazı gemi kalış süreleri

Marmara Denizi için meydana gelen düşüşler Model 1’e eşdeğer olacak şekilde ilerlemektedir. Düşüşün senaryolar dâhilinde etkisi Şekil 3.35 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.35. Model 2 Marmara Denizi gemi sayıları

Rota üzerinde bulunan gemi sayısının azalması bekleme sürelerinde de bir azalış görülmesine sebep olabilmektedir. Ancak burada gemi sayısının artışına zıt bir şekilde bekleme sürelerinde bir artış gözlenmektedir. Bu artışın sayısal olarak değişimi Şekil 3.36'da gösterildiği gibi olmaktadır.



Şekil 3.36. Model 2 Marmara Denizi gemi kalış süreleri

3.3. Model 1 ve Model 2 Karşılaştırması

Modellerin bu aşamaya gelene kadar oluşturulmuş grafikleri sayısal olarak artış ve azalış durumlarının görsel bir yansımasını oluşturmaktadır. Ancak grafik sayısının bu denli çok olması ve sayısal veri sayısının fazla olması bütün olarak inceleme de bir takım zorluklar yaratabilmektedir.

Bu durumun aşılabilmesi için Model 1 ve Model 2'nin tek bir tablo üzerinde eşdeğer verilerinin karşılaştırılması yapılabilir. Tablo 3.1, iki modelin performans parametlerinin ortak başlıklarını içinde bulundurarak sayısal değerlerinin farklarını göstermektedir. Bunun sonucunda her bir parametre için en iyi senaryo değerleri ve en kötü senaryo değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Model 1 ve 2 için gemilerin karşılaştırılması

Sistem İçinde Gemilerin Sayısı ve Bulunma Süreleri								
	NumberInSystem				TimeInSystem			
	Average (Model 1)	Average (Model 2)	Maksimum (Model 1)	Maksimum (Model 2)	Average Hours (Model 1)	Average Hours (Model 2)	Maksimum Hours (Model 1)	Maksimum Hours (Model 2)
Senaryo 1	140	140	369	369	143	143	1357	1357
Senaryo 2	131	131	353	359	102	102	1352	1353
Senaryo 3	126	126	344	339	99	98	1267	964
Senaryo 4	121	121	323	326	95	95	880	1353
Senaryo 5	117	115	320	317	92	91	1140	964
Senaryo 6	111	109	306	294	88	86	752	770
Senaryo 7	106	104	285	296	85	83	935	1140
Senaryo 8	101	99	283	270	81	79	879	1140
Senaryo 9	96	94	273	263	78	76	691	540
Senaryo 10	91	87	261	247	74	71	687	482

İstanbul Boğazı'nın sistem içerisinde bulunan bir hizmet kanalı ve bu hizmet kanalına ait rotanın bir birleşimi olduğu düşünüldüğünde Model 1 ve Model 2'de bulunan değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 ile sunulmaktadır.

Tablo 3.2. İstanbul Boğazı gemi sayısı performans kriterinin karşılaştırılması

	İstanbul Boğazı Gemi Sayılarının Karşılaştırılması			
	NumberOnLink			
	Average (Model 1)	Average (Model 2)	Maksimum (Model 1)	Maksimum (Model 2)
Senaryo 1	13	13	71	71
Senaryo 2	10	10	62	64
Senaryo 3	8	9	58	62
Senaryo 4	7	8	53	61
Senaryo 5	6	8	48	59
Senaryo 6	5	7	44	54
Senaryo 7	4	7	39	54
Senaryo 8	3	6	34	49
Senaryo 9	2	5	30	45
Senaryo 10	1	5	20	42

Tablo 3.3. İstanbul Boğazı gemi bulunma süresi performans kriterinin karşılaştırılması

	İstanbul Boğazı Gemi Bulunma Süreleri Karşılaştırılması			
	TimeOnLink			
	Average Hours (Model 1)	Average Hours (Model 2)	Maksimum Hours (Model 1)	Maksimum Hours (Model 2)
Senaryo 1	10	10	524	524
Senaryo 2	8,81	8,84	471	472
Senaryo 3	8,8	8,8	386	464
Senaryo 4	8,8	8,8	379	472
Senaryo 5	8,7	8,8	35	464
Senaryo 6	8,7	8,8	27	27
Senaryo 7	8,9	8,8	462	37
Senaryo 8	8,8	8,8	377	35
Senaryo 9	8,7	8,8	23	23
Senaryo 10	8,7	8,7	22	21

Çanakkale Boğazı'nın sistem içerisinde bulunan bir hizmet kanalı ve bu hizmet kanalına ait rotanın bir birleşimi olduğu düşünüldüğünde Model 1 ve Model 2'de bulunan değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.4 ve Tablo 3.5 ile sunulmaktadır.

Tablo 3.4. Çanakkale Boğazı gemi sayısı performans kriterinin karşılaştırılması

Çanakkale Boğazı Gemi Sayılarının Karşılaştırılması				
NumberOnLink				
	Average (Model 1)	Average (Model 2)	Maksimum (Model 1)	Maksimum (Model 2)
Senaryo 1	26	26	105	105
Senaryo 2	19	19	77	78
Senaryo 3	19	19	78	76
Senaryo 4	19	18	74	75
Senaryo 5	19	19	75	73
Senaryo 6	19	19	73	75
Senaryo 7	18	18	74	73
Senaryo 8	18	18	75	74
Senaryo 9	18	18	74	75
Senaryo 10	17	17	75	75

Tablo 3.5. Çanakkale Boğazı gemi bulunma süresi performans kriterinin karşılaştırılması

Çanakkale Boğazı Gemi Bulunma Süreleri Karşılaştırılması				
TimeOnLink				
	Average Hours (Model 1)	Average Hours (Model 2)	Maksimum Hours (Model 1)	Maksimum Hours (Model 2)
Senaryo 1	20,45	20,45	77	77
Senaryo 2	15,41	15,41	43	43
Senaryo 3	15,29	15,3	43	43
Senaryo 4	15,17	15,19	43	43
Senaryo 5	15,06	15,07	43	43
Senaryo 6	14,93	14,93	43	43
Senaryo 7	14,81	14,81	43	43
Senaryo 8	14,69	14,69	42	42
Senaryo 9	14,57	14,58	41	42
Senaryo 10	14,45	14,46	40	41

Çanakkale Boğazı'nın sistem içerisinde bulunan bir hizmet kanalı ve bu hizmet kanalına ait rotanın bir birleşimi olduğu düşünüldüğünde Model 1 ve Model 2'de bulunan değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 ile sunulmaktadır.

Tablo 3.6. Marmara Denizi gemi sayısı performans kriterinin karşılaştırılması

Marmara Denizi Gemi Sayılarının Karşılaştırılması				
	NumberOnLink			
	Average (Model 1)	Average (Model 2)	Maksimum (Model 1)	Maksimum (Model 2)
Senaryo 1	112	112	326	326
Senaryo 2	103	102	328	322
Senaryo 3	97	97	316	309
Senaryo 4	92	92	303	300
Senaryo 5	87	86	295	289
Senaryo 6	81	80	292	259
Senaryo 7	75	74	254	260
Senaryo 8	70	69	246	234
Senaryo 9	64	64	232	215
Senaryo 10	59	58	218	202

Tablo 3.7. Marmara Denizi gemi bulunma süresi performans kriterinin karşılaştırılması

Marmara Denizi Gemi Bulunma Süreleri Karşılaştırılması				
	TimeOnLink			
	Average Hours (Model 1)	Average Hours (Model 2)	Maksimum Hours (Model 1)	Maksimum Hours (Model 2)
Senaryo 1	87	87	1127	1127
Senaryo 2	112,27	103,72	1163	1146
Senaryo 3	112,36	103,79	1145	756
Senaryo 4	112,4	103,78	757	1146
Senaryo 5	112,53	103,84	1145	756
Senaryo 6	112,12	103,16	757	756
Senaryo 7	112,49	103,29	746	1126
Senaryo 8	112,38	103,07	757	1126
Senaryo 9	112,14	104,41	695	555
Senaryo 10	112,07	103,08	688	466

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Boğazlar Sistemi (İstanbul Boğazı, Marmara Denizi, Çanakkale Boğazı) üzerinde hareket hâlinde olan gemilerin sistemde sayıca ve kalış süreleri açısından değişiminin yani gemi trafiğine olan etkisinin simülasyon tabanlı bir yazılım programı ile irdelemesi yapılmıştır.

Buharın makineyle birleşmesi ve küreselleşme olgusu ekonomik ve teknolojik gelişmelerle birlikte birçok alanda olduğu gibi dünya ticaretini etkilemiştir. Her geçen gün artan dünya ticaret hacmine paralel olarak taşımacılık faaliyetleri kara, hava ve deniz alanlarında sürdürülmektedir. Dünya hammadde merkezlerini sanayi merkezlerine bağlayan, bu merkezlerde üretilen ürünleri küresel pazarlara ulaştıran denizyolu taşımacılığı sektörü, taşıma işleminin ana yüklenicisi konumundadır. Küresel ticaretin gelişmesine önemli katkılar yapan denizcilik sektörü özellikle maliyet, güvenli taşıma ve esnek rota seçimi gibi bazı avantajlar sunmaktadır. Denizyolu taşımacılığındaki artan yoğunluk, dünya üzerindeki kanal ve boğaz gibi önemli dar suyollarında yoğunluğa ve birikime sebebiyet verebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında Karadeniz'i açık denizlere ve oradan küresel piyasalara bağlayan Türk Boğazlar Sistemi (TBS); ekonomik, politik ve stratejik açıdan öneme sahip dünya üzerindeki en önemli dar suyollarından biridir. İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi'ni içinde barındıran bu sistem; yüzyıllardır üzerinde yaşayan insan topluluklarına, derin tarih geçmişine ve zengin kültürel bir mirasa ve pek çok canlı türüne ev sahipliği yapmıştır/yapmaktadır. Günümüzde ise, Karadeniz ile Marmara Denizi arasında alternatifi olmayan İstanbul Boğazı'nı daha önceki bölümlerde açıklanan sebeplerden dolayı gemi trafiği açısından yan geçit olarak iki denizi birbirine bağlamak amacıyla Çatalca Yarımadası'nı boydan boya ikiye bölen yapay bir su kanalı açılması planlanmaktadır. Bu şekilde, büyüyen küresel ticaret hacmine karşı, Türk Boğazlar Sistemi'ni bir noktada rahatlatmak amaçlanmaktadır.

Pek çok açıdan etkileri olması beklenen bu projenin hayata geçirilmeden önce her yönüyle çalışılıp, üzerinde tartışılması gerekmektedir. Diğer bir ifade ile Kanal İstanbul Projesinin; çevresel, siyasal, biyolojik, akıntı, jeolojik ve trafik etkileri gibi pek çok alanda ayrı ayrı çalışılıp üzerinde analizler yapılması önem arz etmektedir.

Bu kapsamda, TÜBİTAK destekli yürütülen bu bilimsel çalışmanın kapsamı sadece Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Boğazlar Sistemi üzerindeki trafik akışına olan etkilerini incelemek olmuştur. Diğer bir ifade ile, kanalın inşa edilmesi ile birlikte Türk Boğazlar Sistemi içerisindeki gemi yoğunluğunun ve gemilerin sistemde kalış sürelerinin ne oranda değişeceği konusu bu proje kapsamında kullanılan simülasyon yazılımı ile farklı yönleri ile incelenmiş, bazı veriler elde edilmiş ve bu veriler derlenerek bir takım sonuçlara ulaşılmıştır.

Proje çalışması kapsamında Bulgular kısmında tek tek irdelenen bu sonuçlar grafikler haline getirilmiştir. Altı ayrı kategoriye ayrılan gemi sınıfları sistem içerisinde bulunma sayıları açısından incelendiğinde geçişlerin Kanal İstanbul üzerinden Model 1 ve Model 2 olarak iki ayrı model oluşturulmuş ve sonuçları incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; kurulan bu iki ayrı model için TBS içerisindeki toplam gemi yoğunluğunda yani gemi sayılarında çok büyük değişimler olmadığı görülmüştür. Yani; Karadeniz üzerinden gelen ve Marmara Denizi'nde liman yapacak olan gemilerin İstanbul Boğazı'nı veya Kanal'ı kullanması Türk Boğazlar Sisteminde bulunan toplam gemi yoğunluğunu ve gemilerin sistemdeki kalış sürelerini çok fazla etkilememektedir. Bununla birlikte; Ege-Marmara ve Marmara-Ege hattını takip ederek Türk Boğazlar Sistemi içerisine giren gemilerin Kanal'ı kullanmayacak olmalarından dolayı bu hattı takip eden gemiler açısından sistem içerisindeki yoğunluk ve kalış süreleri bazında herhangi bir değişikliğin görülmediği belirlenmiştir.

Yine bu çalışmadan elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi üzerinde seyreden gemilerin buldukları hatlarda gemi sayıları ve hat üstünde geçirilen süreler oluşturulan iki modelde de incelendiğinde çok büyük bir değişimin olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla, Model 1 ve Model 2'de gemilere ve güzergâhlara ait performans kriterleri açısından geçişlerin hem İstanbul Boğazı hem de Kanal üzerinden yapıldığı durumlar arasında İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi açısından bariz bir farkın görülmediği tespit edilmiştir. Bu durumda, Kanal açıldığında gemilerin gerek Model 1'de olduğu gibi çift yönlü trafikte olması gerekse Model 2'de olduğu gibi tek yönlü trafikte olması sonuçları çok fazla etkilemeyecektir.

Ayrıca bulgular kısmında oluşturulan grafikler üzerinde de görüldüğü gibi sayısal değerler bazı noktalarda pik yapmaktadır. Bunun asıl sebebi, gemilerin dönemsel bazda yani kötü hava şartlarının etkisinde olan kış aylarında daha az gemi geçişine sahip olan sistem ile gemi yoğunluğunun havaların iyileşmesiyle arttığı yaz aylarında sayıca değişkenlik gösremesidir. Bu sebeple sadece dönemsel değil aylık hatta günlük oranda çok değişkenlik

gösteren verilerin simülasyon modeli içerisinde rassal olarak dağıtılması bazı anlarda yığılmalara sebebiyet vermektedir. Bu durum sistem sonuçlarının bazı yerlerinde pik değerler olarak karşımıza çıkmaktadır.

TBS bütünüyle ele alındığında, en iyi sonuçların Senaryo 10'dan elde edildiği görülmektedir. Buna göre, Ege'den Karadeniz'e geçiş yapan gemilerin ve aynı şekilde Karadeniz'den Ege'ye geçiş yapan gemilerin %90'lık bir bölümü Kanal İstanbul'a, %10'luk bölümü ise İstanbul Boğazına yönlendirilebilirse TBS içerisindeki gemi yoğunluğu Kanal'sız durumdaki mevcut duruma yani Senaryo 1'e göre ortalama değerler açısından yaklaşık %36'lık bir düşüş kaydetmiş olacaktır. Ayrıca; Senaryo 10'a doğru olan bütün senaryolarda TBS içerisindeki gemi yoğunluğunda düşüş meydana gelmektedir. Buna göre, Ege-Karadeniz ve Karadeniz-Ege hattında hareket eden gemilerin Kanal İstanbul üzerinden geçiş oranları artırılırsa yani Kanal İstanbul üzerinden daha fazla gemi geçişi sağlanabilirse TBS içindeki gemi yoğunluğunda düşüş sağlanabilecektir. Bununla birlikte; yine Ege-Karadeniz ve Karadeniz-Ege yönünde giden gemilerin Kanaldan geçiş oranları arttıkça (Senaryo 2'den Senaryo 10'a doğru gidildikçe) TBS içerisinden geçiş yapan gemilerin TBS içerisindeki kalış süreleri de düşmektedir. Senaryo 10'da yani Ege-Karadeniz ve Karadeniz-Ege yönünde ilerleyen gemilerin %90'lık kısmının Kanal'a yönlendirildiği senaryoda TBS içinde bekleyen gemilerin TBS sistemi içindeki kalış sürelerinin yaklaşık olarak %50 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Ara senaryolara bakıldığında Senaryo 10'a doğru gidildikçe yani Kanal İstanbul daha fazla kullanıldıkça TBS içinden geçiş yapan gemilerin sistem içinde daha az bekleme yapacağı görülmektedir. Dolayısıyla, Ege'den Karadeniz'e ve Karadeniz'den Ege'ye geçiş yapan gemilerin Kanala yönlendiriliş oranı arttıkça TBS içindeki gemi yoğunluğunun ve ayrıca TBS içinden geçiş yapan gemilerin sistemdeki kalış sürelerinin düştüğü belirlenmiştir.

TBS içerisinde; İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi ayrı ayrı değerlendirildiğinde aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Kanal İstanbul'un açılmasıyla birlikte, doğal olarak İstanbul Boğazı'ndaki gemi yoğunluğu ve gemilerin İstanbul Boğazı'nda geçirdiği zaman azalacak ve belirli bir iyileşme sağlanacaktır. Bu çalışmada oluşturulan Senaryolar bazında inceleme yapıldığında Senaryo 10'a doğru gidildiğinde bu iyileşmenin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, Senaryo 10'a kadar olan her bir senaryonun Kanal İstanbul üzerinden geçiş yapan gemilerin oransal olarak

artışını temsil etmesidir. Dolayısıyla, Kanal İstanbul üzerinden geçiş yapan gemilerin sayısının artırılması İstanbul Boğazı'ndaki gemi trafik yoğunluğunu ve gemilerin maksimum kalış sürelerini düşürecektir.

- Kanal İstanbul'un açılması ile birlikte, Marmara Denzinde bulunan gemilerin Marmara Denizi üzerinde geçirdikleri sürelerde artışlar meydana gelecektir. Yani, Kanal İstanbul'un açılması Marmara Denzinde bekleyen gemilerin kalış sürelerini yani bekleme sürelerini artıracaktır. Bu durum, Kanal'ın Marmara Denizi üzerinde gemilerin kalış yani bekleme süreleri açısından olumsuz etki yaptığını göstermektedir. Dolayısıyla, TBS nin Kanal'sız durumu şuan ki haliyle Marmara Denzindeki beklemeler açısından daha iyi sonuç vermektedir.
- Bununla birlikte; Kanal İstanbul'un açılması Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemilerin yoğunluğunu ve geçirdikleri süreyi bir miktar azaltmakla birlikte, Senaryolar bazında herhangi bir değişikliğe sebep olmamaktadır. Kanal İstanbul üzerinden geçiş yapan gemi sayılarında artış olması (Senaryo 10'a doğru bu artış olmaktadır) Çanakkale Boğazı'ndaki gemi yoğunluğunu ve gemilerin Çanakkale Boğazındaki kalış sürelerini değiştirmemektedir. Dolayısıyla, Kanal İstanbul'un açılması Çanakkale Boğazı üzerinde gemi yoğunluğunu ve geçirilen süreyi bir miktar azaltmakla birlikte, Kanal İstanbul üzerinden geçiş yapacak olan gemilerin oransal olarak artırılmasının Çanakkale Boğazı gemi yoğunluğu ve kalış süreleri üzerinde herhangi bir etki oluşturmamaktadır.

5. ÖNERİLER

Sunulan çalışma ile TBS' deki gemi trafiğinin gerçek zamanlı bir modeli oluşturulmuş ve Kanal İstanbul Projesi'nin eklenmesiyle önemli sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma içerisinde Kanal İstanbul için kabul edilen bilgilerin detaylarının tam olarak bilinmemesinden dolayı trafik rejim ve koşulları İstanbul Boğazı'na benzetilerek oluşturulmuştur. Kanal İstanbul'un kendine özgü olabilecek akıntı, meteorolojik şartlara karşı tutumu, tam olarak hangi gemilerin geçişine müsaade edilip hangisine izin verilmeyeceği gibi koşullar simülasyon yazılımı içerisinde modellendiği durumda daha keskin ve daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir.

TBS içerisinde hareket eden gemilerin dönemsel olarak farklılık göstermesi yani hava muhalefetinin çok fazla yaşandığı kış aylarında kısıtlı görüş ve elverişsiz geçişlere sebep olurken bir yandan havaların daha iyi gittiği yaz dönemine doğru gemilerin geçiş sayısında meydana gelen artış verilerde büyük bir fark oluşturmaktadır. Bu nedenle bu uygulamada yer alan 1 yıllık veriler daha kesin sonuçların alınmasında zorluk yaratmaktadır. İlerleyen çalışmalarda daha uzun süreleri kapsayacak olan veri setlerinin elde edilmesiyle mevcut modeller revize edilerek daha kapsamlı ve sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Bunun yanı sıra çalışma kapsamında belirtilen kısıtların kaldırılması sonucu olumlu ve olumsuz etkiler daha detaylı incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akman, M. A., 2016. Kanal İstanbul'un Hidrolik Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Akten, N., 2003. The Strait of Istanbul (Bosphorus): The Seaway Separating the Continents with Its Dense Shipping Traffic. Turkish J. Marine Sciences, 9, 3, 241–265.
- Almaz, A. O., Or, I. Ve Özbaş, B., 2006. Simulation of maritime transit traffic in the Istanbul channel. 20th European Conference on Modelling and Simulation: Modelling Methodologies and Simulation Key Technologies in Academia and Industry, ECMS, 360–366.
- Almaz, A., Or, İ. ve Özbaş, B., 2006. Investigation of transit maritime traffic in the strait of Istanbul through simulation modeling and scenario analysis. International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology, 7, 1473–031.
- Almaz, O. A. ve Altiok, T., 2012. Simulation modeling of the vessel traffic in Delaware River: Impact of deepening on port performance. Simulation Modelling Practice and Theory, 22, 146–165.
- Altan, T., 2014. Marmara Denizi Trafik Akışı ve Trafik Düzeninin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Altan, Y. C., 2017. Analysis and Modeling of Maritime Traffic and Ship Collision in the Strait of Istanbul Based on Automatic Vessel Tracking System, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ameringer, C. D., 1963. The Panama Canal Lobby of Philippe Bunau-Varilla and William Nelson Cromwell. The American Historical Review, 68, 2, 346–363.
- Arsoy İlikan, D., 2014. Meme Merkezinde Hasta Akış Diyagramının Oluşturulması ve İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Artüz, M. L., 2007. Bilimsel Açıdan Marmara Denizi, Birinci Baskı, Türkiye Barolar Birliği, Ankara
- Atasoy, C., 2008. İstanbul Boğazı'nda Yerel Trafiğin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Aydın, K., 2007. İstanbul Deniz Otobüsleri Seferlerinin Simülasyon Yardımıyla Planlaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Aydın, Ö., 2015. Modelleme ve Benzetim, <https://slideplayer.biz.tr/slide/2402046/> , 20 Nisan 2020.
- Başar, E., 2010. Weathering and oil spill simulations in the aftermath of tanker accidents at the junction points in the marmara sea, Fresenius Environmental Bulletin, 19, 2, 260–265.
- Bayar, N., 2010. İstanbul Boğazında Deniz Trafik Güvenliğinin Risk Tabanlı Bulanık AHP ve FMEA Yöntemleri ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bayar, N., Özüm, S. ve Yılmaz, H., 2008. Analysis of Accidents in Istanbul Strait, The 16th Conference of the International Maritime Lecturer's Association, IMLA, 393–400.
- Baykal, R., 2012. Karma Taşımacılık Yaklaşımıyla Limanlar ve Terminaller, Birsen Yayınevi, 1. Baskı, İstanbul, 249s.
- Beşiktepe, Ş., Sur, H., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T. ve Ünlüata, Ü. 1994. The circulation and hydrography of the Marmara Sea, Progress in Oceanography, 34, 4, 285–334.
- Birsel, C., 1948. SOVYET RUSYA - TÜRK NOTALARI AYDINLIĞINDA TÜRK BOĞAZLARI, İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi Mecmuası, 14, 1–2, 3–23.
- Bonney, M. C., Schmidt, J. W. ve Taylor, R. E. 1971. Simulation and Analysis of Industrial Systems, Operational Research Quarterly (1970-1977), 22, 92–93.
- Candanoğlu, Z. Ö., 2013. Scheduling Transit Vessels in the Istanbul Strait, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Chiggiato, J., Jarosz, E., Book, J. W., Dykes, J., Torrisi, L., Poulain, P. M. ve Beşiktepe, Ş., 2012. Dynamics of the circulation in the Sea of Marmara: Numerical modeling experiments and observations from the Turkish straits system experiment, Ocean Dynamics, 62, 139–159.
- Çınar, M., 2018. Yapay Su Yollarının Uluslararası Hukuk Bakımından İncelenmesi ve Kanal İstanbul Projesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler, Kütahya
- Durak, M., Sabuncu, İ., 2019. Kanal İstanbul Projesinin Ülkemiz İçin Önemi ve İstanbul Boğazı Gemi Trafikine Etkisinin Simülasyon Yöntemiyle Analizi, 3. Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi, 75–77.
- Eldemir, F., Camci, F., Uysal, O., 2013. Analysis and Simulation of Istanbul Strait Marine Traffic Management Strategies, Transportation Research Board 92nd Annual Meeting

- Erol, S., Demir, M., Çetişli, B. Ve Eyüboğlu, E., 2018. Analysis of Ship Accidents in the Istanbul Strait Using Neuro-Fuzzy and Genetically Optimised Fuzzy Classifiers, Journal of Navigation, 71, 2, 419-436.
- Eryılmaz, M., Türker, A., Aydın, Ş. ve Kırcı, Z. 2000., İstanbul Boğazında Güncel Çökel Dağılımı, ODTÜ-Ankara, 1. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, 281-283.
- Eryılmaz, M., Yücesoy-Eryılmaz, F., Aydın, Ş., Türker, A. ve Kırcı, Z., 2001. Çanakkale Boğazı'nın Güncel Çökeltisi, 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 5-6.
- Ersöz, F. 2019., Benzetim ve Modelleme, Simülasyon, Model Kurma ve Sistem Simülasyonu, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 359s.
- Franzese, L. A. G., Abdenur, L. O., Storcks, D., Botter, R. C. ve Cano, A. R., 2005. Simulating the panama canal: Present and future, Proceedings - Winter Simulation Conference, 2, 1835-1838.
- Fulser, B., 2015. Kombine Taşımacılık ve Türkiye Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Gel, T., 2010. Ship Transition Planning Through Straits According to Montro Contract Using Optimization Methods, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Giffin, W. C., 1978. Queueing: Basic Theory and Applications, Grid Inc., Columbus, Ohio
- Gönültaş, E., 2007. Analysis of the Extreme Weather Conditions, Vessel Arrival Process and Prioritization in the Strait of İstanbul Through Simulation Modeling, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Görçün, Ö. F., Burak, S. Z., 2015. Formal Safety Assessment for Ship Traffic in the Istanbul Straits, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 207, 252-261.
- Gross, D., 2008. Fundamentals of Queueing Theory, Wiley, 4th. ed. W., Hoboken, N.J.
- Günes, S., 2007. Türk Bogazlari, METU Studies in Development, 34, 2.
- Higgins, J. C., Fabrycky, W. J. ve Torgersen, P. E., 1967. Operations Economy: Industrial Applications of Operational Research, Journal of the Operational Research Society, 18, 3, 326.
- Ilgar, R., 2002. Çanakkale Boğaz Ekosisteminde Ulaşım Faaliyetleri, Doğu Coğrafya Dergisi, 45-59.

- Ilgar, R., 2015. ÇANAKKALE BOĞAZINDAKİ GEMİ HAREKETLİLİĞİ ve KAZA RİSK HARİTASININ BELİRLENMESİ (Ship Mobility and Determination of Accident Risk Map in The Dardanelles), Türk Coğrafya Dergisi
- İnan, Y., 1995. Türk Boğazları'nın Siyasal ve Hukuksal Rejimi, Turhan Kitabevi, Ankara, 132 s.
- İstikbal, C., 2020. Strait of Istanbul, major accidents and abolishment of left-hand side navigation, Aquatic Research, 3, 1, 40–65.
- Kankotan, E. İ., Orhan, E., 2002. Optimization of the Waiting Time for the Ships Entering the Strait of Istanbul, Boğaziçi Universtiy.
- Karaman, B., 2004. IMO ve Türk Boğazları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Keçeci, T., 2010. İstanbul Boğazı'nda Gemi Boyu Faktörünün Güvenli Seyre Etkisinin AHP Metodu Kullanılarak Analiz Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kelton, W. D., Smith, J. S. ve Sturrock, D. T., 2011. Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Applications, Simio LLC., Second Edition, USA, 381s.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. ve Sadowski, D. A., 2014. Simulation With Arena, Mc Graw Hill Education, Second Edition, 700s.
- Kılıç, İ., 2015. Bulanık-Analitik Hiyerarşi Sürecini Kullanarak İstanbul Boğazı'nda Deniz Kazaları Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kırbaş, İ., 2013. Yalın Simülasyon Plandan Gerçeğe, İkinci Adam Yayınları, 1. Baskı, İstanbul, 176s.
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2019. Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği Uygulama Talimatı, Pub. L. No. 3066, 15.
- Kiviat, P. J., 1969. Digital Computer Simulation: Computer Programming Languages, United States Air Force Project Rand, California.
- Kocaman, Y., 2006. Türk Boğazları'nda Meydana Gelen Deniz Kazalarına Coğrafi Faktörlerin Tesiri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Köse, E., Başar, E., Demirci, E., Güneroğlu, A. ve Erkebay, Ş., 2003. Simulation of marine traffic in Istanbul Strait, Simulation Modelling Practice and Theory, 11, 7–8, 597–608.
- Koşucu, M. M., 2016. İstanbul Boğazı'nın 3 Boyutlu Hidrodinamik Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Kurtoğlu, A., 2015. Boğaziçi'ne dair enterasan coğrafi bilgiler, 1453 İstanbul Kültür ve Sanat Dergisi, İstanbul, 21–24.
- Kutluk, E., 2018. İstanbul Boğazı'ndan Geçen Gemilerin Oluşturduğu Trafik Yükünün Çevresel Etkileri: Ro-Ro Gemileri Özelinde Bir İnceleme, Siyasal Bilimler Dergisi, 6, 285–310.
- Law, A. M., Kelton, W. D., 2000. Simulation Modeling and Analysis, Mcgraw Hill Higher Education, Third Edit, New York
- Macmillan, C., Gonzales, R. F., 1973. System Analysis: A computer Approach to Decision Models, R. D. Irwing, Ed., Inc, Third Edition, Homewood, Illinois
- Mavrakis, D., Kontinakis, N., 2008. A queueing model of maritime traffic in Bosphorus Straits, Simulation Modelling Practice and Theory, 16, 3, 315–328.
- Megaİstanbul. 2020. Kanal İstanbul, <http://megaprojeleristanbul.com/print/kanal-istanbul>, 13 Nisan 2020
- Meisel, F., Fagerholt, K., 2019. Scheduling two-way ship traffic for the Kiel Canal: Model, extensions and a matheuristic, Computers and Operations Research, 106.
- Merrick, J. R. W., Van Dorp, J. R., Blackford, J. P., Shaw, G. L., Harrald, J. ve Mazzuchi, T. A., 2003. A traffic density analysis of proposed ferry service expansion in San Francisco bay using a maritime simulation model, Reliability Engineering and System Safety, 81, 2, 119–132.
- Milletlerarası Hukuk ve Milletlerarası Özel Hukuk Bülteni. 2017, İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi, Milletlerarası Hukuk ve Milletlerarası Münasebetler Araştırma ve Uygulama Merkezi, 264s.
- Norman, E. 2008. Black Sea Map 19 Nisan 2020 https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Black_Sea_map.png , 19 Nisan 2020
- Ocaktan, B., 2016. Sistem Simülasyonu, Balıkesir, 6s.
- Or, I., Ozbas, B. ve Yilmaz, T., 2007. Simulation of maritime transit traffic in the Istanbul Strait - II: Incorporating the traffic regime, arrival processes, meteorological conditions, 21st European Conference on Modelling and Simulation: Simulations in United Europe, ECMS,
- Orakçı, S., 2006. General Directorate of Coastal Safety and Salvage Administration, Türkish Marine Research Fundation, 25, 52–66.

- Ors, H., Yilmaz, S. L., 2004. Oil Transport in the Turkish Straits System, Part II: A Simulation of Contamination in the Dardanelles Strait, Energy Sources, 26, 2, 167-175.
- Ortadoğu Stratejik Araştırmalar Merkezi. 2013. Montreux Boğazlar Konferansı Tutanaklarından Tarihe Düşen Notlar ve Kanal İstanbul, ORSAM, Ankara, 40s.
- Özbaş, B., 2005. Simulation of Maritime Transit Traffic in the Istanbul Channel, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Özbaş, B., Or, I., 2007. Analysis and control of maritime transit traffic through the İstanbul Channel: A simulation approach, Central European Journal of Operations Research, 15, 252.
- Özbaş, B., Or, İ. ve Altıok, T., 2013. Comprehensive Scenario Analysis for Mitigation of Risks of the Maritime Traffic in the Strait of Istanbul, Journal of Risk Research, 16, 5, 541–561.
- Özden, Ü. H., 2015. Simülasyon <http://www.unalozden.com/DOWNLOAD/simulasyon.pdf>, 24 Mart 2020
- Özersoy, K., 1999. Türk Boğazlarından Geçiş Rejimi, Mülkiyeliler Birliği Vakfı, 22. Baskı, Ankara, 298s.
- Özlem, Ş., 2011. Simulation of the Vessel Traffic in the Strait of Istanbul, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Öztürk, B., Oral, N., 2006. The Turkish Straits, Maritime Safety, Legal and Environmental Aspect, Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), N. Oral & B. Öztürk, Ed., İstanbul, 163s.
- Panico, J. A., 1969. Queuing Theory: A study of waiting lines for business, economics and science, Prentice- Hall, N.J. ,Englewood Cliffs, 200s.
- Pazarcı, H., 1990. Uluslararası Hukuk Dersleri , Turhan Kitabevi, II. Edition, Ankara, 348s.
- Pizon, F. X., 2020. TSVTS https://www.afcan.org/dossiers_techniques/tsvts_gb.html, 23 Nisan 2020
- Pollaczek, F., 1965. Concerning an analytic method for the treatment of queueing problems. Proceedings of Symposium on Congestion Theory, University of North Carolina, Chapel Hill, NC.
- Qu, X., Meng, Q., 2012. The economic importance of the Straits of Malacca and Singapore: An extreme-scenario analysis, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48, 1, 258–265.

- Rahimikelarijani, B., Abedi, A., Hamidi, M. ve Cho, J., 2018. Simulation modeling of Houston Ship Channel vessel traffic for optimal closure scheduling, Simulation Modelling Practice and Theory, 80, 89–103.
- Resmi Gazete, 1982. Çanakkale Liman Tüzüğü, Pub. L. No. 17809., Türkiye Cumhuriyet
- Resmi Gazete , 1996, İstanbul Liman Tüzüğü, Pub. L. No. 22749., Türkiye Cumhuriyeti
- Resmi Gazete, 2018, İstanbul Liman Başkanlığı Yerel Deniz Trafığı Rehberi, Pub. L. No. 80647., T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Türkiye Cumhuriyeti
- Resmi Gazete, 2019, Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği, Pub. L. No. 30859., T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Türkiye Cumhuriyeti
- Reynolds, J. F., Lee, A. M., 1969. Applied Queueing Theory, Journal of the Operational Research Society, 20, 133-134.
- Robinson, S., 2005. Discrete-event simulation: From the pioneers to the present, what next?, Journal of the Operational Research Society, 56, 6, 619-629.
- Saaty, T. L., 1962. Elements of Queueing Theory with Applications, McGraw-Hill, NY., 423 s.
- Sakai, F., Hasegawa, K., Niwa, K. ve Hata, K., 2010. Marine Traffic Simulation of The Straits of Malacca and Singapore, The Journal of Japan Institute of Navigation, 122, 91–96.
- Sarıaslan, H., 1986. Sıra Bekleme Sistemlerinde Simülasyon (Benzetim) Tekniği, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi, Ankara, 173s.
- Sevgin, G., 2000. Sıra Bekleme Sistemlerine Benzetim Tekniği Yaklaşımı ve Bir Hastane Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler, İstanbul
- Sluiman, F. J., 2017. Transit vessel scheduling, Naval Research Logistics, 64, 225–248.
- Sormaz, D. N., Malik, M., 2018. Data-driven Simulation Modelling for Progressive Care Units in Hospitals, Procedia Manufacturing, 17, 819-826.
- Sözen, A., 2007. Hız Kesicilerin Trafik Yükleme Altındaki Dinamik Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Sucuoğlu, M. K., 2014. Kanal İstanbul Projesi'nin Türk Denizciliği Açısından SWOT Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Swart, W., Donno, L., 1981. Simulation Modeling Improves Operations, Planning, and Productivity of Fast Food Restaurants, Interfaces, 11, 6, 35-47.
- Taşlıgil, N., 2004. İstanbul Boğazı'nın Ulaşım Coğrafyası Açısından Önemi, Marmara Coğrafya Dergisi, 10, 1-18.
- Turan, S., 2004. GEÇİŞ VE SEYİR GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINA YÖNELİK DÜZENLEMELER IŞIĞINDA TÜRK BOĞAZLARI, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6, 1, 63-75.
- Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri,
http://www.turksail.com/documents/kullanici_rehberi.pdf, 14 Nisan 2020,
- Türk, N. N., 2010. İstanbul ve Çanakkale Boğaz Geçiş Sisteminin İncelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Türkiye Cumhuriyeti, Dışişleri Bakanlığı, Türk Boğazları, Haydar Berk
<http://www.mfa.gov.tr/turk-bocazlari.tr.mfa>, 15 Mart 2020
- T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Gemi Geçiş İstatistikleri
https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx, 16 Nisan 2020
- Uçan, E., 2013. İstanbul Boğazı'nda Kılavuzluk Hizmeti Veren Kılavuz Kaptan Sayısının Simülasyon Yöntemiyle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, A. Y. G. M., 2019. Kanal İstanbul Projesi Çevresel Etki Değerlendirme Raporu (ÇED), Ankara, 1595s.
- Ulusçu, Ö., Özbaş, B., Altıok, T., Or, I. ve Almaz, Ö. A., 2009. Vessel traffic in the strait of Istanbul, Simulation-Based Case Studies in Logistics: Education and Applied Research, 189-207.
- Ulusçu, Ö. S., Altıok, T., 2009. Waiting time approximation in single-class queueing systems with multiple types of interruptions: Modeling congestion at waterways entrances, Annals of Operations Research, 172, 1, 291-313.
- Ulusçu, Ö. S., Özbaş, B., Altıok, T. ve Or, İ., 2009. Risk Analysis and Modeling of the Maritime Traffic in the Strait of Istanbul, Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis, 29, 10, 1454-1472.
- URL-1, www.ido.com.tr/index.cfm?page=SubPage&textid=1773&kapsam=1&ln=tr, IDO 2007 Faaliyet Raporu, 24 Nisan 2020.
- URL-2, <https://en.wikipedia.org/wiki/Dardanelles>, Dardanelles Strait, 26 Nisan 2020.
- URL-3, <http://europeanmaritime.com/straits/DARDANELLES> (CL.gif, Dardanelles Strait, 26 Nisan 2020.

URL-4, <https://alpha-majidi.com.tr/?p=490&lang=tr>, Neden Marmara Denizi?, 19 Nisan 2020.

URL-5, <https://avsa.bandirma.com.tr/avsa-adasi-ido-seferleri>, 19 Nisan 2020.

URL-6, <http://www.worldshipping.org/pdf/suez-canal-presentation.pdf>, A Suez Canal, 21 Nisan 2020,.

URL-7, www.suezcanal.gov.eg/English/Navigation/Pages/NavigationStatistics.aspx, Suez Canal Yearly Statistics, 21 Nisan 2020.

URL-8, <https://www.pancanal.com/eng/acp/asi-es-el-canal.html>, Panama Canal, 21 Nisan 2020.

URL-9, <https://www.pancanal.com/eng/op/transit-stats/2019/Table-01.pdf>, Panama Canal Traffic, 21 Nisan 2020.

URL-10, https://tr.wikipedia.org/wiki/Korint_Kanalı, Korint Kanalı, 21 Nisan 2020.

URL-11, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kiel_Kanalı https://tr.wikipedia.org/wiki/Kiel_Kanalı Kiel Canal, 21 Nisan 2020

URL-12, <https://katipaday.com/2018/01/onemli-bogazlar-ve-kanallar.html>, Önemli Boğazlar ve Kanallar, 20 Nisan 2020.

URL-13, https://www.nawouak.net/?doc=ms_thesis+ch=simulation+lang=en, Discrete-Event Simulation, 20 Nisan 2020.

URL-14, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_computer_simulation_software, List of computer simulation software, 20 Nisan 2020.

URL-15, <https://www.simio.com/about-simio/>, The Story of Simio, 16 Nisan 2020

URL-16, <https://www.simio.com/about-simio/what-is-simio-simulation-software.php> What is Simio ?, 16 Nisan 2020

Usluer, H. B., Bilen Alkan, G., 2016. Importance of the Marine Science and Charting about Environmental Planning, Management and Policies at the Turkish Straits, European Journal of Sustainable Development Research, 1, 1, 16–25.

Viran, A., 2014. İstanbul Boğazı Yoğun Trafik Bölgesinin (Güney Bölgesi) Otomatik Tanımlama Sistemi Tabanlı Risk Haritasının Çıkarılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Yip, T. L., 2013. A Marine Traffic Flow Model, TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 7, 1, 109–113.

Yorulmaz, M., 2009. Deniz Taşımacılığı ve Deniz Sigortaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sigortacılık Anabilim Dalı, İstanbul

Yüksek Proje, 2018. Kanal İstanbul Projesi Ön Yapılabilirlik Raporu

Zhang, H., Ke, J., Dong, S. ve Yuan, Z., 2019. Simulation Modelling of State-Dependent Quening Network: Impact of Deepening on The Vessel Traffic in Yangtze River Estuary, Advanges in Mechanical Engineering, 11, 5, 1–12.

Zhang, X., Lin, J., Guo, Z. ve Liu, T., 2016. Vessel transportation scheduling optimization based on channel-berth coordination, Ocean Engineering, 112, 145–152.



ÖZGEÇMİŞ

Sis Özgün YAMAK 03.01.1995 tarihinde Trabzon' da doğdu. 2012 yılında Erdoğan Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. Aynı yıl KTU Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü Gemi İnşa Bilim Dalında Yüksek Lisans programına başlamıştır. 1 Aralık 2018 ve 1 Şubat 2020 yılları arasında TÜBİTAK' ın 3001 Program Kodlu 118M685 numaralı projesinde bursiyer olarak çalışmıştır. Yabancı dili İngilizce' dir.