

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

**DENİZ ULAŞTIRMASI EMNİYET YÖNETİMİ İÇİN**  
**TRAFİK AKIŞ SİMÜLASYONU UYGULAMASI**

**Burcu ÇELİK**

**Danışman**  
**Doç. Dr. Yusuf ZORBA**

**İZMİR- 2020**

**DOKTORA**  
**TEZ ONAY SAYFASI**



## YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Deniz Ulaştırması Emniyet Yönetimi için Trafik Akış Simülasyonu Uygulaması” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

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

Burcu ÇELİK

İmza

## **ÖZET**

### **Doktora Tezi**

#### **Deniz Ulaştırması Emniyet Yönetimi için**

#### **Trafik Akış Simülasyonu Uygulaması**

**Burcu ÇELİK**

**Dokuz Eylül Üniversitesi**

**Sosyal Bilimler Enstitüsü**

**Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Programı**

Deniz ulaştırması, küresel ticaret ve küresel ekonomi için oldukça önemlidir ve dünyanın en büyük ekonomilerinden biridir. Geçen yüzyılda, büyük etkileri olan deniz kazaları meydana gelmiştir, bu nedenle emniyet ve emniyet yaklaşımı tepkisellikten uzaklaşarak öngörülebilir yaklaşım önemli hale gelmiştir. Deniz ulaştırmasının sürdürülebilirliği can emniyeti ve seyir emniyetinin ve deniz çevresinin korunması ile mümkündür.

Bu araştırmada, deniz trafiğini analiz etmek için genel bir trafik akım benzetim modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, deniz trafiği koşullarındaki olası değişikliklere göre uyarlanabilir, güncellenebilir bir model geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla araştırma sürecinde nitel ve nicel yöntemler kullanılmıştır. Nitel araştırma sürecinde, modeldeki değişkenlerin belirlenmesi için ilgili alanyazın taraması yapılmıştır. Belirlenen değişkenler benzetim modelinde kullanılmıştır. İlgili yazında, etmen tabanlı modelleme yaklaşımının araştırma konusunun niteliği ve amaçlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. NetLogo dili ve programı açık kaynak kodlu, ücretsiz, akademik çalışmalarda en çok kullanılan, buna ek olarak kullanılan dille yakın kodlama, prosedürler içermesi nedenleriyle deniz trafiği akım benzetim modeli NetLogo'da geliştirilmiştir. Geliştirilen model açık deniz alanında uygulanmıştır.

Benzetim modelinde deneyler gerçekleştirilmiş ve benzetim çıktısı olarak riskli koordinatları görselleştiren risk haritaları ortaya çıkarılmıştır. Model, bu alandaki risklerin ortadan kaldırılması için model güncelleştirilmiş ve

uyarlanmıştır, bu amaçla riskli alan için bir trafik ayırım düzeni uygulanmıştır ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Trafik ayırım düzeni sonrası, risk haritalarında değişikliklerin olduğu ve riskli koordinatların başka bir bölgeye aktarıldığı görülmüştür. Bulgular ve sonuçlar, benzetim modelinin deniz trafiğini analiz etmek için uyarlanabilir ve güncellenebilir bir model olduğunu ve bu modelin farklı deniz trafiği durumlarını analiz etmek için kullanılabileceğini, çalışma amaçlarına uygun olduğunu göstermektedir. Çalışmanın sonuçlarının, deniz trafiği koşullarındaki olası değişiklikleri analiz etmek, yeni stratejiler geliştirmek için karar vericilere bir karar destek aracı olarak hizmet etmesi beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Deniz Trafiği, Benzetim, Deniz Trafik Akım Benzetimi, Etmen Tabanlı Modelleme, NetLogo.

**ABSTRACT**  
**Doctoral Thesis**  
**Doctor of Philosophy (PhD)**  
**Implementation of Traffic Flow Simulation for**  
**Safety Management of Maritime Transportation**  
**Burcu ÇELİK**

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

Maritime transport is one of the largest economy and crucial for global trade and global economy. In the last century, there has occurred several catastrophic maritime accidents, therefore safety approach has changed from reactive to proactive. Sustainability of maritime transport is possible with safety of life, safety of navigation and protection of maritime environment.

In this research, it is aimed to develop a generic traffic flow simulation model for analyze maritime traffic. In addition, it is aimed to develop adaptable, updated model for possible changes in maritime traffic conditions. For this aims, qualitative and quantitative methods were used in the research process together. In the qualitative research process, related literature survey conducted for determination of variables in the model and the variables were used in the simulation. Related literature also has been pointed out that agent-based modelling approach is fitted for nature of research subject and aims. NetLogo language and programme is open source, free, most used in academic papers, in added it's procedure is close natural languages. For this reasons, traffic flow simulation model develop on NetLogo. Model is implemented on a open sea area.

Experiments on the simulation model the were carried out and simulation's output that shows a visualizing risky coordinates as a risk map. Model is updatable and adaptable for elimination of risks in this area, for this purpose implemented a traffic separation scheme for the risky area and

experiments carried out. After traffic separation scheme, risk map that appears to have some changes and risky coordinates appear to be transferred to another area. Findings and results indicate that study has achieved its aims, generic traffic flow simulation model, is updatable and adaptable for analyzing maritime traffic and this model can be used appropriate for analyzing different maritime traffic situations. The results of the study are expected to serve as a decision support tool for decision makers and administration for developing new strategies, analyzing possible changes in maritime traffic conditions.

**Keywords:** Maritime Traffic, Simulation, Maritime Traffic Flow Simulation, Agent-based Modelling, NetLogo

# **DENİZ ULAŞTIRMASI EMNİYET YÖNETİMİ İÇİN TRAFİK AKIŞ SİMÜLASYONU UYGULAMASI**

## **İÇİNDEKİLER**

|                  |      |
|------------------|------|
| TEZ ONAY SAYFASI | ii   |
| YEMİN METNİ      | iii  |
| ÖZET             | iv   |
| ABSTRACT         | vi   |
| İÇİNDEKİLER      | viii |
| KISALTMALAR      | xii  |
| TABLolar LİSTESİ | xiii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | xiv  |
| EKLER LİSTESİ    | xvi  |
| GİRİŞ            | 1    |

## **BİRİNCİ BÖLÜM**

### **DENİZ ULAŞTIRMASI VE EMNİYET YÖNETİMİ**

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. DENİZ ULAŞTIRMASI                                                                 | 3  |
| 1.2. DENİZ ULAŞTIRMASINDA EMNİYET YÖNETİMİ                                             | 4  |
| 1.2.1. Emniyet Kavramı                                                                 | 4  |
| 1.2.2. Deniz Ulaştırmasında Emniyet ve Emniyet Yönetimi                                | 7  |
| 1.3. DENİZ TRAFİĞİNDE EMNİYETİN GELİŞTİRİLMESİNDE ETKİLİ<br>KURULUŞLAR VE DÜZENLEMELER | 11 |
| 1.3.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü                                                  | 12 |
| 1.3.1.1. Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi                                  | 13 |

|          |                                                                                                        |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.3.1.2. | Gemi Adamlarının Eğitimi, Belgelendirilmesi ve Vardiya Tutma Esasları Hakkında Uluslararası Sözleşmesi | 16 |
| 1.3.1.3. | Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi                                    | 17 |
| 1.3.1.4. | Denizde Çatışmayı Önleme Kuralları Uluslararası Sözleşmesi                                             | 17 |
| 1.3.2.   | Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Otoriteleri Birliği                                           | 19 |
| 1.3.2.1. | Fenerler                                                                                               | 20 |
| 1.3.2.2. | Şamandıralar                                                                                           | 21 |
| 1.3.2.3. | Kılavuzluk Hizmetleri                                                                                  | 22 |
| 1.3.2.4. | Gemi Trafik Hizmetleri                                                                                 | 24 |
| 1.4.     | ALANDA YAPILMIŞ DENİZ TRAFİĞİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ                                                 | 26 |
| 1.4.1.   | Deniz Trafiklerinin Analizi ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Araçlar                                 | 32 |
| 1.4.1.1. | Samson                                                                                                 | 32 |
| 1.4.1.2. | Gracat                                                                                                 | 33 |
| 1.4.1.3. | Marcus                                                                                                 | 33 |
| 1.4.1.4. | Shipcof                                                                                                | 34 |
| 1.4.1.5. | Martram                                                                                                | 34 |
| 1.4.1.6. | Dymitri                                                                                                | 34 |

## İKİNCİ BÖLÜM

### DENİZ TRAFİĞİ AKIMI VE BENZETİMİ

|          |                                          |    |
|----------|------------------------------------------|----|
| 2.1.     | DENİZ TRAFİĞİ BENZETİMİ                  | 36 |
| 2.1.1.   | Modelleme ve Benzetim Kavramları         | 36 |
| 2.1.2.   | Benzetim ve Modellerin Sınıflandırılması | 40 |
| 2.1.2.1. | Statik ve Dinamik                        | 41 |
| 2.1.2.2. | Stokastik ve Deterministik Benzetimler   | 41 |
| 2.1.2.3. | Kesikli ve Sürekli Benzetim Modelleri    | 42 |

|          |                                                                        |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.3.   | Modelleme ve Benzetim Yaklaşımları                                     | 42 |
| 2.1.4.   | Deniz Trafik Modelleme ve Benzetimi ile İlgili Çalışmalar              | 43 |
| 2.2.     | TRAFİK AKIMI VE TEORİSİ                                                | 49 |
| 2.2.1.   | Trafik Akım Modelleri Sınıflandırması                                  | 51 |
| 2.2.1.1. | Makroskopik Modeller                                                   | 53 |
| 2.2.1.2. | Mikroskopik Modeller                                                   | 54 |
| 2.2.1.3. | Mezoskopik Modeller                                                    | 55 |
| 2.2.2.   | Trafik Akımı Asal Elemanları                                           | 55 |
| 2.2.2.1. | Hız                                                                    | 56 |
| 2.2.2.2. | Akım                                                                   | 56 |
| 2.2.2.3. | Yoğunluk                                                               | 57 |
| 2.3.     | DENİZ TRAFİĞİ AKIM KAVRAMI                                             | 58 |
| 2.3.1.   | Alanda Deniz Trafik ile İlgili Çalışmalar                              | 62 |
| 2.4.     | ETMEN TABANLI MODELLEME VE BENZETİM                                    | 69 |
| 2.4.1.   | Etmten Tanımı, Özellikleri ve Kullanım Alanları                        | 70 |
| 2.4.2.   | Deniz Ulaştırmasında Etmten Tabanlı Modelleme ve Benzetim<br>Kullanımı | 72 |
| 2.4.3.   | Deniz Trafikte Etmten Tabanlı Modelleme ve Benzetim Kullanımı          | 73 |
| 2.5.     | ETMEN TABANLI BENZETİM PLATFORMLARI                                    | 76 |
| 2.6.     | NETLOGO                                                                | 78 |
| 2.6.1.   | NetLogo Özellikleri                                                    | 78 |
| 2.6.2.   | NetLogo Model Tasarım                                                  | 82 |

### **ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**

#### **DENİZ TRAFİĞİ AKIM BENZETİMİ GELİŞTİRİLMESİ**

|      |                               |    |
|------|-------------------------------|----|
| 3.1. | ARAŞTIRMANIN KONUSU           | 85 |
| 3.2. | ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI | 85 |
| 3.3. | ARAŞTIRMANIN ÖZGÜN DEĞERİ     | 86 |

|          |                                                               |     |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.     | ARAŞTIRMANIN SÜREÇLERİ                                        | 87  |
| 3.5.     | DENİZ TRAFİK AKIM BENZETİM MODELİ                             | 89  |
| 3.5.1.   | Varlıklar, Durum Değişkenleri ve Ölçeklendirme                | 89  |
| 3.5.2.   | Genel Bakış ve Planlama                                       | 92  |
| 3.5.3.   | Model Tasarım                                                 | 94  |
| 3.5.3.1. | Modelde Gemilerin Üretilmesi                                  | 94  |
| 3.5.3.2. | Gemi Gelişlerinin Üretilmesi                                  | 99  |
| 3.5.3.3. | Gemi Hareketlerinin NetLogo Ortamına Aktarılması              | 100 |
| 3.5.3.4. | Gemilerin Etkileşimi                                          | 103 |
| 3.5.4.   | Başlangıç Değerlerini Atama                                   | 104 |
| 3.5.5.   | Alt Model                                                     | 105 |
| 3.6.     | KULLANILAN VARSAYIMLAR                                        | 107 |
| 3.7.     | MODELİN ÇALIŞTIRILMASI VE ANALİZİ                             | 108 |
| 3.7.1.   | Modelin Geçerliliği ve Güvenilirliği                          | 109 |
| 3.7.2.   | Deneylerin Gerçekleştirilmesi                                 | 111 |
| 3.8.     | BULGULAR                                                      | 117 |
| 3.9.     | TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME                                     | 119 |
| 3.10     | ARAŞTIRMANIN KISITLARI VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN<br>ÖNERİLER | 120 |
|          | SONUÇ                                                         | 123 |
|          | KAYNAKÇA                                                      | 130 |
|          | EKLER                                                         |     |

## KISALTMALAR

|               |                                                                                                |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AGCS</b>   | Allianz Global Şirketi ve Uzmanlığı                                                            |
| <b>AMSSA</b>  | Afrika Denizcilik Emniyet ve Güvenlik Ajansı                                                   |
| <b>BM</b>     | Birleşmiş Milletler                                                                            |
| <b>DPA</b>    | Designated Person Ashore, Atanmış Kişi                                                         |
| <b>DWT</b>    | Deadweight                                                                                     |
| <b>EMPA</b>   | Avrupa Deniz Kılavuzları Derneği                                                               |
| <b>EMSA</b>   | Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı                                                                   |
| <b>GTH</b>    | Gemi Trafik Hizmetleri                                                                         |
| <b>GT</b>     | Gros Ton                                                                                       |
| <b>IACS</b>   | Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği                                                          |
| <b>ICS</b>    | Uluslararası Deniz Ticaret Odası                                                               |
| <b>IALA</b>   | Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Otoriteleri Birliği                                   |
| <b>ILO</b>    | Uluslararası Çalışma Örgütü                                                                    |
| <b>IMO</b>    | Uluslararası Denizcilik Örgütü                                                                 |
| <b>IMPA</b>   | Uluslararası Deniz Kılavuzları Derneği                                                         |
| <b>ISM</b>    | Uluslararası Emniyetli Yönetim Kodu                                                            |
| <b>MARPOL</b> | Gemi Kaynaklı Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi                                     |
| <b>NKR</b>    | NetLogo Kullanıcı Rehberi                                                                      |
| <b>SOLAS</b>  | Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi                                                   |
| <b>SMS</b>    | Emniyetli Yönetim Sistemi                                                                      |
| <b>STCW</b>   | Gemi Adamları için Eğitim, Belgelendirme ve Vardiya Tutma Standartları Uluslararası Sözleşmesi |
| <b>vb.</b>    | ve benzeri                                                                                     |
| <b>vd.</b>    | ve diğerleri                                                                                   |
| <b>TAD</b>    | Trafik Ayrım Düzeni                                                                            |
| <b>WHO</b>    | Dünya Sağlık Örgütü                                                                            |
| <b>UAB</b>    | Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı                                                                 |
| <b>UNCTAD</b> | Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı                                             |

## TABLolar LİSTESİ

|                  |                                                                                               |        |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Tablo 1:</b>  | Denizcilik Endüstrisinde Emniyetin Geliştirilmesinde Etkili Paydaşlar                         | s. 8   |
| <b>Tablo 2:</b>  | Deniz Trafikini Değerlendirme Kullanılan Yöntemler ve Özellikleri                             | s. 28  |
| <b>Tablo 3:</b>  | Deniz Trafikinin Analizi ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Araçlar                           | s. 31  |
| <b>Tablo 4:</b>  | Deniz Trafikinde Modelleme ve Benzetim ile Hazırlanmış Bilimsel Çalışmalar                    | s. 44  |
| <b>Tablo 5:</b>  | Ulaştırma Türlerine Göre Trafik Operasyonları Örnekleri                                       | s. 50  |
| <b>Tablo 6:</b>  | Zaman Ölçeği ve Alan Açısından Trafik Modelleri                                               | s. 51  |
| <b>Tablo 7:</b>  | Alanda Gemi- Deniz Trafik Akımı ile İlgili Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Değişkenler        | s. 65  |
| <b>Tablo 8:</b>  | Modelde Gemi Etmeni ve Üzerinde Hareket Ettiği Yama Etmeni için Kullanılan Durum Değişkenleri | s. 91  |
| <b>Tablo 9:</b>  | Gemi Tiplerine Göre Gemi Sayısı                                                               | s. 94  |
| <b>Tablo 10:</b> | Gemi Tipine Göre Modelde Uygulanan Hızları                                                    | s. 97  |
| <b>Tablo 11:</b> | Gemi Tiplerine Göre NetLogo’da Kullanılan Gemi Boyları                                        | s. 98  |
| <b>Tablo 12:</b> | Gemi Tiplerine göre Dümen Alanı Referans Oranları                                             | s. 101 |
| <b>Tablo 13:</b> | Yıllara göre Limanlara Gelen Gemi Sayısı                                                      | s. 109 |
| <b>Tablo 14:</b> | Yapılan Deneylerde Sistemde Liman Bölgelerine Giden Gemi Sayısı                               | s. 110 |
| <b>Tablo 15:</b> | Mevcut Koşullarda Gerçekleştirilen Deneyler                                                   | s. 111 |
| <b>Tablo 16:</b> | TAD Sonrası Gerçekleştirilen Deneyler                                                         | s. 115 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                  |                                                                                            |        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Şekil 1:</b>  | Kullanılan Şamandıra Sistemlerine göre Bölgeler                                            | s. 22  |
| <b>Şekil 2:</b>  | Kullanılan Şamandıra Sistemleri                                                            | s. 22  |
| <b>Şekil 3:</b>  | Trafik Akım Modelleri Sınıflandırması                                                      | s. 53  |
| <b>Şekil 4:</b>  | Greenshield Akım, Hız Yoğunluk İlişkisi                                                    | s. 57  |
| <b>Şekil 5:</b>  | Deniz Trafiği Çevresinin Değerlendirilmesi                                                 | s. 59  |
| <b>Şekil 6:</b>  | Trafik Akımı Özelliklerinin Gösterimi                                                      | s. 61  |
| <b>Şekil 7:</b>  | Doğrusal Gemi-Takip Modeli Gösterimi                                                       | s. 68  |
| <b>Şekil 8:</b>  | Etmen Gösterimi                                                                            | s. 71  |
| <b>Şekil 9:</b>  | Etmen Tabanlı Modelleme ve Benzetimlerin Zorluk Derecesi ile Modelleme Kapasitesi İlişkisi | s. 77  |
| <b>Şekil 10:</b> | Boş NetLogo Modelinin Kullanıcı Ara yüzü                                                   | s. 79  |
| <b>Şekil 11:</b> | Çalışan Bir Netlogo Modelinin Ekran Görüntüsü                                              | s. 80  |
| <b>Şekil 12:</b> | NetLogo Modelinin Kod Sekmesi Ekran Görüntüsü                                              | s. 81  |
| <b>Şekil 13:</b> | Modelleme Basamakları                                                                      | s. 83  |
| <b>Şekil 14:</b> | Araştırmanın Süreçleri                                                                     | s. 88  |
| <b>Şekil 15:</b> | Modelde Kullanılan Deniz Alanı                                                             | s. 90  |
| <b>Şekil 16:</b> | Bölgede Deniz Trafiği Yoğunluğu Haritası                                                   | s. 90  |
| <b>Şekil 17:</b> | Deniz Trafiği Benzetim Modeli Akış Diyagramı                                               | s. 93  |
| <b>Şekil 18:</b> | Gemilerin Başlangıç ve Varış Noktaları                                                     | s. 95  |
| <b>Şekil 19:</b> | Gemilerin Başlangıç-Varış Noktaları Seçenekleri                                            | s. 96  |
| <b>Şekil 20:</b> | C1 Bölgesinde Gemi Üretmek İçin Kullanılan Prosedür                                        | s. 98  |
| <b>Şekil 21:</b> | Gemi Tipi Olasılığı Prosedürü                                                              | s. 99  |
| <b>Şekil 22:</b> | Gemi Gelişlerinin C1 bölgesi için Üretilmesi                                               | s. 100 |
| <b>Şekil 23:</b> | Gemi Tipi Karakteristiğine göre Gemi Dönüşleri Prosedürü                                   | s. 101 |
| <b>Şekil 24:</b> | Gemi Liman Bölgelerine Giderken Yavaşlaması Prosedürü                                      | s. 102 |
| <b>Şekil 25:</b> | Liman Bölgeleri için Gemi Hızlarının Modelde Gösterimi                                     | s. 103 |
| <b>Şekil 26:</b> | Modelde Gemilerin Etkileşiminin Gösterimi                                                  | s. 104 |
| <b>Şekil 27:</b> | Başlangıç Değerleri için Yazılan Prosedür                                                  | s. 105 |
| <b>Şekil 28:</b> | Risk Durumu Değerlendirmesi için Yazılan Prosedür                                          | s. 106 |
| <b>Şekil 29:</b> | Benzetim Modeli Arayüzü                                                                    | s. 108 |

|                                                                                          |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Şekil 30:</b> Gerçek Gemi İzleri ve Modelde Üretilen Gemi İzlerinin Karşılatırılması  | s. 109 |
| <b>Şekil 31</b> Beklenen ve Deneylerde Gemi Sayıları                                     | s. 110 |
| <b>Şekil 32:</b> TAD Öncesi ve Sonrası Modellerin Arayüzleri Gemi İzleri Karşılaştırması | s. 114 |



## **EKLER LİSTESİ**

**EK 1:** NetLogo ile Etmen Tabanlı Modelleme Seminer ve Kurs Katılım Sertifikası ek s.1



## GİRİŞ

Deniz ulaştırması, dünya ekonomik göstergelerinde hacim ve değer olarak dünya yük taşımalarında büyük bir öneme sahiptir. Gemiler ve limanlar deniz ulaştırmasını oluşturan çekirdek unsurlardır. Değişen teknolojik koşullar ile gemi boyutları büyümüş ve limanlar da bu şartlara uyum sağlamıştır. Denizde seyir emniyetinin geliştirilmesi için seyir yardımcılarının kullanımı ve gemi trafik hizmetleri giderek yaygınlaşmaktadır. Emniyetin geliştirilmesi, kazalardan dersler çıkarılması, tehlikelerden uzak olunması ve kazaların ortaya çıkmasına neden olabilecek unsurların uzaklaştırılması ile mümkündür. Denizcilik endüstrisinin emniyet konusundaki yaklaşımı Titanik deniz kazası ile değişmiş, can ve gemi kayıpları ile deniz kirliliğine neden olan kazalardan öğretilen dersler ile önleyici öngörölü bir yaklaşıma evrilmiştir.

Bu araştırmada, deniz ulaştırmasında emniyet yönetimi açısından, gerçek deniz trafiği koşullarının modelleme ve benzetim yöntemiyle bilgisayar ortamına aktarılabilmesi, deniz trafiğinin değerlendirilmesinde ve yeni trafik durumlarının geliştirilmesine uyarlanabilir, güncelleştirilebilir genel bir deniz trafiği akım modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda araştırmanın birinci bölümünde, deniz ulaştırmasında emniyet kavramı, emniyet ortamının oluşturulması ve geliştirilmesinde yer alan düzenlemeler, kuruluşlar, gereklilikler, seyir emniyetinin geliştirilmesinde kullanılan trafik kontrol araçları, kılavuzluk hizmetleri, gemi trafik hizmetleri yer almıştır. Ayrıca deniz trafiğinin değerlendirilmesinde kullanılan araçlar özellikleri ile anlatılmıştır.

Araştırmanın ikinci bölümde, benzetim ve modelleme kavramları, modelleme yaklaşımları, uygulama alanları, kullanılan araçlardan bahsedilmiş, benzetim ve modelleme yöntemiyle yapılmış deniz trafiği çalışmaları için alanyazın taraması aktarılmıştır. Karayolu için kullanılan trafik akım kavramı ve özelliklerinden yola çıkılarak deniz trafiği akım kavramına ulaşılmış ve alanyazında deniz trafiği akımı ile yapılmış çalışmalardan modelde kullanılacak değişkenler tespit edilmiştir. Sonrasında benzetim modelinde kullanılan etmen tabanlı modelleme yaklaşımı, özellikleri, kullanım alanları, kullanılan diller anlatılmıştır. Deniz ulaştırmasında etmen tabanlı

modelleme yaklaşımının odaklandığı çalışma alanları ve konuların ortaya çıkarıldığı alanyazın taraması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde ise araştırmanın amacına yönelik deniz trafiği benzetim modelinin geliştirilmesine yer verilmiştir. Araştırmanın konusu, amacı ve kapsamı, araştırmanın süreçleri, modelin geçerlilik ve güvenilirliğini için bir deniz alanında uygulanması, gerçekleştirilen deneyler ile deniz trafiği açısından gemi karşılaşmalarının yüksek olduğu bölgeler tespit edilmiş ve risk haritalarında gösterilmiştir. Modelin uyarlanabilir ve güncelleştirilebilir genel bir model olması amacının uygulamalı olarak aktarılmasına ait tespit edilen riskli bölge için bir trafik ayırım düzeni önerilmiştir. Trafik ayırım düzeni koşulları ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra benzetime ait mevcut ve trafik ayırım düzeni sonrası deney sonuçları, elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Sonuç bölümünde, araştırmada amaçları ve geliştirilen benzetim modeli ve gerçekleştirilen deneylere ait bulgular değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmanın kısıtları ve ileride yapılacak çalışmalar için öneriler de bulunulmuştur.

## **BİRİNCİ BÖLÜM**

### **DENİZ ULAŞTIRMASI VE EMNİYET YÖNETİMİ**

Bu bölümde deniz ulaştırması, önemi, emniyet ve emniyet yönetimi kavramları, deniz trafiği açısından emniyetin geliştirilmesi için gerekli düzenlemeler, deniz trafiğinde emniyetin geliştirilmesinde kullanılan araçlar incelenmiştir.

#### **1.1. DENİZ ULAŞTIRMASI**

Denizcilik endüstrisi terimi genellikle ulaştırma dâhil olmak üzere gemi inşa, sigorta, klas kuruluşları, balıkçılık, brokerlik, denizcilik işletmeleri gibi denizcilikle ilgili birçok farklı endüstri ve faaliyetleri şeyi kapsamak için kullanılır. Denizcilik endüstrisi beş grupta incelenebilir: Doğrudan gemilerin yer aldığı gemi operasyonları, gemi inşa, deniz kaynakları ve yenilebilir enerji, su ürünleri yetiştiriciliği ve deniz turizmi ve diğer aktiviteler (Stopford, 2009: 46; Chmieliński, 2020: 116).

Deniz ulaştırması, denizcilik ile ilgili faaliyetlerinin yaklaşık olarak üçte birini oluşturmaktadır. Deniz ulaştırması kavramı için deniz taşımacılığı, ticari denizcilik ve su yolu ile ulaştırma kavramlarının da kullanıldığı, görülmüştür. Deniz ticareti ile ilgili faaliyetler, doğrudan veya dolaylı olarak yük ve yolcu taşımacılığı ile ilgili ulaştırma faaliyetleri ve ayrıca gemi ve yat inşa, deniz turizmi, balıkçılık ve deniz kaynaklarının işletilmesi ile ilgili faaliyetleri de kapsar (Chmieliński, 2020: 116; Cerit vd., 2013: 8).

Ulaştırma kelime anlamıyla, insanların, malların, haberlerin ulaşmasını sağlayan işlerin ve araçların tümü olarak açıklanmıştır (URL-1). Ulaşım genellikle insanların ve malların verimli, emniyetli ve sürdürülebilir bir şekilde hareket etmesiyle ilgilidir. (Elefteriadou, 2014: xvii). Deniz ulaştırması kavram olarak yüklerin ve/veya yolcuların, kısmen veya tamamen gemilerin kullanılmasıyla taşınması, yer değiştirmesidir (URL-2). Deniz ulaştırması uzun bir geçmişe sahiptir. Son beş bin yıl içerisinde teknoloji ile gemiler, buna bağlı olarak limanlar değişse de deniz ticaretinin temel ilkeleri değişmemektedir. Bunun temel nedenleri deniz ulaştırmasının küresel ekonomide merkezi bir konumda olması, ekonominin temel ilkelerinde (arz-talep) değişim olmaması ve dünyanın politik olarak istikrarın olduğu dönemlerin denizcilik üzerinde olumlu yansımaları olarak belirtilebilir (Stopford, 2009: 43-44). Tez

alışmasında, deniz ulaştırması kavramı, doğrudan gemilerin aktif olarak yük, yolcu veya ikisinin de birlikte deniz aracı kullanılarak yapılan hizmet olarak kullanılmıştır.

Deniz ulaştırması, küresel ticaretin ve tedarik zincirinin temel parçasıdır. Dünya ticaretin hacim olarak beşte dördünden fazlası deniz yoluyla gerçekleşmektedir (UNCTAD, 2019: 4). Denizciliğın küresel ekonomide merkezi bir rolü vardır (Stopford, 2009: 3). Deniz ulaştırma hatları, ekonomik faaliyetlerin arterleridir, uluslararası ticareti yapılan malların büyük kısmını taşımaya yardımcı olurlar (Maleki, 2018). Dünyada taşınan yüklerin hacim olarak %84'ü, değeri olarak yaklaşık %70'i deniz yolu ile taşınmaktadır (UAB, 2018: 451).

Deniz ulaştırması, deniz yolu taşımacılığı ve liman faaliyetleri boyutundan oluşmaktadır (Rodrigue, 2000: 1). Deniz yolu ile yapılan deniz ticareti, deniz ulaştırması, operasyonel olarak gemilerin seyri ve limanlar aracılığıyla gerçekleşmektedir. İstatistiklere göre küresel ekonomi, dünya ticaretin deniz yoluyla yapılan ulaştırma hizmetlerine bağımlı olduğu ifade edebiliriz. Dolayısıyla deniz ulaştırması faaliyetlerinin güven içinde, emniyetli olarak yürütölmesi can sağılığı, çevre kirliliğinin yanı sıra ekonomik göstergeler ve istikrar açısından da önemlidir.

## **1.2. DENİZ ULAŞTIRMASINDA EMNİYET YÖNETİMİ**

Bu bölümde, emniyet, denizcilikte emniyet ile ilişkili kavramlar, deniz ulaştırmasında emniyetin geliştirilmesi için yasal düzenlemeler, gereklilikler aktarılmıştır.

### **1.2.1. Emniyet Kavramı**

Türk Dil Kurumu emniyet kelimesinin karşılığında “güvenlik, güven, güvenlik işlerinin yürütölldüğü yer” ifadesi yer almaktadır (URL-3). İngilizce’de farklı kavramlar için kullanılan “safety-emniyet” ve “security-güvenlik” kelimeleri Türkçe kullanımda önemli bir kavram kargaşası yaratmaktadır (Gerede, 2006: 36). Günümüzde deniz ve hava ulaştırmasında emniyet (safety) ve güvenlik (security) sözcüklerine yüklenen anlamlar net olarak ayrılmaya çalışılmaktadır (Nas, 2012: 18). Uluslararası Denizde Can Emniyeti Sözleşmesi ve Uluslararası Denizcilik Örgütü

diğer düzenlemelerine göre kullanılan “security” sözcüğünü karşılamak üzere Türkçede denizcilikle ilgili uygulamalarda “güvenlik” kelimesi, kullanılmaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, uygulamalarında İngilizce “safety” kelimesinin karşılığı olarak da “emniyet” kelimesi kullanmaktadır (URL-4).

Emniyet Kuo’ya göre; bir sistemin yönetim, mühendislik ve operasyonel olarak can, mal ve çevre için tehlikeden ne kadar uzak olduğunu belirlemek amacıyla algılanan kalitedir (Kuo, 1998: 20). Emniyet, kaynağını doğal güçlerin ve insan hatalarının rastgele oluşturduğu tehlikelerden uzak olma durumudur. Mücadele konusu, doğal güçlerin oluşturduğu potansiyel tehlikelerdir (Nas, 2012: 22). İngilizce “safety” kelimesi için yapılan tanımlarda ortak olan nokta; yaralanmaya, ölüme ya da zarara yol açabilecek her türlü tehlikeden ve riskten muaf olma durumu olarak ifade edilmiştir (Gerede, 2006: 29).

Emniyet ile ilgili tanımlarda kazadan, tehlikeden uzak olma, çevre kirliliğinin olmaması, can kaybının yaşanmaması için yapılması gerekli önlemlere işaret edilmektedir. Emniyet kavramının kapsamı geniştir ve ilişkili olduğu kavramlar kişiden kişiye değişme eğilimindedir. Yapılan bir çalışmada, Birleşik Krallık, Avrupa, Amerika, Kanada ve Güney Doğu Asya’da beş yüzden fazla katılımcıdan alınan verilerden emniyet kavramı ile ilişkili olan kavramların eğitim, tasarım, düzenleme, tutum, operasyon, insan faktörü, prosedürler ve iletişim olduğu ortaya çıkmıştır (Kuo, 1998: 6). Çalışmanın sonuçları şaşırtıcı değildir. Emniyetin eğitim, tasarım, düzenleme ya da kurallar ile geliştirilmeye, emniyetin geliştirilmesiyle sistem üzerinde insan faktörünün olumsuz etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

Emniyet kavramını açıklarken kullanılan kaza, tehlike, risk, frekans, sonuç, risk değerlendirme kıstasları ve deniz kazası kavramları, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) kaynaklarına göre aşağıda açıklanmıştır.

*Kaza:* Ölüm, yaralanma, gemi kaybı veya hasarı, diğer mal kaybı veya hasarı veya çevre kirliliği içeren istenmeyen bir olayı,

*Tehlike:* İnsan hayatı, sağlığı, mülkiyeti ya da çevreyi tehdit etme potansiyelini,

*Risk:* Sonucun frekansı x Sonucun şiddeti, sonucun şiddeti ve bu sonuçlara sebep olan olayların oluşma sıklığının bir bileşimi,

*Frekans:* Birim zamanda meydana gelme sıklığını,

*Sonuç:* Kazanın sonuçlarını

*Risk değerlendirme kıstasları:* Kabul edilebilirliğini / tolere edilebilirliğini değerlendirmek için kullanılan kıstasları ifade etmektedir (IMO, 2018: 4).

*Deniz kazası* ise bir geminin operasyon ve faaliyetleriyle bağlantılı olarak gerçekleşen; kişinin ölümü veya yaralanması, kişinin gemi üzerindeyken kaybolması, geminin batması, kaybolması, kayıp sayılması veya kaza ile bağlantılı olarak geminin terk edilmesi, geminin maddi hasara uğraması, geminin manevradan aciz duruma düşmesi, geminin karaya oturması, geminin kıyı veya açık deniz yapısına veya başka bir gemiye çatması veya başka bir gemiyle çatışması, gemi veya gemilerin uğradıkları hasardan kaynaklanan ciddi çevre kirliliği oluşması, geminin Türkiye karasularında ve iç sularında kurulu bulunan su ürünleri yetiştiricilik tesislerine çarpması ile sonuçlanan bir olay veya olaylar silsilesi olarak yer almıştır (IMO, 2008b; Resmi Gazete, 2019: 30961).

Türk arama ve kurtarma bölgesinde, 2002 - 2014 yılları arasında gerçekleşen 182 deniz olayına ait verilerin analiz edildiği çalışmada, Türk bayraklı gemilerde veya Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm (241 kişi), yaralanma (170 kişi) veya kayıp (130 kişi) ile sonuçlanan kazaların %56,6'sı deniz kazası, yaşanan deniz kazalarının da % 31,3'i alabora ve % 12,6'sı çatışma, % 4,9'u profesyonel gemiadamlarının meslek (iş) kazaları ve %3,3'ü denize adam düşmesi olarak analiz edilmiştir (Yılmaz ve İlhan, 2018: 78-81).

Allianz Global Şirketi ve Uzmanlığı'nın hazırlamış olduğu rapora göre, 2018 yılında 2698 deniz olayı gerçekleşmiş ve en çok makine hasarı ile karşılaşmıştır (AGCS, 2019: 4). 2018 yılında 46 gemi kaybı gerçekleşmiştir. 1000 GT ve üzeri gemilerde gerçekleşen kazaların nedenleri incelendiğinde 1079 makine hasarı, 319 çatışma, 315 karaya oturma, 208 temas, 174 yangın/ patlama ve 603 diğer nedenlerden kaynaklandığı raporda yer almıştır (AGCS, 2019: 17). Makine hasarı nedeniyle olan kazalardan sonra ikinci sıra deniz trafiğinden kaynaklanan (çatışma, temas) 527 neden olduğu görülmektedir.

Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (EMSA) tarafından hazırlanan, deniz olayları ve kazaların önlenmesi amacıyla önerilen emniyet yaklaşımlarının olduğu rapora göre, 2011-2018 yılları arasında 25614 gemi (ticari gemi, gezinti tekneler ve balıkçı teknesi vb. tüm gemiler) kazaya karışmış, 7694 kişi yaralanmış, 696 can kaybı ve 230 gemi kaybı gerçekleşmiştir. Kazaların araştırılması ve incelenmesi sonucunda çıkan

emniyet tavsiyeleri, gemi operasyonları, prosedürlerle ilgili (%48), ikinci sırada insan faktörü (%17) ile ilgilidir. Can kayıplarının büyük çoğunluğu (%51,9) çatışma ve su alma, batma; yaralanmaların %52,9'u temas, çatışma, karaya oturma ve ikinci sırada %17 si yangın nedeniyle gerçekleşmiştir (EMSA, 2019: 2, 45, 34-37). Rapordan çıkan sonuçlara göre, gemi operasyonları ve insan faktörü yaşanan can kaybı, yaralanma ve gemi kayıplarının dolayısıyla çevre kirliliği oluşmasında en büyük paya sahiptir. Can kayıpları, yaralanmaların büyük kısmı geminin seyri sırasında ortaya çıkan temas, çatışma ve karaya oturma nedeniyle gerçekleşmektedir.

### 1.2.2. Deniz Ulaştırmasında Emniyet ve Emniyet Yönetimi

Kuo, emniyet ilgili tarafları doğrudan ve dolaylı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır (Kuo, 1998: 7-8):

- Tüketiciler: Müşteriler, donatanlar, kiracılar, kamu;
- Uygulayıcılar: Yöneticiler, işletme firmaları, gemi inşa, klas kuruluşları, sigortacılar, yasa yapıcılar;
- Destekleyiciler: Tedarikçiler, araştırmacılar, talimler ve eğitimler.

Denizcilik dünyanın en tehlikeli mesleklerinden ve belki de en uluslararası olan endüstrilerden biridir (URL-5). Ticari gemilerin birçoğunun güvertesinde “Önce emniyet” sloganı bulunmaktadır. Üniversiteler, akademiler ve eğitim merkezlerinin görevlerinden biri de emniyetin önemini vurgulamak, emniyetin geliştirilmesine yönelik farkındalık oluşturmaktır (Formela vd., 2019: 256). İnsan kaynağının prosedürler, kontrol listeleri, eğitimler, talimler, tamamlayıcı vd. uygulamalar ile karşılaşılabilecek olası durumlara karşı hazırlıklı olmasına yardımcı olur, tehlikeli durumların oluşmadan kazaların önlenmesini mümkün kılar.

Deniz ulaştırmasında emniyet önemli ve odaklanılan konulardan biridir. Tablo 1’de emniyetin geliştirilmesiyle ilgili paydaşlar ve etkileri aktarılmıştır.

**Tablo 1.** Denizcilik Endüstrisinde Emniyetin Geliştirilmesinde Etkili Paydaşlar

| Paydaşlar            | Emniyet üzerine Etkisi                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gemi İnşa End.       | ▪ Gemilerin teknik standartları                                                                                                                                                                                                                               |
| Donatan              | ▪ Teknik standartların minimum gereksinimlerin üzerinde olup olmayacağına karar verir.<br>▪ İnsan kaynağı ve operasyon yönetimi için insan kaynağının ya da işletmecinin seçimi<br>▪ Operasyonel ya da yönetsel olarak emniyet politikalarına karar verilmesi |
| Yük Sahipleri        | ▪ Ulaştırma hizmeti ve ayrıca hizmet kalitesi ve gemi operasyonlarının emniyeti için ödeme<br>▪ Taşıyıcı kalitesi hakkında bağımsız değerlendirmeler                                                                                                          |
| Sigortacı            | ▪ Taşıyıcı ve yük sahibi adına riskin büyük ölçüde üstlenilmesi<br>▪ Taşıyıcı kalitesi hakkında bağımsız değerlendirmeler                                                                                                                                     |
| Gemi Yönetim Şirketi | ▪ Donatan adına insan kaynağı, operasyon ve bakım-tutumdan sorumlu olması                                                                                                                                                                                     |
| Bayrak Devleti       | ▪ Gemilerin kontrolü, insan kaynağı ile standartları ve işletme standartları                                                                                                                                                                                  |
| Klas kuruluşları     | ▪ Sigortacı adına teknik standartların kontrolü<br>▪ Bayrak devleti adına bazı kontrol fonksiyonlarının üstlenilmesi                                                                                                                                          |
| Liman Yönetimi       | ▪ Liman ve liman yaklaşımlarındaki emniyet<br>▪ Gemilerin emniyet standardı kontrolü ve aşırı durumlarda standart altı gemilerin limana erişiminin reddedilmesi                                                                                               |

Kaynak: (Kristiansen, 2013: 4).

Denizcilikte emniyetin geliştirilmesinde gemilerin inşa sürecinden klaslama kuruluşlarına, bayrak devleti, liman devleti kontrolleri, donatan, yük sahibi, sigortacılar, gemi yönetim şirketleri ve gemi üzerinde uygulayıcı olan gemiadamları etkili temel unsurlardandır. Ayrıca, yasal düzenlemelerin ve şirketler tarafından belirlenen politikaların, gemi üzerinde doğrudan uygulayıcıları olarak zabitan ve tayfa sınıfı gemiadamları ve deniz trafiğinin düzenlenmesinde, gemilere seyir desteği, bilgi sunan gemi trafik hizmetleri de emniyetin geliştirilmesinde etkili paydaşlar arasında yer almalıdır.

Emniyet yönetimi, kaza ve/veya yakın kaza ihtimali olaylar yaşanmaması amacına yönelik olarak yönetimin ve çalışanların göstermesi gereken faaliyetler bütünü ile gerçekleşen faaliyetler sonucunda elde edilen verilerin doğru şekilde analiz edilerek gelecekte yapılması gereken faaliyetlerin belirlenmesi olarak ifade edilmiştir (Zorba ve Kişi, 2009: 34). Denizcilikte emniyet, teknik destek sistemlerinin geliştirilmesi tanınmış klas topluluklarının denetimi, deniz kazalarının araştırılması için ortak yöntemlerin geliştirilmesi ve gemi trafiği izleme ve bilgi sistemlerinin

kurulması yoluyla kazaların engellenmesi veya deniz çevre kirliliği olaylarının veya denizde can kaybının önlenmesiyle ilgilenir (AMSSA, 2019).

Denizcilik tarihinde birçok kaza gerçekleşmiştir. Yaşanan büyük kazalar nedeniyle büyük çevresel felaketlerin yaşanması, çok sayıda can kaybının gerçekleşmesi ve bunların kamuoyuna yansımaları, yaşanan sorunların çözülmesi ve kamuoyu baskısını azaltmak için devletleri ve uluslararası örgütleri harekete geçirmiştir (Asyalı, 2014: 26). Denizcilik endüstrisinde, emniyete karşı tepkisel bir yaklaşım bulunmaktadır. Başka bir söylemle, yaşanan kazalardan dersler çıkarılarak kazaların önlenmesi, emniyet yaklaşımı şekillenmiştir. 1912 yılında Titanik transatlantiğinin buzdağına çarpmasıyla oluşan kaza, 1512 can kaybına neden olmuştur. Bu kaza, denizcilik tarihinde topyekûn uygulanması gereken emniyet prosedürlerine duyulan ihtiyacın ortaya çıkmasında için itici güç olmuştur. Emniyet kuralları ile ilgili ilk topyekûn düzenleme 1912 yılında yapılan Uluslararası Haberleşme Konferansı'nda gemilerde iletişim sistemleri ve radyo donanımlarını zorunlu hale getirilmesidir. Titanik felaketinin en önemli sonucu Ocak 1914'te Londra'da düzenlenen konferansta seyir emniyeti alanında zorunlu can kurtarma teçhizatları ile ilgili ilk kurallar, Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi (SOLAS)'nin kabul edilmesidir (URL-6).

Denizde emniyet kavramı Kopacz tarafından, insan yaşamının ve mal emniyeti ve gemi kaynaklı deniz kirliliğinin önlenmesi olarak iki bileşen; gemilerin emniyeti, tehlikede olan insanların emniyeti ve gemi kaynaklı deniz kirliliğinin önlenmesi olarak üç bileşen olarak incelenmiştir. Deniz emniyeti kavramı, teknolojik ve operasyonel olarak gemilerin emniyeti, seyir emniyeti (navigational safety), tehlike altındaki kişinin emniyeti ve gemilerden çevre kirliliğinin önlenmesi olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır (Kopacz vd., 2001: 200; Kopacz vd., 2002: 53). Emniyet kavramının ele alınışına göre deniz emniyeti için “insan yaşamını ve malını, gemileri tehlikeye atmayan ve deniz çevresine zararlı olmayan denizdeki insan faaliyetlerinin istenen koşulları” tanımlamasını yapabiliriz.

Seyir, su alanlarındaki belirli noktalar arasında yer alan gemilerin yer değiştirmesini, varsayılan kıstaslar ve sınırlamalar için uygun bir emniyet seviyesi sağlayan bilim, bilgi ve uygulamayı içeren karmaşık bir faaliyet olarak görülmektedir (Formela vd., 2019: 287). Seyir emniyeti üzerindeki en büyük etki, geminin

etkileşimde olduğu çevre, gemi trafiği ve emniyet sistemidir (Kopacz vd., 2002: 48). Seyirde tehlike durumu, önemli maddi hasar, can kaybı ve maddi kayıplara neden olan istenmeyen bir durumla, çatışma ile sonuçlanan bir deniz kazasına neden olabilir (Formela vd., 2019: 256).

Seyir emniyeti kavramı, modern endüstriyel faaliyet koşullarında gemiler ve denizcilik araçlarıyla birlikte gemi adamları ve deniz çevresini de dikkate alarak ilkeler, yöntemler aracılığıyla emniyetin geliştirilmesi için kapsamlı bir resim oluşturmayı amaçlamaktadır.

Seyir emniyeti, deniz ve deniz ortamlarında can ve mal emniyetini sağlamak, deniz kazalarının azaltılmasını ve önlenmesini amaçlayan uluslararası ve ulusal teknik, örgütsel, ekonomik, sosyal ve hukuki standartlar sistemi tarafından sağlanan tehlikelerden uzak olma durumudur. Seyir emniyetinin geliştirilmesi, çeşitli önlemlerle gemi kazaları ve yaralanma oranını mümkün olan en düşük seviyeye düşürülmesi hedeflenmektedir (Torskiy vd., 2016: 80-81).

Denizcilik emniyet sisteminin aşağıdaki unsurlardan oluştuğu varsayılmaktadır (Kopacz vd., 2001: 201):

- Uluslararası denizcilik konferansları, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) ve organları gibi yasa yapıcı kurumlar,
- Uluslararası denizcilik sözleşmeleri seti ve denizde emniyeti sağlamak için gerekli koşulu belirten diğer yasal düzenlemeler ve gereklilikler ve bunların başarı yöntemleri gibi yasal araçlar,
- Denizde güvenliği sağlamak için gerekli koşulları yaratan operasyonel kurumlar ve bunların başarı yöntemleri,
- Tüm düzenlemelere ve gerekliliklere uyarak denizde emniyeti sağlamak için gerekli koşulları yaratan deniz kullanıcıları.

Emniyet yönetimi, bir şirketin ya da topluluğun paydaşları arasında sorumluluğun paylaşmasıdır (Valdez Banda vd., 2016: 239). Deniz emniyetinin önemli bir bileşeni olan seyir emniyetinin geliştirilmesi, kazaların önüne geçebilmesi için yasal düzenlemelerin, teknik standartların oluşturulmasında, geliştirilmesinde ve düzenlemelerin ve standartların uygulayıcısı olarak gemiadamlarında sorumluluk bulunmaktadır. Emniyetin oluşturulmasında ve uygulanmasında paydaşlar emniyet zincirinin bir parçasıdır, sorumluluğu paylaşmaktadırlar.

Seyir emniyeti, gemilerin denizde çatışma, karaya oturma veya fırtına gibi tehlikeli koşullardan uzak tutulması olarak tanımlanabilir (Kopacz vd., 2001: 204). Deniz kazalarının azaltılması için idarelerin uygulayabileceği iki olasılık vardır: Gemi üzerinde yapılması gerekenler; bakım tutumunun düzenli yapılarak geminin fiziksel koşulların iyileştirilmesi, üzerinde bulunan personelin eğitimiyle emniyetin geliştirilmesi ve bir diğeri ise deniz trafiğinin araştırılmasıdır (Huet, 2003: 1).

### **1.3.DENİZ TRAFİĞİNDE EMNİYETİN OLUŞTURULMASINDA ETKİLİ KURULUŞLAR ve DÜZENLEMELER**

Doğası gereği uluslararası standartlara ihtiyaç duyan denizcilik mesleğinde yasal, teknolojik ve operasyonel olarak emniyetin sağlanması, geliştirilmesinde öncü kuruluş Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'dür. IMO, düzenlemeler için hazırlanırken uluslararası kuruluşlar ile birlikte çalışmalar yürütmektedir, iş birliği yapmaktadır. Denizde emniyet ile ilgili olan bu organizasyonlardan en önemli olanları aşağıdaki sıralanmıştır (Kopacz vd., 2001: 203):

- Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO),
- Uluslararası Denizcilik Uydu Örgütü (INMARSAT),
- Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU),
- Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO),
- Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO),
- Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Birlikleri (IALA).

Deniz emniyetinin geliştirilmesinde teknik, tasarım, teknoloji ve yöntem olarak meteoroloji, hidroloji, çevre bilimleri, haberleşme, seyir haritalarının, seyir yardımcılarının ve standartların oluşturulması gibi konularda uzmanlaşmış ITU, IHO, ILO, INMARSAT, IALA uluslararası kuruluşlar, birlikler IMO komiteleriyle birlikte emniyetin geliştirilmesine katkı sunmaktadırlar. ILO, işçi işveren ve hükümetlerin bir araya getiren sosyal adaleti destekleyen, çalışma standartları belirleyen, işçi sağlığı ve emniyeti için çalışan bir Birleşmiş Milletler kuruluşudur (URL-7). IMO ve ILO özellikle son yirmi yıldır emniyet üzerine ciddi kurallar, düzenlemeler geliştirmeye çalışmaktadır (Li ve Wonham, 2001: 230). Deniz çalışanları, çalışma koşullarının

yeniden düzenlendiği Denizcilik Çalışma Sözleşmesi, IMO ve ILO çalışmalarının somut örneklerindendir.

### **1.3.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü**

Birleşmiş Milletler'in uzman bir kuruluşu olan Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organisation, IMO) uluslararası deniz taşımacılığının emniyetli, güvenli ve gemi kaynaklı çevre kirliliğinin önlenmesi için küresel standart belirleyen otoritedir. IMO'nun temel görevi, denizcilik endüstrisi için adil ve etkili, evrensel olarak benimsenen ve uygulanan düzenleyici standartlar oluşturmaktır (URL-5).

Denizde emniyetten sorumlu önde gelen, standart belirleyici kuruluş IMO merkezi Londra olan tek Birleşmiş Milletler organıdır. Uluslararası kod ve konvansiyonlar IMO'nun öncülüğünde toplanan konferanslar ile taraf devletlerin katılımı ile oluşmaktadır. IMO'nun ana organları: Genel Meclisi, Komiteleri (Deniz Emniyeti Komitesi-MSC; Denizel Çevrenin Koruma Komitesi-MEPC) ve bunlara bağlı çalışan alt komiteleri ve Sekreteryası olarak belirtilmiştir (IMO, 2013: 2).

IMO, deniz emniyeti ve güvenliği, kirliliğin önlenmesi ve ilgili konular hakkında yaklaşık 50 sözleşmenin ve protokolün, 1000'den fazla kodun ve tavsiyenin kabul edilmesini, uyarlanmasını teşvik etmiştir (IMO, 2013: 8). Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından benimsenen, temel kabul edilen sözleşmeler; SOLAS, Gemi Adamlarının Eğitimi, Belgelendirilmesi ve Vardiya Tutma Esasları Hakkında Uluslararası Sözleşmesi (STCW), Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL)'dir. Emniyet ile ilgili diğer sözleşmeler Denizde Çatışmayı Önleme Kuralları Uluslararası Sözleşmesi (COLREG), Denizde Arama ve Kurtarma Uluslararası Sözleşmesi (SAR) vd., olarak belirtilmiştir (URL-8).

Uluslararası Deniz Ticaret Odası (ICS) IMO'nun emniyetin geliştirilmesi ve gemi kaynaklı çevre kirliliğinin önlenmesi ile ilgili başlıca denizcilik düzenlemelerini üç kapsamda değerlendirmiştir (URL-9):

Gemi ile İlgili: SOLAS, MARPOL, COLREG Sözleşmeleri,

Şirket ile İlgili: ISM Kod,

Gemiadamları ile İlgili: STCW, MLC ve ILO Sözleşmeleri

Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından benimsenen, temel kabul edilen sözleşmeler ve COLREG ilerleyen bölümde yer almaktadır.

#### **1.3.1.1. Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi (SOLAS)**

Halen yürürlükte olan Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi, 1 Kasım 1974 tarihinde Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından düzenlenen Uluslararası Denizde Can Emniyeti Konferansında kabul edilmiştir ve 1980'de yürürlüğe girmiştir. O zamandan beri protokollerle iki kez değiştirilmiştir: 1981, 1988. Mevcut SOLAS Sözleşmesi; genel yükümlülükler, değişiklik prosedürleri vb. hususları belirten maddeleri ve ardından 12 bölüm ve 2 ek içermektedir. Endüstrideki gelişmelere göre güncellenebilmektedir (SOLAS, 2009: v).

500 GRT dan büyük, makine gücü ile yürütülen, yük ve yolcu taşıma amacıyla işletilen tüm ticaret ve yolcu gemileri SOLAS Sözleşmesi ile belirlenen hükümleri yerine getirmekle yükümlüdür. SOLAS Sözleşmesi'nin temel amacı; gemilerin inşası, donanımı ve işletilmesinde minimum emniyet standartlarını belirlemektir. Bayrak devletleri, bayrağı altındaki gemilerin Sözleşmenin gerekliliklerine uymasını sağlamaktan sorumludur ve bunun yapıldığının kanıtı olarak Sözleşmede bir dizi sertifika belirtilmiştir. Kontrol hükümleri; gemi ve donanımının Sözleşmenin gerekliliklerine büyük ölçüde uymadığına inanmak için açık gerekçeler varsa, taraf devletlerin, diğer taraf devletlerin gemilerini denetlemelerine izin verir. Bu prosedür, liman devleti denetlemeleri (PSC) olarak bilinir (URL-10).

Genel kurallar, gemi inşa, stabilite, yangından korunma, can kurtarma teçhizatları, telsiz haberleşmesi, seyir emniyeti, tehlikeli madde taşımacılığı, gemilerin emniyetle işletilmesi, nükleer gemiler, denizde emniyetin ve güvenliğin geliştirilmesi için önlemler, yüksek hızlı tekneler için ek önlemler, dökme gemiler için ek önlemler ile bölümler yer almaktadır.

IMO 2000 yılında, tüm gemilerin gemi hakkında diğer gemilere ve kıyı otoritelerine otomatik olarak bilgi sağlayabilen otomatik tanımlama sistemleri (AISs) taşımaları hususunda yeni bir gereksinim ortaya koymuştur. Bu kapsamda, Bölüm V'te seyir emniyeti, Kural 19 Seyir sistemleri ve donanımları taşıma koşulları- 'da *Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS)*, 300 groston ve üstü uluslararası sefer yapan tüm

gemilere, uluslararası sefer yapmayan 500 groston ve üstü tüm yük gemileri ve büyüklüğüne bakılmaksızın tüm yolcu gemilerine, 1 Temmuz 2002'den 1 Temmuz 2008'e kadar aşamalı bir biçimde takılmasını şart koşmuştur (IMO, 2003; IMO, 2015; SOLAS, 2009: 256).

AIS, bir gemiden başka bir gemiye ve gemiden karaya raporlama sistemi olarak geliştirilmiştir (Eriksen vd., 2006: 638). AIS ile gemilerin daha iyi tanımlanması, hedef takibine yardımcı olunması, arama ve kurtarma operasyonuna yardımcı olunması, bilgi alışverişinin basitleştirilmesi ve durumsal farkındalığın iyileştirilmesi için ek bilgi sağlanması yoluyla denizde can emniyeti; seyir emniyeti ve deniz çevresinin korunmasını sağlamaktır (IALA, 2002; IMO, 2015). AIS ayrıca gemi trafik hizmeti (VTS) ve su yolu yönetimi kalitesinin de gelişmesine katkıda bulunmaktadır (Harati-Mokhtari vd., 2007: 374; IMO, 1998). AIS'in benimsenmesinde önemli bir motivasyon kaynağı, AIS donanımlı diğer gemilerin tanımlanabilmesi ve hedef gemiler hakkında kesin bilgi sağlayarak çatışma riskini ortadan kaldırabilme kabiliyetidir (Harati-Mokhtari vd., 2007: 374). Ancak bunların gerçekleştirebilmesi için gemilere ve yetkili makamlara sağlanan bilgi ve verilerin gereken doğruluk ve sıklıkta olması azami önem taşımaktadır. Ayrıca verilerin iletimi, gemi personelinin asgari katılımı ve yüksek düzeyde ulaşılabilirlik kriterleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir (IMO, 2015).

*Uzak Mesafeden Gemileri Tanımlanma ve Takip Sistemi (LRIT)* IMO-Deniz Emniyeti Komitesi (MSC) Oturumunda 2006 yılında SOLAS Bölüm V Seyir Emniyeti, Kural 19- 1 bölümüne dâhil edilmiştir (Verma, 2009: 44). 31 Aralık 2008 tarihinden itibaren uluslararası sefer yapan yüksek hızlı yolcu teknesi dâhil tüm yolcu gemileri, 300 groston ve üstü yük gemileri ve mobil deniz sondaj üniteleri için zorunluluk haline getirilmiştir (IMO, 2006). LRIT sistemi, bayrak devletlerinin geminin mevki bilgisini günde en az dört kez veri merkezine göndermesi üzerine tasarlanmıştır (Verma, 2009: 44). Gönderilen bu mevki bilgisi veri merkezinde saklanır ve bilgiye erişim yetkisi olan kullanıcılar tarafından gerektiğinde kullanılır (EMSA, 2013).

LRIT sistemi, gemilerin küresel olarak tanımlanmasını ve izlenmesini sağlar (IMO, 2008a). Böylece, bir devletin kıyısında bulunan bir geminin yol açabileceği güvenlik riskini değerlendirmesi ve gerekirse bu riski azaltmak için müdahale etmesi

için gemi kimliği ve mevcut konum bilgilerini yeterli sürede kıyı devletine sağlar (EMSA, 2013). Görüldüğü üzere, diğer takip sistemlerinden farklı olarak LRIT sistemi, güvenlik tehditlerini tespit ederek ve uluslararası ticarete kullanılan gemileri veya liman tesislerini etkileyen güvenlik olaylarına karşı önleyici tedbirler olarak ISPS Kodunun uygulanmasını desteklemeyi amaçlamaktadır (Tsamenyi ve Palma, 2008: 215). Ayrıca, LRIT bilgisi gerekli durumlarda, denizde yaşanan herhangi bir acil durum ya da hayati tehlike durumunda verilecek arama kurtarma (SAR) hizmeti için de kullanılabilir (IMO, 2008a).

SOLAS Bölüm xi- 1 de ise emniyetin geliştirilmesi için özel önlemler, Bölüm xi- 2 de ise güvenliğin geliştirilmesi için özel önlemler ile ilgilidir.

*Uluslararası Emniyet Yönetimi Kodu (ISM Code)*, 1994'te SOLAS'a, "Gemilerin Emniyetli İşletilmesi İçin Yönetim" başlığı altında IX. bölüm eklenmiş, uluslararası bir standarttır.

1980'lerin sonunda meydana gelen Herald of Free Enterprise kazası, insan hatalarından kaynaklanan çok ciddi kazalardan biriydi ve yönetim hataları da kazaya katkıda bulunan faktörler olarak tanımlandı. Uluslararası Emniyet Yönetimi (ISM) Kodunun amacı, gemilerin emniyetli yönetimi ve işletilmesi için ve kirliliğin önlenmesi için uluslararası bir standart sağlamaktır. IMO'nun 4 Kasım 1993 tarihinde aldığı kararla ISM kodu (International Safety Management Code) ortaya çıkmıştır. ISM Kodu; 13 maddeden oluşmakta olup, ilk 12 maddesi denizde emniyet ve gemilerin sebep olduğu çevre kirliliğini önlemeye yönelik, son maddesi ise bayrak devletinin yetki, kontrol ve sorumluluklarını düzenlemektedir. Zorunlu şekliyle ISM Kodu, IMO'nun A.741(18) sayılı kararıyla 1993 yılında kabul edilmiş ve 1 Temmuz 1998 'de yürürlüğe girmiştir (IMO, 1993).

Kod, emniyet yönetimi hedeflerini belirler ve "şirket" tarafından bir Emniyet Yönetimi Sistemi (SMS: Safety Management System) oluşturulmasını gerektirir. Burada "şirket"; geminin işletilmesi sorumluluğunu üstlenen ve kodun getirdiği tüm görev ve sorumlulukları üstlenmeyi kabul eden donatan veya işletmeci gibi diğer herhangi bir kuruluş veya kişi olarak tanımlanır. Her şirketin, şirket ile gemide, gemiadamları arasında bir bağlantı sağlamak amacıyla, DPA "karada, en üst düzey yönetime doğrudan erişimi olan bir kişi veya kişileri tayin etmesi" ataması beklenmektedir. Kodun gerektirdiği prosedürler, bir kopyası gemide saklanması

gereken bir Emniyet Yönetimi El Kitabında belgelenmeli ve derlenmelidir. Klas kuruluşları, gemilerin bayrak devleti gerekliliklerinin yerine getirilip getirilmediği denetler (URL-11).

#### **1.3.1.2. Gemi Adamlarının Eğitimi, Belgelendirilmesi ve Vardiya Tutma Esasları Hakkında Uluslararası Sözleşmesi (STCW 78)**

Gemiadamlarının Eğitim, Belgelendirme ve Vardiya Standartları Hakkında Uluslararası Sözleşme (STCW), 7 Temmuz 1978'de kabul edilmiş ve 28 Nisan 1984'te yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin ana amacı; Gemiadamları için eğitim, belgelendirme ve vardiya tutma ile ilgili uluslararası standartlar oluşturarak, denizde can ve mal emniyetini ve deniz çevresinin korunmasını desteklemektir. Sözleşmenin güncel olmasının istenmesi ve farklı yorumların yapılmasına neden olan birçok belirsiz ifadeler nedeniyle Sözleşme 1995'te büyük bir yenilenmeden geçmiştir. Yenilenmiş halinin en önemli özelliklerinden biri, teknik Ek'in daha önce olduğu gibi bölümlere ayrılmış yönetmeliklere bölünmesi ve birçok teknik düzenlemenin aktarıldığı yeni bir STCW kodudur (URL-12).

STCW Konvansiyonu ve kodunda yapılan 2010 Manila değişiklikleri ise, Haziran 2010 tarihinde kabul edilmiş ve 1 Ocak 2012'de yürürlüğe girmiştir. Kodun A bölümü, zorunlu kuralları içermektedir. Genel hükümler, kaptan ve güverte bölümü ile ilgili standartlar, makine bölümü ile ilgili standartlar, belirli gemi tiplerindeki personel için özel eğitim şartları ile ilgili standartlar, acil durum, mesleki emniyet, güvenlik, tıbbi bakım ve hayatta kalma işlevleri ile ilgili standartlar, alternatif belgelendirme ile ilgili standartlar, vardiya tutma ile ilgili standartlar bulunmaktadır. Kodun B bölümü, tarafların Sözleşmeyi uygulamasına yardımcı olmayı amaçlayan, önerilen rehber standartları kapsamaktadır (IMO, 2010).

Denizde can ve mal emniyetinin sağlanması için gemi üzerinde yer alan gemi adamlarının eğitim standartları, görev ve sorumlulukları, sahip olması gereken yeterlilik, bilgi, beceri ve tutumlar bu sözleşmede yer almaktadır. Sözleşme, dünya genelinde denizcilik eğitimi standartların oluşturulmasını sağlarken, nitelikli ve bilgili insan kaynağı ile emniyetin geliştirilmesi ve uygulamasında son derece önemlidir.

### **1.3.1.3. Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL 73-78)**

Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi, gemilerin işletilmesi veya kaza nedeniyle ortaya çıkabilecek deniz kirliliğinin önlenmesi amacıyla 1973 yılında IMO tarafından benimsenmiştir. MARPOL 1973, 1966-1967’ de yaşanan tanker kazaları sonrası, 1978 Protokolü ile ve daha sonra 1997 Protokolü ile değiştirildi. Sözleşme, hem kaza sonucu oluşan kirlilik, gerçekleştirilen gemi operasyonlardan kaynaklanan kirliliği önlemeye ve en aza indirmeye yönelik düzenlemeleri ve güncel hali ile 6 teknik Ek içermektedir. Bu eklerde petrolden oluşan kirlenmenin önlenmesi için, dökme zehirli sıvı maddelerden oluşan kirlenmenin kontrolü, denizyolu ile taşınan paketlenmiş zehirli maddelerden oluşan kirlenmenin önlenmesi, Gemilerden çıkan pis sulardan kirlenmenin önlenmesi, Gemilerden atılan çöplerden kirlenmenin önlenmesi için kurallar, Gemi baca gazlarından kirlenmenin önlenmesi için kurallar yer almaktadır (URL-13).

Bayrak devletleri, kendi bayrağı altındaki gemilerin Sözleşme hükümlerine uymasını sağlamakla sorumludur. Gemiler gittikleri limanlarda “Liman Devleti” otoritesi tarafından denetlenmekte, eğer gemi veya teçhizatı Sözleşme hükümlerine uyumlu değilse ve deniz çevresi için bir risk oluşturuyorsa eksiklerin ciddiyetine göre liman devleti, geminin denize açılmasına engel olabilir ve düzeltici tedbirler uygulayabilmektedir (UAB, 2019).

### **1.3.1.4. Denizde Çatışmayı Önleme Kuralları Uluslararası Sözleşmesi**

1960 yılında yapılan Uluslararası Konferansta Denizde Çarpışmaları Önleme Yönetmeliği, 1965’te revize edildiğinden kısa süre sonra, radarın yaygın kabulü ve kullanımı, trafik ayırımının başlatılması ve geminin boyutlarında ve hızındaki artış gibi gelişmeleri dikkate almak için daha kapsamlı yenilenmenin gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. 1972 tarihli COLREG-72 Sözleşmesi, 1960 tarihli çatışma düzenlemelerini güncellemek ve değiştirmek için tasarlanmıştır, 1977’de yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin en önemli yeniliklerinden biri, *Trafik Ayırım Düzenlerinin* tanınmasıydı. İlk trafik ayırım düzeni, 1967’de Dover Strait için kuruldu. İlk başta gönüllülük

esasıyla yürütüldü, ancak 1971’de IMO Genel Kurulu tüm trafik ayırım düzenlerine uyulmasını zorunlu kılan bir karar çıkarıldı. COLREG Sözleşmesi ise, bu yükümlülüğü açıkça ortaya koymuştur (Cockcroft ve Lameijer,2012: vii).

COLREG, 6 bölüme ayrılmış 41 kural içermektedir: Bölüm A - Genel; Bölüm B - Manevra ve Seyir Kuralları; Bölüm C - Fenerler ve Şekiller; Bölüm D - Ses ve Işık İşaretleri; Bölüm E- İstisnalar; 2006 yılında eklenen, Bölüm F- Sözleşme Hükümlerine Uygunluğun Doğrulanması. Ayrıca, teknik gereklilikleri içeren 4 adet Ek bulunmaktadır. Bunlar; fenerlerin ve şekillerin yerleştirilmeleri ve teknik ayrıntıları, sesle işaret veren cihazların teknik ayrıntıları, balıkçı tekneleri için ek işaretler, tehlike işaretleri ile ilgilidir (URL-14).

Teknelerin çatışmadan kaçınmak üzere uygulayacakları manevralar, uygulamalar B Bölümü-Manevra ve Seyir Kuralları üç kısma ayrılmıştır (Kural 4-19):

- Kısım 1. Her Türlü Görüş Durumunda Teknelerin Yönetimi (Kural 4-10),
- Kısım 2. Birbirini Gören Teknelerin Davranışları (Kural 11-18),
- Kısım 3. Kısıtlı Görüş Koşullarında Teknelerin Davranışları (Kural 19).

*Trafik Ayırım Düzeni*, Kural 10’ a göre standartları IMO tarafından belirlenmiş, liman girişi, boğaz gibi trafik yoğunluğunun bulunduğu yerlerde belirlenmiş trafik akım yollarıdır. Trafik ayırım düzeninde uygulanacak kurallar, diğer COLREG kurallarına uyma yükümlülüğünü ortadan kaldırmaz (Cockcroft ve Lameijer, 2012: 50).

1994’ten günümüze Türk Boğazları’nda Trafik Ayırım Düzeni uygulanmaktadır. Türk Boğazları’nda seyir, can, mal ve çevre güvenliğini sağlamak amacıyla deniz trafik düzenlemesi için Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği yayınlanmıştır (Resmî Gazete, 2019: 30859). Bu yönetmelikte trafiğin düzenlenmesi için uygulanması gereken kurallardan bir kısmı aşağıda yer almaktadır:

- Zorunlu olmadıkça öndeki geminin geçilmemesi,
- Aynı yönde geçiş yapan gemilerin takip mesafesinin en az 8 gomina (1482 m) olması,
- Gemilerin boğazlardan geçiş hızının karaya göre saatte 10 deniz mili olarak sınırlandırılması (ancak özel durumlarda bu hız aşılabılır),

- Herhangi bir nedenle hızını azaltacak gemilerin, arkada olan gemilere yol vereceklerini önceden bildirmesi
- Ağır ilerleyen gemilerin, trafik ayırım şeritlerinin mümkün olan en sancak tarafında seyir yapmaları ve daha hızlı giden gemilerin kendilerini geçmelerine izin vermesi.

Yukarıda verilen kurallar yetişen Türk Boğazlarında yetişen gemiler için belirlenmiştir. COLREG sözleşmesine göre Kural 13'te yetişme (overtaking) "Herhangi bir tekneye, kemeresinin 22,5 derece'den daha fazla gerisindeki herhangi bir yönden yaklaşan bir tekne, yani yetişmekte olduğu tekneye göre, gece o teknenin yalnızca pupa fenerini görüp, borda fenerlerinden hiçbirini göremeyecek konumda bulunan tekne, "yetişen tekne" sayılır." Yetişen tekne, her durumda yol vermesi gereken teknedir ifadesi bulunmaktadır.

Kural 14'te pruv-a-pruvaya geçiş (head-on) durumunda gemilerin çatışma tehlikesi olacak şekilde birbiriyle karşı karşıya ya da karşı karşıya olmaya yakın rotaları takip ettikleri durumda, her iki tekne de diğer teknenin iskelesinden geçmek için rotalarını sancağa çevirirler.

Kural 15'te aykırı geçme (crossing) durumunda, kendi teknesinden diğer tekneyi sancakta gören tekne, veya diğer teknenin iskelesini ya da kırmızı renkli iskele borda fenerini gören tekne, diğer tekneye yol verecektir, şartlar uygunsa diğer teknenin pruvasından geçmeden yol verecektir olarak yer almıştır (COLREG, 1972).

### **1.3.2. Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Otoriteleri Birliği- IALA**

IALA, 1957' de kurulmuş, kâr amacı gütmeyen uluslararası bir teknik kuruluştur. IALA, IMO ile çok güçlü bağlantılarını sürdürmekte ve danışma statüsüne sahip bir sivil toplum kuruluşu (STK) olarak tanınmaktadır. Denizcilerin hem şimdi hem de gelecekte ihtiyaçlarını karşılayacak seyir yardımlarına sahip olmalarını sağlar, deniz ortamını etkileyen gelişmeler ve eğilimlerle yakın temas halindedir. Seyir yardımcıları konusunda uzmanlardan oluşan komiteler, IALA tavsiye ve yönergelerinin yayımlanması yoluyla ortak en iyi uygulama standartlarının geliştirilmesini amaçlar. IALA, dünya çapında seyir yardımcıları için gemilerin hareketlerinin emniyetli, hızlı ve uygun maliyetli olmasını sağlamak ve çevrenin

korunması için üyelerini birlikte çalışmaya teşvik eder. Bu şekilde deniz kazalarının azalmasına, denizde can ve mal emniyetinin artmasına ve deniz ortamının korunmasına katkıda bulunur. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerin ilgili su yolu için risk derecesine uygun olarak seyir ağlarına yardım oluşturmada ülkeler arasındaki iş birliğini destekler (URL-15, IALA, 2016: 25). Deniz trafiğinin düzenlenmesi, emniyetin geliştirilmesi için kurulan Gemi Trafik Hizmetleri, IALA ve IMO iş birliğinin en belirgin örneklerindendir.

IALA tarafından seyir yardımcıları, gemilerin ve oluşturdıkları gemi trafiğinin emniyetini geliştirmek ve verimli seyri artırmak amacıyla tasarlanmış araçlar olarak tanımlanmıştır. Görsel seyir yardımcılarının yaygın örnekleri arasında deniz fenerleri, şamandıralar (ışıklı veya ışıksız), görünür seyir işaretleri yer almaktadır (IALA, 2010: 27).

#### **1.3.2.1. Deniz Fenerleri**

Gemileri sığıklardan korumak, gemilere yol göstermek ve konumlarını belirlemelerine yardımcı olmak amacıyla yapılmış sabit, en eski seyir yardımcılarıdır. Eski çağlarda geceleri kıyılardan, liman ağızlarına konan beton yapılar üzerinde ateş yakılarak denizciler uyarılmıştır. En eski deniz feneri, M.Ö. 7. yüzyılda bugünkü adıyla, Kumkale'de (Çanakkale) yapılmıştır. İstanbul Boğazı'nın Trakya yakasındaki Timée ve karşı kıyısındaki Chrysopolis (Üsküdar) fenerleri M.Ö. 2. yüzyılda yapılmıştır (Usluer, 2010: 26). Bir dönemin en önemli mühendislik yapıları, özellikle 19. yüzyılda dünyanın en önemli teknolojik eseri olarak kabul edilmişlerdir (Akçaoğlu ve Akçaoğlu, 2002: 574).

Fenerler konumlarına göre kıyı fenerleri, açık deniz fenerleri, yönlendirici fenerler, dalgakıran fenerleri, doğrultu fenerleri olarak sınıflandırılabilir. Kıyı fenerleri yaklaşık 20 deniz milinden, açık deniz fenerleri yaklaşık 30 deniz mili mesafeden görülebilirler. Açık deniz fenerler, çok güçlü ışık şiddetine sahip oldukları için diğer fenerlerden kolaylıkla ayırt edilebilir (Toroslu, 2008:17). Fenerleri tanımlarken kullanılan özellikler vardır. Bunlar; karakteristiği (ışık düzeni), ışık rengi, periyodu (karanlık ve aydınlık süresi), yüksekliği, görünme uzaklığı, denizden görünüşü olarak ifade edilebilir (Süngen, 2007: 345-346). Gündüz fener kulesi görünümüyle, gece ise

ışık özellikleriyle seyirde yardımcı olur. Fenerler, seyir haritalarında bu özelliklerine göre yer alırlar.

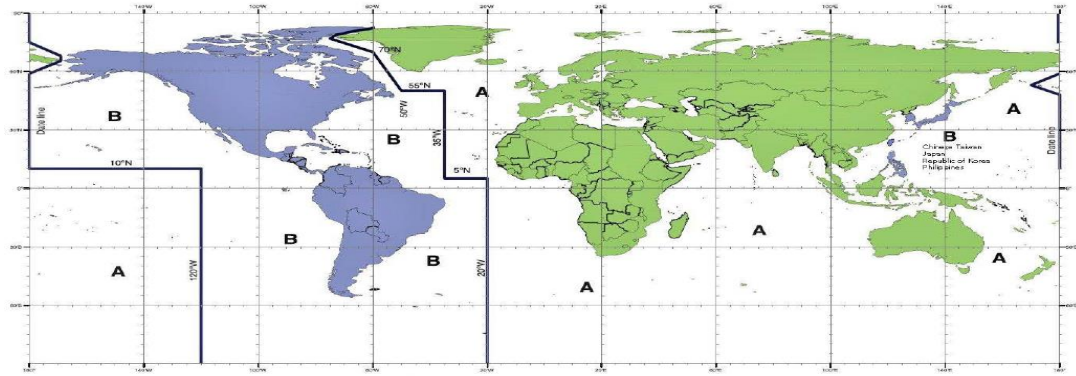
### 1.3.2.2. Şamandıralar

Sığlık kayalık gibi tehlikeli yerleri belirlemek, trafiği düzenlemek için kullanılan deniz tabanına sabitlenmiş, yüzen yol göstericilerdir. Gemilerin seyrine yardımcı olmak amacı ile birçok tip ve şekilde şamandıra kullanılmaktadır: Yönleç, yanlaç, izole edilmiş tehlike şamandıraları, emniyetli su şamandıraları ve diğer şamandıralar (özel uyarılar, batık) (IALA, 2017a: 8).

1976 öncesinde, dünya üzerinde kullanılan otuzdan fazla farklı şamandıra sistemi olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin birçoğunun sahip olduğu kurallar birbirleri ile tamamen çelişmekte, bazı ülkeler suyunun iskele tarafını kırmızı ile bazı ülkeler ise kırmızı ile sancak tarafı temsil etmeyi tercih etmişlerdir. 1936 yılında bütünleşmiş uluslararası bir şamandıra sistemi için Cenevre’de hazırlanan anlaşma, ikinci dünya savaşı nedeniyle uygulamaya girmemiştir. Bu anlaşma, şamandıralar kardinal (yönleç) ve lateral (yanlaç) iki sistem olarak kullanılması, iki ayrı sisteme ayırmayı önermiştir. 1957’de IALA kurulmasıyla çelişkileri ortadan kaldırmak amacıyla Sistem-A (sancak yeşil) ve Sistem- B (sancak kırmızı) olmak üzere iki adet sistem tanımlamıştır. Sistem A 1976’da tamamlanarak IMO tarafından kabul edilmiş ve Avrupa, Avustralya, Yeni Zelanda, Afrika ve bazı Asya ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Sistem B ise 1980’de tamamlanmış ve Amerika kıtası, Japonya, Kore, Filipinler gibi ülkeler tarafından kabul görmüştür. IALA Deniz Şamandıra Sistemi olarak bilinen bu sistem, Sistem A ve Sistem B’den oluşmaktadır (IALA, 2017a: 3-4). Türkiye, Sistem A’yı 1982 yılında kabul ederek uygulamaya başlamıştır.

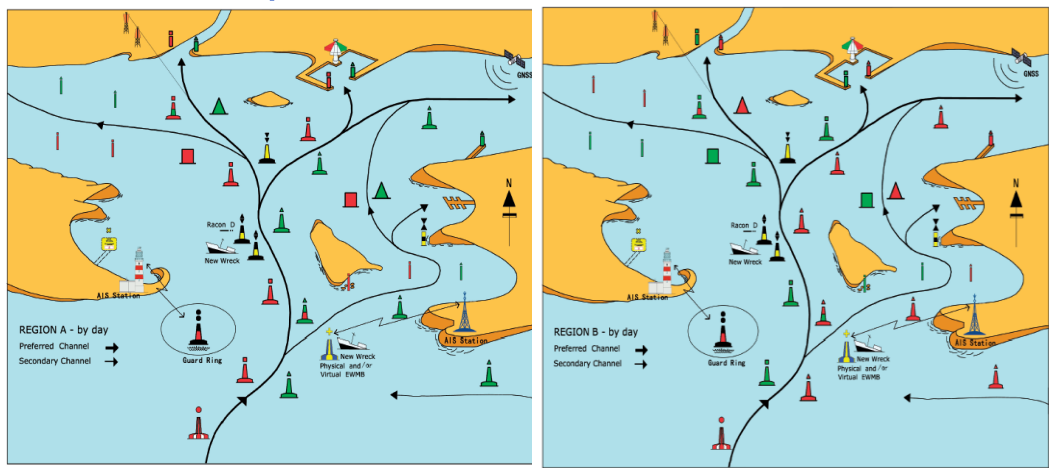
Şekil 1’de kullanılan şamandıra sistemlerine göre bölgeler, Şekil 2’de kullanılan şamandıra sistemleri gösterilmektedir.

**Şekil 1:** Kullanılan Şamandıra Sistemlerine göre Bölgeler



Kaynak: IALA, 2017A: 12. (IALA tarafından Mart 2010'a göre doğrulanmış)

**Şekil 2:** Kullanılan Şamandıra Sistemleri



Sistem A (Sancak Yeşil)

Sistem B (Sancak Kırmızı)

Kaynak: IALA, 2017a: 21-22.

### 1.3.2.3. Kılavuzluk Hizmetleri

Kılavuzluk mesleği denizcilik tarihi kadar eski bir meslektir. İnsanlığın ticaretle uğraşmasıyla birlikte bilinmeyen sularda yerel bilgiye sahip uzman denizciler olan kılavuz kaptanlara ihtiyaç duyulmuştur (URL-16). Günümüzde ise kılavuzluk hizmetleri şu şekilde tanımlanmıştır:

*“Denizlerde ve boğazlarda gemilerin ulusal mevzuat ve uluslararası kurallarla belirlenmiş seyir kurallarına uygun seyretmelerini sağlayarak can, mal ve çevrenin korunması amacıyla; gemilerin limana giriş/çıkışlarında, rıhtım/iskelelere yanaşma ayrılımlarında,*

*şamandıralara bağlamalarında, demirlemelerinde, buraları terk etmelerinde veya herhangi bir nedenle yer değiştirilmelerinde verilen hizmet”*

(KEGM, 2020). Bu hizmeti veren kılavuz kaptanlar görev yaptıkları bölgede uzmanlaşan ve o bölgenin meteorolojik koşullarını, akıntı, sığlıklar, yerel trafik gibi özelliklerini iyi bilen kimselerdir (Erol, 2010).

Kılavuz kaptanlara birçok nedenden dolayı ihtiyaç duyulur: İlk sırada bölgeye özgü çalışmaları için gelgit ve akıntının etkilerini doğru şekilde bilme yetenekleri gelmektedir. Kıyı servis sağlayıcılarıyla aynı dili konuşmalarından kaynaklanan avantajlar, gemi trafik hizmetleriyle etkin çalışabilme, yerel trafiği kavrama yetenekleri, römorkörlerle anlaşma ve idare konusundaki uzmanlıkları kılavuz kaptanlara duyulan ihtiyaca verilen diğer örneklerdir. Ayrıca kılavuz kaptanlar köprüüstünde fazladan bir personel olarak kaptana ve seyir yardımcısı olur ve yorgunluğu hafiftir (Sander vd.,1990: 11).

Hükümetlere, seyir emniyetini sağlamak için diğer olası önlemlerden daha etkili şekilde katkıda bulunacağı düşünülen ve gerekli görülen yerlerde kılavuzluk hizmetleri düzenlemeleri gerektiği tavsiye edilmiştir. Ayrıca gerekli görülen gemi tipi veya bölgelerde bu hizmetin zorunlu kılınabileceği önerilmiştir (IMO, 1968: 1).

Kılavuzluk hizmetinin hukuki açıdan “ihtiyari kılavuzluk” ve “mecburi kılavuzluk” olarak 2’ye ayrıldığı görülmektedir. Gemiye alınan kılavuzun yerel mevzuat icabı gemiye alınması zorunlu ise “mecburi kılavuzluk”, kaptanın isteği ve tercihine bırakılması halinde ise “ihtiyari kılavuzluk” söz konusudur. Mecburi kılavuzluk hizmeti 2 ayrı şekilde verilebilmektedir. Kılavuz kaptan alma durumunun mecburi olup kılavuzun gemi kaptanına tavsiyelerde bulunduğu durumunda verilen hizmet “danışman kılavuzluk” tür. Kılavuz kaptanın gemiyi bizzat sevk ve idare etmesi durumunda ise “sevk ve idare kılavuzluğu” hizmeti verilmektedir. Mecburi danışman kılavuzlukta gemiyle ilgili sorumluluk hala gemi kaptanında iken; mecburi sevk ve idare kılavuzluğunda bu sorumluluk kılavuz kaptana geçmektedir (Light, 2011:1-5).

Uygulandıkları alanlar bakımından kılavuzluk hizmeti liman, deniz ve uzaktan kılavuzluk olmak üzere 3’e ayrılmaktadır. Ancak ülkemizde kılavuz kaptan yeterlilikleri Liman Kılavuz Kaptanı ve Türk Boğazları Kılavuz Kaptanı olmak üzere 2 çeşittir.

*Liman kılavuzluğunda* limana girecek bir geminin emniyet içinde limana alınması ve yanaşması hizmeti verilmektedir. Bu hizmet, gerekli görüldüğünde bir gemiyi demirlemek, şamandıralara bağlamak, bulunduğu yerden alıp liman dışına kılavuzlama manevralarından birini de içerebilir (RG,2006: 26360). *Deniz kılavuzluğu* ise liman sahaları dışındaki zorlu seyir bölgelerinde gemilere verilen danışmanlık hizmetini kapsamaktadır. Deniz kılavuzluğu da kendi içinde boğaz kılavuzluğu ve açık deniz kılavuzluğu olarak 2'ye ayrılmaktadır (Kaptan, 2014: 5-6). *Uzaktan kılavuzluk* ise Uluslararası Deniz Kılavuzları Derneği (IMPA) ve Avrupa Deniz Kılavuzları Derneği (EMPA) tarafından gemi üzerinde bulunmadan, belirlenen başka bir merkezden bu konuda eğitimli bir kılavuz kaptan tarafından gemilerin güvenli seyir yapabilmesi için verilen kılavuzluk hizmeti olarak tanımlanmaktadır (Hadley, 1999: 3).

#### **1.3.2.4. Gemi Trafik Hizmetleri**

Dünya üzerinde seyreden gemi sayısının ve yük hacimlerinin artması özellikle liman giriş çıkışları ile dar sularda deniz trafiğinin yoğunlaşmasına, çatma ve karaya oturma kazalarının artmasına sebep olmaktadır. Kaza yapan gemilerin kayıplarına ek olarak o bölgedeki trafik akımının kesilmesi nedeniyle diğer gemilerin uğradıkları zararlar ve kamusal düzenin zarara uğrama riski bölgesel olarak deniz trafiğini düzenleyen ve izleyen sistemlere duyulan ihtiyacı gündeme getirmiştir (Erol, 1999).

Gemi Trafik Hizmetleri (GTH), IMO'nun tanımına göre; yetkili bir otorite tarafından verilen, gemi trafiğinin emniyetini ve verimliliğini geliştirmeyi ve çevrenin korunmasını amaçlayan bir hizmeti ifade etmektedir (IMO, 1997: 3). Sorumlu olduğu GTH alanında deniz trafiğini izleyerek değişen trafik koşullarına cevap veren ve aktif bir şekilde deniz trafiğini düzenleyip planlayan bir sistemdir (RG, 2007: 26438).

İlkel anlamda GTH çalışmaları gemilere duman, ışık ve ses ile karadan yapılan yardımları kapsamaktadır (İstikbal, 2000: 139). Modern anlamda ise ilk GTH sisteminin 1948 yılında Liverpool Limanı'nda kurulan liman izleme radarı olduğu kabul edilmektedir (IALA, 2016: 13). İlk başlarda kurulan sistemlerin trafiği düzenlemede yararları olduğu kabul edilse de kazaları önlemede başarısız olduğu görülmüştür. Ancak teknolojik gelişmelere paralel olarak özellikle 1980'li yıllardan

sonra GTH sistemleri deniz kazalarında önemli bir azalma sağlamıştır (Topsoy, 2013: 907). Sonrasında GTH'lerin hukuki boyutunun düzenlenmesi gerekliliği doğmuştur. Gemi Trafik Hizmetleriyle ilgili ilk hukuki metin 1985 yılında kabul edilen “GTH için Rehber (Guidelines for VTS)” IMO kararıdır. Bu metin ihtiyaçlar doğrultusunda IALA GTH komitesinin öncülüğünde geliştirilip günümüzde de kullanılan 1997'deki yenilenmiş hali kabul edilmiştir (IALA, 2016: 14).

Gemi trafik hizmetleri ile ilgili çalışmaların uluslararası öncüleri IMO ve IALA'dır. IALA her 4 yılda bir güncel bilgilerle GTH kılavuzu yayımlamaktadır. Her iki kurumun da GTH ile ilgili çalışmalarının hukuki dayanaklarının başında COLREG ve SOLAS gelmektedir. Ülkelerin kurdukları GTH sisteminin içindeki trafik ayırım düzenlerinin COLREG'e uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir (Topsoy, 2013: 908). Ayrıca SOLAS Seyir Emniyeti (Bölüm V), kıyı devletlerinin IMO'nun yayınladığı kılavuzlara uymak şartıyla, deniz emniyetini sağlamak için trafik hacmine ve risk derecesine göre GTH sistemi kurma ve işletme hakları bulunduğunu belirtir (URL-17). Gemi Trafik Hizmetleri (VTS), Haziran 1997'de IMO Deniz Emniyeti Komitesi tarafından SOLAS Bölüm V, Kural 12'de denizde emniyetin geliştirilmesi için eklenmiştir (SOLAS, 2009: 252).

Gemi trafik hizmetlerinin temel görevi deniz çevresinin korunmasını sağlamak, deniz trafiğinin emniyetli bir şekilde işlerliğini temin etmek ve diğer ulusal çıkarların koruyuculuğunu yapmaktır (Mehrkens ve Steuer, 2010). Bu kapsamda GTH otoritesi, IMO'nun ve IALA'nın karar ve tavsiyelerine uygun olarak “Bilgi Hizmeti (Information Service, IS)”, “Trafik Organizasyon Hizmeti (Traffic Organisation Service, TOS)” ve “Seyir Yardımı Hizmeti (Navigational Assistance Service, NAS)’nden gerekli olanları yerine getirir.

**Bilgi Hizmeti**, mevcut trafikle iletişim halinde olmayı ve trafiği sürekli izlemeyi içerir. Gerekli görülen hallerde ve talep üzerine deniz trafiği, gemilerin konum, niyet kimlik bilgileri, arızalı seyir yardımcılarının durumları, meteorolojik olaylar, radyo frekansı, kısıtlamalar, kılavuz kaptan operasyonları gibi bilgiler gemileri yönlendirmek için verilir (RG, 2007: 26438).

**Trafik Organizasyon Hizmeti**, GTH'nin sorumluluk alanında tehlikeli deniz trafiğinin önlenmesi kapsamında, trafiğin operasyonel olarak yönetilmesi ve gemi hareketlerinin planlanmasını sağlar (IALA, 2016: 36). Ayrıca bu hizmet, demirleme

yerleri, zorunlu raporlama sistemleri, izlenmesi gereken rotalar, hız limitleri ya da GTH otoritesi tarafından gerekli görülen diğer sınırlandırmaları içerir (IMO, 1997: 7)

**Seyir Yardımı Hizmeti**, zor seyir koşullarında, arıza veya eksiklik olduğu durumlarda gemilerin seyir ile ilgili karar verme sürecine yardımcı olmak amacıyla verilen bir hizmettir. Gemi kaptanının isteği üzerine ya da deniz trafik operatörlerinin gerekli gördüğü durumlarda verilebilir. Bu hizmet tavsiye veya talimat niteliğinde olabilir (IALA, 2016: 37).

Ülkemizde ise Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (KEGM) otoritesinde ilk olarak İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi'ni kapsayan “Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri” kurulmuştur. Bu sistem 2004 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Bunu sırasıyla 2016 yılında İzmit, 2017 yılında İzmir, 2018 yılında Mersin Gemi Trafik Hizmetleri izlemiştir (URL-17). İstanbul Boğazı'nda 1982-2003 yılları arasında ve GTH ile ilgili tüzük uygulanmaya başlanmadan önce ve sonra meydana gelen kazalarda en fazla kaza türü çatışma olmuştur. 2005 yılında yapılan çalışmada, GTH'nin hizmet vermeye başladığı 2004'te 16 kazanın gerçekleşmiş olduğu ve 2003 yılına göre kaza sayısında %30'luk bir düşüş yaşandığı belirtilmiştir. Kazaların azalmasında GTH'nin etkili olduğu gösterilmiştir (Ece, 2005: 254-257).

#### **1.4. ALANDA YAPILMIŞ DENİZ TRAFİĞİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ**

Gemilerin seyri sırasında karşılaşılabilecekleri acil durumlar meydana gelebilir, ortaya çıkabilir. Emniyet yaklaşımı, istenmeyen durumlar, kazalar oluşmadan, kazaları ortaya çıkmasına neden olan olayların, şartların oluşmaması, tehlikeden uzak olmayı, önceden tedbir almanın önemini, işaret eder.

1988 yılında Piper Alpha petrol üretim platformunda yaşanan patlama sonucunda 167 can kaybı ve çevresel zarar ile gerçekleşmiştir. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nü emniyet analizi konusunda çalışmalara yönelmiştir. Geçmişte yaşanan deniz kazalarından dersler alarak, benzer olayların yeniden yaşanmaması için gerekli düzenlemeler ve uygulamalarla emniyet ortamının geliştirilmesinde öncü olan IMO'nun Emniyet Komitesi tarafından onaylanan (2002) Biçimsel Emniyet

Değerlendirmesi (Formal Safety Assessment-FSA) önlem amacıyla denizcilik endüstrisine önerilmiştir.

Biçimsel Emniyet Değerlendirmesi (FSA), can, deniz çevresi ve mülkiyetin korunması dâhil olmak üzere denizde emniyeti artırmayı amaçlayan risk analizi ve maliyet fayda değerlendirmesi kullanarak yapılandırılmış ve sistematik bir yöntemdir. IMO tarafından FSA kural oluşturma sürecinde kullanılabilecek bir çerçeve, araç olarak görülmektedir. FSA'nın farklı paydaşlarca tutarlı bir şekilde uygulanabilmesi için, sürecin açık bir şekilde belgelenmesi ve tek tip ve sistematik bir şekilde resmi olarak kaydedilmesi önemlidir (IMO, 2018: 3). FSA, bir kaza gerçekleşmeden önce gereken her türlü önlemin alınmış olduğunu kontrol edebilme olanağını veren sistematik işlemlerdir. FSA'nın en faydalı özelliklerinden biri öngörülebilir(proaktif) olmasıdır (IMO, 2018: 6). Bu yaklaşım, olaylar henüz gerçekleşmeden, hataların olasılıksal modellenmesi ve kaza senaryolarının geliştirilmesi yoluyla ulaşılır. FSA, beş aşamadan oluşmaktadır (URL-18):

- Tehlikelerin tanımlanması (olası nedenleri ve sonuçları olan tüm ilgili kaza senaryolarının listesi);
- Risklerin değerlendirilmesi (risk faktörlerinin değerlendirilmesi);
- Risk kontrol seçenekleri (tanımlanan riskleri kontrol etmek ve azaltmak için düzenleyici tedbirler almak);
- Maliyet fayda değerlendirmesi (her bir risk kontrol seçeneğinin maliyet etkinliğinin belirlenmesi); ve
- Karar vericilere önerileri (tehlikeler, bunlarla ilişkili riskler ve alternatif risk kontrol seçeneklerinin maliyet etkinliği hakkında bilgi verilmekte).

Denizcilik endüstrisinde yaşanan kazalardan dersler alarak şekillenen emniyet kavramı FSA ile öngörülebilir olmaya başlamıştır. FSA'da tehlike tanımlanması ve risk analizi teknikleri, olursa ne olur (What-if), olası hata türleri ve etki analizi (FMEA) gibi nitel yöntemler ve bayes ağları, duyarlılık analizi gibi istatistiksel yöntemler önerilmiştir (IMO, 2018: 37-39). Deniz ulaştırmasında var olan risk analizi yöntemleri; istenmeyen olayların, meydana gelme olasılıklarının ve sonuçlarına uzman görüşleri tarafından değerlendirildiği *nitel yöntem* ve güvenirlilik teknikleri,

benzetim modeli, istatistiksel veri analizi ile yapılan *nicel* yöntem olarak iki grupta incelenebilir (Özbaş, 2013: 34).

Deniz ulaştırmasının, dünya ekonomisinde önemli bir yeri olması ve gittikçe artan gemi sayısı ile deniz trafiğinde emniyetli gerçekleştirilmesinin önemi daha da artmaktadır. Deniz trafiğinde emniyetin değerlendirilmesinde var olan nitel ve nicel değerlendirmeler Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2:** Deniz Trafikini Değerlendirmede Kullanılan Yöntemler ve Özellikleri

| Değerlendirme İsmi                                  | Türü              | Özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PAWSA<br>(Ports and Waterways<br>Safety Assessment) | Nitel             | U.S. Sahil Güvenlik tarafından 1990’larda geliştirilmiştir, IALA tarafından sistematik halde getirilmiştir.<br>Değerlendirme büyük ölçüde grup üyelerine bağlıdır, uzman grup tarafından yapılır.                                                                                                                                 |
| ES<br>(Environment Stress)                          | Nitel             | Gemiye çevreleyen ortamın, trafik ve manevra koşullarının, gemiadamı üzerinde yarattığı gerilimin dayattığı manevra zorluklarının hesaplanmasıdır.<br>Gemi adamı stres faktörü öznel, sayısal değerlendirilir.                                                                                                                    |
| IWRAP (IALA<br>Waterway Risk<br>Assessment Program) | Nicel             | IALA tarafından önerilir. Trafik hacmine / yol verilerine dayalı çatışma ve karaya oturma olasılıkları hesaplanabilir.<br>Hesaplama işlemi için kuramsal (teorik) açıklama sınırlıdır.<br>Karmaşık trafiğine sahip olan alanlarda uygulama zorluğu vardır.                                                                        |
| US (Unsafe Ship<br>Handling Situation)              | Nicel             | Durma mesafesine göre değerlendirme yapılır.<br>Gemi manevrası benzetimi ön şarttır.<br>Karmaşık Trafik koşullarında uygulanamıyor.                                                                                                                                                                                               |
| Diğer Değerlendirmeler                              | Nitel ve<br>Nicel | Çatışma frekanslarının değerlendirilmesi,<br>Geçiş önceliği frekanslarının değerlendirilmesi,<br>Trafik hatlarının karmaşıklığına göre değerlendirilmesi,<br>SJ Modeli (Gemiadamının öznel yargıları)<br>BC Modeli (Diğer gemiler ile çatışma farkındalığı)<br>Karayolu trafik mühendisliğinde kullanılan değerlendirme modelleri |

Kaynak: Yazar tarafından Park vd., 2013: 568; Kim vd.,2011: 282; Özbaş, 2013: 34, IALA, 2017b , IALA 2017c’ den uyarlanmıştır.

IALA tarafından önerilen, PAWSA yazılımı Excel üzerinde gerçekleştirilir. Bölgeyi tanıyan, uzmanlıklarına göre yapılandırılmış 30 katılımcı ile 2 gün süren çalıştay düzenlenir. Sistematik olarak düzenlenen çalıştayda, yapılandırılmış uzman gruplarının görüşleri alınarak Delfi tekniği ile gemilerin draft durumu, trafik şartları,

seyir etkileyen şartlar, suyunun şartları ve sonuçları içeren formlar gruplarca değerlendirilir, risk faktörleri ortaya çıkarılır, sonuçlar sayısal sonuçlara çevrilir. Resmi PAWSA Çalıştay Kılavuzu'na göre, PAWSA'nın nihai hedefi sadece suyunun VTS değerlendirmesi için temelini oluşturmak değil, aynı zamanda yerel paydaşlar için riski değerlendirmek ve hem maliyet etkin hem de su yolu kullanıcılarının ve paydaşların ihtiyaçlarını karşılayan uyarlanmış uzun vadeli çözümlere yönelik etkili bir araç sağlamaktır (IALA, 2017c).

Çevresel Gerilim (ES Modeli) Prof. Dr. K. Inoue tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Model, kaptan ya da kılavuz kaptan üzerinde gemi manevrasının zorluklarına dayalı yüklendiği stres değerlerini zaman temelli olarak hesaplar. Üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, gemi manevralarında içinde bulunduğu coğrafi, seyir koşulları nedeniyle ve sonra çatışmadan kaçınma nedeniyle doğan güçlülükler hesaplanır. En son bu güçlülükler birlikte değerlendirilir. Stres sıralaması, mevcut gemi rotası etrafında  $\pm 90^\circ$  aralığında belirli bir SJ (Öznel Yargı) değerine ne ölçüde strese neden olduğuna göre sınıflandırılabilir (Kim, 2011: 283-284). Bu modelin Kore, Japonya ve Türkiye'de deniz trafiği emniyeti değerlendirmelerinde sıklıkla kullanıldığı belirtilmiştir (Park vd., 2013: 568-569). Ancak, gemi kaptanı ya da kılavuz kaptanın öznel değerlendirmesini içeren öznel bir yöntem olması nedeniyle gerçekçi olmayan değerlendirmelerin ortaya çıkabilmesi mümkündür.

IALA Risk Yönetimi çalışma grubu liman ve su yollarında genel bir risk değerlendirme yönteminin geliştirilmesiyle görevlendirilmiş, 2002'de Minimum (Asgari) Emniyetli Alan (MSD) aracı geliştirilmiş, ancak karaya oturma ve çatışma olasılıklarını içermeyen bir model olması nedeniyle geliştirilmeye bir süre devam edilmiştir. Güncellenmiş hali ile 2004'te IWRAP MK 1 V1 olarak İstanbul Boğaz, Tampa Körfezi ve St. Lawrence Nehri'nde test edilmiştir, sonuçları geçmiş verilerden fazla olduğu için insan faktörü dikkate alınması gerektiğinden model geliştirilmeye devam edilmiştir. Güncel hali olan IWRAP Mk2 araştırma enstitüleri, üniversiteler ve IALA üyeleri tarafından Baltık Denizi için geliştirilen bir proje (BaSSy Toolbox) temel alınarak geliştirilmiştir. Çatışma ve karaya oturma olasılıklarının tahmininde iyi bir araç olan IWRAP MK II yazılımının seyre yardımcı risk azaltıcı faktörleri de göz önünde bulundurabilen bir model olduğu, tatmin eden sonuçlar verdiği 2008'de duyurulmuştur (URL-19).

Emniyetsiz Gemi Manevra (US) modeli, manevra süreçlerinde emniyetsiz durumların sıklığını hesaplayarak deniz kazası riskini tahmin edebilen bir endekstir. Emniyetsiz Gemi Manevra durumu, var olan hızda kısa durma mesafesine göre çatışma için kalan zamanı (time to collision-TTC) aşıp aşmadığına bakmadan her bir zaman aralığında hesaplanır, bu hesaplama geminin bir nesne ile temasına ya da başka bir geminin tahmini rotasına çıkana kadar devam eder. Her zaman diliminde Potansiyel Su Alanı tahmin edilir. TTC değeri Emniyetsiz Gemi Manevra Durumunun karar kıstaslarından fazlaysa Emniyetli Olmayan Bir Gemi Elleçleme Durumu ortaya çıkar. Önerilen Emniyetsiz Gemi Manevra Durumu emniyet değerlendirme endeksi, öznellik açısından tarafsız ve nesnel bir temelde sonuçların evrenselliğini korumaya katkıda bulunan nesnel bir dizin olarak kabul edilmektedir (Inoue ve Kawaseve, 2007: 31-32).

Bu değerlendirme araçlarının dışında nitel ve nicel değerlendirme yöntemleri de mevcuttur: Çatışma frekanslarının değerlendirilmesi (çatışma, geçiş önceliği), trafik hatlarının karmaşıklığına göre değerlendirilmesi, SJ Modeli (Gemiadamının öznел yargıları), BC Modeli (Diğer gemiler ile çatışma farkındalığı), Karayolu trafik mühendisliğinde kullanılan değerlendirme modelleri (Park vd.,2013: 568) bunlardan bazılarıdır.

Yapılan bir çalışmada aynı bölge için yapılan deniz trafiği emniyeti ile ilgili IWRAP ve ES model için ayrı ayrı yapılan değerlendirmelerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaşılan istatistiksel değerler IWRAP değerlendirmesi çıktıları ile ES Model çıktıları arasında olduğu görülmüştür. ES Model ve IWRAP risk modelleri deniz trafiğini analizi ve planlamaya yönelik, algoritma ve çalışma prensibi olarak benzerlikler göstermektedir. IWRAP, nicel bir yöntem olduğu için daha nesnel çıktılar sunar. Çevresel gerilim modeli, gemiadamlarının risk algısını daha kapsamlı yansıtmaktadır (Kim vd., 2011: 287).

Nitel değerlendirmeler, değerlendirmeyi yapan kişilerin, uzmanların görüşleri temel alındığı için nesnellikten uzaklaşma ihtimalini içinde barındırır. Nicel değerlendirmelerde var olan trafik, çevre şartlarının sonuçları çıktı olur, bu nedenle nicel değerlendirmeler nesneldir, kişiye görelilik barındırmaz. IMO tarafından kabul edilen ve IALA tarafından önerilen IWRAP MK II ve PAWSA en çok bilinen araçlardır. PAWSA uzman görüşlerine dayanan, gemi trafik hizmetleri değerlendirmesi için temel olan nitel değerlendirme aracı, IWRAP, AIS verileri

kullanılarak bölgenin deniz trafiği analizi sonrasında belirli bir sürede meydana gelebilecek karaya oturma ve çatışma olasılığını sunan, nicel bir yöntemdir. IWRAP, IALA üyeleri için ücretsizdir ve ayrıca ticari sürümü de mevcuttur. Ancak, erişim açısından bakıldığında doğrudan kullanıcıya açık değildir.

**Tablo 3:** Deniz Trafiğinin Analizi ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Araçlar

| Değerlendirme Araçları                | Özellikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SAMSON<br>1980ler                     | Safety Assessment Models for Shipping and Offshore in the North Sea, Kuzey Denizi'nde Denizcilik ve Açık Deniz Emniyet Değerlendirme Modelleri<br>– Çatışma, karaya oturma, yangın, makine arızası vb. kazalar tanımlıdır.<br>– Gemi tipi, boyutları, başlangıç-varış noktaları bilgilerine göre görselleştirilmiş seyir ağı sunar         |
| GRACAT<br>1998-2001                   | Grounding And Collision Analysis Toolbox, Karaya Oturma ve Çatışma Analizi Aracı<br>Çatışma ve karaya oturma analizi ve deniz trafiğinde risklerinin değerlendirilmesi için geliştirilmiştir.<br>– Çatışma ve karaya oturma olasılıklarının tahmini<br>– Çatışma ve karaya oturma hasarının modellenmesi<br>– Hasarın sonuçlarının tespiti |
| BaSSy Toolbox<br>(GRISK)<br>2006-2008 | GRACAT'ın ardılı (halefidir).<br>– Çatışma ve karaya oturma frekanslarının gemi tipi ve boyutlarına göre sınıflandırarak hesaba katar.<br>– AIS verilerini analiz eden trafik dağılımı, yoğunluğunu gösteren araçlar içerir.                                                                                                               |
| MARCS                                 | Deniz Kazaları Risk Hesaplama Sistemi (MARCS) kaza frekanslarını seçili bölgelerde<br>– Trafik özellikleri ve çevre koşullarına bağlı olarak<br>– Tanımlı kaza tipi (Çatışma, karaya oturma, yangın vb) gemi tipleri ve boyut kategorileri için hesaplar.                                                                                  |
| SHIPCOF                               | Karaya oturma ve çatışma tahmininde kullanılması amaçlamıştır. SHIPCOF modeli meydana gelme sıklıklarının istatistiksel tahmine, yani geometrik ve nedensel olasılıkların birleşimine dayanır.                                                                                                                                             |
| MARTRAM                               | Marine Traffic Risk Assessment Model- Deniz Trafiği Risk Değerlendirme Modeli (MARTRAM) tıkalı ve yüksek yoğunluklu deniz alanlarında risk analizi için optimize edilmiş bir modelleme aracıdır.                                                                                                                                           |
| DYMITRI                               | Model özellikle, liman yavaşmalarında limanlar ve sınırlanmış su yollarında gemilerin yakın çevredeki etkileşimlerine odaklanıyor. İnsan faktörü modellenmiştir.                                                                                                                                                                           |

Kaynak: Nyman, 2011: 8-14; Friis-Hansen, 2008' den yazar tarafından uyarlanmıştır.

#### 1.4.1. Deniz Trafiğinin Analizi ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Araçlar

Gemide hasar ve gemi kaybına yol açabilen deniz kazaları temas, çatışma, karaya oturma, geminin yatması, yangın, karinada meydana gelen hasarlar, kontrol kaybı ve kaza nedeniyle gemi çalışanları varsa yolcu ve kılavuz kaptanların yaralanması, can kaybı ya da denize insan düşmesi ve ayrıca deniz çevresinin kirliliğine neden olabilir. Seyirde meydana gelen kazalar, deniz kazalarının % 54,4 ünü oluşturmaktadır, bu kazaların oluşumu açısından temas % 15,3 temas, % 26,2 çatışma ve % 12, 9 karaya oturmaktır (EMSA, 2019: 19-20).

Benzetim modelleri alanda risk analizi için de yaygın kullanılan bir araçtır. Genel olarak, benzetim modelleri tüm olası olayları (örneğin, çatışma, karaya oturma, kirlilik ve diğer emniyetle ilgili durumlar) matematiksel risk formülüne aktararak sonuçlarıyla birlikte oluşur, taklit eder. Bu yaklaşımda, hiçbir olay ve sonuç göz ardı edilmez ve zaman içinde sistemin (liman veya su yolu) bir risk profili oluşturulur. Bu risk profili, riskleri azaltmak için çeşitli yollar oluşturmak için karar vericilere yardımcı olacak bir platform sağlar (Özbaş, 2013: 35).

Tablo 3'te alanyazında yer alan deniz trafiğinin analizi ve değerlendirilmesinde kullanılan araçlar yer almaktadır. Geçmişten güncel olana doğru sıralanmıştır. Bu değerlendirme araçlarının ortak noktaları, olası çatışmaların sayısını tahmin etmek, Çatışma frekansının belirlenmesi, belirli deniz alanından geçen sayılar arttıkça artacağı kabulü vardır. Bu araçlarının özellikleri anlatılmaktadır.

##### 1.4.1.1. Samson

Hollandalı deniz araştırma enstitüsü MARIN tarafından 1980'lerde geliştirilmiştir. Samson ile deniz emniyeti ile ilgili çeşitli risk değerlendirme hesaplamaları yapılabilir. Bu model belirli bir zaman (genellikle 1 yıl) gemi tipi, boyutları, kalkış ve varış limanı özelliklerini içeren bir veri tabanı kullanır. Her bir seyirde rota, en kısa rota tercih edilerek ayrıca draft, yük ve öncelikler en yakın ve trafik ayırım şeritlerini kullanmak gibi kısıtlamalara uygulayarak görsel seyir ağları ile oluşturulur. Her bir bağlantı için bir dizi gemi hareketi (tip, boyut ve yön için) elde edilir. Temas, karaya oturma, yangın, tekne ya da makine hasarları gibi farklı kaza

türlerini tanımlanmıştır. Bir deniz trafiği benzetimi değildir, dolayısıyla bireysel gemi hareketleri, gemi etkileşimleri de modelde yer almamaktadır, dış çevre şartları modele eklenmemiştir (Boer, 2010: 20-21; URL-20).

#### **1.4.1.2. Gracat**

GRACAT, Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından bir projede geliştirilmiş, çatışma ve karaya oturma olasılıklarının tahmini, meydana gelen hasarının modellenmesi ve tespit edilmesini gerçekleştiren bir yazılımdır. Meydana gelen hasar, şiddeti ve sonuç olarak üç temel bileşenden oluşmaktadır. GRACAT yazılımının geliştirilmesi aşamasında kullanılan prosedürler, BaSSy projesinin ve dolayısıyla “IWRAP MK II” çalışma başlığına sahip programın önemli bir parçasını oluşturur. BaSSy aracının özellikleri, IWRAP Mk2 (IALA Su Yolları Risk Değerlendirme Programı) programının devam eden gelişiminde de önemli unsurdur. BaSSy programı, Nordic BaSSy projesinde DTU ve Gatehouse tarafından geliştirilmiştir. Gracat yazılımı deniz trafiği verilerinden trafik dağılımı ve trafik yoğunluğu fonksiyonlarını çıkarmak için araçlar içerir. Bu araçlar IWRAP MK II programının bir parçası değildir, Gracat yazılımında vardır (Friis- Hansen, 2008: 3). Gemilerin karakteristikleri gemi tipi ve gemi boyutları, hızı vb. özellikleri dikkate alınarak tasarlanmıştır (Friis- Hansen, 2008: 3; Nyman, 2009: 9-10, URL-21).

#### **1.4.1.3. Marcs**

MARCS, gerçekleşen ciddi kazaların nedenlerinin analizine dayalıdır. Kaza frekanslarını (yıl, konuma göre gerçekleşme sayısı) tanımlı kaza tipi, gemi tipleri ve boyut kategorileri için seçili bölgelerde trafik özellikleri ve çevre koşullarına bağlı olarak hesaplar. Kıyı alanları ve açık deniz olarak kazalar incelendiğinde kaza sıklıkları kısıtlı sularda meydana gelen ciddi kazaları yansıtmaktadır. Kaza ihtimali kritik durum başına kaza ihtimali, hata ağaçlarından ya da toplu tarihsel istatistiklerden türetilmiştir (Nyman, 2009: 11-12).

#### **1.4.1.4. Shipcof**

Rambøll şirketi tarafından geliştirilen Shipcof yazılımı, karaya oturma ve çatışmaya aday olan gemilerin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. İnsan hatası, kritik karşılaşma durumu, tahrik ve dümen sistemi arızalarından kaynaklanan kaza tiplerine uygulanabilir. SHIPCOF, köprü-tünel birleşiminin risk analizinde kullanılmıştır. Modelle elde edilen çatışma ve karaya oturma frekansı tahminleri 1974-1993 yılları arasında gerçekleşen kaza istatistikleri ile oldukça uyumludur. Ancak, köprü-tünel su yolu dışında model kaza sıklığı gerçekçi değerleri yansıtmamaktadır (Karlson vd., 1998: 119; Nyman, 2009: 12).

#### **1.4.1.5. Martram**

Yoğun trafiğin olduğu, tıkalı alanlarda riskin analiz edilmesi için Haskoning tarafından oluşturulmuş bir risk analizi, modelleme aracıdır. Hong Kong Limanı'nda değişikliklerin etkisinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir, ancak farklı bölgelerde de uygulanabilir. Riskle ilişkili tehlikelerin seviyesini veya niteliğini değerlendirmek yerine, kazaların potansiyelini ve riski modellemek üzere tasarlanmıştır. MARTRAM, su yolu üzerinde bir dağılımı içerir. Her gemi, seyir kanalının merkezine sabit mesafededir. Bu mesafe su yolu üzerindeki gemilerden rastgele alınır. Model girilen gemi hızını %10'u etrafında koruduğu için de hız çeşitliliği vardır. Seyir emniyetinin bir ölçüsü olarak benzetim sürecinde karşılaşmalar dikkate alınmıştır. Dış çevre şartları modele dâhil edilmemiştir. Gemi türü, boyutları ve emniyetli alanları kullanılmıştır. Gemiler emniyetli alanın %5- %10'u oranında yaklaşırsa çatışmadan kaçınma davranışında bulunur. Rotasında değişim olmasa bile hızları azaltılır. Gemi etkileşimlerinde gerçekçi detaylar açısından tam olarak yeterli değildir (Boer, 2010: 23; Nyman, 2009: 13).

#### **1.4.1.6. Dymitri**

İngiliz Denizcilik Teknoloji Şirketi tarafından çatışma ve karaya oturma risklerini tanımlamak için oluşturulmuş deniz trafiği modelidir. Model otonom etmen

tabanlı benzetimdir. Bulanık yöntem ile insan faktörü eklenmiştir. Kaza riski, benzetim süresince kaçınma davranışını ve sayısı ile ilişkilidir. Gemiler modelde manevra yapabilir (Boer, 2010: 23).

Model çalışılacak bölge ile ilgili coğrafi bilgi sistemi formatında batimetri değerleri, rüzgâr, dalga, akıntı koşulları, trafik ağı (gemi dağılımı, hız, zamanlama, tip), ağ bağlantısı, gemi tipi ve boyutları için trafik yoğunluğu, yerel gelişmeler ve liman ekonomik temel bilgileri ve gelecek vaka senaryolarına yönelik tahminlerin hazırlanması, alan için kaza oranı (çatışma ve karaya oturma) bilgilerine ihtiyaç duyar. Bu bilgiler ile model, hücre başına karaya oturma/çatışma olayı olasılığı, gecikmeler ve diğer operasyonel verilerin çıktılarını sağlar. 2000 yılından bu yana, ağırlıklı olarak Asya'da artan trafik ve/ veya su yollarının azaltılması veya yeniden düzenlenmesi ile ilgili ile otuzdan fazla ticari çalışma gerçekleştirilmiştir (Nyman, 2009: 15).

Bu değerlendirme araçları üniversite (DTU), Hollanda Deniz Araştırma Enstitüsü (MARIN), denizcilik teknoloji, mühendislik şirketleri tarafından projelerle hazırlanmıştır. SAMSON tarihsel olarak ilk örneğidir, farklı kaza türlerine göre risk analizi yapabilir, ancak gemi hareketleri ve etkileşimleri yer almamıştır. SAMSON ve MARTRAM'da çevre şartları değerlendirmelerde yer almamaktadır. MARCS gerçekleşen kazaların analizi için kullanılmaktadır. İnsan hatası SHIPCOF ve DYMITRI de yer almaktadır. MARTRAM ve DYMITRI ayrıca deniz trafiği benzetim ortamı da sunmaktadır.

Bu araçlar, Avrupa Birliği Komisyonu yedinci çerçeve programı tarafından finanse edilen, deniz ulaştırmasında sürdürülebilir bir bilgi platformu oluşturması amaçlanan SKEMA (2009) projesi, kaza risk analizinde kullanılan modeller olarak yer almaktadır. Bu araçlara erişilebilirlikleri açısından baktığımızda sadece GRACAT'a Danimarka Teknik Üniversitesi (URL-21) Mekanik Mühendisliği'nden ücretsiz olarak ulaşılabilmektedir.

## **İKİNCİ BÖLÜM**

### **DENİZ TRAFİĞİ BENZETİMİ VE AKIMI**

#### **2.1. DENİZ TRAFİĞİ BENZETİMİ**

Bu bölümde modelleme ve benzetim kavramları, benzetim yaklaşımları, deniz trafiğinde yapılan benzetim ve modelleme çalışmaları, trafik akım teorisi ve etmen tabanlı modelleme ve benzetim konuları incelenmiştir.

##### **2.1.1. Modelleme ve Benzetim Kavramları**

Uluslararası Modelleme ve Benzetim Derneği (The Society for Modeling and Simulation International, SCS) 1952’ de California’da kurulmuş, kar amacı gütmeyen, gönüllülük esasına dayalı, dünyadaki problemleri çözmek için modelleme ve benzetim kullanımını geliştirmeye adanmış, ulusal ve uluslararası etkinlikler düzenleyen, “Simulation” ve “Journal of Defense Modeling and Simulation” dergilerinin düzenli olarak hazırlanmasını sağlayan teknik bir topluluktur (URL-22). 1970’lerden beri, benzetimin model tabanlı olduğu bilinmektedir. "Modelleme ve Benzetim, M & S" terimi uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Sadece modelleme kavramının kullanılması yanlış olarak kabul edilmektedir (Öner, 2011: 145). SCS topluluğu tarafından, Modelleme ve Benzetim (Modeling and Simulation, M&S) olarak birlikte kullanılmakta ve çalışmalarında M&S disiplini olarak yer almaktadır.

Modelleme, bir model üretme sürecidir; bir model, kurulan ve üzerinde çalışılan sistemin bir temsilidir, model temsil ettiği sisteme benzer ancak sistemin kendisine göre daha sadedir. Bir sistemin benzetimi, sistemin modelinin çalışmasıdır. Başka bir ifadeyle benzetim, gerçek veya teorik bir sistemin davranışını ve performansını incelemek için bir model kullanma işlemidir. Modelin çalışması incelenebilir ve böylece, gerçek sistemin veya alt sisteminin davranışıyla ilgili özellikler çıkarılabilir (Maria, 1997: 7- 8). Modeller yapının veya sistemin temsili iken benzetimler belirli girdileri olan modellerdir (Sokolowski ve Banks, 2009: 23). Modelleme ve benzetim arasındaki ilişkiyi şu şekilde özetleyebiliriz: Modelleme ile

sistemin fotoğrafı çekilir, benzetimde modelin mevcut ve yeni şartlara göre davranışı tespit edilir (URL-23).

Model, gerçek (bir vaka çalışması) veya kurgulanmış olayların temsidir. Model, gerçek bir sistemin temsili olabilir veya sistemin belirli bir yönünü daha iyi anlamak için gerçeğin yerine kullanılan bir temsili olabilir (Sokolowski ve Banks, 2009: 4). Model, gerçek bir sistemin anlamlı olarak temsil edilmesidir.

Günlük hayatımızda modeller kurarız, ancak bu modeller oldukça detaylıdır. Modellemenin anahtarı, gerçek sistemin sadeleştirilmesi (abstraction, soyutlama) ve genelleştirilmesidir. Birçok problem için model oluşturulurken problemi kontrol eden çok sayıda değişkenden sadece bir kısmına yoğunlaşırız (Thiele vd., 2011: 2). Model kurarken genelde çok karmaşık olan gerçek sistemi belirli kabuller ile sadeleştirip soyutlayarak problemi üzerinde çalışmamızı kolaylaştırırız (Ayvaz vd., 2017: 3).

Modeller, bir sistem ya da sistem sınıfına ait soruları çözmek, cevaplamak için kurulur. Model orijinal sistemin belirli kısımlarının soyutlanarak, sadeleştirerek sistemin amaca yönelik olarak tanımlanmasıdır. Gerçek sistemler genellikle fazlasıyla karmaşıktır, üzerinde deneyler düzenlenip analiz edilmesi uzun zaman alabilir. Sistemin sadeleştirilmiş temsili denklemler veya deney yapabildiğimiz bir bilgisayar programı ile formülleştiririz başka bir deyişle varsayımlarını ve algoritmasını tasarlarız (Railsback ve Grimm, 2012: 4; Siegfried, 2014: 12).

Modelin gerçeği temsili ve model kurulurken yapılan sadeleştirme ölçülü, dengeli olmalıdır (Maria, 1997: 7). Benzetim yaparken gerçek problemi temsil kabiliyeti çok sınırlı basit bir model olmaması ya da problemi tüm karmaşıklığı ile yansıtan ancak kavraması, kurması ve çözmesi zor bir model olmaması konusuna dikkat edilmelidir. Sade ama işe yarar modelde, denge gereklidir (Ayvaz vd., 2017: 13).

Modellemenin amacı, gerçek bir yapıyı, sistemi oluşturmada, inşa etmeden sistemin anlaşılmasına, tasarlanmasına, çalışmasına, analizine ve kontrolüne yardımcı olmaktır (Sokolowski, 2009: 6). Bilimde genellikle gözlemlenen kalıpları açıklamak, anlamak, sistem üzerinde yapılan değişikliklere karşı sistemin davranışı anlaşılacak istenir. Gerçek sistemler genellikle karmaşıktır, deneyler kullanılarak analiz edilmesi oldukça uzun zaman gerektirir. Bu nedenlerle, modeller kullanarak sistemin sadeleştirilmiş bir temsili, denklemler veya bilgisayar programları aracılığıyla ile

üzerinde birçok işlem ve deneyler yapılabilir şekilde tasarlanır (Railsback ve Grimm, 2012: 4-5).

Modeller farklı biçimlerde sınıflandırılabilir (Altıok ve Melamed, 2007: 3; Özbek ve Öztürk, 2004: 5-6).

- Sözlü Modeller,
- Maket Modeller,
- Şematik Modeller
- Matematiksel veya Analitik Modeller (Doğrusal, Doğrusal Olmayan ),
- Bilgisayar Modelleri.

Orijinal sistemi temsil etmek için amaca bağlı olarak, çok farklı tipte modeller uygun olabilmektedir. Model kurulduktan sonra matematiksel çözümlerden bilgisayar benzetimlerine kadar farklı teknikler kullanılarak sistem araştırılabilir veya analiz edilebilir. Bir modeli çözmek için seçilen tekniğe bağlı olarak, modelin daha özgün terimlerle ifade edilmesi yaygındır. Benzetim teknikleri kullanılarak çözülen bir model için “benzetim modeli” kullanılır (Siegfried, 2014: 12).

Benzetim, gerçek bir sistem üzerinde doğrudan çalışmak mümkün olmadığında kullanılır. Sadece doğrudan sistem üzerinde çalışmanın değil ayrıca, aşağıdaki durumlar, benzetime yönelten koşullara örnek olarak verilebilir (Ayvaz vd., 2017: 3; Ören, 2006: 144; Sokolowski ve Banks, 2009: 6):

- Gerçek sistem erişilebilir olmayabilir.
- Gerçek sistem ile uğraşmak, sistemi kullanmak tehlikeli olabilir.
- Sistemi kullanmak kabul edilemez olabilir.
- Sistem mevcut olmayabilir, yeni bir sistem kurulacaktır
- Gerçek sistem üzerinde çalışılmayacak kadar karmaşıktır.
- Mevcut sistem üzerinde hedeflenen çalışmayı yapmak, ölçmek ve değerlendirmek fiziksel olarak mümkün olmayabilir
- Gerçek sistem üzerinde çalışmak maliyetli olabilir, çok zaman harcamak gerekebilir.

Kelton tarafından benzetim, sistemlerin yazılımlar yardımıyla modellenmesi, sistemin karakterini tanımlamaya ve sistemin performansını ölçmeye yarayan bir araç olarak tanımlanmıştır (Kelton vd., 2003: 7). Benzetim, sistemin davranışını anlamak veya sistemin işlemesi için göz önüne alınan değişik stratejileri değerlendirmek amacıyla yönelik olarak, gerçek sistem modelinin tasarımı ve bu model ile deneylerin yürütülmesi süreci olarak tanımlanabilir (Shannon, 1992: 65). Benzetim ile ilgili tanımlarda “bir bilgisayar veya yazılım aracılığı ile yapılan benzetimler” olarak ifade edilmiştir. Bilgisayar benzetimi olarak belirtildiği çalışmalar da bulunmaktadır.

Gerçek sistem üzerinde çalışabilmek için bir bilgisayar, gerçek dünyada var olan çeşitli yapı veya süreçlerin, operasyonlarını taklit edecektir (Sokolowski ve Banks, 2009: 6). Dar bir bakış açısıyla bilgisayar benzetimi, analitik olarak çözülemeyen modellerin davranışlarını açıklamak için basamak basamak çalışan bir algoritmadır. Benzetimi bir ifadeyle bir model seçme, modellemeye çalıştığı hedef sistem hakkında çıkarımlar yapmak için bilgisayarda bir araç ile uygulamanın bir yolunu bulma, algoritmanın çıktılarını alma sürecinin tamamını inceleyen kapsamlı bir yöntem olarak düşünebiliriz (Winsberg, 2009: 835-836). Bir bilgisayar benzetimi, modellenen sistemin davranışını anlamak için kullanılan algoritmalar ve denklemlerden oluşmaktadır. Sisteme ait faaliyetler ve süreçler dikkate alınarak modellenmesi geliştirildikten sonra üzerinde deneyler gerçekleştirilebilir (Railsback ve Grimm, 2012: 4). Modelleme ve benzetim, gerçek veya teorik bir sisteme uygun olarak modelin tasarımının ya da bilgisayar benzetiminin geliştirilmesi ile başlar, sonra modelin bilgisayarda çalıştırılması ve çıktıların değerlendirilmesi olarak tamamlanır (Sokolowski ve Banks, 2009: 5).

Benzetimin kullanıldığı alanlar kuyruk sistemleri, üretim sistemleri, stok yönetimi, otomotiv, robotik, elektronik, haberleşme, risk analizi, sigorta, savunma sistemleri, karayolu, havayolu, denizyolu, demiryolu ulaştırma endüstrileri gibi çeşitli alanlarda gerçek problemi modellemek ve çözmek için benzetim yazılımları kullanılmaktadır (Ayvaz vd., 2017: 13).

Bilgisayar benzetimlerinin ulaştırma sistemlerinde geniş bir kullanım alanı vardır (Pidd, 2004: 6). Benzetim, liman, havaalanı ve demiryolu operasyonları, talep modelleme, etkileşimler dâhil olmak üzere ulaştırma sistemin çeşitli yönlerini incelemek için kullanılır. Bilgisayar benzetimi modellerinin kullanımı özellikle

ulaştırma uygulayıcıları ve araştırmacılar arasında yaygınlaşmıştır. Bu tür modeller, çevre, araç ve aracı sevk ve idare eden kullanıcı arasındaki etkileşimleri dikkate alarak trafik birimlerinin benzetim ağı boyunca hareketini çoğaltır. Benzetim ulaşım sistemleri için analitik teknikler uygulanamadığı ya da mevcut olmadığı durumlarda alternatif çözümlerin değerlendirilmesinde çok yardımcı olabilir (Elefteriadou, 2004: 137).

Benzetim çalışmaları için çeşitli araçlar, programlar kullanılabilir (Ayvaz vd., 2017: 8):

- Genel Amaçlı Dillerle Programlama (C, C++, Pascal, Fortran)
- Benzetim Dilleri ile Hazırlamak (SIMAN, GPSS, SLAM)
- Excel ve Matlab paket programlarının kullanılması,
- Yüksek Seviye benzetim yazılımları (GUI- Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Tabanlı Arena, Automod, Promodel, FlexSim gibi paketler).

### **2.1.2. Benzetim Modellerinin Sınıflandırılması**

Kullanım amaçlarına göre benzetimde kullanılan modelleri iki ana grupta inceleyebiliriz: Deneyim amaçlı benzetim ve deney amaçlı benzetim.

Deneyim amaçlı benzetim; öğretim eğitim amaçlı kullanılan, karar verme ve iletişim yeteneklerinin geliştirilmesi, sanal benzetim (simülatör- öğrenim, ortam benzetici) ile fiziksel yetenek geliştirilmesi, canlı benzetim ile gerçek yaşama benzer deneyim sunan etkileşimli benzetimlerdir (Ören, 2006: 145). Köprüüstü, uçak öğrenim benzetici ile öğrenme sürecine odaklanılarak, sonuçlarına katlanmadan deneyimleme fırsatı, tutum ve beceri kazanmak mümkün olmaktadır.

Deney amaçlı olarak sistem tasarımı, sistem denetimi, eniyileme, eğitim, eğlence, anlama, karar desteği için kullanılır. Karar destek açısından davranışı gözlemlene, performansı ölçmek, alternatiflerin değerlendirilmesi, duyarlılık analizi, mühendislik tasarımlarının değerlendirilmesi, görsel prototipleme, test etme, planlama yer alır. (Ören, 2011:144)

Benzetim modelleri zamana bağlı olarak, modeldeki bileşenlerin rastgelelik içerip içermemesi ve sistemin durumunun belirli olaylara göre değişip değişmemesine bağlı olarak farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

### **2.1.2.1. Statik ve Dinamik Benzetim Modelleri**

Statik bir benzetim modeli, bir sistemin zamanın belirli bir noktasında temsilidir (Winston ve Goldberg, 2004: 1147). Gerçek sistemde zaman rol oynamadığında kullanılır. Örneğin, bir köprünün modeli zamana bağlı değildir (Laguna ve Marklund, 2019: 259). Statik bir modelde, sistemin özellikleri zamana göre değişmemektedir. Geminin köprüüstü ergonomisinin tasarlanması bir statik benzetim modellemesidir.

Dinamik sistemlerde ise sistem özellikleri zamana göre değişmektedir. Statik benzetimlere örnek olarak Monte Carlo modelleri verilebilir. Diğer yandan, dinamik bir benzetim modeli, bir sistemi zaman içinde geliştikçe temsil etmektedir. Fabrikadaki bir konveyör sistemi örnek olarak verilebilir (Law ve Kelton, 1991: 6, Ayvaz vd., 2017: 9). Geminin seyir sırasında tekne üzerine etkiyen kuvvetlerin analiz edilmesinde zaman önemli bir bileşendir, dinamik benzetim modellemesine bir örnektir.

### **2.1.2.2. Stokastik ve Deterministik Benzetim Modelleri**

Stokastik bir modelde, birçok sistem en azından birkaç rastgele girdi bileşene sahip olacak şekilde modellenmelidir ve bunlar stokastik benzetim modellerini meydana getirmektedir. Modelde rastgele bileşenler (parametreler ve değişkenler) yer alıyorsa sistem stokastiktir. Çoğu kuyruk ve envanter sistemi stokastik olarak modellenir (Ayvaz vd., 2017: 12; Law ve Kelton, 1991: 6). Gemilerin limana gelişi, rıhtıma yanaşması gibi gemi hareketleri için stokastik

Deterministik bir modelde, girdiler bilindikten sonra çıktılar tamamen belirlidir. Örneğin; bir boru şebekesinin su basıncını hesaplayan bir bilgisayar modelini ele alacak olursak, tasarımcı tüm boru parçaları için boru çaplarını seçtiğinde basınç bilinir hale gelecektir (Laguna ve Marklund, 2019: 259).

### 2.1.2.3. Kesikli ve Sürekli Benzetim Modelleri

Kesikli bir sistem, durum değişkenlerinin yalnızca zaman içinde ayırık veya sayılabilir noktalarda değiştiği sistemdir. Durum değişkenleri yalnızca bir müşteri geldiğinde veya bir müşterinin hizmet alımı bittiğinde ve ayrıldığında değiştiği için, bir banka, kesikli bir sisteme örnek olarak verilebilir. Bu değişiklikler zaman içinde farklı noktalarda gerçekleşir (Winston ve Goldberg, 2004: 1146). Kesikli bir model, bireysel birimlerin (yani sistemin geçici varlıklarının) önemli olduğunu dikkate almaktadır. Çoğu üretim, hizmet ve iş süreçleri kesiklidir (Laguna ve Marklund, 2019: 259). Belirli bir alanda demirde bekleyen, limanda hizmet için bekleyen gemi sayısının incelendiği model, kesikli benzetim modeline örnek olarak verilebilir.

Sürekli bir sistem, durum değişkenlerinin zamanla sürekli değiştiği sistemdir. Kimyasal bir işlem örnek olarak verilebilir. Burada, sistemin durumu zaman içinde sürekli değişmektedir. Bu tür sistemler genellikle diferansiyel denklemler kullanılarak modellenir (Winston ve Goldberg, 2004: 1146). Kimyasal tankerin yükleme-boşaltma işlemlerindeki sıvı miktarının zamana bağlı incelendiği modeller, sürekli benzetim modelleridir.

### 2.1.3. Modelleme ve Benzetim Yaklaşımları

Modelleme ve benzetim disiplininde temel yaklaşımlar; Kesikli Olay Benzetimi (Discrete- Event Simulation, DES), Sistem Dinamikleri (System Dynamics, SD), Etmen Temelli Modelleme (Agent-based Modelling, ABM) 3 temel yaklaşım olarak belirtilmiştir (Maidstone, 2012; Pidd, 2004: 27). Modelleme ve Benzetim ile ilgili çalışan endüstride ve akademide çalışanlarla yapılan bir ankette kullanılan yöntemler için gelen yanıtlarda % 24.5 etmen temelli modelleme, % 20.96 kesikli olay benzetimi, % 11.98 sistem dinamikleri, % 14.97 si ise hibrit, bu yaklaşımları birlikte kullandıklarını belirtmişlerdir. Diğer yaklaşımlar sayısal modeller, monte carlo ve yapısal eşitlik modelleridir ve katılımcıların %9.58 model kurmadıklarını belirtmişlerdir (Padilla vd., 2018: 495).

Genel olarak modern benzetim araçlarının çoğu kesikli olay benzetimi bakış açısı uygular (Altıok ve Melamed, 2007: 11). Genellikle, kesikli olay benzetimlerinin

çoğu bir tür kuyruk sistemini içerir. Kesikli olay benzetiminde modelde kullanılan terimler; varlıklar, nitelikler, aktiviteler, olaylar, durumlar ve benzetim zamanı olarak belirtilir. Varlıklar sisteme girer ve sistemden ayrılmadan bazı değişikliklere, durumlara uğrar (Pidd, 2004: 80-81).

Sistem Dinamikleri, dinamik (aktif) sistemlerde nesneler arasındaki etkileşimlerin benzetimiyle ilgilenir. Sistemi oluşturan değişkenler arasında geri bildirim döngüleri ve gecikmeler, bu yaklaşımı diğerlerinden ayıran özellikleridir. Sistem Dinamikleri, modelde stoklar, akışlar ve birbiri ile bağlantılı olan yardımcı değişkenleri içerir. Yönetim, politika, ekonomik davranış, mühendislik ve diğer birçok alanda sistemlerin davranışlarını analiz etmek için teori, yöntem ve felsefeyi birleştirir (Sokolowski ve Banks, 2009: 34; Sterman, 2000: 12).

Etmen tabanlı modelleme, geleneksel sınırların ötesine uzanan bir modelleme yöntemidir, dinamik modellerdir. Analiz edilen birimler yani etmenler aralarındaki eylemler ve etkileşimleri taklit edebilir. Etmenler benzetim süresince bir dizi eylemi ve etkileşimleri gerçekleştirir. Buradaki önemli fikir, bir dizi kural veya yönlendirmeleri takip ederek kendi başına önceden tanımlanmamış karmaşık bir sistem oluşturabilir. Etmen tabanlı modellemenin ana fikri, dünyadaki birçok olayın, etmen, çevre ve etmen-etmen ve etmen-çevre etkileşimlerinin tanımı ile etkin bir şekilde modellenebileceğidir (Sokolowski ve Banks, 2009:63-64; Wilensky ve Rand, 2015: 32).

#### **2.1.4. Deniz Trafiği Modelleme ve Benzetimi ile İlgili Çalışmalar**

Gemi davranışları insan, gemi ve çevresi gibi birçok koşuldan etkilenmektedir. Gemi davranışını matematik modeller ile tanımlamak zordur ve gerçek gemiler ile deniz trafiği koşullarını üreterek deney yapılması emniyet, maliyet ve uygulanabilirliği açısından oldukça zordur. Bu nedenlerle araştırmacılar gemi davranışları için benzetim modellerine yönelmişlerdir (Xu ve Wu, 2020: 1). Bilgisayar benzetimi, deniz trafiği planlama ve yönetim araçlarının yanı sıra, verimlilik ve kapasiteyi değerlendirmek için kanıtlanmış bir yaklaşımdır. Aynı zamanda, büyük ölçekli bir deniz trafik sistemi için gemilerin davranışlarını esasen taklit eden benzetim modelleri geliştirmek de zordur (Huang, 2013: 295). Analitik tekniklerin bulunmaması, planlamaya ihtiyaç duyulması,

sistemin henüz kurulmamış olması, sistemin üzerinde deneyler yapmanın maliyetli ya da mümkün olmaması gibi nedenlerle deniz trafiği ile ilgili çalışmalarda modelleme ve benzetim yöntemi tercih edilmektedir. Tablo 4’de modelleme ve benzetim yöntemi kullanılan deniz trafiği ile ilgili bilimsel çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 4:** Deniz Trafikinde Modelleme ve Benzetim ile Hazırlanmış Bilimsel Çalışmalar

| Çalışma                       | Yöntem                         | Katkı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Braem, 1974                   | Genel amaçlı benzetim, Fortran | Rosario Boğazı’nda deniz trafiği akımı için optimal rota ve zamanlama belirlemede nicel bir araç olarak kullanılabilecek bir benzetim modeli geliştirilmesi                                                                                                                                                               |
| Numano vd., 2001              | Benzetim, Çok etmenli          | Tokyo Körfezi’nde yapılan gözlemler ile çoklu bilgisayar ortamında konuşma iletişimine dayalı seyir destek sistemi, görsel deniz trafiği benzetimi geliştirilmesi (SEATRAS)                                                                                                                                               |
| Park vd., 2002                | Risk analizi, Çevresel stres   | Değerlendirilmesi zor olan liman ve su yollarının emniyet yönetimi için çevresel stres modeli geliştirilmesi                                                                                                                                                                                                              |
| Hasegawa vd., 2003            | Yapay sinir ağları             | Otomatik çatışmadan kaçınma ve otomatik rıhtıma yanaşma verilerinin oluşturulması için bir öneri geliştirilmiş                                                                                                                                                                                                            |
| Itoh vd., 2003                | Benzetim, C++                  | Tokyo Körfezi’nde, çekirdek algoritması, yapısı deniz trafik ortam benzeticisi SEATRAS’ta oluşturulan, çatışma tehlikesi olan bölgeleri her bir hedef için çarpışma risklerini uygulanabilir kaçınma manevralarını belirlemek için gemiadamları ve VTS operatörlerine yardımcı görsel seyir destek sistemi geliştirilmesi |
| Köse vd., 2003                | Benzetim, Awesim               | İstanbul Boğazı deniz trafiği koşullarında bekleme oranları vb. değişkenler ile olası durumları senaryolar ile incelenmesi                                                                                                                                                                                                |
| Merrick vd., 2003             | Benzetim                       | San Francisco Körfezi’nde birbirleriyle etkileşimde olabilecek feribot sayısının tahmin edilmesi, olası senaryolara göre etkileşimlerin karşılaştırılmasının coğrafi olarak gösterilmesi                                                                                                                                  |
| Pachakis ve Kiremidjian, 2003 | Benzetim                       | Limanlarda gemi trafiğinin modellenmesinde ve konteyner limanının kalibrasyonunda zaman verimliliği ve doğruluğunun sağlanmasında rehber olabilecek kapsamlı istatistiksel tabanlı bir yöntem sunulması, algoritma geliştirilmesi                                                                                         |
| Fossen ve Perez 2004          | Benzetim, matlab               | Deniz araçlarına rehber olması ve araçlarının kontrol edilmesi için gemi hidrodinamiğini içeren (GNC) destek aracı, MATLAB kütüphanesi oluşturulması                                                                                                                                                                      |
| İnce ve Topuz, 2006           | Benzetim                       | Gemi manevra ve gemi trafik akım benzetim modelleri ve hidrografik tahmin modeli tanımlanması, GETSIM trafik ortam benzeticisinin oluşturulması ve İstanbul Boğazı’nda farklı trafik ve çevre koşulları altında benzetim denemelerinin gerçekleştirilmesi                                                                 |
| Almaz vd., 2006               | Benzetim, Arena                | İstanbul Boğazı’nda transit trafik için bütünlük, çevre ve meteorolojik koşulların yer aldığı ayrıntılı bir benzetim modeli geliştirilmesi                                                                                                                                                                                |

**Tablo 4:** Deniz Trafiklerinde Modelleme ve Benzetim ile Hazırlanmış Bilimsel Çalışmalar (devam)

| Çalışma              | Yöntem                                               | Katkı                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bourdon vd., 2007    | Benzetim, Matrics                                    | Açık denizde ticari deniz taşımacılığı faaliyetlerini modelleyen, gemi yoğunlukları gösteren, gerçekleşmiş gemi izlerini otonom olarak tekrar üretebilen, bir benzetim geliştirilmesi                                            |
| Cortes vd., 2007     | Benzetim, Arena                                      | Sevilla Limanı'nda nehir boyunca doklardan geçişinden yüklerin limandan ayrılana kadar süreci farklı yük türleri için gelecekte yük akımında artışa göre liman yönetimine önerilerde bulunması                                   |
| Kabal, 2007          | Risk analizi, Çevresel stres                         | Emniyetli manevraya etki eden gerilimlerin ortaya çıkarılması, hangi liman yapısının manevralar açısından daha emniyetli olabileceğinin tespit edilmesi                                                                          |
| Liu vd., 2007        | Benzetim, VC ++                                      | Gemi davranışını inanç-arzu-niyet (BDI) mimarisi kullanarak yapay zeka kullanan bir yazılım modeli oluşturulmuş, hız, rota, konum bilgilerine erişebilen ve bu sistemde çatışmadan kaçınma davranışı için senaryo geliştirilmesi |
| Puszczyk vd., 2008   | Matematiksel model, istatistiksel analiz             | Güney Baltık'ta seçili bölgelerde gemi trafik akımını tanımlayabilecek istatistiksel modelin analizinin yapılması, günün ve yılın farklı zamanlarına göre yoğunlukların belirlenmesi                                             |
| Ulusçu vd., 2009     | Matematiksel model, risk analizi                     | İstanbul Boğazı'nda uzman görüşüne dayalı emniyet risk analizinin yapılması ve sonucunda emniyeti etkileyen etkenlerin belirlenmesi: yerel trafik yoğunluğu, kılavuzluk hizmeti vb.                                              |
| Yazıcı ve Otay, 2009 | Benzetim, matlab                                     | Dar kanallarda karar destek sistemi (GNC) olarak kullanılabilir modelin geliştirilmesi, İstanbul Boğazı'nda test edilmesi                                                                                                        |
| Çamcı vd., 2009      | Benzetim, Automod                                    | İstanbul Boğazı için farklı yönetim stratejilerinin uygulanması ve deniz trafiğini etkileyen olası parametrelerdeki değişimin etkisini gözlemlemeye imkân veren model geliştirilmesi                                             |
| Boer 2010            | Benzetim, Matlab                                     | Rotterdam Limanında konteyner gemileri için deniz trafiği benzetim programları (Samson, HarbourSim, Martram and Dymitri) karşılaştırması, limanda gemi davranışlarını ve çevre koşullarını yansıtan model geliştirilmesi         |
| Bayar 2010           | Bulanık mantık ve hata türleri etki analizi          | İstanbul Boğaz trafiğinin halk için oluşturduğu riskler, bu risklerin oluşturacağı sonuçlar ve bu güne kadar yaşanmış kazalardan yola çıkarak gereken nedenler belirlenmesi                                                      |
| Liu vd., 2010        | Hücreli otomata                                      | Liman ve su yolunun özellikleri ve gemi gelişlerine göre farklı gemi sınıfları, emniyet mesafesi ve rıhtımların hizmet seviyesi dikkate alınarak Tek yönlü trafik akımı olduğunda geçerli benzetim modelini geliştirilmesi       |
| Montewka vd., 2010   | İstatistiksel analiz, monte carlo, genetik algoritma | Risk analizi sürecinin önemli bir parçası olan çatışma olasılığı tahmin modeli için yeni bir geometrik yaklaşım sunması, Finlandiya Körfezi'ndeki veriler ile model uyumlu                                                       |

**Tablo 4:** Deniz Trafikinde Modelleme ve Benzetim ile Hazırlanmış Bilimsel Çalışmalar (devam)

| Çalışma                            | Yöntem                            | Katkı                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| van de Ruit vd., 2010              | Benzetim, Prosim                  | Gemiler arasındaki etkileşimi tanımlayabilen bir modeli geliştirilmiş, Rotterdam Limanı'na gelen gemilerin kaç tanesinin gecikeceği, gecikmelerin ne kadar süreceği ve hangi noktada bir darboğaz oluşacağını belirlenmesi                |
| Goerlandt ve Kujala, 2011          | İstatistiksel analiz, Monte carlo | Finlandiya Körfezi'nde alınan verilerle vaka çalışması, çatışma olasılığı için önerilen yöntem geliştirilmesi, beklenen kaza sayısını, gerçekleşme olasılığı en yüksek olan yerleri ve zamanı belirleme yeteneğine sahip model önerilmesi |
| Montewka vd., 2011                 | İstatistiksel analiz, Monte carlo | İstenilen bölgede farklı gemi tipleri için karaya oturma ve çatışma olasılığı modellemesi için iki yeni risk modellemesi önerilmesi, Finlandiya Körfezi'nde iki ayrı bölgede vaka çalışması                                               |
| Özlem 2011                         | Benzetim, Arena                   | İstanbul Boğazı ile ilgili düzenlemeler ve meteorolojik şartlar altında mevcut gemi trafik akımını benzetmek için bir model kurulmuş, gemi geliş oranının en büyük öneme sahip olduğu sonucuna varılmıştır.                               |
| Altıok vd., 2012                   | Benzetim Arena                    | Delaware Nehri ana kanalında deniz trafiği modeli geliştirilmesi, derinliğin liman performansına etkisinin analizi, deniz trafiğinde kesintiye sebep olacak model tabanlı risk analizinin geliştirilmesi                                  |
| Almaz ve Altıok vd., 2012          | Benzetim Arena                    | Delaware Nehri ve Körfezi'nde deniz trafiğinin artışı, gemi boyutlarındaki artış ve derinliğin artmasıyla oluşabilecek durumlar için karar destek benzetiminin geliştirilmesi                                                             |
| Blokus-Roskawska ve Smolarek, 2013 | Hücrel otomata                    | Deniz trafiği düzenlenmesi ve optimizasyonunda kullanılabilir, çatışma olasılığına odaklanmış bir benzetim geliştirilmesi                                                                                                                 |
| Feng, 2013                         | Hücrel otomata                    | Deniz trafiğinde bir nedenle su yolunun kapanması durumunda gemilerin şerit değiştirmesi gerektiğinde Entegre Köprü Sistemi'ni dikkate alan yeni bir NaSch gemi trafik modeli önerilmesi                                                  |
| Huang vd., 2013                    | Benzetim                          | Ana limanlar için su yolu ağları için kapasite değerlendirme aracı geliştirilmesi                                                                                                                                                         |
| Rayo, 2013                         | Benzetim, harboursim, Matlab      | Kanal genişliğinin tasarımı ve değerlendirmesi için Taman Limanı'nda uygulanan benzetim modeli geliştirilmesi,                                                                                                                            |
| Yip, 2013                          | Matematiksel model                | Klasik trafik akım teorileri aracılığıyla deniz trafiği akımını incelemek için akıntı ve gemi alanı bileşenlerinin yer aldığı bir model geliştirilmesi                                                                                    |
| Piccoli, 2014                      | Benzetim Flexim                   | Jebel Dhanna Limanı'nın gelecekte artan deniz trafiği nedeniyle darboğazlarının tanımlanması ve liman performansı için önerilerin geliştirilmesi                                                                                          |
| Wen vd., 2015                      | Vaka analizi                      | Farklı trafik durumlarını göstermede etkili olan karmaşıklık modeli geliştirilmesi, Shenzhen West Denizi'ndeki veriler ile deniz trafiğinin karmaşıklığın mekânsal dağılımı haritası oluşturulması                                        |

**Tablo 4:** Deniz Trafikinde Modelleme ve Benzetim ile Hazırlanmış Bilimsel Çalışmalar (devam)

| Çalışma             | Yöntem                | Katkı                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hang vd., 2015      | Benzetim Arena        | Three Gorges bölgesinin trafik akım istatistiklerine göre gemi davranışlarını gösteren, sonuçları karar vericiler açısından önemli bir benzetim modeli geliştirilmesi                                                              |
| Huang vd., 2016     | Benzetim              | Büyük bir aktarma limanı için karmaşık deniz trafiğinin olduğu, gemi etkileşimin olduğu deniz trafiği benzetim sistemi geliştirilmesi                                                                                              |
| Altan, 2017         | Modelleme             | Istanbul Boğazı'na uygulanan çalışma ile dar su yollarında kullanılabilecek geometrik çatışma olasılığı modeli geliştirilmesi                                                                                                      |
| Fışkın, 2019        | En iyileme            | Otonom gemilerin genetik algoritma ve bulanık mantık çatışmadan kaçınma rotasının en iyileştirilmesi                                                                                                                               |
| Xiao vd., 2019      | Benzetim, Java        | Otonom gemilerin geliştirilmesiyle ortaya çıkan ihtiyaçları karşılamak için otonom denizcilik stratejileri değerlendirmesi, rota planlaması ve durumsal farkındalık açısından otonom denizcilik prototip sisteminin geliştirilmesi |
| Zhao vd., 2019      | Benzetim, Anylogic    | Coğrafi bilgi sistemi tabanlı akıllı algoritmalar ve gemi alanı modeli ile gemi karşılaşmaları ve bölgesel trafik yoğunluğunu değerlendirmek için kullanılması, tasarlanan simülator tabanlı metotun Bohai Denizi'nde uygulaması   |
| Zhou vd., 2019      | Alanyazın çalışması   | Gemi hareketlerinin modellenmesi açısından deniz trafik modellerinin, modelleme prensipleri açısından incelenmesi                                                                                                                  |
| Pedrielli vd., 2020 | Benzetim, matlab, C++ | Emniyetli Deniz Trafik Asistanı gerçek zamanlı çatışmadan kaçınma için rota öneren bir yörünge planlama ve kontrol sisteminin geliştirilmesi, önerilmesi,                                                                          |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Dili Çince olan çalışmalardan Zhu ve Zhang (2009) deniz aracı-takip modellerini Çin'de su yollarının kapasitesini hesaplamak ve trafiğin benzetimini yapmak, içsu yollarında transit kapasiteyi hesaplamak için araç takip modeli kullanmışlardır. He vd., (2012) gemi takip modeli geliştirmiş ve deniz trafiği benzetimi için daha uygun hale getirmişlerdir (Aktaran Huang vd., 2019: 2).

Tablo 4'te deniz trafiğinde modelleme ve benzetim ile hazırlanmış bilimsel çalışmalar yer almaktadır. İlgili çalışmalar incelendiğinde, çatışma modelleri çatışmadan kaçınma ya da kaçınma rotalarının önerildiği, (Hasegawa vd., 2003; Liu vd., 2007; Goerlandt ve Kujala, 2011; Montewka vd., 2011; Altan, 2017; Fışkın, 2019; Pedrielli vd., 2020); gemi trafiği benzetimi oluşturulduğu (İnce ve Topuz, 2006; Zhao vd., 2019), deniz trafiği ortam benzetici için görsel seyir destek sistemi geliştirilmesi (Numano vd., 2001; Itoh vd., 2003); körfez, boğaz gibi trafik yoğunluğunun bulunduğu alanlarında olası (what-if) senaryolar ile gelecek deniz trafiği ile ilgili

benzetimlerin yapıldığı (Braem, 1974; Köse vd.,2003; Merrick vd., 2003; Almaz vd., 2006; Çamcı vd., 2009; Altıok vd., 2012b; Feng, 2013); limanlar, nehirler, kanallar gibi kısıtlı su alanlarında gemi trafiğinin modellenmesi (Pachakis ve Kiremidjian, 2003; Boer, 2010, Liu vd.,2010, Almaz vd., 2012a; Huang vd., 2013; Rayo, 2013) ve gemiler arası etkileşimin dikkate alındığı trafik modelleri (van de Ruit vd., 2010; Goerlandt ve Kujala, 2011; Montewka vd.,2011, Blokus-Roskawska ve Smolarek, 2013); liman yönetimine, karar vericilere önerilerin sunulduğu (Cortes vd., 2007; Piccoli, 2014; Hang vd., 2015; Xu vd., 2015) benzetim modelleri; gemi hidrodinamiğinin dikkate alındığı karar destek sistemleri (Fossen ve Perez, 2004; Yazıcı ve Otay, 2009); otonom gemiler için denizcilik prototip sistemleri geliştirilmesi (Xiao vd.,2019); gemi davranışlarının yer aldığı alan taraması (Zhou vd.,2019); deniz trafiği karmaşıklığı (Wen vd.,2015), açık denizde taşımacılık faaliyetlerini ve gemi yoğunluğu gösteren benzetim (Bourdon, 2007) konularında çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Farklı amaçlarla gerçekleştirilen çalışmalarda zorlu seyir bölgelerinden olan İstanbul Boğazı birçok çalışmada yer almıştır. İstanbul Boğazı'ndaki çalışmalarda kullanılan programlardan Awesim ile (Köse vd., 2003), Arena ile (Almaz vd., 2006), Automod ile (Çamcı vd., 2009), Matlab ile (Yazıcı ve Otay, 2009) gerçekleştirilmiştir.

Rotterdam Limanı'nda yapılan çalışmalarda Prosim (van de Ruit vd., 2010), Matlab (Boer, 2010), Sevilla Limanı'nda Arena ile (Cortes vd., 2007) modellenmiştir. Finlandiya Körfezi'ne yapılan çalışmalarda (Montewka vd., 2010, Goertland ve Kujala, 2011; Montewka vd., 2010), Wuhan'da yapılan çalışmada (Xu vd., 2015) Monte Carlo yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, HarbourSim (Rayo, 2013) ve Flexim (Piccoli, 2014) programları da kullanılmıştır. Bu çalışmalarda yaklaşım olarak kesikli olay benzetimi kullanılmıştır.

Karayolu ulaştırmasında da tercih edilen yöntemlerden, etmen tabanlı modellemenin özel bir hali hücresele otomaton/otomata yöntemi (Liu vd., 2010; Blokus-Roskawska ve Smolarek, 2013; Feng, 2013) çalışmalarda yer almıştır. AnyLogic (Zhao vd., 2019) ve Matlab ve C++ (Liu vd., 2007, Pedrielli vd., 2020) üzerinde geliştirilen modellerde etmen tabanlı modelleme yaklaşım uygulanmıştır.

## 2.2. TRAFİK AKIMI VE TEORİSİ

Trafik kelimesi geçmişte seyrüsefer olarak kullanılmış, gidiş-geliş anlamı taşımaktadır (Tunç, 2003: 245). Trafik akımı kavramının başlangıcı, Greenshields'in Karayolları Araştırma Kurulu toplantısında araç hızı ve mesafe arasındaki ilişkisi bulgularını aktarmasıyla 1930'lerde başlamıştır. Benzer araştırmalar yapan öncülleri olmasına rağmen, Greenshields Trafik Akım Kuramının kurucusu sayılır (Kessels, 2018: vii). Greenshield, bir yoldaki araçların hızı ile aralarındaki mesafe arasında yapısal bir ilişki formüle eden ilk kişi olmuştur. Temel diyagramlardan biri olan akım hızı-yoğunluk arasındaki bu ilişki, o zamandan beri geliştirilen tüm trafik akım modelleri tarafından kullanılmaktadır (Banos vd., 2017: 37). Trafik akım modellemesi karayolu trafik mühendisliğinde 50 yıl öncesine uzanmaktadır. Trafik akımının matematiksel olarak modellenmesi trafik mühendisliğinde hala canlı ve üzerinde tartışılan bir konudur (Hoogendoorn ve Bovy, 2001: 284).

Trafik akımı teorisi, ulaşım kapasitesi, ulaştırma tesislerinin trafik operasyonel kalitesi ve kapasitesi ile ilgilenir. Başka bir deyişle, trafik akımı teorisinin amacı, tesisin otoyol tasarımı ve trafik akımındaki kamyonların yüzdesi gibi bir dizi hâkim koşulun verildiği bir trafik akımının operasyonel kalitesini değerlendirmektir. Ulaştırma mühendisleri, bir ulaştırma tesisinin yaşam döngüsünde gerekli olan beş aşamanın çeşitli yönleri üzerinde çalışır: planlama, tasarım, inşaat, işletme ve bakım (Elefteriadou, 2004: xvii-xviii). Trafik akımı ile ilgili bilgiler, ulaştırma mühendisliği, genellikle karayolu ulaştırması temelindedir. Trafik akımı genel olarak taşıtların hareketi ve bu hareket sırasında taşıtların birbirleriyle etkileşimleri olarak nitelendirilebilir. Trafik akımının temel değişkenleri, ulaştırma sistemlerinin tasarımında, işletmesinde ve geliştirilmesinde uygulanan tüm yöntemlerin temelini oluşturmaktadır (Gökçek, 2018: 3).

Trafik akım modelleri uygulamaları, genellikle bilgisayar benzetimidir. Benzetim, trafik analizinde yaygın olarak kullanılan çok güçlü bir tekniktir. Bununla birlikte, kullanımı önemli zaman ve kaynak gerektirir ve bu nedenle, tüm çalışma türleri için en iyi yaklaşım değildir. Genellikle, benzetim, trafik sıklığı, genişletilmiş kuyruklar veya analiz sürecinde değişken koşullara sahip trafik sistemlerini değerlendirirken daha önemlidir. Analitik tekniklerin bulunmadığı veya

yeterli olmadığı durumların analizinde en kullanışlıdır. Benzetim, sahada uygulamadan önce yeni veya olağandışı tasarımları, yeni trafik kontrol algoritmalarını ve trafik sistemindeki belirli öğelerin etkileşimlerini anlamamıza ve değerlendirmemize yardımcı olmak için kullanılabilir (Ed. Kessel, 2019: 14; Elefteriadou, 2004: 158).

Trafik akımı teorisi, temel trafik akımı karakteristikleri ve analitik teknikler bilgisi ile ilgilidir. Trafik akımının temel özelliklerini ve teknikleri anlamak, herhangi bir ulaşım sisteminin planlanması, tasarımı ve işletimi için temel bir gerekliliktir (Hoogerdon, 2010: ix). Trafik akım karakteristikleri ve analitik teknikler tüm ulaştırma sistemleri için temeldir. Tüm ulaştırma sistemlerinde birbirleri ile ve fiziksel yapılarla etkileşim içinde olduğu, analiz ve kontrol gerektiren bağlantılar boyunca hareket eden araçlar vardır. Karayolu dışında diğer ulaştırma sisteminde uzmanlar trafik akımının asal elemanlarını, ilgilendikleri çalışma alanına uyarlayabilirler (May, 1990: 1-2). Trafik akımı genellikle karayolu için kullanılsa da hava ve deniz trafiği de mevcuttur. Hava ve deniz ulaşımında araçların belirli kurallar, kontrol ve düzen içerisinde hareket etmesi gerekir (Tunç, 2003: 245).

Tablo 5 ‘te farklı ulaştırma türleri için içerdikleri detaylara göre trafik operasyonları örneklendirilmiştir.

**Tablo 5:** Ulaştırma Türlerine Göre Trafik Operasyonları Örnekleri

| <b>Ulaştırma Türü</b> | <b>Mikroskopik</b>                                                     | <b>Makroskopik</b>                                                |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Havayolu              | Havayolları, Havalimanları, Kapı seçenekleri (Uçaklar için)            | Terminaller, Kapıda giriş yapan (Yolcu)                           |
| Suyolu                | Liman tesisleri, Hat taşımacılığı işlemleri, kanal geçişleri (gemiler) | Terminaller (yük)                                                 |
| Demiryolu             | Kentsel sistemler, demiryolu (trenler)                                 | Terminaller (yolcu)                                               |
| Karayolu              | Kesişimler, araç sınıfları                                             | Rota operasyonları, park (araçlar)                                |
| Diğer                 | Yayalar, Asansörler (Yolcu)                                            | Yayalar, asansörler (kişiler), taşıma bantları (kişiler veya yük) |

Kaynak: May, 1990: 2.

Denizyolu açısından detaylarına göre trafik operasyonları mikroskopik olarak liman yanaşmaları, uzun mesafeli düzenli ya da düzensiz hat taşımacılığında, kanal geçişlerinde; makroskopik olarak gelen giden yük trafiği ile ilgili işlemleri ifade edilebilir.

Trafik akım teorisi, deniz trafiği akım kavramının temelini oluşturmaktadır ve deniz trafiğine uygulanmaktadır (Huang vd., 2019: 1).

### 2.2.1. Trafik Akım Modellerinin Sınıflandırılması

Trafik akım modelleri uygulamaları, genellikle bilgisayar benzetimidir. Benzetim, trafik analizinde yaygın olarak kullanılan çok güçlü bir tekniktir. Aynı zamanda, kullanımı önemli zaman ve kaynak gerektirir. Bu nedenle, tüm çalışma türleri için en iyi yaklaşım değildir. Genellikle, benzetim, trafik sıkışıklığı, genişletilmiş kuyruklar veya analiz sürecinde değişken koşullara sahip trafik sistemlerini değerlendirirken daha önemlidir. Analitik tekniklerin bulunmadığı veya yeterli olmadığı durumların analizinde en kullanışlıdır. Benzetim, sahada uygulamadan önce yeni veya olağandışı tasarımları, yeni trafik kontrol algoritmalarını ve trafik sistemindeki belirli öğelerin etkileşimlerini anlamamıza ve değerlendirmemize yardımcı olmak için kullanılabilir (Ed. Kessel, 2019: 14; Elefteriadou, 2004: 158).

**Tablo 6:** Zaman Ölçeği ve Alan Açısından Trafik Modelleri

| <b>Zaman ölçeği</b> | <b>Alan</b>             | <b>Modeller</b>      | <b>Trafik Açısından Örneği</b>                            |
|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| <0,1 saniye         | Araç Dinamikleri        | Mikroskopik Altı     | Makine ve fren kontrolü                                   |
| 1-10 saniye         | Trafik Akım Dinamikleri | Araç-takip modelleri | Tepsi süresi, zaman farkı<br>Hızlanma ve yavaşlama ivmesi |
| 1-10 dakika         |                         | Makroskopik Modeller | Trafik ışıkları döngü periyodu<br>Dur- kalk dalgaları     |

Kaynak: Treiber ve Kesting, 2013: 3' ten kısaltılmıştır.

Trafik akım modelleri farklı değişkenlere göre şu şekilde sınıflandırılmıştır (Hoogendoorn ve Bovy, 2001: 284-285):

- a) Bağımsız değişken ölçeğine göre (sürekli, ayrık, yarı ayrık);
- b) Ayrıntı seviyesine göre (submikroskopik, mikroskopik, mezoskopik, makroskopik);
- c) Süreçlerin temsiline göre (deterministik, stokastik);
- d) Ölçülebilir hale gelişine göre (analitik, benzetim);
- e) Uygulama ölçeği (ağlar, uzantılar, bağlantılar ve kavşaklar).

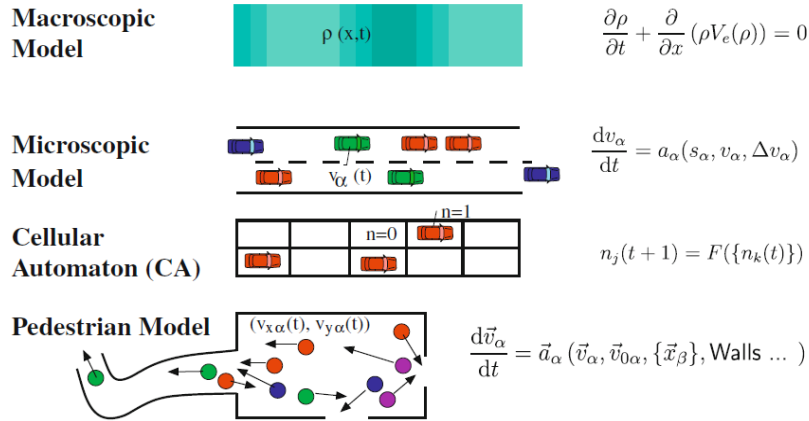
Model, gerçek bir sistemin temsildir. Başka bir söylemle sistemin belirli bir yönünü daha iyi anlamak için gerçeğinin yerine kullanılan anlamlı temsildir (Sokolowski ve Banks, 2009: 4). Trafik akım modelleri ile ulaştırma sisteminde yer alan kontrol araçları ile (trafik işaretleri, sinyalizasyon, şamandıra, trafik ayırım düzeni vb.) trafik akımına olan etkisini incelemek mümkündür. Trafik akım modelleri, ulaştırma mühendisliği trafik disipliniinde modelleme ve benzetim disipliniinde olduğu gibi sistemin incelenmesinde, incelenirken hangi yönleri ve detayları ile inceleneceğine, gerçek sistem üzerinde denemeler yapılmasına, kapasite hesaplanmasına, sistemin tasarlanmasına imkân verir.

Trafik disiplini temel olarak, akım modelleri sınıflandırmasında trafik akımı kavramı ilgilendiği detay açısından incelenmiştir. Yazında modeller temel olarak mikroskopik ve makroskopik olarak ele alınmıştır (Knoop, 2018: 2-3).

Mikroskopik akım olan araç yörüngelerini ve etkileşimlerini analiz eder ve makroskopik akım, kesintisiz akım, trafik akımını bir bütün olarak analiz eder (Lesort vd., 2003: 125).

Şekil 3'te trafik akım modelleri ile ilgili başka bir çalışmada, gerçeği temsil etme biçimlerine göre çeşitli model kategorilerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.

**Şekil 3: Trafik Akım Modelleri Sınıflandırması**



Kaynak: Treiber ve Kesting, 2013: 57.

Trafik modelleri birbiriyle bağlantılı üç alt kategoriye ayrılabilir: göz önünde bulundurulmuş makroskopik model araç akımları, tek tek araçları ve bunların etkileşimlerini dikkate alan mikroskopik modeller ve diğer iki kategori arasında yer alan mezoskopik modeller (Banos vd., 2017: 37). Trafik akım modellerinin geleneksel sınıflandırmasının büyük ölçüde mikroskopik, mezoskopik ve makroskopik modelleri takip ettiğini belirtilmiştir (van Wageningen-Kessels vd., 2014: 2).

Lesort vd., karayolu trafiğinde çeşitli modellerin temel özelliklerini açıkça tanımlamak için mikro veya makro olarak sınıflandırmanın yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Davranış yasası ve ölçü temsiline dayalı yeni bir sınıflandırma yaklaşımı önermişlerdir. Burada davranış yasası, bir araç kullanıcısının bireysel davranışını yeniden üretmeye çalışan modeller (bireysel davranış kuralları) ve akımların yayılmasının analizine dayanan modeller (toplu davranış kuralları) arasında bir ayrım yapar. Ölçü ise bir aracın ya da akımın modellenmesine göre farklılık gösterir (Lesort vd., 2003: 130).

Trafik Akım Modelleri detaylarına göre makroskopik, mezoskopik ve Mikroskopik olarak aşağıda incelenmektedir.

### 2.2.1.1. Makroskopik Modeller

Makroskopik trafik modellerinde, trafik kesintisiz akım olarak kabul edilir. Bu modellerde bireysel taşıt hareketleri görmezden gelinir, ortalama yoğunluk ve hız

değişkenlerine odaklanılır. En temel makroskopik modeller Lighthill ve Whitham (1955) ve Richards (1956), tarafından geliştirilmiştir ve LWR (Lighthill-Whitham-Richards) modeli olarak bilinir (Ed. Kessels 2019: 53-54; van Wageningen-Kessels vd., 2014: 23).

Makroskopik Modeller, trafik akımı genellikle akışkanlar için sürekli modellere uygun şekilde üretilir ya da onlarla karşılaştırılır. Araç gruplarının hareketini tekrarlarlar ve bireysel araç hareketlerinin analizi ile ilgilenmez. Makroskopik trafik modelleri, trafik akımının akım, hız ve yoğunluğunun deterministik ilişkilerine dayanmaktadır, (ortalama) yoğunluk ve (ortalama) akım gibi toplu değişkenler kullanılır. Makroskopik modellerin esası, kinematik dalga modelleridir (Elefteriadou, 2004: 138; van Wageningen-Kessels vd., 2014: 17-18).

#### **2.2.1.2. Mikroskopik Modeller**

Araç takip modelleri ve çoğu hücresel otomata dâhil olmak üzere mikroskopik modeller, toplu olarak trafik akımını oluşturan bireysel "aracı sevk ve idare eden kullanıcı-araċ etkileşimini" tanımlar. Bu modeller çevredeki trafiğe baēlı olarak her kullanıcının "hızlanma, frenleme, şerit deēiştirme" tepkisini tanımlar. Daha geniş bir bağlamda, mikroskopik trafik akım modelleri, güdümlü çok parçacık modellerine örnektir (Treiber ve Kesting, 2013: 57-58).

Araçların tek tek hareketi tanımlanır. Bir aracın tam bilgisi, yörüngesi (trajectory) ile verilir, her zaman aracın konumu belirtilir. Mikroskopik göstergedeki temel deēişkenler hız, zaman aralığı (headway) ve konum aralığı (space headway) (Knoop, 2018: 1). Mikroskopik modeller araç takip, şerit deēiştirme ve araçlar arası emniyetli mesafe kabul teorileri temel alınarak geliştirilmiştir (Elefteriadou, 2004: 137).

Hücresel Otomatada ise (Cellular Automaton/Atomata, CA) tüm deēişkenler ayrıktır, konum belirli sabit hücrelere bölünmüştür ve zaman sabit aralıklarla güncellenir. Hücrelerin durumu araç var (1) veya araç yok (0) olarak belirlenir ve her zaman aralığında deēişir. CA makroskopik akım modeli formuna dönüştürölüp uygulanabilir ancak genellikle Mikroskopik modellerde kullanılır (Treiber ve Kesting, 2013: 57-58).

### 2.2.1.3. Mezoskopik Modeller

Mezoskopik terimi, makroskopik ve Mikroskopik arasındaki trafik akımının tanımı için kullanılır. Ayrıca bazı elementleri Makroskopik ve bazılarını Mikroskopik olarak hesaplayan benzetim modelleri için bir terim olarak da kullanılmaktadır (Knoop, 2018: 4).

Mikroskopik ve makroskopik trafik modelleri ile karşılaştırıldığında mezoskopik modeller yakın zamanda geliştirilmeye başlanmıştır. Mezoskopik modeller, mikroskopik ve makroskopik modellerin arasında bir birleştirme seviyesine sahiptir veya her iki yaklaşımı birleştirir. Mezoskopik modellerde, araç davranışını olasılık dağılımları gibi toplu terimlerle açıklarken, davranış kuralları bireysel araçlar olarak tanımlanır. Mezoskopik Modeller, hız ve yoğunluk olasılık dağılımının yanı sıra taşıt davranışının bütün, toplu özelliklerini açıklar (Kessels 2019: 14).

Üç ana alt başlıkta incelenir: hız dağılımı (headway distribution) modelleri (Buckley, 1968), küme modelleri (Mahnke ve Kuhne, 2007) ve gaz-kinetik modeller (Prigogine, 1961). Gaz-kinetik model, karayolu trafik araştırmalarında en sık kullanılan alt tiptir (Kessels, 2019: 99-100).

### 2.2.2. Trafik Akımı Asal Elemanları

Trafik akımlarının gözlemlenmesi sonucunda 3 parametre ile ilgili veriler toplanabilir. Bunlara trafik akımının temel ölçütleri veya değişkenleri denir.

Bunlardan ilki, *trafik birimi* dir. N (yaya, taşıt, yolcu gibi). İkincisi ise *zamandır*, olayın gerçekleştiği periyodu takip etmek T (saniye, dakika, saat, gün, yıl). Üçüncüsü ise *yolun uzunluğu* dur, X (metre, km). Bu ölçütler doğrudan kullanılamaz, fakat bunlardan faydalanarak diğer parametreler elde edilir (Yetiş, 2012: 9).

Trafik akımının temel elemanları akım (flow), hız (speed) ve yoğunluktur (density) (May, 1990: 4; Elefteriadou, 2014: 59). Trafik akımı elemanları; hacim (akım oranı), hız, yoğunluk olarak göz önüne alınmakta ve bunlar arasındaki ilişkiler trafik akım kuramını oluşturmaktadır (Tunç, 2003: 9).

Trafik akımları kesintili (congested) ve kesintisiz (free-flow) akım olmak üzere ayrı ayrı ele alınır. Trafik akım modelleri, kesintisiz akım durumlarında makroskopik trafik akım özelliklerinin temel ilişkilerini sağlar (Tunç, 2003: 367; May: 1990: 283).

Başlangıçta, Greenshields (1934) takip aralığı (s, iki ardışık araçların ön tamponları arasındaki mesafe) ve hız (v) arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bununla birlikte, temel ilişki yoğunluk (k, birim yol uzunluğu başına ortalama araç sayısı) ve akım (q, zaman birimi başına ortalama araç sayısı) gibi diğer değişkenlerde de ifade edilebilir (van Wageningen-Kessels vd., 2014: 4).

Mikroskopik modellerde trafik durumu, genellikle hızları ve olası diğer değişkenlerle birlikte araçların konumundan oluşur. Makroskopik modellerde trafik durumu yoğunluk ve hız gibi değişkenlerden oluşur (Kessel, 2019: 14). Mikroskopik, mezoskopik ya da makroskopik modellerin hepsi aynı temele sahiptir: Yoğunluk, hız ve akım oranı arasında temel ilişkiler. Bu modeller, kapasite düşüşü gibi gerçek dünya trafiğindeki temel olayları yeniden üretmeye adanmıştır. Başka bir deyişle, temel diyagram trafik akım teorisinin temelidir (Huang vd., 2019: 2).

#### **2.2.2.1. Hız**

Birim zamanda alınan yol hız olarak tanımlanır. Seyahat hızı olarak da anılabilir.

$$U = X / T \text{ (Hız birimi = Yol birimi / Zaman birimi)}$$

*Zaman Ortalamalı Hız (Time mean speed):* Bir yolun seçilen bir kesiminden geçen tüm taşıtların zaman olarak aralıklarına göre hesaplanan ortalama hız değeridir.

*Mesafe Ortalamalı Hız (Space mean speed):* Bir yolun seçilen bir kesiminden geçen tüm taşıtların mesafe olarak aralıklarına göre hesaplanan ortalama hız değeridir (Murat, 2012: 9).

#### **2.2.2.2. Akım**

Belirli bir zaman aralığında bir yol kesiminden geçen toplam taşıt sayısı trafik hacmi olarak tarif edilir.

$$Q = N / T \text{ (trafik birimi / zaman birimi),}$$

$Q = T / \bar{h}$ ,  $\bar{h}$  : Trafik birimleri arasındaki ortalama takip aralığı (m) (Murat, 2012: 9).

Akım, araçların belirli bir noktadan veya kesitten geçen taşıt sayısı olarak tanımlanır. Birim zaman başına araç olarak ifade edilir. Birim zaman başına trafik birimi, tipik olarak saatte araç cinsinden ifade edilir (Elefteriadou, 2014: 61).

### 2.2.2.3. Yoğunluk

Belirli bir anda, birim yol ya da yol kesitini işgal eden, bulunan taşıt sayısı yoğunluk (density, concentration) olarak tanımlanabilir.

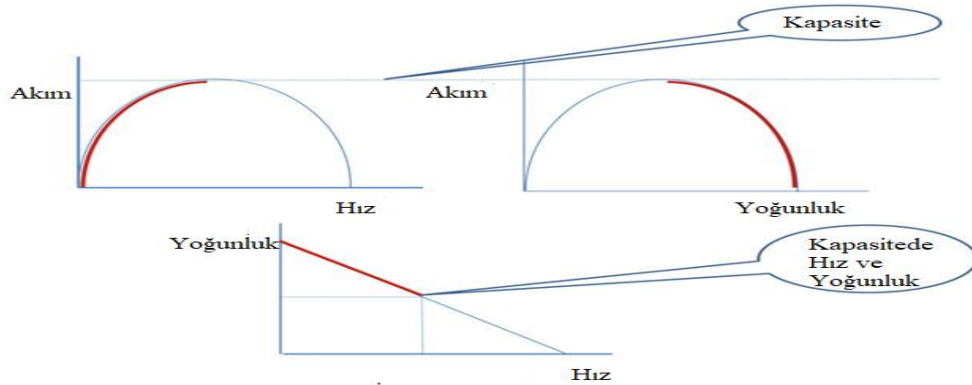
$$k = N / X \text{ (Trafik birimi / Yol Birimi) (Murat, 2012: 11).}$$

Trafik akım kuramında kullanılan temel bağıntı ise akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir Yoğunluk, günümüz teknolojisi ile doğrudan ölçülmesi oldukça zordur ancak önemli bir performans ölçütüdür (Elefteriadou, 2014: 76).

$$Q = k * U, \text{ (Akım = Yoğunluk x Hız (serbest))}$$

Greenshield tarafından önerilen model hız ve yoğunluk arasındaki ilişki doğrusal olarak ifade etmiştir. Bu ilişkiyi anlatan temel diyagramlar Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4: Greenshield Akım, Hız Yoğunluk İlişkisi



Kaynak: Elefteriadou, 2014: 79.

Şekil 4'te diyagramlar üzerinde kırmızı ile gösterilen kısımlar, sıkışıklık durumuna ait gösterimlerdir. Mavi ile gösterilen kısımlar, serbest akım koşullarına ifade eder. Burada yoğunluk ve hız arasında doğrusal, akım ile hız ve yoğunluk arasında parabolik ilişki görülmektedir. Akım- hız diyagramında, zaman için hız a artışı yavaş gerçekleşir. En yüksek akım ya da kapasite, sıkışık olmayan ile sıkışık trafik durumu arasındaki geçişte meydana geldiği gösterilmektedir. Yoğunluk arttıkça akım artmakta, ancak tıkanıklık anından sonra akım azalmaktadır. Kapasite durumunda hız ortalama hız olarak bilinir. Son diyagramda ise trafik sıkışıklığının azalmaya başlaması ile hız artmaktadır (Elefteriadou, 2014: 79-80).

Bu bölümde yer alan kavramlar, karayolu trafiğinin dinamiklerine göre aktarılmıştır. Ancak bu kavramlar, deniz yolu trafiği için de kullanılmaktadır. Gemilerin davranışını modellemek için trafik akımlarının temel girdi parametresi de yoğunluktur (Puscz vd., 2008: 4). Deniz trafiği akım kavramı ve ilgili çalışmalar, bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

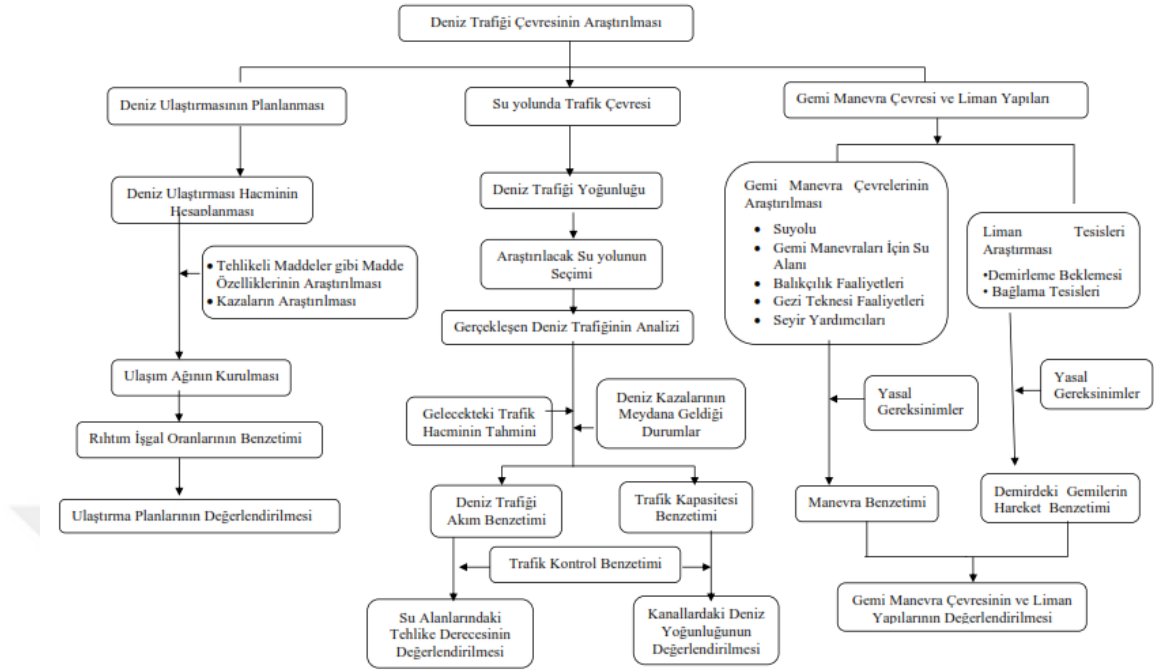
### **2.3. DENİZ TRAFİĞİ AKIM KAVRAMI**

Deniz trafiğini oluşturan, gemiler ve bu gemilerin emniyetli bir şekilde limanlar ulaşmalarını sağlayan hizmetler deniz trafiğinin esas bileşenleridir. Deniz trafiğinin araştırılmasında, Hara ve Nakamura (1995) tarafından önerilen ve geliştirilen, benzetim teknikleri kullanılarak emniyet değerlendirmesi için genel bir sistem çerçevesi sunulmuştur.

Şekil 5'te görüldüğü gibi deniz trafiği çevresinin emniyet değerlendirmesi genel olarak üçe ayrılmıştır (Hara ve Nakamura, 1995: 204- 206):

- Bir deniz ulaştırma planının gerekçelerinin değerlendirilmesi.
- Belirli bir deniz bölgesindeki çatışma tehlikesi derecesinin değerlendirilmesi ve trafik rotasındaki trafik hacminin değerlendirilmesi.
- Gemi manevra ortamının ve liman tesislerinin değerlendirilmesi.

Şekil 5: Deniz Trafiği Çevresinin Değerlendirilmesi



Kaynak: Hara ve Nakamura, 1995: 204.

Belirli bir bölgede deniz trafiği akımının benzetimi ile bölgedeki çatışma tehlikeleri belirlenebilir. Çatışma riski değerlendirmelerinde, geçişler, rotalar ve zamanlama deniz trafiği emniyeti açısından özel olarak incelenir. Eğer trafik sıkışıklığı değerlendirilmesinde gerçek trafik koşullarının analizi gerekiyorsa gemi sayıları, gemi izleri ve hızları radarlar kullanılarak elde edilebilir

Trafik akım benzetimi geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında, iyi kontrol edilebilirlik, ekonomik olması ve tekrar üretilebilir olması vb. özellikleri vardır. Trafik akım benzetimi, uygulamalarda deniz trafik yönetim sistemleri için optimizasyon ve iyileştirme programları sağlayabilir, trafik planlaması ve ilgili seyir sistemi tasarımı için bilimsel temel veri desteği sağlamaktadır (Xiong ve Xie, 2018: 1).

Deniz trafiği akım benzetimi, deniz trafiği akım modelinde bilgisayar teknolojisi kullanılarak yapılan bir tür benzetim testidir. Deniz trafiği akım benzetimi, trafik sisteminin laboratuvar ortamında geliştirilmesi, işletilmesi ve uygulanmasıyla deniz trafiğini araştırmak için teknik bir yöntemdir (Xiong ve Xie, 2018: 1). Trafik akım modeli, trafik akım teorisindeki trafik akımını tanımlamak, anlamak ve tahmin etmek için temel araçtır (Huang vd., 2019: 1).

Deniz trafik benzetiminin genel prosedürleri aşağıdaki adımlardan oluşur (Miyake vd., 2015: 60):

- Adım 1: Gerçek deniz trafiğinin gözlenmesi,
- Adım 2: Gözlemlenen deniz trafiğinin tanımı,
- Adım 3: Gözlemlenen deniz trafiğinin benzetimi ve
- Adım 4: Benzetimi yapılan deniz trafiğinin değerlendirilmesi.

İlk aşamada, hedeflenen alanda gerçek deniz trafiği verileri, edinilir. İkinci aşamada, elde edilen veriler, gemi tipi ve büyüklüğü gibi gemilerin özellikleri dikkate alınarak trafik için analiz edilir. Daha sonra trafik hacmi veya rota bacaklarını içeren genel trafik yolu elde edilir. Üçüncü adımda, hedef alanın trafik koşullarını temsil eden bir dizi trafik akımı verisi bu öznitelikler kullanılarak üretilir. Ardından hedef trafik, trafik akımı verilerine dayalı olarak benzetimi yapılır. Bu adımda, benzetimin amacına uygun olarak trafik ayırım düzenleri gibi gelecek tahmini veya yeni trafik sistemlerinin dâhil edilmesi mümkündür. Son adımda, benzetim sonuçları uygun araçlarla amaçlara uygun olarak değerlendirilir. Örneğin, bir tek gemi karşılaşma durumlarının frekansı veya konumu, bir kanal şeklindeki değişikliğin etkisinin değerlendirilmesi amacıyla incelenir.

Deniz trafik akımı genellikle beş temel unsur içerir: yer, yön, genişlik, yoğunluk ve trafik akımının hızı (Liu vd., 2017: 230). İstatistiksel veriler Otomatik Tanımlama Sistemi verilerinden elde edilebilir. Bu verilerin istatistiksel akım parametrelerine dönüştürülmesi gereklidir. Bu parametreler (Gucma, 2008: 11):

- Aynı rotayı izleyen gemilerin sayısı,
- Hattın genişliği,
- Rota bacakları,
- Hız ve rotadaki gemilerin yapısı (transit veya doğrudan gibi).

**Şekil 6:** Trafik Akımı Özelliklerinin Gösterimi



Kaynak: Xianbiao, 2009: 3721.

Deniz trafiği akım benzetimi ilkeleri, Şekil 6'da gösterildiği gibidir. İşlem, aşağıdaki şekilde tarif edilir (Xu vd., 2015: 566):

(1) Problemin tanımı: Tam inceleme ve analizden sonra benzetimin hedeflerini belirlemek, modelleme yöntemleri, benzetimin sınırları ve uygulaması.

(2) Veri toplama: Gemi trafiği akım verileri seyir donanımından ve denizcilik idarelerinden elde edilir. Veriler; gemi tipi, gemi büyüklüğü, gemi hızı ve varış zamanı aralıkları bilgilerini içerir.

(3) Benzetimi modellerinin oluşturulması: Gemi trafiği akımının istatistiksel yasalarına göre, modeller bir gemi üretim modeli, bir gemi rota modeli ve bir seyir davranışı modeli vb.

(4) Programlama ve doğrulama: Modellere dayalı benzetimi algoritmaları programlama ile uygulanır. Ardından benzetimi programında hata ayıklanır ve doğrulanır.

(5) Benzetimi deneyi tasarlama ve çalıştırma: Deney amacına göre, farklı deneme planı oluşturmak için farklı başlangıç koşulları ve benzetimi senaryoları belirlenir. Benzetimi, ilgili gemi trafiği akımını üretmek için gerçekleştirilir.

(6) Benzetim sonuçlarının analizi: Benzetimin geçerliliğini belirlemek için benzetimi sonuçları doğrulanır.

Deniz trafiği akım benzetimi modelleri makroskopik ve mikroskopik genel olarak iki kategoriye ayrılır: Makroskopik model ağırlıklı olarak tek tek gemilerin

davranışlarını basitleştirip deniz trafiği akımlarına dikkat ederken mikroskopik model trafik akımını üretmek için her bir gemi davranışı dikkate alınarak benzetim yapar. Bu modellerin artıları ve eksileri, modelleme şeklinde farklılıklara yoğunlaşmış olabilir. Deniz trafiğinin gerçek olaylarını kabaca benzetimin yapıldığı makroskopik model, yüksek işlem hızı avantajına sahiptir, ancak fiziksel ayrıntıların eksikliği dezavantajı bulunmaktadır (Miyake vd., 2015: 60).

Deniz trafik akım benzetimi teknolojisi, seyir kanalları genişletildiğinde, yeni seyir rotaları, seyir kanalları oluşturulduğunda daha çok kullanılır ve trafik kontrolü değişirse veya yeni liman yapılanmaları değiştiğinde ve demir yerlerinin anlaşılması gerektiğinde trafik akım durumunu, emniyeti önceden değerlendirmek ve tahmin etmek için gereklidir (Xiong ve Xie, 2018: 1).

Xiong ve Xie, (2018) çalışmasında, trafik akım modellerini temel olarak mikroskopik ve makroskopik olmak üzere sınıflandırılmıştır. Mikroskopik modelleri üç alt başlıkta incelemiştir: Her geminin kendi karakteristik davranışının olduğu model (gemi modeli), çalışılan alanın farklı bölümlere ayrıldığı model (alan modeli), hızın temel değişken olduğu model (gemi hareketi modeli). Makroskopik yöntem, gemi, kanal veya kanalın çatallanma noktasında trafik kontrolünü değerlendirmek veya rota ağ koşullarını bekleme süresinin ve bekleme miktarının sayılarak değerlendirildiği yöntemdir (Xiong ve Xie, 2018: 1-2).

### **2.3.1. Alanda Deniz Trafiği Akımı ile İlgili Çalışmalar**

Trafik akım modellerinde öncü araştırmalar 20. yy başlarında temel diyagramlar olarak bilinen konum ve hız ilişkisini çalışan Greenshields'ten beri uygulanmaktadır. Genellikle araştırmalar mikroskopik, mezoskopik ve makroskopik modeller olarak ayrılmaktadır (van Wageningen-Kessels vd., 2014: 1). Karayollarından temellenmiş olan trafik akım kuramından deniz trafiği akımı kavramını, alanyazında yapılmış olan deniz trafiği, deniz trafiği akım çalışmalarına yansması olarak aktarılmıştır. Trafik akım teorisi deniz trafiği akımı kavramının temelini oluşturmaktadır ve uygulanmaktadır (Huang, 2019: 1).

Uygulamanın gerekliliklerine bağlı olarak, modellerin, deniz taşıtlarının akımın farklı yönlerini, tek tek gemilerin dinamik kinetik bilgilerinin gerekli olup

olmadığını dikkate alarak tanımlamaları gerekir. Gemi davranışının dinamik kinetik bilgileri, bunlarla sınırlı olmasa da pozisyon, hız, rota ve istikameti içerir. Bu bakım açısından, modeller ya mikroskopik deniz trafiği modeli ya da makroskopik modeller olarak tanımlanır (Zhou vd., 2019: 325). Makroskopik model, ağırlıklı olarak gemi trafiği akımlarına dikkat ederken tek tek gemilerin davranışlarını basitleştirir ve mikroskopik model tek tek gemilerin trafik akımını üretmek için gemi davranışlarının benzetim yapar. Bu modellerin artıları ve eksileri, modelleme şeklinde farklılıklara yoğunlaşmış olabilir. Deniz trafiğinin gerçek olaylarını kabaca benzetiminin yapıldığı makroskopik model, yüksek işlem hızı avantajına sahiptir, ancak fiziksel ayrıntıların eksikliği dezavantajına sahiptir (Miyake vd., 2015: 60).

Deniz trafiği akımını matematiksel, istatistiksel olarak, modelleme ve benzetim yaklaşımlarıyla inceleyen çalışmalarda gemi hızı, gemi boyutları, gemi tipi ve rota değişkenleri en çok kullanılan değişkenler olmuştur (Tablo 7). Deniz trafik akımı bileşenleri, iki başlıkta incelenmiştir (Liu vd., 2017b: 2):

1. Doğal özellikleri: Gemi tipi, yaşı, tonajı, geminin boyutları ve bayrağı
2. Davranış özellikleri: konum, pruva açısı, hızı.

Bunlardan türetilerek elde edilen yörünge, varış zamanı, ayrılış zamanı, bekleme süresi, draft, gemiler arası mesafe bileşenlerine ulaşılır. Bu özelliklerin dışında geminin tipine ve boyuna bağlı olarak değişkenlik gösteren manevra yeteneği de geminin doğal özellikleri arasında bulunmalıdır. Geminin doğal ve davranışsal özellikleriyle birlikte geminin bireysel davranışları ortaya çıkar.

Deniz trafik akımı ile ilgili yapılan ilk çalışmalardan Goodwin, deniz trafik akımının yeni bir çalışma olanı olduğunu, matematiksel modellerin gemi davranışı açıklamakta yeterli olmadığını ifade etmiştir. Deniz trafiğine özgü önemli parametreler olarak geminin bireysel özellikleri gemi boyutları, gemi tipi, geminin manevra kabiliyeti, gemi alanını belirtmiştir (Goodwin, 1983). Xianbiao vd., (2019) deniz trafiği akımının istatistiksel olarak analiz edilmesi ile ilgili bir yöntem önerisinde bulundukları çalışmalarında, verileri AIS veri setinde var olan, gemi tipi, hız seviyesi, gemi uzunluğu, genişlik, draft, bireysel gemi özellikleri ile ilgilenmiştir. Yip (2013) çalışmasında, deniz trafiği özellikleri dikkate alınmadan var olan trafik modelleri

doğrudan aktarılamayacağını belirtmiştir. Klasik trafik akım teorileri aracılığıyla deniz trafik akımı için matematiksel bir model geliştirmiştir. Modelde gemi boyutları ve hız değişkenlerinin yanı sıra, akıntı ve gemi alanı yer almıştır. Gemi hareketlerine yoğunlaşmamış, makroskopik olarak yaklaşmıştır. Trafik akım modelinin gemi trafiğinin emniyetli yönetimde fayda sağlayabileceğini göstermiştir.

Deniz trafiği akımı ile ilgili yapılmış çalışmalarda kullanılan değişkenler ve yazarlar tarafından kullanımları Tablo 7’de özetlenerek gösterilmiştir. Bu çalışmalar limanlarda, boğazlarda, iç suyollarında ve açık deniz su alanlarında yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışmalarda hazırlanmış modellerde geliştirildikleri amaçlara göre farklı değişkenler kullanılmıştır. Tablo 7’de yer aldığı gibi yapılan çalışmalarda kullanılan değişkenlerin en fazla kullanılan değişkenler gemi hızı (24), gemi boyu ve eni (23), gemi tipi (17), gemilerin rotası (16), gemilerin konumları (13), diğer gemilere uzaklık (11), gemi alanı (07), draft (06), gemi gelişleri arası süre (05), gemi davranışı ve manevra yeteneği (05), trafik akım yoğunluğu (04), akıntı (03), gemilerin şeritlerde hareketi (02) olarak sıralanmaktadır.

**Tablo 7:** Alanda Deniz Trafik Akımı ile İlgili Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Değişkenler

| Değişkenler<br>Yazarlar             | Gemi Tipi | Gemilerin Konum | Gemi Boyu(b), Eni | Rota | Gemi Hızı | Gemi Alanı | D.G. Uzaklık | D.G. Zamansal Uzaklık | Dümen Açısı | Rüzgâr Yönü | Rüzgâr Hızı | Akıntı | K, T İndisleri | Manevra Yeteneği | Şerit Durumu | Trafik Akım Yoğunluğu | Draft | Yörünge | Gemi Gelişleri Arası Süre |
|-------------------------------------|-----------|-----------------|-------------------|------|-----------|------------|--------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|--------|----------------|------------------|--------------|-----------------------|-------|---------|---------------------------|
| Goodwin, 1983                       |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Almaz vd., 2006                     |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Puszcz vd., 2008                    |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Çamcı vd., 2009                     |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Xianbiao vd.,2009                   |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| van de Ruit vd., 2010               |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Xiao vd., 2012                      |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Wu ve Cheng 2012                    |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Feng, 2013                          |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Huang vd., 2013                     |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Rayo,2013                           |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Xiao,2013                           |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Xiao vd., 2013                      |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Xu vd., 2013                        |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Yip, 2013                           |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Blokus-Roszkowska ve Smolarek, 2015 |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Wen, 2015                           |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Xu vd.,2015                         |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Huang vd., 2016                     |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Gucma vd., 2017                     |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Liu vd., 2017 (a)                   |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Liu vd., 2017 (b)                   |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Sang vd., 2017                      |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Teng vd., 2017                      |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Kang vd., 2018                      |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Tasseda ve Shoji, 2018              |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Huang vd., 2019                     |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| Xu ve Wu, 2020                      |           |                 |                   |      |           |            |              |                       |             |             |             |        |                |                  |              |                       |       |         |                           |
| 29 çalışmada kullanılma sayısı      | 17        | 13              | 22                | 16   | 23        | 07         | 11           | 01                    | 01          | 01          | 02          | 03     | 02             | 05               | 02           | 04                    | 06    | 02      | 06                        |

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Bireysel olarak gemiye ait olan değişkenler de yapılan çalışmalarda yer almasına rağmen birçok çalışmalarda inceledikleri detaylar açısından makroskopik akım sınıflandırması içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmaları: Almaz (2006), Puszcz (vd., 2008), Almaz (2006), Çamcı (vd., 2009), van de Ruit (vd., 2010), Rayo (2013),

deniz trafik akımının üretildiği Xu (vd., 2013), Liu (vd., 2017a), Kang (vd., 2018), Tasseda ve Shoji (2018).

Wen vd. (2015) çalışmada, temel değişkenler bağıl mesafe (vektörel), bağıl hız (vektörel) ve karşılaşma açısı olarak belirlenmiştir. Diğer çalışmalardan farklı yönü, trafik durumunu değerlendirmek, kalabalıklık derecesini ve çatışma riskini araştırmak için trafik akımı karmaşıklık haritası çıkarılmasıdır. Liu vd. (2017a), hazırladıkları modelle denizcilerin ve GTH erinin trafik durumsal farkındalığa sahip olmalarını desteklemek amaçlanmıştır. Tianjin Limanı verileri 2010-2014 yıllarında alınan veriler, makroskopik deniz trafik akımı özelliklerini temsil eden modelde kullanılmıştır. Kang vd. (2018) Singapur Boğazı'nı oluşturan 15 rota bacağına temel diyagramları çıkarılarak hız-yoğunluk ilişkisi ile teorik boğaz kapasitesinin tahminlemesi hesaplanmıştır. Tasseda ve Shoji (2018) belirli konum ve zamanda, deniz trafik akımı davranışını araştırmak için temel bir çalışmadır. Tokyo Limanı'nın 10 günlük AIS verileriyle makroskopik seviyede trafik akımının istatistiksel modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Gemilerin hareketlerinin, gemilerin bireysel özelliklerinin dikkate alındığı, gemi karakteristiklerinin sadece istatistiksel bilgi olarak yer almadığı, araç- takip modelleri temel alınarak gemi-takip modeli (Wu ve Cheng (2012)), gemiyi sevk ve idare eden kullanıcı davranışını, gemi etkileşimlerinin yer aldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda Huang (vd., 2013), Xiao (vd., 2012, vd., 2013, 2014), Feng (2013), Blokus-Roszkowska ve Smolarek (2015), Huang (vd., 2013, 2016), Liu (vd., 2017b) çalışmalarından, Sang (vd., 2017), Teng (vd., 2017), Xu ve Wu (2020) gemiyi sevk ve idare eden kullanıcı davranışı, gemi etkileşimleri dikkate alınmıştır.

Bireysel olarak gemi hareketlerinin tanımlandığı modeller Huang vd., (2013, 2016), belirli bir bölgede tek yönlü olarak deniz trafiği akımının olduğu modeller (Xiao vd., 2012, 2013, Xiao, 2014), çatışma ve kaçınma davranışının, deniz trafiğinde emniyetin sağlanması için trafiğin koordine edildiği modeller bulunmaktadır. Blokus-Roszkowska ve Smolarek (2015: 1-4) her bir gemi sınıfı için rotalar, gemi hızları Finlandiya körfezinde (Montewka vd., 2010) yapılan bir çalışmaya ait kayıtlı verilere dayalı dağılımdan rastgele örneklem alınmıştır. Çalışma, trafik organizasyonu seviyesinde potansiyel çatışma ve potansiyel tehlikelileri tahmin etmeye odaklanmıştır. Teng vd. (2017), liman giriş ve çıkışlarında emniyeti ve verimliliği

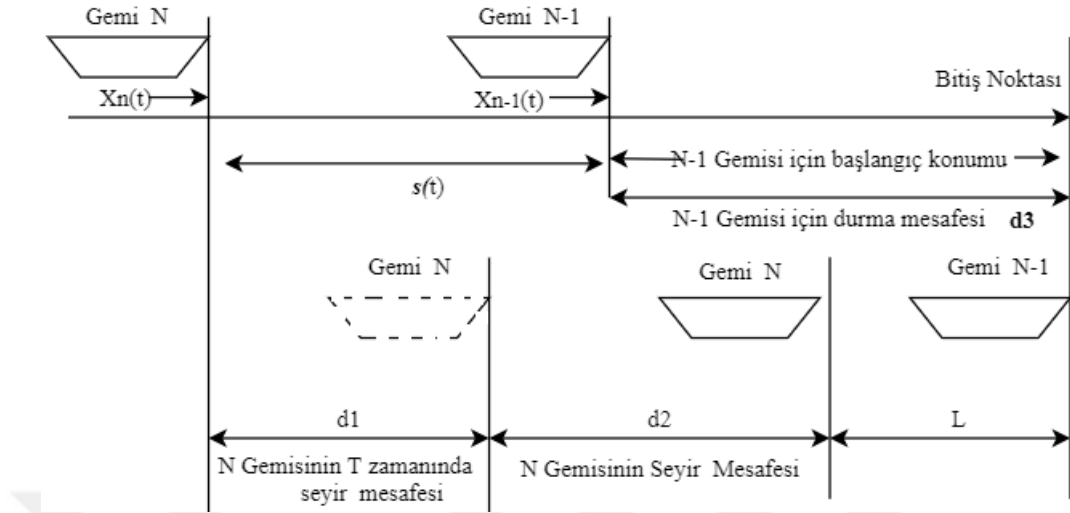
artırmak amacıyla Sinagapur’da, iki farklı bölgede 10’dan fazla gemi emniyetli yeni rotalar ile koordine edilmesi sağlanmıştır.

Deniz ulaştırmasında karayolunda uygulanan araç-takip modellerinin deniz trafiğine uyarlanması ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır, dil kısıtı nedeniyle ulaşılan dört çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan üç tanesi gemi konvoy operasyonları, diğer çalışma ise geminin U dönüşü üzerine yapılmıştır.

Tek şeritli karayolu trafiği ve buzkıran konvoy operasyonları takip etmesi açısından benzerdirler. Zhang vd, araç takip modeli ilkeleri ve buz seyri koşullarında gemi konvoy operasyonlarında emniyetli mesafe ve emniyetli hız konuları dikkate alınarak birleştirdikleri çalışmada, sürekli buz kırma koşullarında buzkıran konvoy operasyonları için bir model önermektedir. Maksimum emniyetli seyir hızı, takip eden gemilerin deniz buzunda seyir yapabilme kabiliyetini değerlendirmek için kullanılır (Zhang vd. 2019: 238-252). Diğer çalışmada, buzkıranların konvoy operasyonlarında çatışmadan kaçınma amacıyla emniyetli takip mesafesi için gerekli kinematik formüller üzerine yoğunlaşmıştır (Zhang vd., 2018). Buzkıranlar ve takip eden gemilerin aralarındaki emniyetli ve aynı zamanda asgari olması gereken mesafe için sayısal bir yaklaşımda bulunan çalışma, vaka çalışması ile desteklenmiştir (Zhang vd., 2017). Buzkıranlar ve gemilerin oluşturduğu konvoy çalışmalarından farklı olarak, gemi takip teorisine göre u dönüşü yapılması için emniyet imkânlarını anlatmaktadır. Geminin manevra kapasitesi, gemi özellikleri, geminin tam dönme özelliklerinin dikkate alınmasını, ayrıca en tehlikeli durumda geminin emniyetli u dönüşü fırsatı geliştirmek durumunda olduğu varsayılmıştır (Wu ve Cheng, 2012).

Gemi takip teorisi, araç takip modeli teorisinden üretilen bir teoridir. Araç takip modeli teorisi, yolda arabalar hareket halindeyken aracın önünde olan diğer araba ile arasında koruması gereken mesafeyi belirtir.

**Şekil 7:** Doğrusal Gemi-Takip Modeli Gösterimi



Kaynak: Zhang vd. 2019: 245.

Şekil 7’de gösterilen doğrusal gemi-takip modelinde kullanılan ifadeler ve ilişkileri şu şekildedir:

$X_n(t)$ : N gemisinin başlangıç konumu,

$X_{n-1}(t)$ : N-1 gemisinin başlangıç konumu,

$d_1$ : N gemisinin T zamanda aldığı seyir mesafesini,

$d_2$ : N gemisinin T zamanda aldığı seyir mesafesini,

$d_3$ : N-1 gemisi için durma mesafesi,

$L$ = lider gemi ile takip eden geminin baş tarafları arası mesafe,

$$s(t) = X_{n-1}(t) - X_n(t) = d_1 + d_2 + L + d_3$$

Araç takip modeli, denizde de kullanılabilir ancak gemi-takip teorisi, gemiler daha büyük ve manevra kabiliyeti daha karmaşık olduğu için araç takip teorisinden farklıdır. Gemi eylemsizlik kuvvetinden dolayı çok yavaş duracaktır. Ayrıca, geminin durma mesafesi, tornistan durma mesafesinden çok daha fazladır (Wu ve Cheng, 2012: 723).

## 2.4. ETMEN TABANLI MODELLEME VE BENZETİM

Etmen tabanlı modeller, etmenler arasındaki ilişkilerin benzetimini yapar. Etmen tabanlı model, çoklu etmen fikrini kullanan benzetim modelleridir ve yukarıdan aşağıya (bottom-up) başka bir söyleyişle genelden özele modelleme yaklaşımıdır (Ding, 2018: 4; Siegfried, 2014: 18). Etmen tabanlı benzetim yaklaşımı, sistemi modellemekten ziyade; sistemi oluşturan birimlerin modellenmesi ve birimlerin kolektif davranışlarının sistemi yansıtması esasına dayanır (Gökçe, 2008: 82).

Niazzi ve Hüseyin, 2011 yılında araştırmalarında Thomson Reuters'tan aldıkları verilerle yaptıkları bibliyometrik araştırmalarında etmen tabanlı hesaplamayı, anılan çeşitli yönleri ve anahtar kelimelere karşılamak üzere aşağıdaki üç alt alanda incelemişlerdir (Niazzi ve Hüseyin, 2011: 482):

- Etmen tabanlı (agent-based), çoklu etmen (multi-agent) tabanlı veya birey (individual based) tabanlı modeller,
- Etmen yönelimli (agent-oriented) yazılım mühendisliği,
- Yapay Zekâda etmenler ve çoklu etmen sistemleri.

Bir Etmen tabanlı modelleme üç yapıyı içermektedir: Etmen, nitelikleri ve davranışları; etmenlerin ilişkileri, etmenlerin davranışı ve etkileşiminin benzetimi için bir platform (Macal ve North, 2006: 78). Etmenler kendi amaç ve davranışları, hafızası, öğrenme yeteneği olan varlıklardır (Macal ve North, 2007: 97). Etmen tabanlı modelleme, her türlü modellemede olduğu gibi, kısmen sanat, kısmen bilimdir. Modelleme sanatının bir kısmı basitliktir. Bu modellemede uygun sistemi kullanarak gerçek sistemi daha iyi anlamaya çalıştığımız için önemlidir (Berryman ve Angus, 2010: 362- 363).

Etmen tabanlı modelleme geçmişinin 1940'lara uzandığı bazı araştırmacılar tarafından belirtilse de bilgisayarlı Etmen Tabanlı Modelleme, Santa Fe Enstitüsü'nün 1990 ların ortasında SWARM dilinin tanıtımı ile başlamıştır. 1990'ların sonunda RePAST ile biraz genişlemiş ve 2000'lerin başında NetLogo ile çok daha yaygınlaşmıştır (Allen, 2011: 180). MASON, NetLogo, Swarm gibi popüler olan platformların dışında, AnyLogic, GAMA, RePast Symphony gibi birçok Etmen

Tabanlı yazılım ve benzetim aracı; MATLAB, Mathematica gibi hesaplamalı ve C++, Java, Python gibi yazılım dillerini kullanan genel benzetim araçları vardır (Macal ve North, 2006: 79; Abar vd., 2017: 29). Etmen davranışlarını izlemek amacıyla araştırmacılar tarafından en çok NetLogo, Java Agent Development Framework (JADE) ve Jadex etmen geliştirme ortamları kullanılmaktadır (Bozuyla, 2019: 43).

Borsada etmen davranışının ve tedarik zincirinin modellenmesinden salgın hastalıkların ve biyo-savaş tehdidinin yayılmasına, adaptif bağışıklık sistemi modellemesinden müşteri satın alma davranışına, eski uygarlıkların çöküşünden askeri kuvvetlerin savaş alanına girmesinin modellenmesine ve diğer birçok alanda uygulamalar yapılmıştır (Macal ve North, 2010: 151). Etmen tabanlı modelleme, fiziksel, biyolojik, sosyal ve yönetim bilimlerini kapsayan çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Macal ve North, 2010: 155). Etmen tabanlı benzetim modellerinin kullanımı veya birey tabanlı benzetim modellerinin (IBM) araştırma ve yönetimde kullanımı artmaktadır (Railsback vd., 2006: 609). Benzetim araçları sosyal bilimler, doğa bilimleri ve insan bilimleri gibi geniş bir alanda yapılan çalışmaları desteklenmektedir. İşletme, pazarlama, sosyoloji, psikoloji, ekoloji, havacılık, üretim planlama, örgütsel davranış, sağlık, ulaştırma /trafik disiplinleri bunlardan bazılarıdır (Abar vd., 2017: 32; Wilensky ve Rand, 2015: 15).

#### **2.4.1. Etmen Tanımı, Özellikleri ve Kullanım Alanları**

Etmen tabanlı modellemede, etmenler hareketli ya da pasif olabilen diğer etmenlerle iletişim kurabilme yeteneğinde, çevre ile ilgili farkındalığı olan varlıklardır. Bu yapısıyla diğer modelleme yaklaşımlarından farklıdır.

Etmen, bir varlıktır ve bulundukları çevrede amaçlarını yerine getirmek için özerk eylem yeteneğine sahiptir (Siegfried, 2014: 17). Etmenlerin genel kabul görmüş özellikleri şunlardır (Downey, 2012: 92; Macal ve North, 2010: 153, Siegfried, 2014: 18):

- Etmenler tanımlanabilir, ayırık (ve genellikle heterojen) ve özgündürler.
- Etmenler belirli bir ortamda meydana gelirler, mekân-farkındalığı vardır.
- Etmenler otonom hareket etme ve bağımsız karar verme yeteneği vardır.
- Bir Etmen bağımsız, birimsel ve benzersiz bir tanımlanabilir, varlıktır.

- Etmenler genellikle uzayda (veya bir ağda) bulunur ve birbirleriyle yerel olarak etkileşime girerler.
- Etmenler akıllı davranışlarını genellikle basit bir dizi kurallarla hareket ederler.
- Bir Etmen özerktir ve kendi kendine yönelimlidir.
- Bir Etmenin zaman içinde değişen bir durumu vardır.

Etmenler ile ilgili özellikler değerlendirildiğinde pasif nesnelere göre aktif hareket edebilmesi, hedeflerine ulaşmak için çevre içinde hareket edebilmesi ve diğer etmenler tarafından algılanması, hafızasının olması, bir dizi kurallara göre hareket etmesi özellikleri ortak olarak vurgulanmıştır. Şekil 8’de bir etmenin gösterimi yer almaktadır.

Şekil 8: Etmen Gösterimi



Kaynak: Macal ve North, 2007: 96.

Şekil 8’de gösterildiği gibi, etmenlerin kendilerine has özellikleri, nitelikleri, hafızaları bulunmaktadır. Bir etmen dışarıyı yani diğer etmenler ve çevresiyle ilişki halindedir. Dışarıdan gelen bilgilere göre karar verme özelliği vardır. Belirli davranış kurallarına göre hareket ederler.

Etmenler kullanıldıkları modelde insanı, bir karıncanın davranışını, bir molekülün dağılması, bir trafik aracını vb. birçok varlığı temsil edecek şekilde kullanılabilir.

#### 2.4.2 Deniz Ulaştırmasında Etmen Tabanlı Modelleme ve Benzetim Kullanımı

Deniz ulaştırmasında yapılan ETMB alışmaları deniz haydutluğu ve güvenlik, liman elleçleme donanımları ve verimlilik, arama kurtarma, deniz trafiği çalışmaları üzerinde yoğunlaşmıştır.

Deniz Haydutluğu, güvenlik ile ilgili hazırlanan çalışmalarda etmen tabanlı modeller ile coğrafi bilgi sistemleri birlikte kullanılmıştır. Deniz haydutluğunun önlenmesi, kaçakçılıkla mücadele (Jakob vd., 2010; Jakob vd., 2011; Jakob vd., 2012; Varol, 2012; Vanek vd., 2013; Varol ve Günal, 2013, 2015; Hrstka vd., 2015; Wang vd., 2017); deniz kuvvetlerinin hangi bölgelerde devriye gezmesi gerektiği (Farias ve Leite, 2006) ile haydutluk amacıyla hareket eden gemilerle etkileşimi, liman güvenliği, olası saldırı riskinin azaltılması (Harris vd., 2012) konularına değinilmiştir. Fish (2017) doktora çalışmasında, deniz haydutluğunun önlenebilmesi için sosyoekonomik ve politik koşulları uluslararası ilişkiler disiplininde incelemiştir.

Yapılan alışmalar, liman kapasitesinin arttırılması (Sinha-Ray vd., 2003); liman elleçleme donanımlarının etkin kullanılması, planlanması (Thurston ve Hu, 2002; Henesey, 2009; Garro vd., 2015); bir geminin, barın elleçleme süresinin azaltılması (Douma vd., 2012); ;depo tahsisi, konteyner tahsisi (Rebollo vd., 2000; Sharif, 2013); depolama kapasitesinin arttırılması, liman içi trafiğin azaltılması, konteyner alma protokolleri (Wassesa vd., 2012); LNG gemilerinin liman çevresine etkisi (Fang vd., 2015) konuları üzerine yoğunlaşmıştır.

Emniyet, güvenlik ve verimlilik dışında kalan çalışmalar; demirleme alanı koruma (Decraene vd., 2012); arama kurtarma operasyonlarında bilgi paylaşımının etkisi (Baber vd., 2013); arama kurtarma zabitlerinin acil durum müdahale becerilerini geliştirilmesi (Wu vd., 2014) amacıyla benzetim geliştiricisi; balast suyu ile yayılan türler için risk değerlendirmesi (Hansen vd., 2015; Stuer-Lauridsen vd., 2018); ağır yakıt kullanımından uzaklaşılmasının deniz çevresine etkileri (Bas vd., 2007), içsu taşımacılığının gelecek ekonomik tahminleri arama kurtarma verimliliği (ztanrıseven, 2016), model geçerliliğinin çalışmalarda nasıl kullanılacağı (Onggo ve Karataş, 2016) olarak yapılmış araştırmalardır.

### 2.4.3. Deniz Trafiğinde Etmen Tabanlı Modelleme ve Benzetim Çalışmaları

Karmaşık sistem içerisinde heterojen ve etkileşen bileşenlerden oluşan sistemi ifade etmektir (Siegrefried, 2014: 11). Deniz trafiği birbirinden farklı boyutlarda, farklı gemi tiplerinden oluşan, gemi ve gemi çevresi olarak iletişim ve etkileşim halinde karmaşık, sosyoteknik, dinamik bir sistemdir. Deniz trafiğinin değerlendirilmesi, araştırılmasında kullanılan matematiksel, istatistiksel, görsel modeller, benzetim modelleri vardır.

Deniz trafiği modellerinin ortak özelliği, modellerin çoğunda gemilerin etmen olarak temsil edilmeleridir (Zhou, 2019: 327). Bunun temel nedeni, etmen tabanlı modelleme yaklaşımının etmenlerin kendi aralarında ve çevreleriyle etkileşim halinde olmasına imkân vermesidir. Gemi davranışlarının modellendiği çalışmalar, çatışmadan kaçınma, deniz trafiğinin gemi trafik hizmetleri açısından değerlendirilmesi, trafik sıkışıklığı yaratan şişe boynu problem, deniz koruma alanı için politika üretilmesi, ulaştırma planlamasında karar desteği sağlanması gibi konularda modelleme ve benzetim yapılmıştır ve çalışmalar gruplandırılarak ifade edilmiştir.

Gemi davranışlarının modellendiği çalışmada, Gemi Trafik Sistemlerine orijinal ve benzetimi yapılmış ve gemilerin izlerini karşılaştırabilme, takip edebilme katkısı sunuyor (Huet vd., 2003). Zhang vd., çalışmalarında gemi rota belirlemesi için etmen tabanlı benzetim çerçevesi önermiştir. Trafik politikalarını değerlendirmek için gerçek veriler girdi olarak kullanılmıştır. Doğru atanmış önlem alanı ile gemilerin için daha kısa bekleme süresi olacağını belirtmişlerdir (Zhang vd., 2009). Deniz trafiği açısından şişe boynu problemi olan Yangtze Nehri bölgesinde çözümü için etmen tabanlı model önerilmiştir. Modelde benzetim süresi 24 saat, bölgesel deniz trafiği hacmi verileriyle geçerliliği doğrulanmıştır (Sang vd., 2017).

Chion (2011) doktora çalışmasında, deniz koruma alanında yöneticilerin izlemesi gereken politikada ve çatışmayı riskini azaltmalarını desteklemek için ortam benzeticisi (3MTSim) tasarlanmıştır. Coğrafi veri tabanı içermektedir. Java, Eclipse, Repast programları kullanılarak oluşturulmuştur. Seyir hareketleri için 3 ay süreli AIS verisi alınmıştır. Parrot vd. (2011) çalışmada haliç bölgesinde, ticari balina gözlemci tekneleri de dâhil farklı gemilerden oluşan deniz trafiğini düzenlemek için sıkışıklığın

önlenmesi, emniyetli geçişleri sağlamak ve deniz ekosistemini korumak amacıyla etmen tabanlı yaklaşım kullanılarak 3MTSim Ortam benzeticisinde ayrı ayrı modellenmiştir.

Xiao vd. (2013) çalışmasında geminin gemi tipi, geminin eni, boyu, konumu, rotası, istenilen rota, geminin hızı, gemi manevrasını yansıtan K ve T indislerini, rüzgâr yönü ve hızı, akıntı hızı (x,y) kullanarak yapay güç alanı ve etmen tabanlı benzetimi kullanarak dar suyollarında emniyet amacıyla modeller oluşturmuştur. Xiao vd. (2012) başka bir çalışmasında, kullandığı Nomoto model Kawaguchi'nin araştırmalarından temel alınmıştır. Bu model zaman basamaklarını kullanır. Kullanılan parametreler: Geminin eni boyu, gemi manevra kapasitesi, dümen açısı, geminin rotası ve hızıdır. Xiao (2014) bir diğer çalışmasında iki farklı bölge için, gemi tipi, geminin eni, boyu, konumu, rotası, istenilen rota, K, T indislerini kullanarak deniz trafiği emniyeti, liman ve suyollarının planlanması ve risk azaltma önlemlerinin tasarımı amacıyla modeller oluşturmuştur.

Xu vd. (2013) çalışmalarında Yangtze Köprüsü'nde gemi eni ve boyu, gemi türü, gemi hızları, gemi gelişleri arası süre, rota ve yörünge değişkenlerini kullanarak C++ programı Visual Studio üzerinde deniz trafik akımı üretmişlerdir. Modelde gemi tipi, trafik yoğunluğu ve meteorolojik koşullar gibi faktörlerin Kanallardaki deniz trafiği üzerindeki etkilerini analiz etmek için bir platform sunmaktadır. Chen (2017) gemiler karşılaştığında otomatik çatışmadan kaçınmayı gerçekleştirmek için potansiyel enerji tabanlı çatışma modeli oluşturmak amaçlanmıştır. Model Matlab 2014' te kurulmuştur. Önerilen yaklaşımın geçerliliği (Çin) Yangtze Nehri'nde test edilmiştir. Pedrielli vd. (2020) tehlikeleri tahmin etmede ayrıca tehlikeli durumlardan kaçınmak için mevcut yörünge ile ilgili düzeltici faaliyetlerde kaptana yardımcı olmayı amaçlayan Emniyetli Deniz Trafik Asistanı (S2TA) yörünge planlama ve kontrol sistemi benzetim ortamı oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı çatışmadan kaçınma için öğrenen etmen tabanlı benzetim ve çatışmadan kaçınma ile en iyilenmesi kaptana rota önerileri sağlar ve hızlandırılmış eylemlerin sonuçlarını gerçek zamanlı olarak görmesini sağlar. Algoritmalar Matlab ve C++ da bütünleştirilmiştir. Gemi davranışlarının belirsizliğinin modellenmesi ve yörünge tahminleri ile kaptanlarının durumsal farkındalıklarını geliştireceği belirtilmiştir. Xu ve Wu (2020) gemi davranışlarını taklit etmek için programlama dili C olan bir platform da Yangtze Nehri

üzerinde 30 km bir alanda vaka çalışması yapılmıştır. Her biri bir etmen olan gemilerden çok etmenli benzetim sistemi oluşturulmuştur. Sistemin gemi davranışını taklit edebileceği; geminin serbest seyir yapabileceği, çatışmadan kaçınma, yetişip geçme ve dönüş yapabileceği sonucu aktarılmıştır.

Xiao Z. (2017) deniz trafiği emniyet yönetimi geliştirmek için kara istasyonu-gemi, gemi-gemi, arasındaki dinamik etkileşimleri veri güdümlü çok etmenli bir prototip sistem geliştirilerek incelemiştir. Teng vd. (2017) liman giriş ve çıkışlarında emniyeti ve verimliliği artırmak amacıyla gemiyi etmen olarak tanımlamıştır. Gemi alanını, fiziksel yarıçapı ve emniyet değişkeni olarak göstermiş; gemi boyu, gemi alanı, geminin hızı, değişkenlerini kullanmıştır. Tasseda ve Shoji (2018) Singapur’da 2 farklı bölgede 10’dan fazla geminin koordine edilmiştir. Tokyo Limanı’nın 10 günlük AIS verileriyle makroskopik seviyede trafik akımının istatistiksel modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Belirli konum ve zamanda, deniz trafik akımı davranışını araştırmak için temel bir çalışmadır.

Dağkiran (2018) denizcilik endüstrisinde zaman ve insan yönetimi gibi dinamikleri analiz etmek amacı ile yaptığı tez çalışmasında, gemi trafik hizmetlerinde olabilecek acil durumlar için senaryolar üretmiş ve bunların benzetimini yapmıştır. TTL dili ile etmen tabanlı modelleme yaklaşımı gemi trafik hizmetlerine uygulanmıştır. Möller vd. (2018) teorik olarak hazırlanan çalışmada açık bağlantıya dayalı digital bir ekosistem oluşturulması ve çok etmenli sistem arayüzü ile bütünleştirilmesiyle sisteme bağlantılı gemilerle ticari gemiler için emniyetin ve verimliliğin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın yazarları ileride bir gemi trafik hizmetleri için model geliştirileceklerini, ayrıca siber saldırılara karşı kanıt olabilecek sisteme bağlı gemiler ve GTH arasında iletişim senaryoları geliştirileceği ifade etmiştir.

Xiao vd. (2019) araştırmada, otonom denizcilik ile ortaya çıkan gereklilikleriyle uyumlu olarak, bu alanda ilk defa sistem modellenmesi ve değerlendirmesine yardımcı olmak için “MarineMAS” adında çok etmenli bir çerçeve önerilmiştir. Karar verme sürecinde otonom süreçler başlangıç varış (OD) Rota planlaması, durumsal farkındalık, çatışmadan kaçınma davranışı vd., otonom denizcilik modellenmesinde sürecinde gereklidir. Prototip sistem MarineMAS çerçevesinin temel özelliklerini göstermek için Java da uygulanmıştır. Zhao vd. (2019)

gemilerin hareketleri etmen olarak AnyLogic yazılımı ile modellenmiş ve etmenlerin etkileşimleri (karşılaşmaları) coğrafi bilgi sistemi tabanlı akıllı algoritmalar ile tespit edilmiştir. Tasarlanan ortam benzeticisi, işlevselliğini ve faydasını göstermek için Çin Bohai Denizi'nde uygulanmıştır. Çalışma, gelecekte deniz ulaştırması planlaması rehberi karar desteği sağlama potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

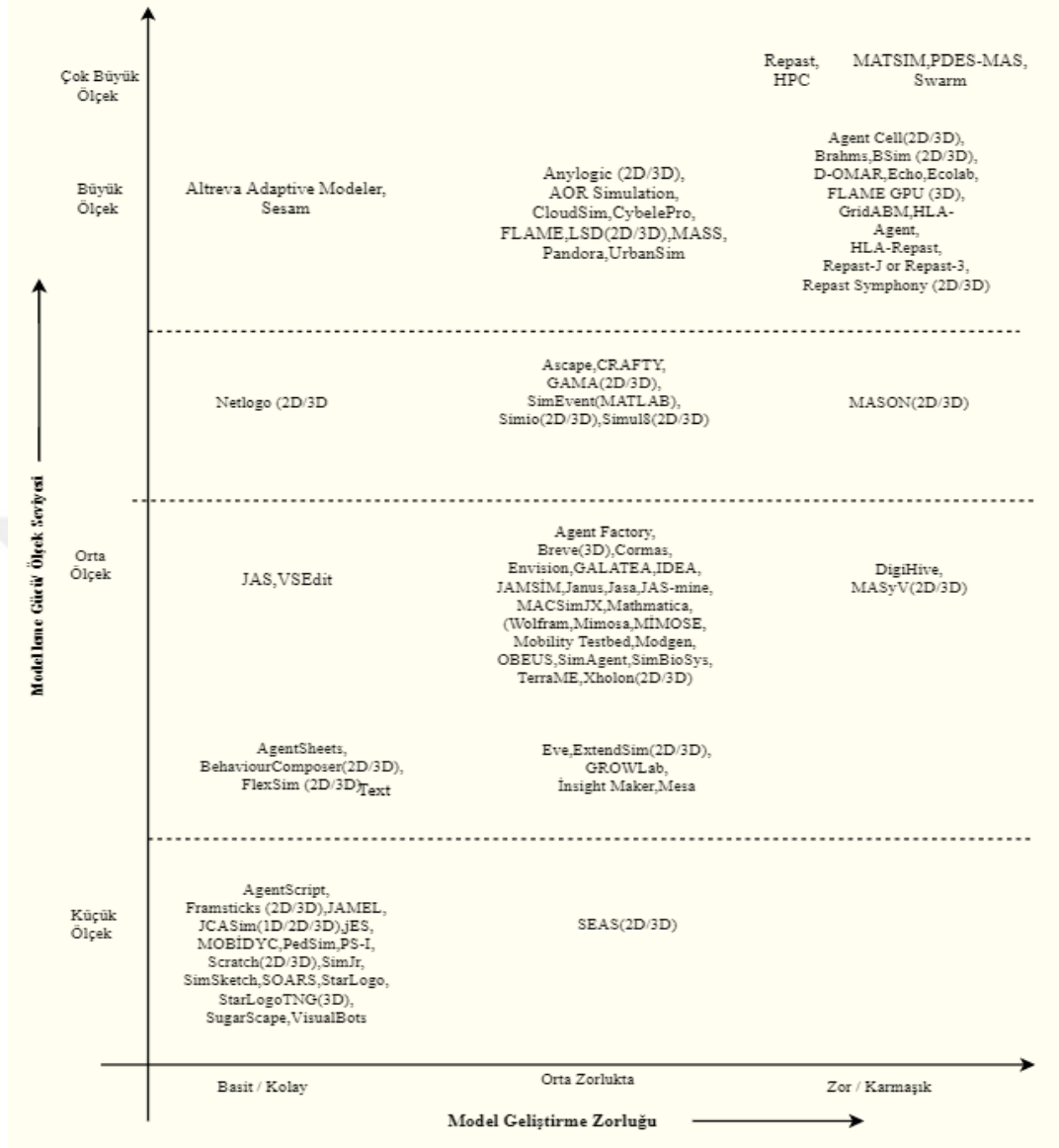
## 2.5. ETMEN TABANLI BENZETİM PLATFORMLARI

Etmen tabanlı modellemenin geleneksel değişken tabanlı modellemeye göre yararı, modeli matematiksel veya matematiksel araçlar ile çözülebilir hale getirmek için basitleştirmeler yapılmasına gerek olmamasıdır. Ancak, etmen tabanlı modellemede aşırı basitleştirmemek önemlidir. Etmen tabanlı modellerin gücü, gerçek dünya etkileşimlerinin karmaşıklığını doğru ve açık bir şekilde açıklama ve modelleme yeteneklerine dayanmaktadır (Berryman ve Angus, 2010: 363).

Birçok etmen tabanlı modelleme açık kaynak kodlu ve ücretsizdir. AnyLogic, ticari yazılımdır, eğitim amaçlı olarak kullanılabilen ücretsiz sürümü de mevcuttur. Diğer kullanılan yazılımlar Ascape, Breve, Cormas, MASS, PS-I ve SeSam'dır. Ayrıca, etmen tabanlı olmayan bir programda, herhangi bir dilde etmen tabanlı bir model yazmak mümkündür, ancak biraz yavaş olması olasıdır (Wilensky and Rand, 2015: vii). Modelleme araçları kullanılabilirlik açısından karşılaştırıldığında, her biri benzersiz ve farklı amaçlar için tasarlanmıştır. Mathematica, RePAST Symphony, StarLogo gibi bazı program paketleri, esnek sürükle ve bırak tipi ara yüzler aracılığıyla model geliştirmeyi kolaylaştıran görsel, sezgisel grafik kullanıcı araçlarını, grafik ve çizim yoluyla gerçek zamanlı görselleştirmeyi desteklemektedir (Abar vd., 2017: 30).

Şekil 9'de modelleme zorluğuna göre basitten daha karmaşık modellere, modelleme gücü ve ölçeğine göre küçükten çok büyük ölçeklere kadar sıralanmış platformlar sıralamıştır. Şekile göre modelleme kapasitesi ve zorluğu açısından bakıldığında RePast ve Swarm programlarının en tepede olduğu görülmektedir. Bu sıralamayı modelleme kapasitesi olarak aynı seviyede, model kurma kolaylığına göre sırasıyla NetLogo, GAMA ve Mason takip etmektedir.

**Şekil 9:** Etmen Tabanlı Modelleme ve Benzetimlerin Zorluk Derecesi ile Modelleme Kapasitesi İlişkisi



Kaynak: Abar vd., 2017: 31.

NetLogo, basit ancak güçlü bir programlama dili, platformdur, karmaşık modellerin prototiplenmesi için bile şiddetle tavsiye edilir (Railsback vd., 2006: 609). Ayrıca NetLogo dilinin ve benzetim ortamının geniş örnek modeller ve kod örnekleri kütüphanesi ve farklı öğreticilerin tarafından hazırlanmış kapsamlı kaynaklarının olması da önemlidir (Thiele, 2011: 13). NetLogo ile araştırmacılar basitleştirilmiş programlama dili ve grafik arayüzü ile kullanıcıların model kurmasına, gözlemlemesine ve NetLogo aracılığıyla etmen tabanlı programlama için standart programlama dillerinin karmaşık detaylarını bilmesine gerek olmadan kullanmaya

başlayabilir (Railsback ve Grimm, 2012: xiii). NetLogo çok etmenli sistemlerin benzetiminde model oluşturmak ve görselleştirmek için oldukça güçlü, kendine has özellikleri olan bir dildir, uygulamaları Java C, C++ gibi geleneksel dillere göre daha kullanışlıdır (Teahan, 2010: 8).

Deniz ulaştırmasında etmen tabanlı modelleme ve benzetim yöntemiyle hazırlanan makale-bildirilerde ve lisanüstü tezlerde en çok tercih edilen benzetim aracı NetLogo platformu olduğu görülmüştür (Çelik ve Zorba, 2019: 155). Açık kaynaklı yazılım olması, nispeten öğrenilmesinin kolay olması, eklentilerle diğer sistemlerle bütünleştirilebilir olması tercih nedenlerindendir (Wilensky ve Rand, 2015: xiii- xiv, Allan, 2010: 14). NetLogo bir eğitim aracı olarak tasarlanmış olsa da bilimde kullanımı hızlıca artmış ve bilim insanlarının ihtiyaçlarını karşılamak için daha iyi hale getirilmiştir (Railsback ve Grimm, 2012: xiii).

## **2.6. NETLOGO**

NetLogo çok etmenli bir geliştirme model ve benzetim geliştirme dili ve platformudur, programlanabilir modelleme ortamıdır (NKR, 2019: 215). Bağlantı Öğrenme ve Bilgisayar Tabanlı Modelleme Merkezi (CCL)'nde 1999'da Uri Wilensky tarafından geliştirilmiştir. NetLogo platformu, Java ve Scala dilleri kullanılarak yazılmıştır. Açık kaynak kodlu ve ücretsizdir. Mac, Windows, Linux ve diğer işletim sistemlerinde çalışır. Uluslararası karakter desteği sağlar. Son güncel sürümü 6.1.1'dir. Kullanıcı ara yüzü sadedir (NKR, 2019: 25-26).

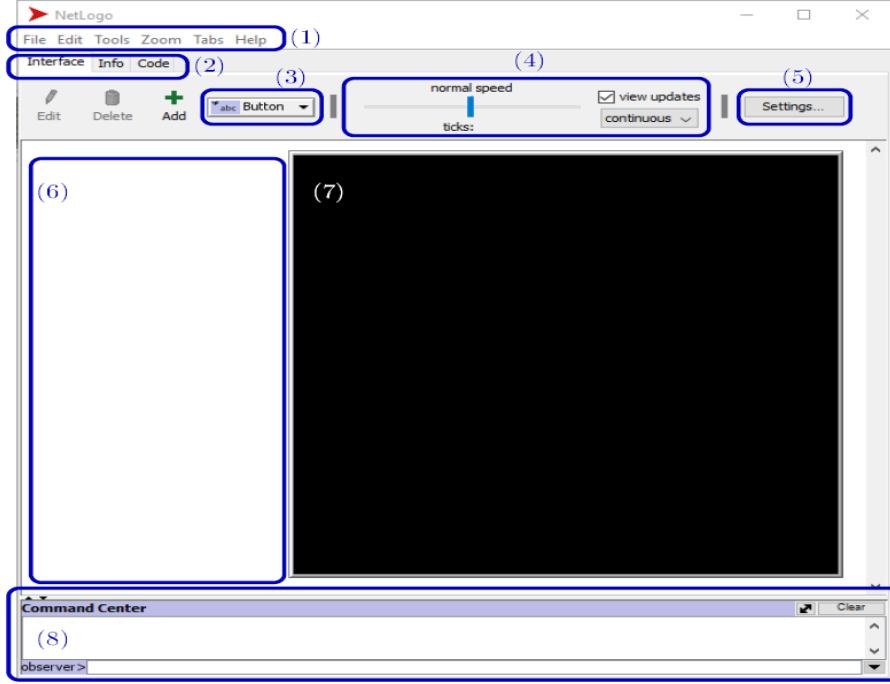
### **2.6.1. NetLogo Özellikleri**

Program açıldığında ara yüz açık olarak karşımıza çıkar. Kullanıcı ara yüzü, bilgi ve kodlama sekmelerinden sadece biri açık olabilir. Ara yüz modelin çalıştırılmasında kullanılır. Şekil 10'da boş bir kullanıcı ara yüzü görülmektedir.

Şekil 10'da gösterildiği gibi (1) Menü, (2) Ara yüz, Bilgi ve Kod görünümüleri arasında geçiş yapmak için kullanılan sekmelerdir, (3) Ara birime eklenebilir araçlar, (4) hız kaydırıcısını ve güncelleme kontrollerini içerir, (5) NetLogo dünyası ayarları,

(6) giriş ve çıkış araçlarının eklendiği ara yüzün boş bir alanıdır, (7) dünya veya modelin ana görünümü, (8) komut merkezidir.

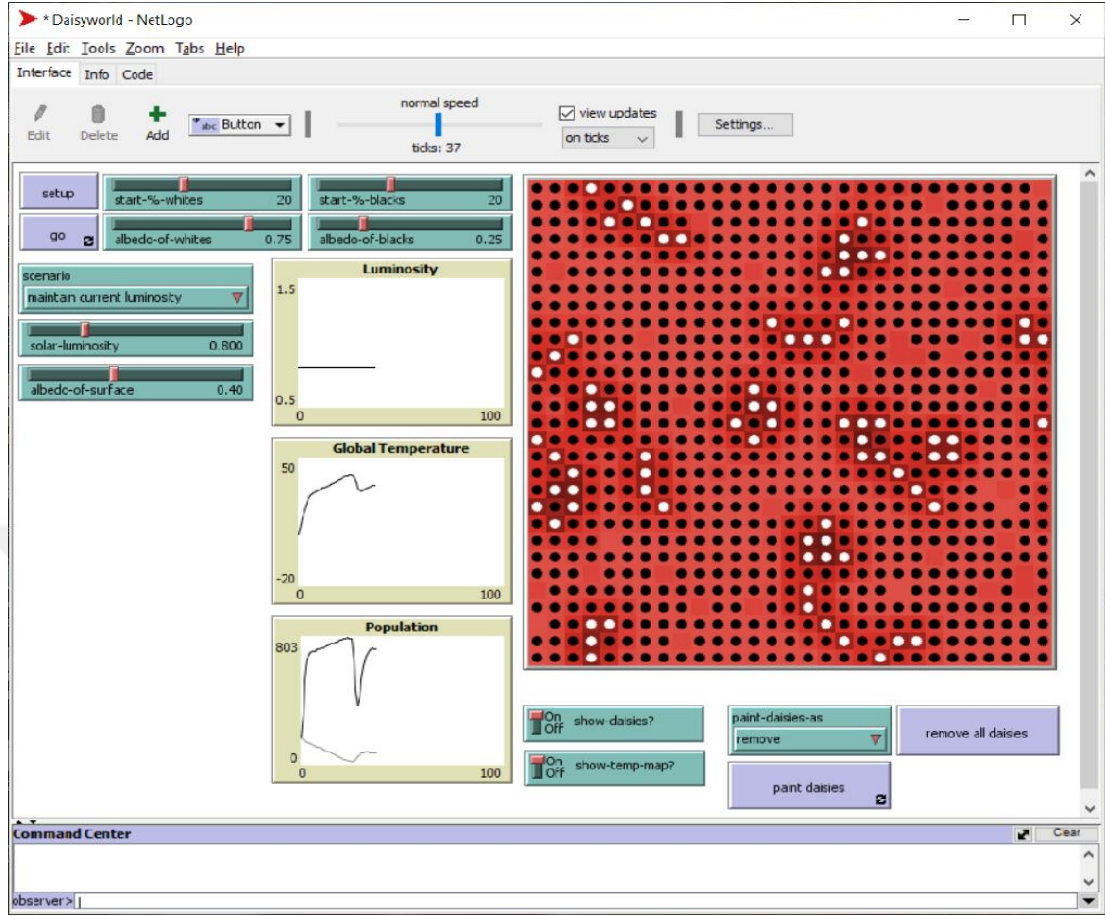
Şekil 10: Boş NetLogo Modelinin Kullanıcı Ara yüzü



Kaynak: NetLogo 6.1.1. Kütüphanesi.

Şekil 11’de çalışan bir modelin ekran görüntüsü aktarılmıştır. Genellikle ara yüz üzerinde (6) “button: düğme” ler, “slider: kaydırıcı” lar, “switch: aç-kapa”lar, “plot: grafik” ler bulunur. Birçok model “setup: kurulum” olarak adlandırılan modeli başlatan düğme ve modeli çalıştıran “go: çalıştır” düğmesini içerir. Bu düğmeler ile modeli kontrol edip çalıştırabiliriz. Kullanıcı modeli çalıştırmak için SETUP ve ardından GO düğmelerine basar (/wisc.pb.unizin.org, Wilensky ve Rand, 2015: 48-49).

Şekil 11: Çalışan Bir Netlogo Modelinin Ekran Görüntüsü

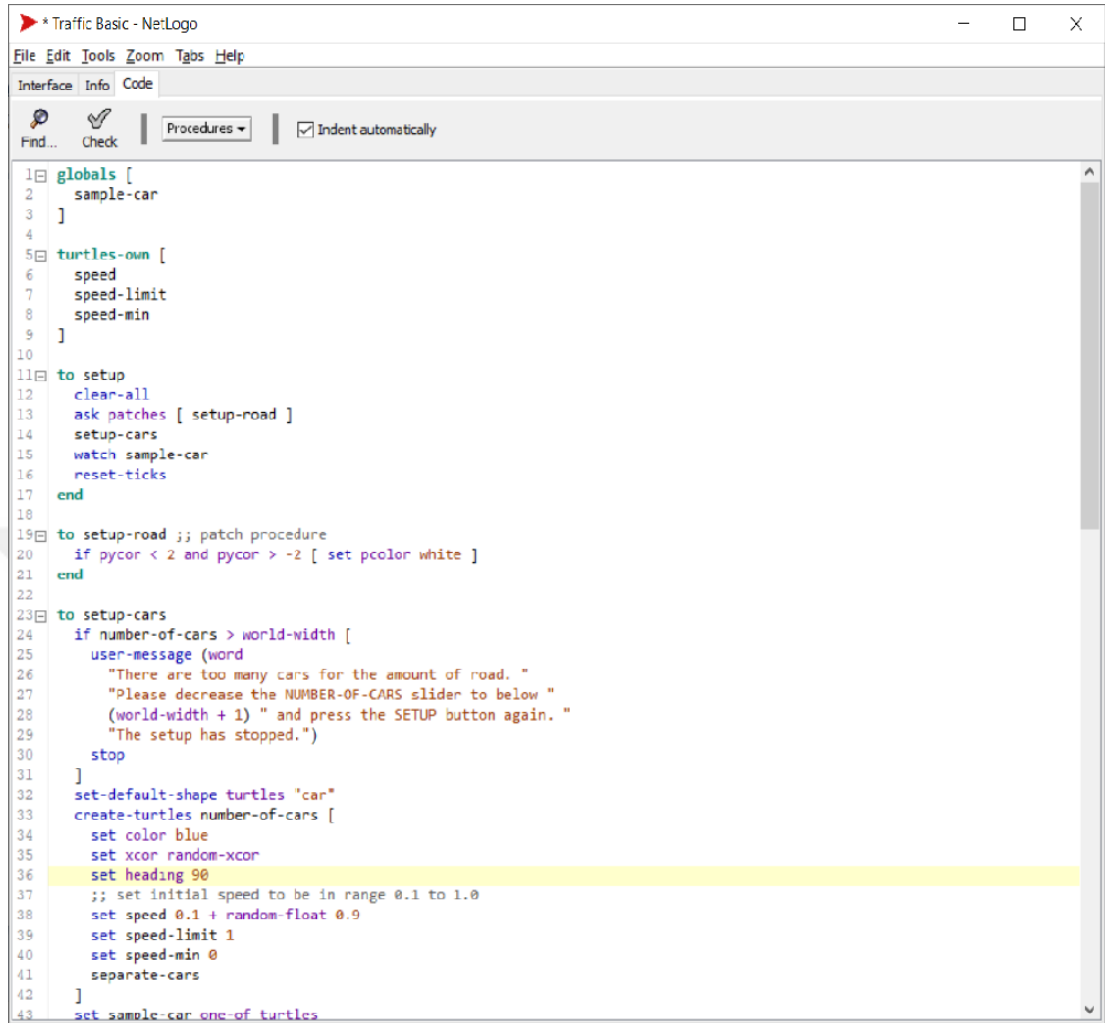


Kaynak: NetLogo 6.1.1. Kütüphanesi.

Bilgi sekmesi, modelin tanıtımını yapıldığı, modelin ne olduğu, nasıl çalıştığı, modelin nasıl geliştirilebileceği gibi bilinmesi gereken detayların yazıldığı sekmedir (NKR, 2019: 115).

Kod sekmesi, modelin kodunun saklandığı yerdir, büyük bölümü buradadır. Şekil’ de Bazı modellerde ara yüzde grafiklerde bazı kodlar yazılabilmektedir. Hemen kullanmak istediğimiz kodlar “go: çalıştır” a gider, kaydetmek ve daha sonra tekrar tekrar kullanmak istediğimiz kodlar ise kod bölümündedir (/wisc.pb.unizin.org, NKR, 2019: 125).

Şekil 12: NetLogo Modelinin Kod Sekmesi Ekran Görüntüsü



Kaynak: NetLogo 6.1.1. Kütüphanesi.

Burada “Kod” sekmesinde yazılan kodlar NetLogo’da “primitives” adı verilen ifade kalıpları program yazılmasında kolaylık sağlar. Ancak yazılacak kodların yapılmak istenen modellere göre değişeceği için “pseudo-cod” olarak yazı dili ve bilgisayar kodu arasında bir form olan, hesaplamalı algoritmalar olarak tanımlanan kod yazılması gerekmektedir (Wilensky ve Rand, 2015: xiv).

NetLogo dünyası etmenlerden oluşmuştur. Etmenler yönergeleri takip edebilen varlıklardır. NetLogo’da 4 tür etmen bulunmaktadır. Bunlar: Kaplumbağalar (turtles), yamalar (patches), bağlantılar (links) ve gözlemci (observer). Siyah renkli alan etmenlerin davranışlarını görüldüğü alan “world: dünya” NetLogo’nun benzetim ekranıdır. Benzetim içerisinde yer alan tüm etmenler bu ekranda görüntülenmektedir (NKR, 2019: 73, 127).

Kaplumbağalar, NetLogo dünyasında hareket eden etmenlerdir. Kaplumbağaların koordinatları vardır. Üzerinde hareket ettikleri dünya iki boyutludur ve yamalara ayrılmıştır. Her bir yama, üzerinde kaplumbağaların hareket edebildiği kare bir "zemin" parçasıdır, konumları vardır.

NetLogo başlatıldığında, platformda herhangi bir etmen bulunmaz, hiç kaplumbağa yoktur. Gözlemci yeni kaplumbağalar yapabilir. Yamalar da yeni kaplumbağalar yapabilir. Yamalar sabittir hareket edemez, ancak yine de kaplumbağalar kadar “canlı”dırlar. Bağlantılar iki kaplumbağayı birbirine bağlayan etmenlerdir.

Gözlemcinin NetLogo dünyasında herhangi bir yeri yoktur, gözlemcinin kaplumbağa ve yamalar dünyasını gözlemlediğini düşünebiliriz. Gözlemci pasif bir şekilde gözlemleme yapmaz, diğer etmenlere yönerge verir (Wilensky ve Rand, 2015: 262). Gözlemci, diğer tüm etmenlere ve çevreye erişimi olan etmenin kendisidir. Gözlemci etmenlerden belirli görevleri yerine getirmesini ister. Etmen tabanlı modellerin kullanıcıları, kullanıcı ara yüzü aracılığıyla etmenlerle etkileşime girebilir; bu da kullanıcının gözlemciye modelin ne yapması gerektiğini söylemesini sağlar (NKR, 2019: 73, 127).

### **2.6.2. NetLogo Model Tasarımı**

Etmen tabanlı bir model geliştirilirken bazı soruların yanıtların yanıtlanması modelin tasarım aşamasında faydalı olacaktır (Macal ve North, 2010: 157).

1. Model hangi özel problemi çözmelidir? Model hangi özel sorulara yanıt vermektedir? Etmen temelli modelleme, probleme diğer modelleme yaklaşımlarının sunamayacağı hangi katkı değeri sağlar?

2. Modelde hangi Etmenler olmalı? Sistemdeki karar vericiler kimlerdir? Varlıkların davranışları nelerdir? Model, etmen özelliklerini hesaplayabilir mi? Etmenlerdeki veriler güncellenebilir (dinamik öznitelikleri) mi?

3. Etmenlerin konumu neresidir? Etmenler bulundukları ortamda nasıl etkileşir? Bir etmenin ortamda hareketliliği önemli midir?

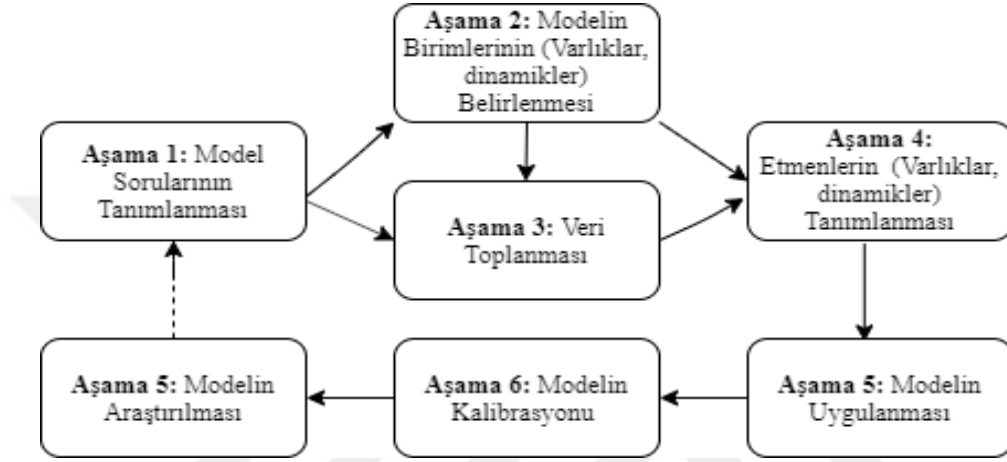
4. Etmenler hangi kararları alırlar? Etmenler hangi davranışlara karşı harekete geçiyor? Etmenler hangi işlemler yapılabilir?

5. Etmenler kendi aralarında nasıl etkileşim sağlıyor? Hangi (mekanda) ortamda? Etmen etkileşimleri ne kadar geniş ya da odaklanmış?

6. Belirli bir model için veriler özellikle Etmen davranışları açısından nereden gelebilir?

7. Modeli, özellikle Etmen davranışlarını nasıl doğrulayabilirsiniz?

**Şekil 13:** Modelleme Basamakları



Kaynak: Banos vd., 2015: 11.

Şekil 12’de modelleme basamakları görselleştirilmiştir. Çalışmada önerdikleri modelleme basamaklarını şu şekildedir (Banos vd., 2015: 10-11).

1. Modelin ele almayı amaçladığı bilimsel soruların tanımlanması;
2. Hedef sistemin bileşenlerinin tanımlanması;
3. Modeli oluşturmak için gerekli verilerin toplanması;
4. Etmenlerin ve çevrenin tanımı, modelin tüm öğeleri arasındaki etkileşimlerin tanımlanması;
5. Modelin uygulanması;
6. Ardışık benzetimlerle modelin kalibrasyonu;
7. Bilimsel sorulara cevap veren modelin araştırılması veya bu soruların yeniden tanımlanması.

Etmen tabanlı modellerin raporlaştırılmasında, temel amacı yazma ve okuma modeli açıklamalarını daha kolay ve verimli hale getirmek olan ODD Protokol (Grimm vd., 2006) “Overview, Design concepts, and Details- Genel Bakış, Tasarım

kavramları ve Ayrıntılar” genel bir formata, standart yapıya kavuşmuştur. Grimm ve arkadaşları tarafından geliştirilen ODD Protokol, bireysel tabanlı ve etmen tabanlı modellerin özelliklerini standartlaştırmak, daha anlaşılır, eksiksiz ve nesnel olarak aktarılması için hazırlanmıştır. ODD modellerin yöntemini geliştirir ve büyük modellerin teorik temellerinin daha görünür hale getirilmesine yardımcı olur. Bu protokolün, büyük ve karmaşık modellerin açıklanmasında da yardımcı olabileceği belirtilmiştir (Grimm vd., 2010: 2760). Bu protokolün temel ilkeleri şunlardır:

1. İlke: Amaç,
2. İlke: Varlıklar, Durum Değişkenleri ve Ölçeklendirme,
3. İlke: Sürece Genel Bakış ve Planlama,
4. İlke: Tasarım Kavramları,
5. İlke: Başlangıç Değerlerini Atama,
6. İlke: Giriş,
7. İlke: Alt Model.

Bir sonraki bölümünde bu protokolün temel ilkelerine göre modelleme basamakları açıklanmıştır. Bu protokol, ODD protokol modelin “iskeletini” belirler: Varlıklar, durum değişkenleri ve tüm süreçlerin isimleri ve nasıl programlandıkları ile modele şeklini veren temel fikirlerdir (Railsback ve Grim, 2012: 40).

Modelde varlıkları, modelde temsil edilenler, modelin durumunu herhangi bir zamanda durum değişkenleri tarafından belirtir. Bir etmenin durumu, özellikleri veya nitelikleri (boyut, yaş, tasarruf, fikir, bellek) ve genellikle davranış stratejisi ile tanımlanır (arama davranışı, teklif stratejisi, öğrenme algoritması). Planlama aşamasında Modelin yapısı ile modelin dinamikleriyle ilgileniriz: Süreçler model varlıkların durum değişkenlerini değiştirir (Railsback ve Grim, 2012: 38-39).

## **ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**

### **DENİZ TRAFİĞİ AKIM BENZETİMİ GELİŞTİRİLMESİ**

Bu bölümde araştırmanın konusu, amacı ve kapsamı, özgün değeri ve araştırma süreçleri ve NetLogo programu üzerinde hazırlan deniz trafiği akım benzetim modeli uygulama detaylarıyla aktarılmıştır. Varsayımlar, bulgular ve araştırmanın kısıtları, tartışma ve sonuç ile çalışma tamamlanmıştır.

#### **3.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU**

Deniz ulaştırması, dünya ticaretinde önemli bir yere sahiptir. Deniz ulaştırmasının yapıtaşlarından olan gemilerin güvenli ve emniyetli şekilde limanlara ulaşması, deniz trafiğinin aksamadan devam etmesi öncelikle can kaybının ve ekonomik kayıpların önüne geçilmesi, deniz kirliliğinin önlenmesi, deniz ulaştırmasının sürdürülebilirliğine katkı sağlayan en önemli konulardandır.

Bu çalışmada deniz ulaştırmasında trafik analizinin yapılmasına yönelik bir model hazırlanması ve deniz trafiği benzetiminin yapılabilmesi konu olarak ele alınmıştır. Çalışmada, deniz trafiğinin nispeten kesintisiz akım olarak gerçekleştiği açık deniz şartlarında, deniz trafiği koşullarına uygun, olabildiğince gerçekçi olarak bir trafik benzetiminin gerçekleştirilmesine yoğunlaşmıştır.

#### **3.2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI**

Araştırmada deniz ulaştırmasında emniyeti geliştirmek amacıyla gemi trafik hizmetlerinin bulunmadığı bölgelerde mevcut koşullarda gerçekçi bireysel gemi davranışlarını içeren deniz trafiği akım benzetimi gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Araştırmanın amacı, gerçek deniz trafiği koşullarının, gemilerin bireysel özellikleri dikkate alınarak deniz trafiği akımının bilgisayar ortamına aktarılması, deniz trafiğinin olasılıksal değişikliklere göre emniyetli yönetimi açısından değerlendirmesine imkân veren bir benzetim modeli gerçekleştirilmesidir.

Mevcut koşullar için gerçekleştirilen uygulama ile gelecekte deniz trafiğinde olan/beklenen değişikliklerin izlenmesi ve emniyet yönetimi açısından emniyet

yönetimi açısından trafik düzenlenmesi ile ilişkili olarak öneriler ve prosedürler geliştirilmesi çalışmanın diğer amaçlarındandır.

Bu amaçlara ulaşmak amacıyla araştırmada,

- Deniz ulaştırmasında gemi tipi ve bireysel özelliklerini içeren, gerçek deniz trafiği akımı ortamının bilgisayar ortamına aktarılabilirliği,
- Modelin belirli bir bölgenin deniz trafiğinin değerlendirilmesine uyarlanabilir genel bir benzetim modeli olarak hazırlanması,
- Modelin, geliştirilen benzetim yoluyla gelecekte suyollarında olası değişiklikler, yeni limanların yapılması ile olası deniz trafiği değişimi, bölgesel deniz trafiği hacmindeki değişimleri vb. durumlara göre trafik akışının emniyetle sağlanması için izlenmesi gereken politikalar açısından kara vericilere öneriler ve prosedürler geliştirmeye uygun olması, önem arz eden başlıklardır.

Araştırma kapsamında deniz trafiğinde yol alan gemilerin oluşturdukları yoğunluk hatlarının tespiti, olası yoğunlaşma/tıkanıklık bölgelerinin tespiti, çatışma ihtimalinin yüksek olduğu bölgelerin tespiti ve deniz trafiğinin düzenlenmesine yönelik önerilerin uygulanabileceği, izlenebileceği ve buna bağlı olarak da su yolu tasarımlarının yapılabilmesi bir model ve benzetimin yapılması hedeflenmiştir.

### **3.3. ARAŞTIRMANIN ÖZGÜN DEĞERİ**

Deniz trafiği modelleme ve benzetim çalışmaları ile ilgili yazın incelendiğinde, yapılan çalışmaları çatışmadan kaçınma, risk analizi, gemilerin liman bölgesine yaklaşımı, trafik değerlendirmesi ile karar vericilere öneriler, boğaz-liman geçiş bekleme oranları, kısıtlı su alanlarında yerel trafiğin benzetilmesi vb. konuları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca bu çalışmaların birçoğunda olaylar için kesikli olay benzetimi kullanılmıştır. Deniz trafiği gemi hareketlerinin ya da verilen hizmetlerin başlayıp tamamlanıp bitmesi dışında aynı anda gerçekleşen süreçlerden oluşan dinamik, karmaşık bir yapıya sahiptir.

Bölüm 2’de sunulduğu üzere ilgili yazın incelendiğinde Türkiye’de ve yurtdışında yapılan çalışmaların İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi, Tokyo Körfezi, San Francisco Körfezi, Delaware Nehri gibi deniz trafiği açısından yoğun olan

bölgelerde, Çin’de nehirlerdeki su yollarında uygulandığı görülmüştür. Kısıtlı su alanlarında ya da yoğun deniz trafiği koşullarında yapılan istatistiksel modeller, risk ve senaryo analizleri yapılan çalışmalardandır.

Yapılan benzetim ve modelleme çalışmaların çoğunda yaklaşım olarak kesikli olay benzetim modelleri ile seçilen deniz alanları için özel koşullarda istatistiksel olarak tespitlerde bulunmaktadır. Deniz trafiği ile ilgili yapılmış benzetim ve modelleme çalışmalarında, çok etmenli programlama çevresinde ve özellikle açık denizde gemi hareketleri ve karakteristiğinin dikkate alındığı bütüncül bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Sınırlı sayıda çalışmada deniz trafiği ile ilgili modellerde gemiler ve gemileri temsil eden etmenlerin etkileşimleri tanımlanmıştır.

Bu araştırmada ise belirli varsayımlar altında gerçek gemi davranışını içeren, açık deniz koşullarında gemilerin birbirleri ile etkileşiminin yer aldığı, akademisyenler ve araştırmacılar tarafından da tercih edilen NetLogo programı aracılığıyla ile deniz trafiği akım benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Gerçek gemi davranışına ve deniz trafiğinde karşılaşılan durumlara özgü emniyet değerlendirmeleri yapılmıştır. Alanyazında etmen tabanlı modelleme yaklaşımı ile açık denizde yapılan deniz trafik sistemi benzetimi ile karşılaşılma olasılığı, ayrıca çalışmanın deniz trafiği koşullarının değişmesi, liman kapasitesinin artması, yeni liman tesisleri ile bölgesel trafik koşullarının değişmesi vb. durumlarda trafiğin değerlendirmesine imkân veren, olası yeni durumlara göre güncellenebilen genel bir model olarak tasarlanması ve deniz trafiği açısından risk oluşturabilecek yaratabilecek noktaların belirlenmesine imkân vermesi araştırmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır.

### **3.4. ARAŞTIRMANIN SÜREÇLERİ**

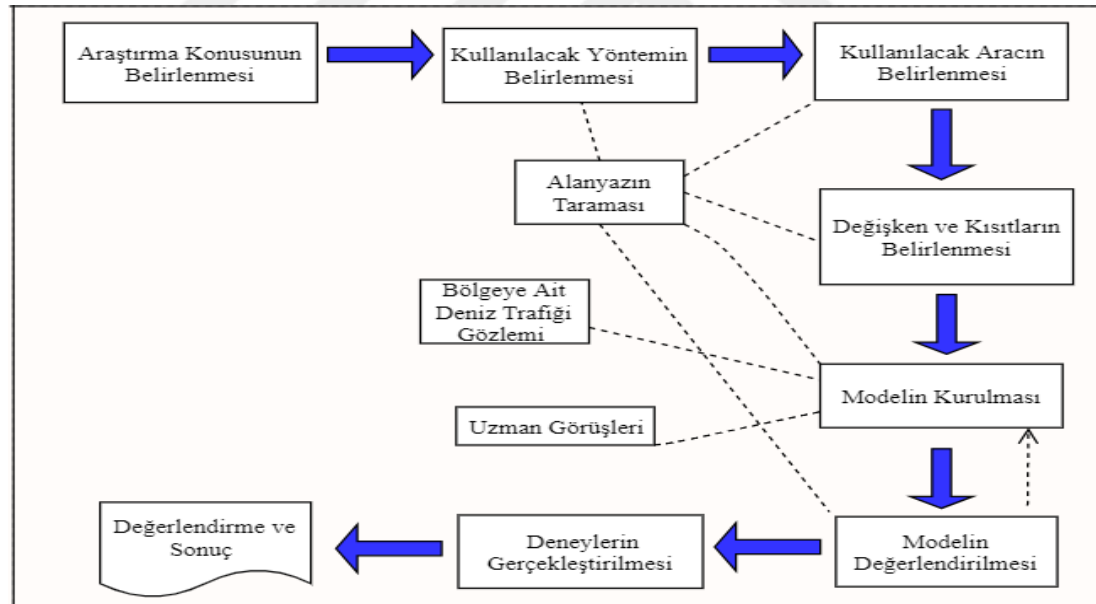
Araştırma konusu olarak deniz trafiği ile ilgili yapılan benzetim ve modelleme çalışmaları araştırılmış ve incelenmiştir. Öne çıkan benzetim çalışmaları kesikli olay benzetimi ve benzetim aracı olarak da ARENA, Awesim, Automod, Matlab programları olarak tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılacak modelin geliştirilmesi ve bilgi edinilmesi amacıyla öncelikle DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’nden Ulaşım

Akım Modelleri dersi ve Matlab ile Arena programları öğrenmek amacıyla da DEÜ Mühendislik Fakültesi'nde lisans dersleri misafiri öğrenci olarak takip edilmiştir.

Kısıtlı sayıda çalışmada etmen tabanlı yaklaşımın kullanılmış olması ve deniz trafiğinin karmaşık ve dinamik yapısına uygunluğu nedeniyle deniz ulaştırmasında etmen tabanlı modelleme ve benzetim çalışmaları için alanyazın taranmıştır. Açık erişimin olması, belirli bir programlama dili bilmenin önkoşul olmaması ve komutların konuşma diline yakın olması nedenleriyle NetLogo programının kullanılması tercih edilmiştir. NetLogo dilini öğrenmek için internet üzerinden video ve yayınlar takip edilmiş, daha kapsamlı öğrenmek amacıyla da Göttingen Üniversitesi'nde 22-30 Ağustos 2019 tarihlerinde gerçekleştirilen "Agent-based modelling with NetLogo" seminer ve kursuna sertifikalı katılım sağlanmıştır.

Alanda yapılmış çalışmaların güncel olması için araştırma belirli bir süreçte yayılmıştır. Şekil 14'te araştırmanın aşamaları gösterilmektedir.

Şekil 14: Araştırmanın Süreçleri



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışmada nitel ve nicel araştırma yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Nitel araştırma yöntemlerinden alanyazın taraması yapılmıştır. Deniz trafiği akımı ile ilgili yapılmış olan bilimsel çalışmalarda yer alan değişkenler tespit edilmiştir. Modelin kurulması sürecinde, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi öğretim elemanlarından seyir tecrübesi olan uzakyol vardiya zabitlerinden ve uzakyol

kaptanlarından uzman görüşlerine zaman zaman başvurulmuştur. Nicel araştırma yöntemlerinden ise benzetim (simülasyon) kullanılmıştır.

Bir önceki bölümde yer alan çalışmalardan, en çok kullanılan değişkenler sisteme uygulanmak üzere farklı rotalardan gemi geliş ve gidişlerinin olduğu bir bölge üzerinde benzetim modelinin gerçekleştirilmesi tercih edilmiştir. NetLogo programında hazırlanan model, geçerli model oluşturuluncaya kadar süreç boyunca gözden geçirilerek tekrar düzenlenmiştir. Benzetim üzerinde yapılan denemeler ve sonuçları senaryolarla değerlendirilmiş ve raporlanması ile sonuçlandırılmıştır.

### **3.5. DENİZ TRAFİK AKIM BENZETİM MODELİ**

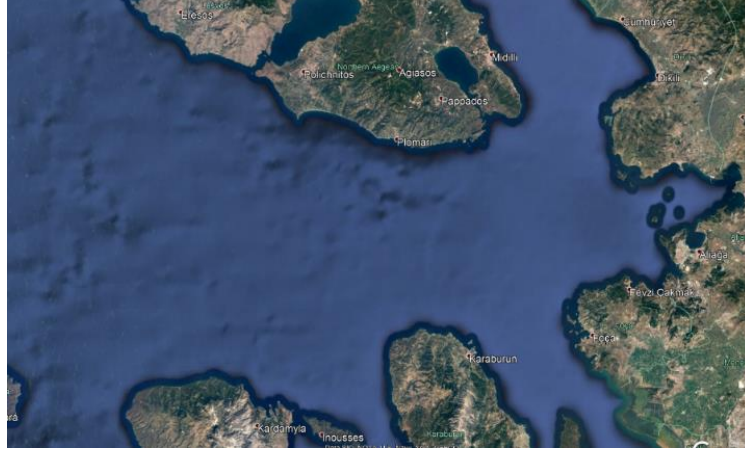
Çalışmanın bu kısmında NetLogo programında hazırlanan model, etmen tabanlı modellerin raporlaştırılması için bir rehber olan, önceki bölümde açıklanan ODD Protokol ilkelerine göre aktarılmıştır (Grimm vd., 2006). Çalışmanın amacı, gerçek deniz trafiği koşullarının, gemilerin bireysel özellikleri dikkate alınarak deniz trafiği akımının bilgisayar ortamına aktarılması, deniz trafiğinin olasılıksal değişikliklere göre emniyetli yönetimi açısından değerlendirmesine imkân veren bir benzetim modeli gerçekleştirilmesidir.

#### **3.5.1. Varlıklar, Durum Değişkenleri ve Ölçeklendirme**

Deniz trafiği sisteminde yer alan varlıklar gemilerdir. Gemiler NetLogo’da hareketli etmenler için kullanılan kaplumbağalar (turtle) ile temsil edilmiştir. Gemilerin üzerinde hareket ettiği yamalar (patch) deniz alanlarıdır.

Ege Denizi’nde açık deniz ve liman bölgelerini içeren (Dikili Limanı, Nemrut Limanı, Aliağa Limanı, Foça ve İzmir Limanı) 70 x 40 deniz mili alan dikkate alınmıştır (URL-25). Şekil 15’te modelde kullanılan deniz alanı gösterilmektedir.

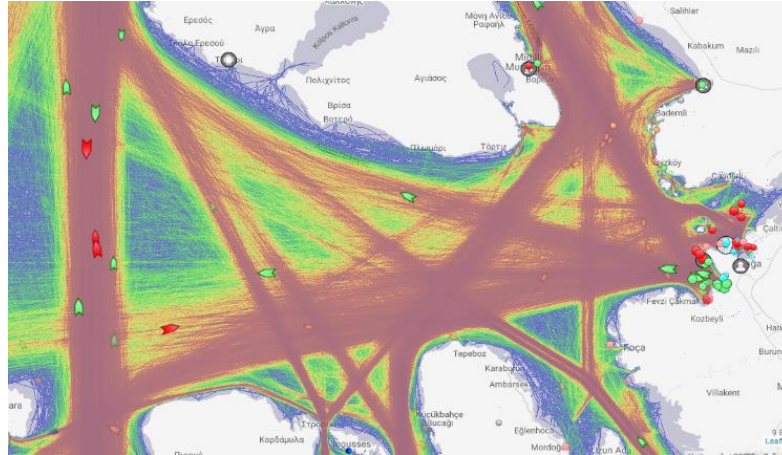
**Şekil 15:** Modelde Kullanılan Deniz Alanı



Kaynak: URL-25.

“www.marinetraffic.com” sitesi üzerinden Şekil 16’da görülen deniz trafiği yoğunluk haritasında Kuzey-Kuzeydoğuda Dikili- Midilli, Doğu- Güneydoğuda Foça ve İzmir Limanı girişi, güneyde Çeşme Kanalı’ndan giden ve gelen gemilerin bıraktıkları izlerden yola çıkarak gemilerin başlangıç ve varış noktaları tespit edilmiştir (URL-24). Bu rotalar NetLogo programuna aktarılmıştır.

**Şekil 16:** Bölgede Deniz Trafiği Yoğunluğu Haritası



Kaynak: (URL-24).

**Tablo 8:** Modelde Gemi Etmeni ve Üzerinde Hareket Ettiği Yama Etmeni için Kullanılan Durum Değişkenleri

| Değişken ismi              | Birimi      | Açıklama                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>f-LOA</b>               | yama        | Geminin tam boyu                                                                                                                                                                |
| <b>ship number</b>         | ---         | Gemi isimleri (sayılarla isimlendirilmiştir)                                                                                                                                    |
| <b>ship-type</b>           | ---         | Gemi sınıfı (tanker, konteyner, genel yük, dökme)                                                                                                                               |
| <b>Velocity</b>            | yama/dak    | Gemi hızı                                                                                                                                                                       |
| <b>velocity-min</b>        | yama/dak    | Geminin asgari hızı                                                                                                                                                             |
| <b>velocity-max</b>        | yama/dak    | Geminin azami hızı                                                                                                                                                              |
| <b>engine-command</b>      | ---         | Gemi hız değerini belirleyen ana makine komutu<br>Full-ahead: Tam yol ileri<br>half-ahead: Yarım yol ileri<br>Slow ahead: Ağır yol ileri<br>Dead slow ahead: Pek ağır yol ileri |
| <b>acceleration-cons</b>   | 0,01- 0,015 | Gemi tipine bağlı hızlanma sabiti                                                                                                                                               |
| <b>deceleration-cons</b>   | 0,01- 0,015 | Gemi tipine bağlı yavaşlama sabiti                                                                                                                                              |
| <b>turning-ability</b>     | ----        | Gemi tipine ve gemi boyuyla ilişkili dönme yeteneği                                                                                                                             |
| <b>turning-constant</b>    | 1,2 - 2     | Gemi tipiyle ilişkili dönme sabiti                                                                                                                                              |
| <b>X</b>                   | --          | x konumu                                                                                                                                                                        |
| <b>Y</b>                   | ---         | y konumu                                                                                                                                                                        |
| <b>origin</b>              | x,y         | Başlangıç noktası                                                                                                                                                               |
| <b>Destination</b>         | x,y         | Variş noktası                                                                                                                                                                   |
| <b>Heading</b>             | derece      | Geminin ilerlediği rota                                                                                                                                                         |
| <b>close-ship</b>          | -           | Yakın gemi                                                                                                                                                                      |
| <b>close-ship-distance</b> | yama        | Yakın geminin mesafesi                                                                                                                                                          |
| <b>Min-safe-distance</b>   | yama        | Gemilerin emniyetle takip etmesi gereken mesafe                                                                                                                                 |
| <b>vision-radius</b>       | yama        | Geminin diğer gemiye göre harekete geçtiği mesafe                                                                                                                               |
| <b>vision-angle</b>        | derece      | Geminin diğer gemiyi sancakta, iskelede gördüğü açı                                                                                                                             |
| <b>turning-angle</b>       | derece      | Geminin dönüş açısı                                                                                                                                                             |
| <b>safety-area</b>         | yama        | Geminin dinamik emniyetli alanı                                                                                                                                                 |
| <b>Trajectory</b>          | yama        | Geminin yörüngesi                                                                                                                                                               |
| <b>risk-status</b>         | ----        | Yamaya ait risk değeri                                                                                                                                                          |

Ölçeklendirmede, NetLogo’da her bir yama (patch) uzunluğu 1 deniz mili olarak, 1 patch = 1 deniz mili (1852 m) olarak kabul edilmiştir. NetLogo’da kaplumbağaların boyutlandırması için ise varsayılan değeri 1 olarak tanımlanmış olup yamanın ölçüsü ile aynıdır (NKR, 2019: 435). Bu durumda ise gemi boylarının modelde 1 olması durumunda gerçek görüntü değerini yansıtmayacaktır. Bu nedenle gemi boylarının yama üzerinde kapladığı alanlar, modele uyarlanmıştır. Kullanılan gemi boyları, model tasarımı kısmında aktarılmıştır.

Benzetim ortamı tanker, yolcu, konteyner, genel yük, dökme sınıfı farklı gemi tiplerinden, boyutlarından, kendi rotası olan, gemi alanı bulunan, makine kumandalarına göre tam yol, yarım yol, ağır yol, pek ağır yol gibi farkı hız aralıklarında hareket edebilen gemilerden oluşmaktadır.

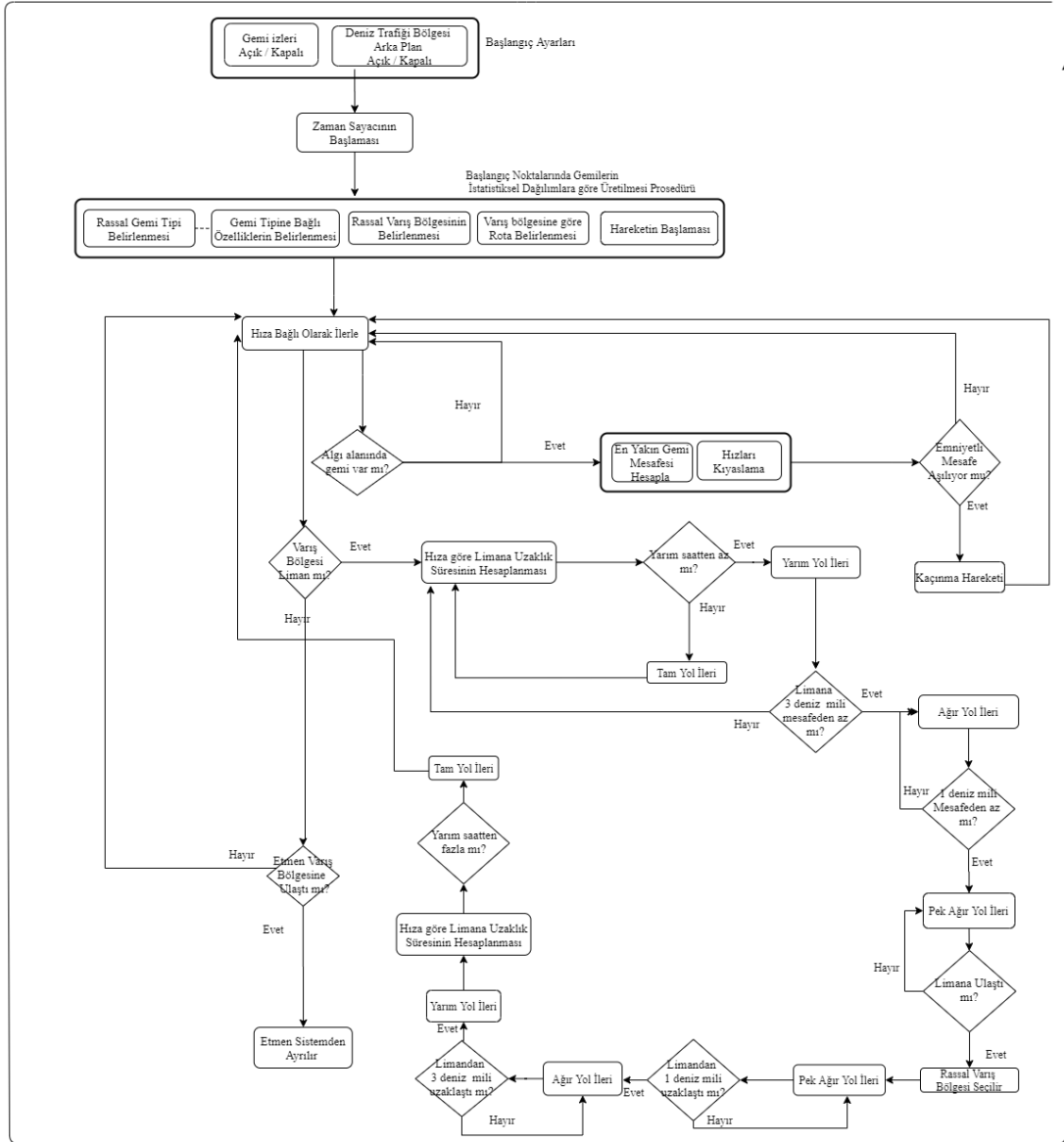
Modelde gemi olarak tanımlanan hareketli etmenlere, deniz alanını oluşturan yamalara ait özellikler Tablo 8’de sembolü, birimi ve açıklaması ile gösterilmektedir.

Model üzerinde her bir gemi için tanımlanmış olan geminin tam boyu, gemiyi diğer gemilerden ayırt edebilmek için gemi numarası, gemi tipi, hız değişkeni; gemi tipine bağlı olarak minimum hızı ve maksimum hız sınırları, yavaşlama ve hızlanma sabiti; gemi boyu ve gemi tipi ile ilişkilendirilmiş dönme yeteneği, yamaların bulunduğu koordinat sistemi üzerinde konumu, her bir geminin başlangıç ve varış noktası, rotası, aynı varış noktasına giden gemiler için emniyetli takip mesafesi, pruva-pruva karşılaşması, aykırı geçme durumunda olan gemilerde geminin diğer gemiye göre harekete geçtiği mesafe, geminin diğer gemiyi sancakta, iskelede gördüğü açı, geminin dönüş açısı, her bir yamanın gemilerin belirli mesafe ve açıda gördükleri gemiler ile karşılaşma sıklığına göre aldığı bir risk değeri bulunmaktadır.

### **3.5.2. Genel Bakış ve Planlama**

Yukarıda da belirtildiği üzere, açık deniz ve liman bölgelerinin olduğu bir alan için gerçekleşen gemi trafiğinden, gemi izlerinden yola çıkılarak deniz trafiği modeli geliştirilmiştir. Şekil 17’de de görüleceği üzere deniz trafiği benzetim modeli akış diyagramı oluşturulmuş ve benzetimin geliştirildiği süreç boyunca modelde geliştirmeler yapılmıştır.

Şekil 17: Deniz Trafik Benzetim Modeli Akış Diyagramı



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Modelde, belirli bir başlangıç bölgesinden gemi tipinin hız sınırlılıklarına göre doğrudan varış noktalarına ya da uğraması gereken dönüş noktalarına giden gemiler, varış noktalarında ölererek sistemi terk ederler. Şekil 15'te kullanılan deniz alanında limanların bulunduğu bölgeye giden gemiler için, geminin hızına göre limana varışına bir saatlik yolu kaldığında hız keserek yarım yol ilerler, limana olan mesafesi 3 deniz mili ya da daha az mesafede ise ağır yol ileri, 1 deniz mili mesafesinde pek ağır yol ilerlemektedir.

Bu sürede eğer başka gemiler ile karşılaşılırsa ya da aynı noktaya ilerlediği gemi ya da gemiler varsa hızları arasında karşılaştırma yapılır. Modelde yer alan gemi davranışları, aşağıda model tasarımı bölümünde detayları anlatılmıştır.

### 3.5.3. Model Tasarım

Model tasarımında kullanılmak üzere, İzmir Körfezi kuzeyi Aliğa Dikili ve Midilli Karaburun Kuzeyini kapsayan kuzeybatıda  $39^{\circ} 04' K$   $025^{\circ} 51' 51'' D$  ve kuzeydoğuda  $39^{\circ} 03' 54'' K$   $27^{\circ} 12' 44'' E$ , güneybatıda  $38^{\circ} 35' 54'' K$   $025^{\circ} 52' 16'' D$ , güneydoğuda  $38^{\circ} 35' 54'' K$   $027^{\circ} 12' 23'' D$  koordinatları ile sınırlandırılmış deniz alanında gerçekleşen deniz trafiği, benzetim modeli için hafta süre ile 08.02-15.02.2020 zaman aralığında internet üzerinden gözlemlenmiştir (URL-24). Bu bölgeye gelen ya da bölgeden ayrılan, demirde, limanda bekleyen gemiler 100 sayısına ulaşıncaya gözlem tamamlanmıştır. Site üzerinden anlık deniz trafiği bilgileri, ticari gemi sınıfında olan gemiler gemi türü, gemi boyu, gemi eni ve draft bilgileri kayıt edilmiştir. Bölgede bulunan gemi tipleri, gemi boyutlarına ait istatistiksel bilgiler elde edilmiştir, modele aktarılmıştır.

#### 3.5.3.1. Modelde Gemilerin Üretilmesi

Bölgede gerçekleşen deniz trafiği ile ilgili bilgi edinmek için yapılan 1 haftalık gözlemlerde, limanlarda bulunan, ayrılan ya da yaklaşan gemisi sayısı 100 sayısına ulaştığında tanımlayıcı gözlem süreci tamamlanmıştır. Bölgede bulunan gemi tipleri ve dağılımları Tablo 9' da gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Gemi Tiplerine Göre Gemi Sayısı

| Gemi Tipleri       | Gemi Sayısı |
|--------------------|-------------|
| Tanker Gemisi      | 27          |
| Genel Yük Gemisi   | 48          |
| Dökme Gemisi       | 14          |
| Konteyner Gemisi   | 9           |
| Yolcu Gemisi       | 2           |
| Toplam Gemi Sayısı | 100         |

Kaynak: URL-24'ten yazar tarafından elde edilmiştir.

Modelde tanımlanan gemi tipleri tanker, genel yük, dökme ve konteyner gemisi kullanılan gemi tipleridir. Ayvalık- Midilli arasında düzenli yolcu taşıyan gemi sayısı az olduğu için modelde göz ardı edilmiştir.

Gemiler bölge üzerinde başlangıç ve varış konumlarına (Origin-Destination, OD) göre hareket etmektedir. Gemiler belirli başlangıç noktasından doğar ve varış noktasına ulaştığında ise ölür. Ancak Şekil 18’de görüldüğü gibi, Aliaga, Foça ve İzmir Limanı’nı temsil eden bölgelere gittiğinde o konumu başlangıç kabul edip yeni bir varış noktasına ilerlemektedir. Gemiler varış noktasına ilerlerken doğrudan varış noktasına ya da dönüş noktalarına ilerleyip dönüş noktalarından varış noktalarına ulaşırlar. Gemilerin hangi başlangıç konumundan ilerlediği varış konumları seçenekleri Şekil 19’da gösterilmiştir.

**Şekil 18:** Gemilerin Başlangıç ve Varış Noktaları



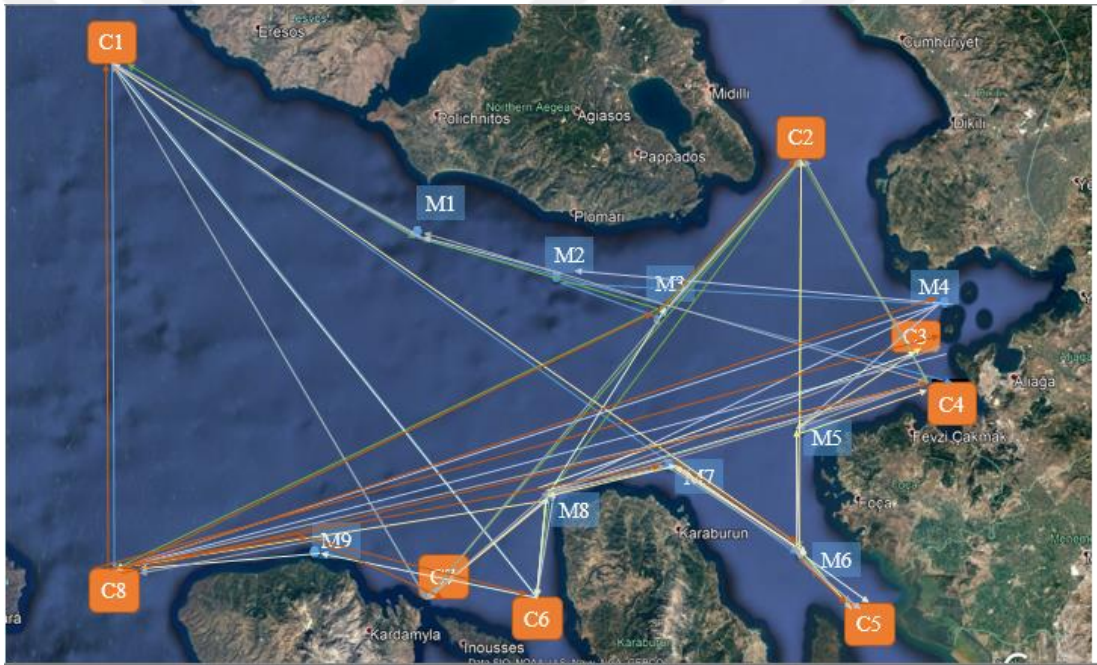
Kaynak: Yazar tarafından URL-24’ten faydalanılarak oluşturulmuştur.

Şekil 18’de nokta olarak temsil edilen C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 konumları modelde x, y bileşenleri için farklı nokta seçeneklerinden oluşan konumlarıyla bölge olarak tanımlanmıştır. Bu bölgeler geminin sistemde üretildiği ya da varış bölgesi olarak ölüp sistemden çıktığı bölgelerdir. Örneğin, C1 konumu (04,40) için koordinat sisteminde x bileşenleri (2,3,4,5,6,7,8) noktalarından, y bileşeni için

(39,40) noktalarından modelde rassal olarak seçilen noktalardan oluşan bölgedir. Şekil 20’de modelde C1 bölgesinde gemi üretilirken kullanılan pseudo kodlar yer almaktadır.

M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 noktaları C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 konumları arasında doğrudan gidilemeyecek bölgeler için bir dönüş noktası olarak modelde tanımlanmıştır. M1 dönüş noktası, C1’den C4 bölgesine veya C4 bölgesinden C1 bölgesine giden gemiler tarafından kullanılmaktadır. Şekil 19’da modelde kullanılan başlangıç, bitiş bölgeleri ve bu bölgeler arası dönüş noktaları gösterilmiştir.

**Şekil 19:** Gemilerin Başlangıç- Varış Noktaları Seçenekleri



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Gemiler tasarlanırken gemi işletmesi açısından en önemli parametre geminin servis hızıdır. Servis hızı geminin çalışacağı hattın hava koşullarına, gövde geometrisi, pervane gücü gibi bileşenler dikkate alınarak matematiksel modeller ile hesaplanır (Szelangiewicz ve Żelazny, 2016: 43). Geminin servis hızı, gerçek hava şartlarında belirlenmiş rotasında giderken performans sağladığı hızdır (URL-26).

Alanda yapılan çalışmalarda, gemi hızları ile ilgili farklı kabuller yapıldığı görülmektedir. Gemi hızı dağılımı benzetimde gemilerin ortalama hızları

kullanılmıştır. Gelen gemiler için hızları için genel yük 6.89, konteyner 7.75, 7.10 konvoy, 7.09 diğer gemiler, giden gemiler için aynı sıra ile 11.8, 12.86, 15.48, 14.26 ve 11.2 nm değerleri kullanılmıştır (Xu vd., 2015: 508).

Gemilerin, asgari ve azami hızları gemi tipine bağlıdır (Huang vd., 2013: 299). Ticari gemiler için gemi tipine göre servis hızları 13 knot ile 30 knot arasında değişmektedir (Barras, 2004: 55). Gemilerin servis hızları, farklı gemi tipleri, tasarımları, taşıdıkları yükler açısından, draftları vb. nedenlerle farklılıklar göstermektedir. Alanda belirtilen çalışmalarda gemi tiplerine göre hızları, genel yük gemileri için 12-18 knot, konteyner gemileri için 30 knot a kadar, tankerler için 18-20 knot, dökme yük gemileri için 15,5 knot, yolcu gemilerinin hızları 20-22 knot aralığında değişmektedir (Molland, 2008: 45,49-50,58).

Modelde gemiler O-D konumlarına göre belirli hız sınırları içerisinde hareket etmektedir, gemi hızları gemi tipine göre farklılık göstermektedir. Gemiler, gemi tipi, hızı ve boyu rastgele seçilmiş olarak doğarlar. Tablo 9’da gemi tipine göre gemi hızları ile ilgili sınırlılıklar gösterilmiştir.

**Tablo 10:** Gemi Tipine Göre Modelde Uygulanan Hızlar

|              | Renk    | Ortalama Değer Aralığı<br>(Deniz Mili/ Saat) |     | Modelde Kullanılan Değerler<br>(Yama /Dakika) |       |
|--------------|---------|----------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|-------|
| Gemi Tipi    |         | Min                                          | Max | Min                                           | Max   |
| Genel Yük    | Yeşil   | 12                                           | 16  | 0,200                                         | 0,266 |
| Tanker       | Kırmızı | 11                                           | 16  | 0,183                                         | 0,266 |
| Konteyner    | Sarı    | 14                                           | 24  | 0,233                                         | 0,400 |
| Dökme Yük    | Beyaz   | 10                                           | 15  | 0,166                                         | 0,250 |
| Yolcu Gemisi |         | 15                                           | 25  | 0,250                                         | 0,416 |

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Gemiler üretilirken gemi tipi seçeneği, asgari ve azami gemi boyu aralığı, gidecekleri varış noktalarına gitme olasılığı eşit olasılıklıdır. Başka bir söylemle, modelde bir gemi üretilirken gemi tipi %25 olasılıkla genel yük, tanker, konteyner ya da dökme yük gemisidir. Modelde görsel olarak takip edilebilmesi açısından Tablo 10’da görüldüğü gibi farklı renklerle tanımlanmıştır.

Gözlem sürecinde bölge için gemi tipine göre sınırlılıkların tespit edilmesi amacıyla gemi türü, gemi boyu, gemi eni ve draft bilgileri kaydedilmiştir. Gemi tipi,

gemi eni ve boyu ilişkisi ve asgari, azami ve ortalama değerleri ile modelde gemi üretilirken kullanılan değerler aşağıda Tablo 11’de gösterilmiştir.

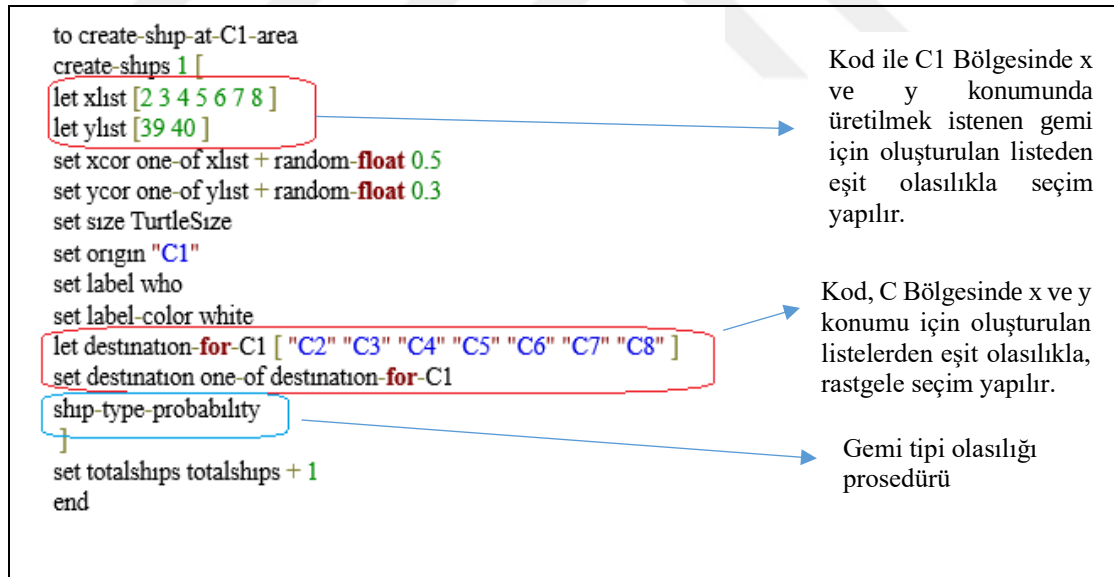
**Tablo 11.** Gemi Tiplerine Göre NetLogo’da Kullanılan Gemi Boyları

| Gemi Tipi | Boy (m) |        |        | Boy (yama üzerinde kapladığı alan) (Deniz mili) |          |          |
|-----------|---------|--------|--------|-------------------------------------------------|----------|----------|
|           | Min     | Max    | ort    | Min                                             | Max      | ort      |
| Genel Yük | 75      | 139    | 111,8  | 0,0404968                                       | 0,075054 | 0,060367 |
| Tanker    | 71      | 294    | 156,3  | 0,0383369                                       | 0,158747 | 0,084395 |
| Konteyner | 133     | 211,44 | 211,44 | 0,0718143                                       | 0,114168 | 0,114168 |
| Dökme yük | 104     | 229    | 165    | 0,0561555                                       | 0,123650 | 0,089092 |
| Yolcu     | 138     | 140    | 139    | 0,074514                                        | 0,075593 | 0,075054 |

Kaynak: URL-24’ten yazar tarafından elde edilmiştir.

Şekil 20’de temsili olarak C1 bölgesinde üretilen bir gemi için yazılan pseudo kod gösterilmiştir. Modelde yer alan 8 farklı bölgede gemi üretilmiştir. Bölge üzerinde diğer alanlarda gemi üretilmesi için benzer prosedürler yazılmıştır.

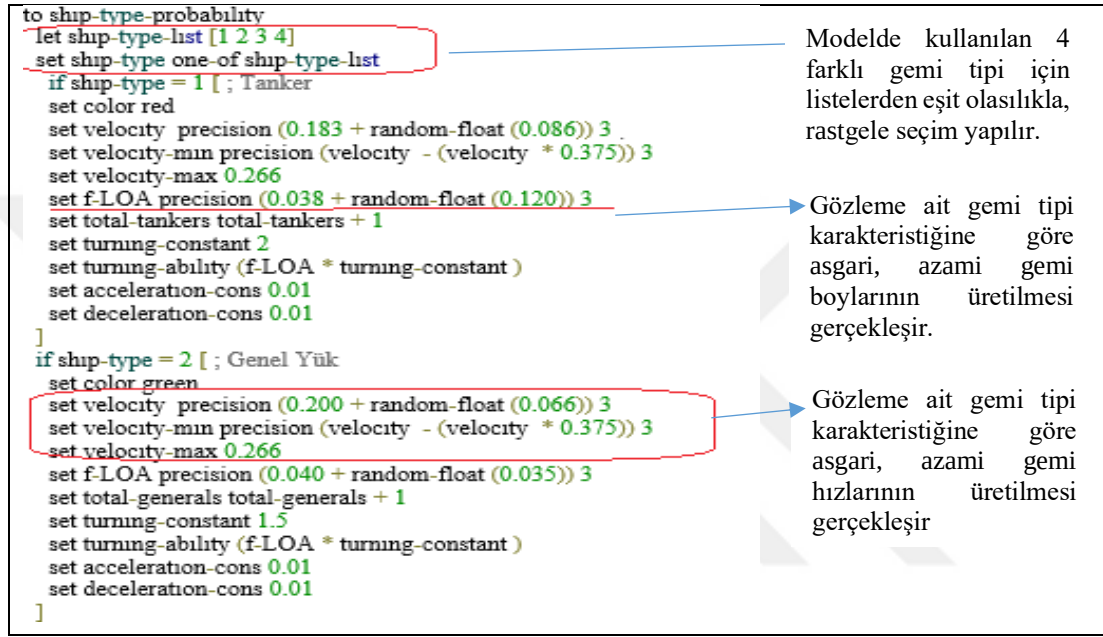
**Şekil 20:** C1 Bölgesinde Gemi Üretmek İçin Kullanılan Prosedür



Şekil 20’de görüldüğü üzere, C1 bölgesinde gemi üretilirken x koordinatı için oluşturulan listeden ve y koordinatı için oluşturulan listelerden rastgele seçilen x, y konumunda gemiler oluşturulur. Kodun devamında C1 bölgesinde üretilen gemilerin varış bölgeleri liste olarak gösterilmiştir. C1 bölgesinde oluşturulan gemi listede yer alan varış bölgelerinden birini varış bölgesi olarak seçer.

Modelde yer alan gemi tipleri, bölgede üretilen gemi tipi olasılığı prosedürü tarafından belirlenmektedir. Sistemde üretilen gemiler tanker, genel yük, konteyner ve dökme yük tipi gemilerdir. Gemi tipi olasılığı prosedürü ile üretilen her geminin, gemi tipine bağlı karakteristiklerinin oluşturulması için oluşturulmuştur. Şekil 21’de gemi tipine olasılığı prosedürü gösterilmiştir.

**Şekil 21:** Gemi Tipi Olasılığı Prosedürü



Şekil 21’de gösterildiği üzere prosedürde yer alan tanker ve genel yük gemilerine ait bölüm gösterilmektedir. Prosedür ile modelde yer alan 4 farklı gemi tipi içinden eşit olasılıkla gemi tipi seçimi yapılır. Gemi tipine göre tanımlanan gemi boyu, gemi hızı asgari ve azami sınırlılıkları ve gemi tipi ile ilişkilendirilen diğer karakteristikler bu prosedürde yer almaktadır.

### 3.5.3.2. Gemi Gelişlerinin Üretilmesi

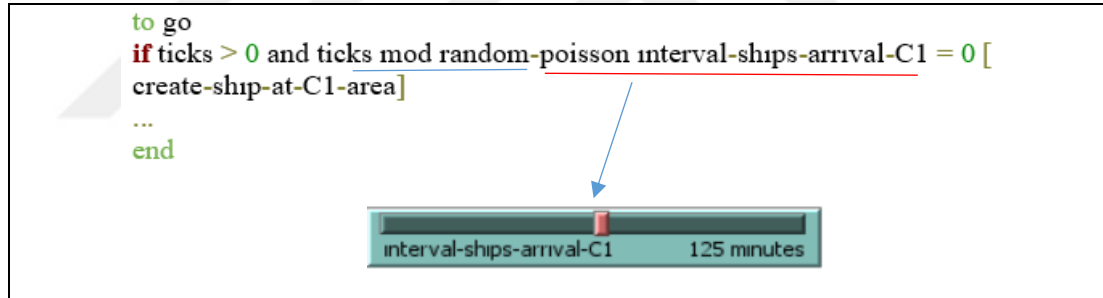
Modelde gemiler üretilirken bir sonraki geminin üretileceği zaman için alanyazında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Gemi gelişleri arasındaki süre çalışmalarda şu şekilde yer almaktadır: İstatistiksel olarak gemi geliş oranları normal, poisson dağılımına uygun olduğunu (Tasseda ve Shoji, 2018: 32-33), gemi geliş oranı Erlang (Feng, 2013: 128), poisson ve üssel (Xu vd., 2013: 809), liman sahasına geliş

ve gidişler birleştirilerek minimum 3 dk ortalaması 500 dk, standart sapması 501 dk olan birleştirilmiş dağılım belirtmişlerdir. Bir ana liman için gemi gelişleri arası sürenin konteyner gemileri için 10, dökme gemiler için 14, tankerler için 20 dk olarak belirtilmiştir (Huang vd., 2019: 9).

Limanlardaki gemi trafiği ile ilgili süreçlerin modellenmesinde kullanılabilecek istatistiksel dağılımların belirlenmesi için yapılan bir çalışmada, gemi gelişleri arası süre dağılımı için en çok benimsenen ve kullanılan dağılımın Üssel dağılım (gelen gemi sayısının Poisson sürecine uygun) olduğu, bunun dışında Gamma, Weibull ve Erlang dağılımları da kullanıldığı ifade edilmiştir (Özkan vd., 2020: 73).

Modelde gemi gelişleri arası süreler her bir nokta için poisson olasılık dağılımına göre üretilmiştir. Şekil 22’de C1 bölgesinde üretilen bir gemi için yazılan pseudo kod ve modelde istenilen sayının hızlı ve kolayca eklenebilmesi için kontrol aracı olarak kaydırıcı eklenmiştir ve model arayüzünde gösterilmiştir.

**Şekil 22.** Gemi Gelişlerinin C1 bölgesi için Üretilmesi



Şekilde görüldüğü gibi modelde arayüzde yer alan kaydırıcılar, C2, C6, C7, C8 bölgelerinde gemi gelişleri süresinin kontrolü için kullanılmıştır. Gemi geliş sürelerinin modelde üretilen ve liman bölgelerine giden gemi sayılarına olan etkisi, kod bölümüne geçmeden arayüz üzerinde kolaylıkla kontrol edilebilmekte ve model üzerinde görülmektedir.

### 3.5.3.3. Gemi Hareketlerinin NetLogo Ortamına Aktarılması

Gemilerin seyir sırasında gerçekleştirdiği dönüş, yavaşlama ve hızlanması modelde belirli varsayımlar ile uygulanmıştır.

*Gemilerin Dönüşleri* için alanyazında Liu ve Hekkenberg (2016)'ın çalışmalarından faydalanılmıştır. Çalışmada, dümen alanı, baş-kıç dikmeler arası mesafe ve draft değişkenleri kullanılarak dümen alanı ve geminin yanal alanı arasındaki ilişki aktarılmıştır. Modelde uygulama açısından tüm gemiler için draft ve dümen alanı değerleri sabit tutulup gemilerin dönme yeteneği için gemi boyu ile dümen etkisi ilişkisi kurulmuştur. Tablo 12'de gemi tiplerine göre kullanılan dümen alanı aktarılmıştır.

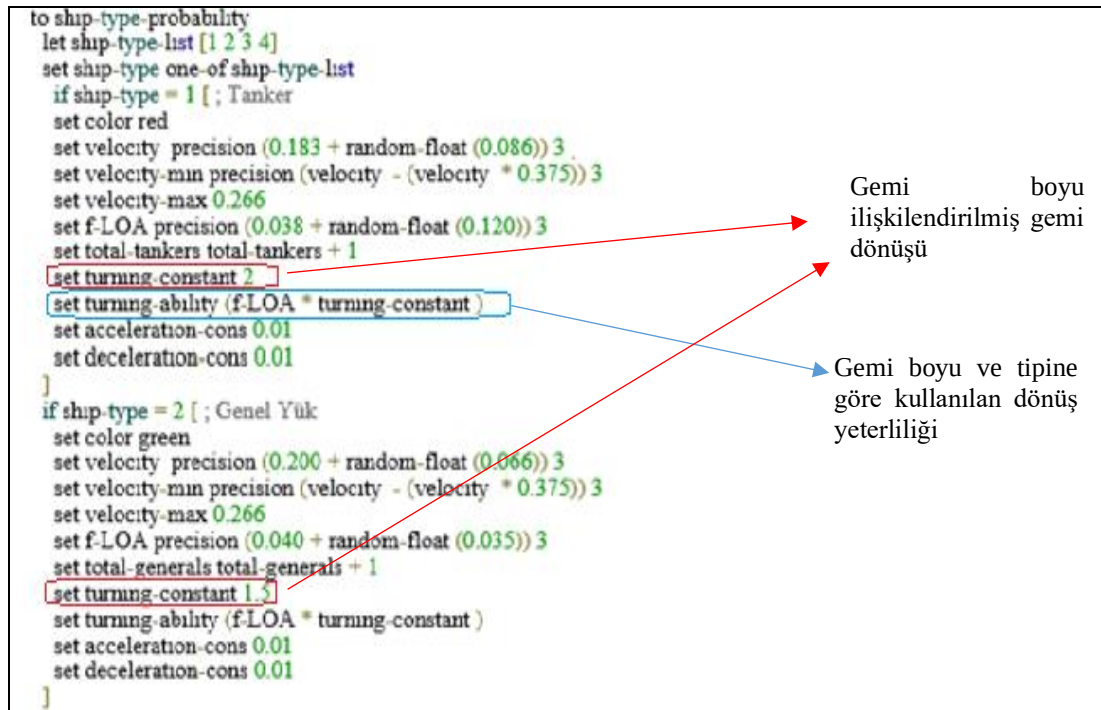
**Tablo 12:** Gemi Tiplerine göre Dümen Alanı Referans Oranları

| Gemi Türleri                       | Dümen Alanı |
|------------------------------------|-------------|
| Konteyner Gemisi                   | 1,2-1,7     |
| Yolcu gemisi                       | 1,2-1,7     |
| Genel Yük Gemisi                   | 1.5         |
| Petrol Tankerleri ve Dökme Gemiler | 2.0         |

Kaynak: (Liu ve Hekkenberg, 2016: 502).

Tablo 12'de gösterilen referans oranları, gemi tipine göre dönüş sabiti değişkeni olarak aktarılmıştır.

**Şekil 23.** Gemi Tipi Karakteristiğine göre Gemi Dönüşleri Prosedürü



Modelde gemiler üretildikleri yani sistemde ilk göründükleri andaki hızları ana makine motor komutu ile ilişkilendirilerek kullanılmıştır, ilk hızları “tam yol ileri” olarak tanımlanmıştır. Gemi hızları modelde açık denizde koşullarında “tam yol ileri” komutu ile hareketine başlar.

*Geminin Yavaşlaması* liman bölgelerine yaklaşırken liman bölgesine geminin kendi hızına göre 1 saatlik mesafe kaldığında ana makine motor komutu prosedürüyle gemi hızı kendi hızının yüzde altmışına inmesi ile gerçekleşir. Bunun için kullanılan prosedür Şekil 24’te görülmektedir.

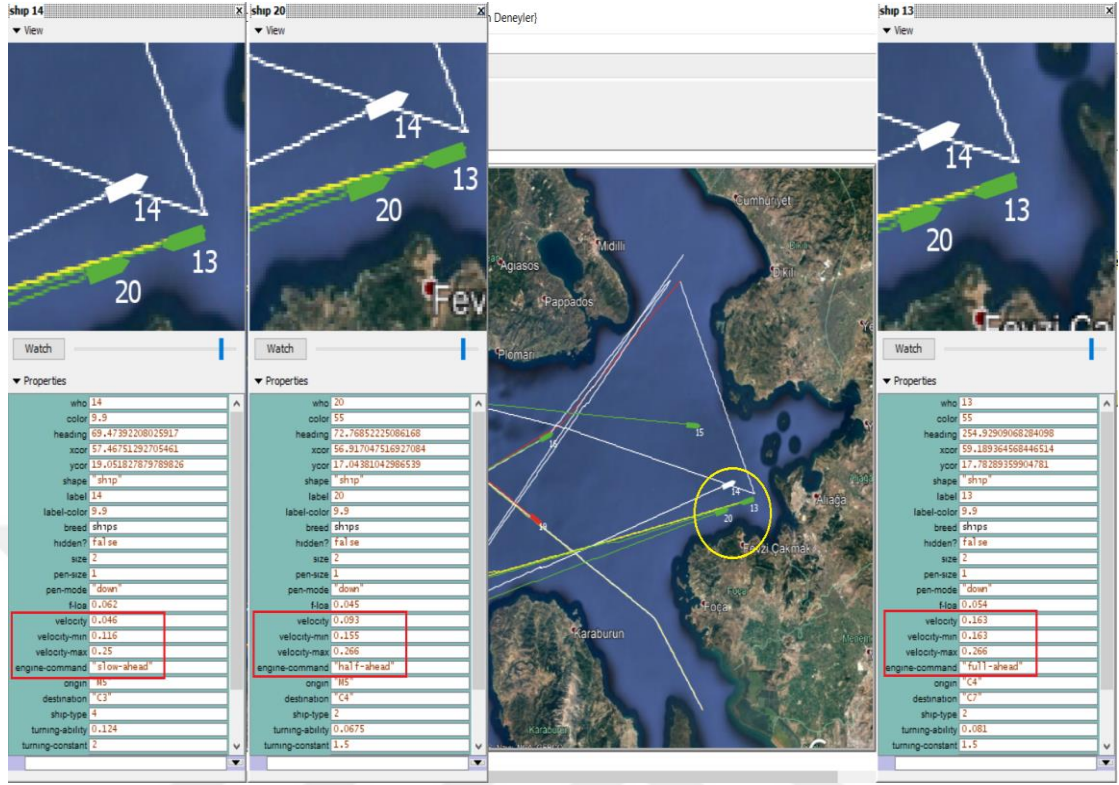
**Şekil 24.** Gemi Liman Bölgelerine Giderken Yavaşlaması Prosedürü

```
to change-engine-command
ask ships [
if engine-command = "full-ahead" [
set velocity (precision (velocity) 3)
]
if engine-command = "half-ahead" [
set velocity (precision (velocity * 0.6)
3)
]
]
...
end
```

Geminin yavaşlaması liman bölgesine olan mesafeye göre değişmektedir. Gemi, 3 deniz mili mesafesinde “ağır yol ileri” ile hızının 0.4’ünü, 1 deniz mili mesafesinde “pek ağır yol ileri” ile hızının 0.15’ini kullanacak şekilde tasarlanmıştır.

*Geminin Hızlanması*, ana makine komutu ile ilişkilendirilmiştir. Gemiler liman bölgesinden ayrılırken 1 deniz mili mesafeden sonra “ağır yol ileri” komutu ile hızının 0,4’ünü kullanır, 3 deniz mili mesafeden sonra hızının 0,6’sını, kendi hızına göre liman bölgesine olan mesafesi 1 saatlik mesafeyi geçtikten sonra “tam yol ileri” komutu ile hızının tamamını kullanmaktadır. Liman bölgelerinde gemi hızlarının modelde gösterimi Şekil 25’tedir.

**Şekil 25.** Liman Bölgelerinde Gemi Hızlarının Modelde Gösterimi

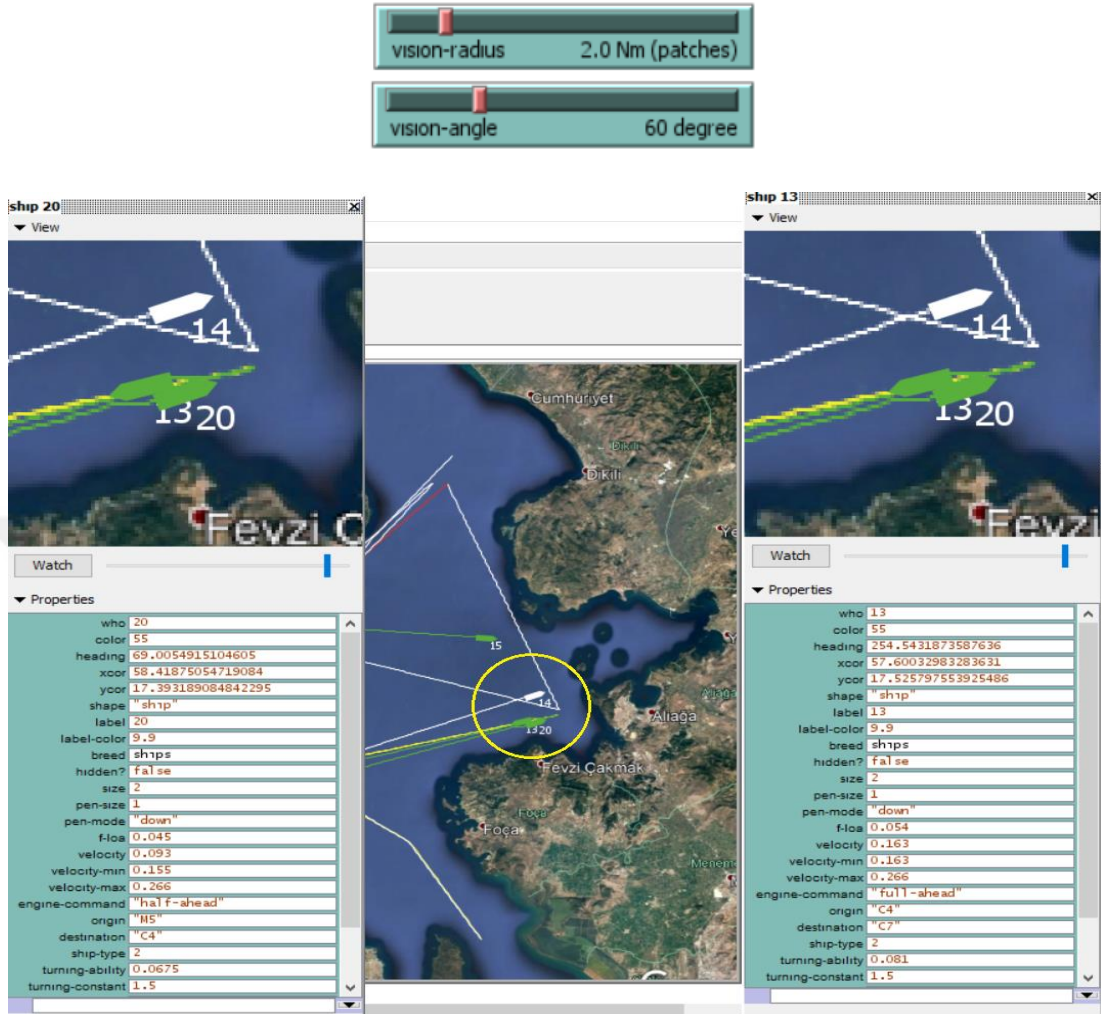


Şekil 25’te, 14 ve 20 numaralı gemilerin liman bölgesine yaklaşması, 13 numaralı geminin ise liman bölgesinden ayrıldığı görülmektedir. 13 numaralı geminin liman bölgesine olan mesafesi artmaya başlamış ve “tam yol ileri” komutu ile hareket etmektedir. 14 numaralı gemi “pek ağır yol ileri” 20 numaralı gemi ise “yarım yol ileri” komutu ile liman bölgelerine ilerlemektedir.

### 3.5.3.4. Gemilerin Etkileşimi

Modelde bir gemi diğer bir gemiyi, arayüzde kaydırıcı ile kontrol edilebilen aralarındaki belirli mesafe (vision-radius) ve gördüğü (vision-angle) açıya göre COLREG Kural 14’e uygun olarak göre birbirlerinin iskelesinden geçmektedir. Şekil 26’da modelden alınan ekran görüntüsü aktarılmıştır.

Şekil 26. Modelde Gemilerin Etkileşiminin Gösterimi



Şekil 26'da görüldüğü gibi 13 ve 20 numaralı gemiler pruva pruvaya geçiş durumundadırlar. Aralarındaki mesafe 2 deniz milinden daha az olduğunda birbirlerinin iskelesinden geçerek hareket etmişlerdir.

#### 3.5.4. Başlangıç Değerlerini Atama

Model çalışmaya başladığında sistem zamanı sıfırdan başlayarak ilerler. Daha önceki deneylere ait görüntüler ve zaman sayacı sıfırlanır ve modeli çalıştır dedimizde sistem tekrardan başlar. Sistem çalışmaya başlamadan gemi izlerinin ve bölgeye ait haritanın arka planda olması durumları arayüz üzerinden kontrol edilebilir olarak arayüzde tasarlanmıştır.

Şekil 27. Başlangıç Değerleri için Yazılan Prosedür

```
to setup
  CA
  reset-ticks
  if background? [
    import-drawing "IzmirDeniz.png" ]
  set-default-shape safety-areas "thin ring"
  set-default-shape trajectories "link"
  set-default-shape ships "ship" ask patches [
    set danger-status 0]
  let file user-new-file
  if is-string? file [
    if file-exists? file [
      file-delete file ]
    file-open
    file write-to-file ]
end
```

Başlangıç değerleri için yazılan prosedür ile risk durumu her bir yama için sıfırlanmış olarak başlar. Gemiler arayüzde kullanılan kaydırıcılar ile farklı zaman aralıkları ile sistemde doğmak için hazır beklemektedir. Ayrıca gemilerin yamalar üzerinde hareketleri sistemin her bir zaman ilerleyişinde çıktı olarak alınabilir haldedir.

### 3.5.5. Alt Model

Modelde gemi hareketlerinin olabildiği ölçüde gerçek deniz trafiği koşullarının uygulanmasının yanı sıra gemiler arasında etkileşimde mevcuttur. Gemi karşılaşmalarının yoğun olduğu bölgeleri tespit edebilmek amacıyla deniz alanına ait risk durumu için bir prosedür yazılmıştır ve şekil 28’de gösterilmiştir.

Risk durumu için gösterilen bu prosedür ile gemilerin birbirlerine göre olan mesafesi (vision-radius) ve birbirlerini gördüğü (vision-angle) açıya göre risk durumları da değişmektedir.

**Şekil 28.** Risk Durumu Değerlendirmesi için Yazılan Prosedür

```
ask ships [  
  if any? other ships in-cone vision-radius vision-angle and any? other ships with  
distance myself <= 1 ] [  
  set danger-status danger-status + 1  
]  
  if danger-status >= 40 and danger-status < 80 [  
    set pcolor yellow]  
  if danger-status >= 80 and danger-status < 120 [  
    set pcolor orange]  
  if danger-status >= 120 [  
    set pcolor red]  
  if danger-status > 100 [  
    set plabel danger-status ]  
]
```

Şekil 28’de görüldüğü üzere, gemiler arasındaki mesafe 1 deniz mili altına düşerse ve 30° sancağında ve iskelesinde (vision-angle: 60°) gemi olması durumunda gemilerin üzerinde hareket ettikleri yamalara ait risk değerleri artacaktır. Model çalışmaya başladığında her bir yamaya ait risk değeri sıfır olarak başlayacaktır. Gemiler arası mesafe 1 deniz mili altına düşmesi durumunda gemilerin risk durumlarına bir eklenecektir. Gemilerin 1 mil altında karşılaşma durumlarını göstermektedir.

Risk durumundan yola çıkarak risk haritası oluşturulmuştur. Risk haritalarının gösterilmesi için gemi karşılaşma sıklıklarının yüksek olduğu başka bir söylemle risk durumlarının sayısal olarak fazla olduğu bölgeleri belirleyebilmek amacıyla risk durumlarının sayısal değerleri ile sarı, turuncu ve kırmızı renkleri ilişkilendirilmiştir.

Sistem üzerinde en düşük hızlı geminin bir yama üzerinde alabileceği en uzun yol, yama köşegeni uzunluğunda yol aldığı süredir ve ( $\sqrt{2}$  patch /0.185 patch/ticks ) yaklaşık 8 (7,65) tick birimindedir. Buna göre model üzerinde gerçekleştirilen deneylerde, 8 tick değeri göz önünde bulundurularak yamaların risk durumlarının 40 ile 80 aralığında olduğu bölgeler için sarı, 80 ile 120 aralığında olduğu bölgeler için olduğu yerler için turuncu ve 120 üzerinde bulunduğu bölgelerde kırmızı olarak gösterilmiştir. Eğer 100 değeri aşarsa bulunduğu yama üzerinde sahip olduğu risk değeri gösterilmektedir.

### 3.6. KULLANILAN VARSAYIMLAR

NetLogo dünyasında kullanılan gemi tiplerinin tanker, yolcu gemisi, konteyner, genel ve dökme yük gemilerinden oluşan ticari gemiler olduğu varsayımı yapılmıştır. Gezinti tekneleri, balıkçı gemileri, römorkörler, savaş gemileri kapsam dışındadır.

Gemilerin seyir yaptığı alanlarda havanın sakin olduğu, rüzgârın seyir emniyetini etkilemeyecek kadar az olduğu, akıntının ve dalganın olmadığı, seyir yapılan derinliğin gemi draftları için yeterli olduğu varsayılmıştır.

NetLogo dünyası iki boyutlu olarak düşünülmüştür. Gemilerin üzerinde ilerledikleri alanların yeterli derinlikte olduğu varsayılmıştır.

Trafik mühendisliğinde aracı sevk ve idare eden kullanıcı davranışlarını dikkate alınmamıştır. Bu nedenle gemide manevra zamanı, kullanıcının tepki süresi, gemi kaptanlarının seyir tecrübesi değerlendirilmemiştir.

Bir gemi alanını, geminin etrafındaki diğer gemilere ve sabit nesnelere göre serbest olarak kalacağı alan olarak düşünülebiliriz (Goodwin, 1975: 328). Yazında geminin emniyetli alanı için dairesel ve eliptik tanımlanmış modeller vardır (Wu vd., 2016: 200). Başka bir çalışmadan, her bir gemi için boyu ve enine göre dikdörtgen olarak gemi alanı tanımlanmıştır (Huang vd., 2013: 299). Geminin Emniyetli Alanı, boyuna göre:  $4 \times LOA$ , enine göre:  $1,6 \times LOA$  olarak değerlendirilmiştir (Kuo, 2007' den aktaran Montewka, 2012: 57). Modelde dairesel olarak her bir gemi için sabit 1,5 nm (1,5 yama (patch)) içeren bir alan olduğu var sayılmıştır.

Gemiler ilerlerken hızları liman sahasına yaklaşırken azalmakta, yetişip geçme durumunda hızlanma ve manevra sırasında hızları, gemi tipine göre değişmektedir.

NetLogo dünyasında tick zaman sayacı olarak çalışmaktadır. Saatte 12 deniz mili hızla hareket eden gemi NetLogo dünyasında 0.2 patch/ tick-minutes olarak kabul edilmiştir. Her bir tick 1 NetLogo dakikası olarak kabul edilmiştir.

Gemiler önceden tanımlanmış “waypoint” lerden oluşan bir rotada seyir yaparlar. Bir gemi, bir “waypoint” e ulaştığında anda döner, burada ise gemi dinamikleri dönüş yarıçapı açısından göz ardı edilmiştir.

Gemiler arasındaki minimum takip mesafesi 1 yama olarak belirlenmiştir. Gemiler arası mesafenin 1 yama ve daha az olması durumunda risk durumu oluşturduğu varsayılmıştır.

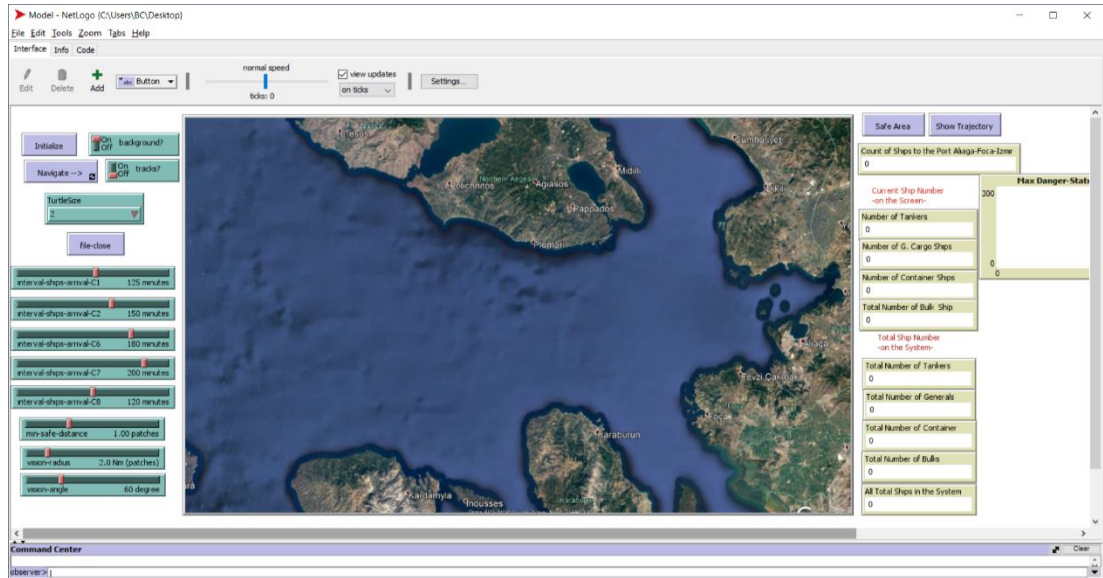
Gemilerin üzerinde hareket ettiği alan 70 x 40 deniz milidir. Mesafe dolayısıyla gemilerin büyük düzlem seyrinde, doğrusal olarak hareket ettiği düşünülmüştür. 1 yama (patch) 1 deniz mili 1852 m olarak kabul edilmiştir.

### 3.7. MODELİN ÇALIŞTIRILMASI ve ANALİZİ

NetLogo programun 6.1.1 sürümünde model hazırlanmıştır. Model 150000 bin dakika süresince çalıştırılmış, 10 kere tekrarlanmıştır. Modelin arayüzü Şekil 29’da gösterilmiştir.

Gemilerin üzerinde hareket ettikleri alanlara ait risk değerleri, modelin her bir çalışması sonrasında “.csv” dosyası olarak elde edilmiştir. Bu dosya içeriğinde her bir tick ilerlemesinde yamalardaki risk derecesini göstermektedir. Risk dereceleri sıralamasına göre en yüksek 10 konum, modelin her bir çalışması için kaydedilmiştir.

Şekil 29. Benzetim Modeli Arayüzü

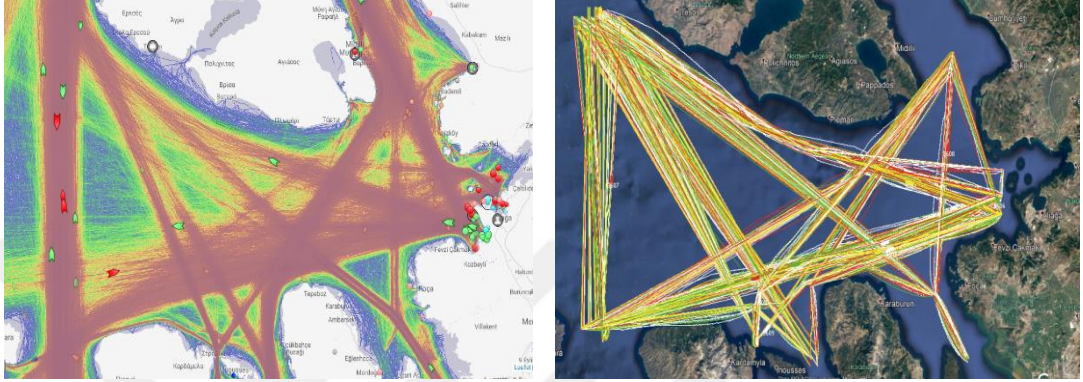


Modelin arayüzünde sistemin henüz başlatılmadan önceki durumu gösterilmiştir.

### 3.7.1. Modelin Geçerliliği ve Güvenilirliği

Model çalışması ve bölgeye ait deniz trafiği karşılaştırmalı olarak Şekil 30'da gösterilmiştir.

**Şekil 30.** Gerçek Gemi İzleri ve Modelde Üretilen Gemi İzlerinin Karşılaştırılması



Marine traffic sitesinde bölgede ortaya çıkan trafik yoğunluğu ile geliştirilen benzetim modelinde gemi hareketlerinin oluşturduğu yoğunluk haritası eşleşmektedir. Gerçek gemi izleri ile modelin çalıştırılması ile ortaya çıkan gemi izlerinin eşleşmesi hazırlanan modelin geçerliliği olduğunu göstermektedir.

Açık denize ait bölgede istatistiklerin olmaması nedeniyle Aliğa, Foça ve İzmir Limanı'na ait son 9 yıla ait verilere ulaşılmıştır. Bu veriler Tablo 13'te gösterilmektedir.

**Tablo 13.** Yıllara göre Limanlara Gelen Gemi Sayısı

| Limanlar             | 2011       | 2012 | 2013 | 2014          | 2015 | 2016 | 2017          | 2018 | 2019 |
|----------------------|------------|------|------|---------------|------|------|---------------|------|------|
| Aliğa                | 4983       | 5208 | 4937 | 4814          | 4861 | 4959 | 5202          | 5241 | 5135 |
| İzmir                | 2584       | 2556 | 2495 | 2432          | 2136 | 2182 | 2139          | 2047 | 1551 |
| Foça                 | 0121       | 0117 | 0108 | 0123          | 0102 | 0128 | 0196          | 0232 | ---- |
| Aliğa + İzmir + Foça | 7688       | 7881 | 7540 | 7369          | 7099 | 7269 | 7537          | 7510 | 6686 |
| Yıllık Gemi Sayıları | En az 6686 |      |      | Ortalama 7397 |      |      | En fazla 7881 |      |      |

Modelin çalışması sırasında bir yıl için deneme yapılmış, denemeler 8 ile 10 saat aralığında sürmüştür, her bir tick ilerlemesinde elde edilen veri büyüklüğü tek bir deney için 3,5 Gb veri elde edilmiştir. Modelin geçerliliği göstermek ve elde edilen verilerden bölgedeki konumlara ait risklere ulaşabilmek amacıyla üç aydan uzun süreli

olarak temsil edilmesi amacıyla 150000 tick olarak tercih edilmiştir. Bu durumda 150000 ticks için olması gereken en az gemi sayısı 1908, en fazla gemi sayısı 2250, ortalama olarak 2111 olarak belirlenmiştir.

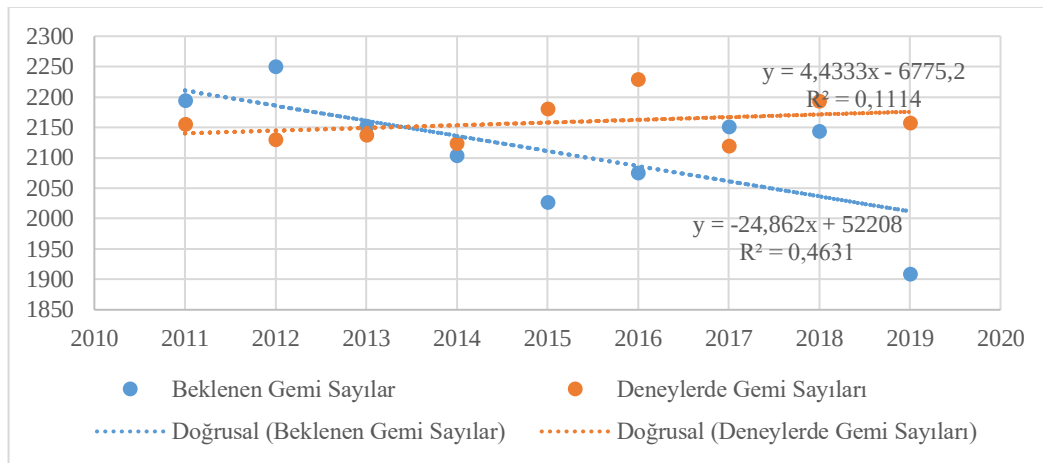
Yıllara göre liman bölgelerine gelen gemi sayıları ile model üzerinde yapılan deneyler ile sistemde liman bölgelerine giden gemi sayıları Tablo 14’te gösterilmiştir.

**Tablo 14.** Yapılan Deneylerde Sistemde Liman Bölgelerine Giden Gemi Sayısı

| Deney No                       | Liman Bölgelerine Giden Gemi Sayısı | G* | Deney No | Liman Bölgelerine Giden Gemi Sayısı | G* |
|--------------------------------|-------------------------------------|----|----------|-------------------------------------|----|
| Deney 1                        | 2155                                | G  | Deney 6  | 2228                                | G  |
| Deney 2                        | 2130                                | G  | Deney 7  | 2119                                | G  |
| Deney 3                        | 2137                                | G  | Deney 8  | 2193                                | G  |
| Deney 4                        | 2123                                | G  | Deney 9  | 2157                                | G  |
| Deney 5                        | 2180                                | G  | Deney 10 | 2193                                | G  |
| G*: Gerçek Değerler ile Uyumlu |                                     |    |          |                                     |    |

Gerçekte limanlar giden gemi sayısı ile model çalıştırıldığında limanlara giden gemi sayılarını karşılaştırıldığında gemi sayılarının 1908 ile 2250 aralığında olması beklenir. Tablo 14’te görüldüğü üzere, yapılan deneylerde liman bölgelerine giden gemi sayıları ile gerçek değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir. Yapılan deneylerde, liman bölgelerine giden gemi sayıları ortalaması 2161 gemidir. Şekil 30’da belirlenmiş deniz alanında 150 000 benzetim çalışması süresi için beklenen gemi sayısı ve modelde üretilen gemi sayıları gösterilmektedir.

**Şekil 31.** Beklenen ve Deneylerde Gemi Sayıları



Şekil 31’de benzetimin 150000 çalışma süresinde üretmesi beklenen gemi sayılarının ortalaması 2111, standart sapması 94,32’dir. Deneylerin sonucunda benzetimde üretilen gemi sayılarının ortalaması 2161, standart sapması 32,04’tir. Beklenen değerler ile deney sonuçlarında üretilen gemi sayılarının gerçek durumu yansıtmaları oranları 0,88543; 0,9561; 0,9771; 0,9873; 0,9970; 0,9972; 0,9870; 0,9995; 0,9906 ortalamaları 0,97528’tir. Benzetim modelinde üretilen gemi sayıları ve olması gereken gemi sayıları ortalama olarak %97,25 olarak benzerlik göstermektedir. Geliştirilen benzetim modeli, gerçek değerler ile uyumlu, geçerli bir modeldir.

### 3.7.2. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Aşağıda Tablo 15’te modelin arayüzünde mevcut koşullarda gerçekleştirilen deneye ait çıktılar her bir deney için gösterilmektedir.

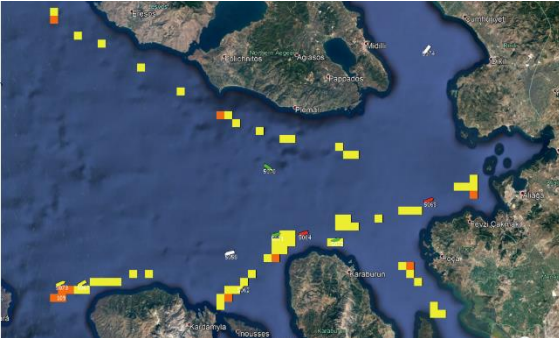
**Tablo 15.** Mevcut Koşullarda Gerçekleştirilen Deneyler

| DENEY 1                                                                             |        |        |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------|
|  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 8      | 6      | 122            |
|                                                                                     | 7      | 5      | 110            |
|                                                                                     | 9      | 6      | 108            |
|                                                                                     | 59     | 18     | 99             |
|                                                                                     | 35     | 25     | 92             |
|                                                                                     | 06     | 40     | 90             |
|                                                                                     | 28     | 05     | 87             |
|                                                                                     | 06     | 05     | 85             |
|                                                                                     | 56     | 19     | 83             |
|                                                                                     | 34     | 10     | 83             |
| DENEY 2                                                                             |        |        |                |
|  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 27     | 28     | 122            |
|                                                                                     | 35     | 25     | 118            |
|                                                                                     | 59     | 18     | 106            |
|                                                                                     | 08     | 06     | 104            |
|                                                                                     | 07     | 05     | 102            |
|                                                                                     | 34     | 10     | 91             |
|                                                                                     | 43     | 24     | 89             |
|                                                                                     | 36     | 25     | 87             |
|                                                                                     | 06     | 40     | 86             |
|                                                                                     | 44     | 14     | 84             |

**Tablo 15.** Mevcut Koşullarda Gerçekleştirilen Deneyler (devam)

| DENEY 3                                                                             |        |        |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------|
|    | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 07     | 05     | 109            |
|                                                                                     | 08     | 06     | 102            |
|                                                                                     | 59     | 18     | 95             |
|                                                                                     | 35     | 25     | 94             |
|                                                                                     | 09     | 06     | 88             |
|                                                                                     | 27     | 28     | 87             |
|                                                                                     | 58     | 19     | 87             |
|                                                                                     | 06     | 41     | 86             |
|                                                                                     | 07     | 06     | 74             |
|                                                                                     | 06     | 40     | 72             |
| DENEY 4                                                                             |        |        |                |
|   | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 07     | 05     | 143            |
|                                                                                     | 27     | 28     | 107            |
|                                                                                     | 06     | 05     | 98             |
|                                                                                     | 35     | 25     | 95             |
|                                                                                     | 08     | 06     | 86             |
|                                                                                     | 06     | 40     | 83             |
|                                                                                     | 51     | 09     | 82             |
|                                                                                     | 59     | 18     | 80             |
|                                                                                     | 30     | 07     | 78             |
|                                                                                     | 44     | 14     | 75             |
| DENEY 5                                                                             |        |        |                |
|  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 07     | 05     | 101            |
|                                                                                     | 08     | 06     | 100            |
|                                                                                     | 06     | 05     | 97             |
|                                                                                     | 07     | 06     | 95             |
|                                                                                     | 34     | 10     | 92             |
|                                                                                     | 59     | 18     | 88             |
|                                                                                     | 27     | 28     | 85             |
|                                                                                     | 35     | 25     | 83             |
|                                                                                     | 10     | 06     | 81             |
|                                                                                     | 35     | 12     | 81             |
| DENEY 6                                                                             |        |        |                |
|  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 59     | 18     | 117            |
|                                                                                     | 07     | 05     | 117            |
|                                                                                     | 06     | 05     | 114            |
|                                                                                     | 06     | 05     | 109            |
|                                                                                     | 08     | 06     | 109            |
|                                                                                     | 27     | 28     | 103            |
|                                                                                     | 09     | 06     | 95             |
|                                                                                     | 35     | 25     | 93             |
|                                                                                     | 44     | 14     | 89             |
|                                                                                     | 30     | 07     | 87             |

**Tablo 15.** Mevcut Koşullarda Gerçekleştirilen Deneyler (devam)

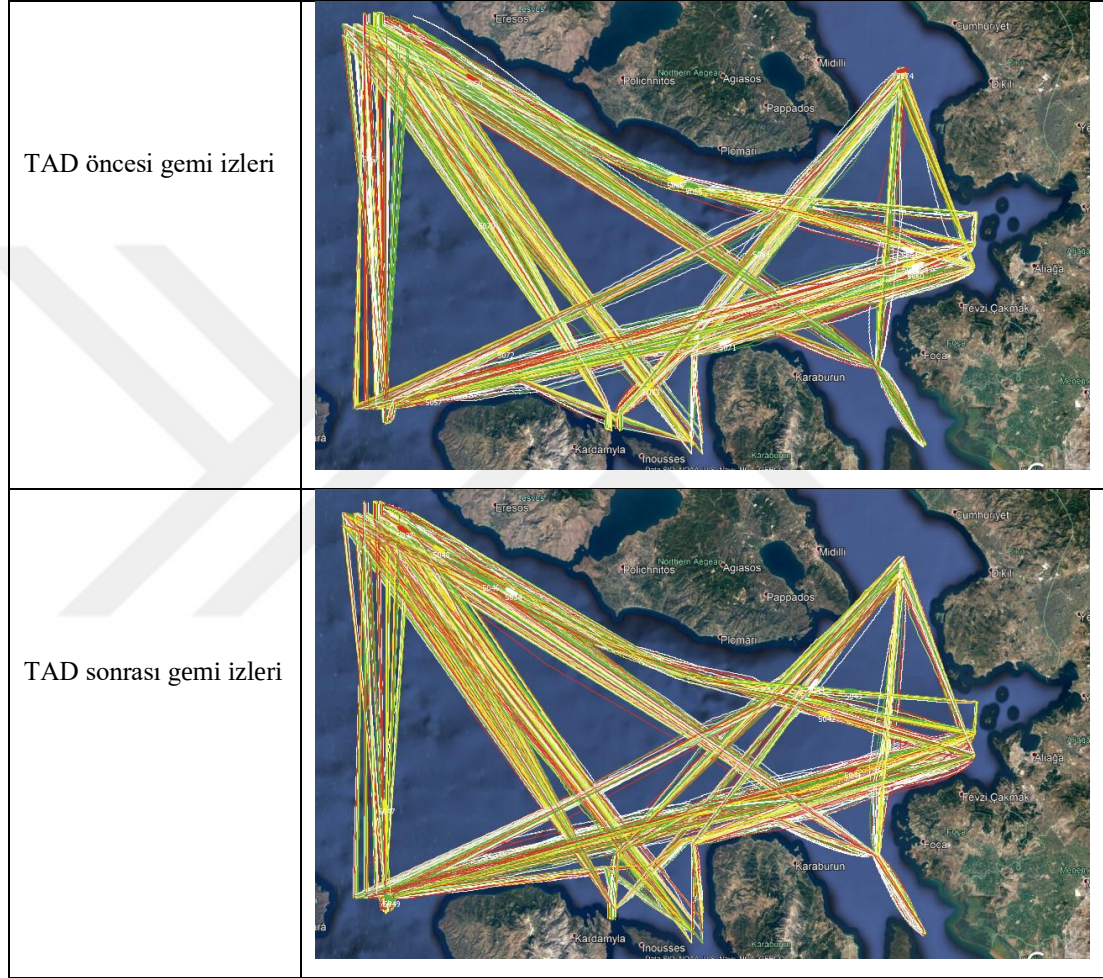
|                                                                                     |          |        |        |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------|----------------|
|    | DENEY 7  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     |          | 07     | 05     | 145            |
|                                                                                     |          | 08     | 06     | 127            |
|                                                                                     |          | 09     | 06     | 105            |
|                                                                                     |          | 06     | 05     | 104            |
|                                                                                     |          | 28     | 05     | 103            |
|                                                                                     |          | 27     | 28     | 103            |
|                                                                                     |          | 35     | 25     | 89             |
|                                                                                     |          | 59     | 18     | 88             |
|                                                                                     |          | 07     | 06     | 86             |
|                                                                                     |          | 30     | 07     | 79             |
|   | DENEY 8  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     |          | 07     | 05     | 109            |
|                                                                                     |          | 06     | 05     | 93             |
|                                                                                     |          | 08     | 06     | 92             |
|                                                                                     |          | 27     | 28     | 92             |
|                                                                                     |          | 08     | 06     | 92             |
|                                                                                     |          | 07     | 06     | 87             |
|                                                                                     |          | 34     | 10     | 86             |
|                                                                                     |          | 59     | 18     | 85             |
|                                                                                     |          | 6      | 40     | 85             |
|                                                                                     |          | 51     | 09     | 85             |
|  | DENEY 9  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     |          | 07     | 05     | 158            |
|                                                                                     |          | 06     | 05     | 116            |
|                                                                                     |          | 08     | 06     | 109            |
|                                                                                     |          | 35     | 25     | 100            |
|                                                                                     |          | 27     | 28     | 98             |
|                                                                                     |          | 28     | 05     | 93             |
|                                                                                     |          | 09     | 06     | 88             |
|                                                                                     |          | 59     | 18     | 85             |
|                                                                                     |          | 43     | 14     | 84             |
|                                                                                     |          | 07     | 06     | 83             |
|  | DENEY 10 | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     |          | 07     | 05     | 146            |
|                                                                                     |          | 06     | 05     | 117            |
|                                                                                     |          | 34     | 10     | 95             |
|                                                                                     |          | 08     | 06     | 95             |
|                                                                                     |          | 28     | 05     | 88             |
|                                                                                     |          | 27     | 28     | 86             |
|                                                                                     |          | 44     | 14     | 82             |
|                                                                                     |          | 06     | 41     | 82             |
|                                                                                     |          | 09     | 60     | 80             |
|                                                                                     |          | 06     | 40     | 80             |

Tablo 15’te görüldüğü üzere, gerçekleştiren deneylerde gemilerin birbirleri ile karşılaşma oranlarının yüksek olduğu bölge, Karaburun Yarımadasının kuzeybatı ucu

olarak tespit edilmiştir. Bu bölgede karşılaşılan riskin azaltılması için COLREG Kural 10'a göre trafik ayırım düzeni oluşturulmuştur.

Mevcut koşullarda oluşturulan model arayüzü ve TAD sonrasında oluşturulan model arayüzündeki gemi izlerinin karşılaştırılması Şekil 32'de gösterilmiştir.

**Şekil 32. TAD Öncesi ve Sonrası Modellerin Arayüzleri Gemi İzleri Karşılaştırması**

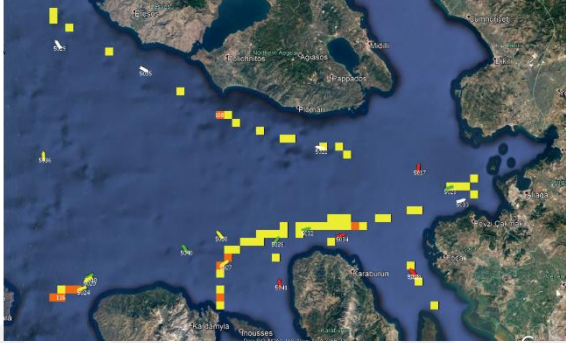
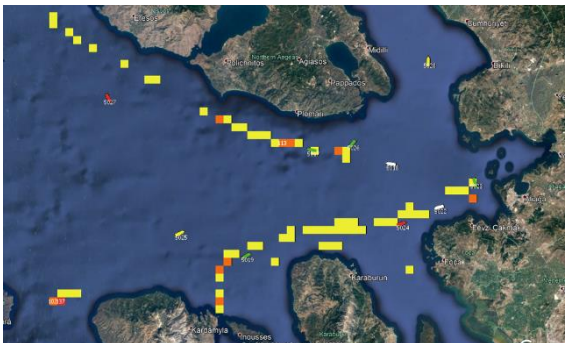


TAD öncesinde gemilerin ürettikleri gemi izleri ve Karaburun'un kuzeybatısında görülen yoğunluk için bölge için yapılan TAD ile gerçekleşen gemi izleri sırasıyla gösterilmiştir. Söz konusu bölge için görülen trafik yoğunluğunun azaldığı görülmektedir.

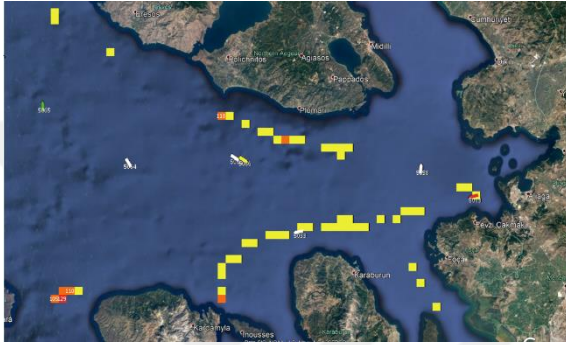
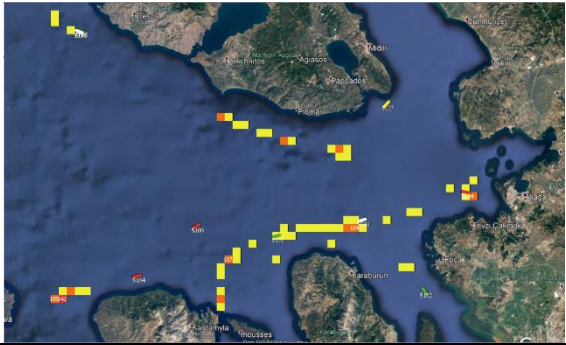
TAD öncesinde gerçekleştirilen deneylerle aynı koşulların geçerli olduğu durumlar ile TAD sonrası için benzetim 10 kere 150000 ticks'e ulaşana kadar tekrarlanmıştır. Tablo 16'da gerçekleştirilen deneylere ait risk durumlarını gösteren

risk haritaları ve gemilerin karşılaşma olasılıklarının en yüksek olduğu 10 risk durumu her bir deney için gösterilmiştir.

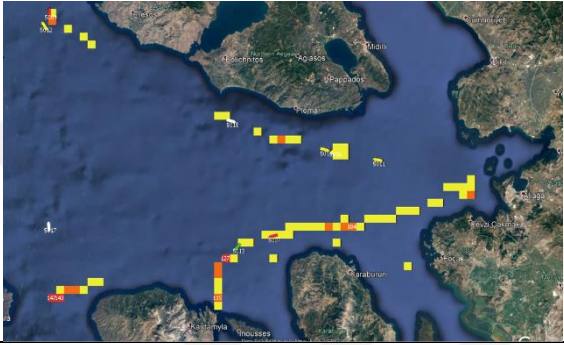
**Tablo 16.** TAD Sonrası Gerçekleştirilen Deneyler

|                                                                                     |             |        |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|----------------|
|    | TAD DENEY 1 |        |                |
|                                                                                     | pxcor:      | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 07          | 05     | 146            |
|                                                                                     | 06          | 05     | 117            |
|                                                                                     | 34          | 10     | 95             |
|                                                                                     | 08          | 06     | 95             |
|                                                                                     | 28          | 05     | 88             |
|                                                                                     | 27          | 28     | 86             |
|                                                                                     | 44          | 14     | 82             |
|                                                                                     | 06          | 41     | 82             |
|   | TAD DENEY 2 |        |                |
|                                                                                     | pxcor:      | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 07          | 05     | 136            |
|                                                                                     | 27          | 28     | 119            |
|                                                                                     | 06          | 05     | 102            |
|                                                                                     | 44          | 14     | 100            |
|                                                                                     | 08          | 06     | 95             |
|                                                                                     | 45          | 14     | 82             |
|                                                                                     | 59          | 18     | 81             |
|                                                                                     | 07          | 06     | 80             |
|  | TAD DENEY 3 |        |                |
|                                                                                     | pxcor:      | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 07          | 05     | 137            |
|                                                                                     | 35          | 25     | 113            |
|                                                                                     | 06          | 05     | 102            |
|                                                                                     | 27          | 09     | 98             |
|                                                                                     | 27          | 28     | 98             |
|                                                                                     | 27          | 05     | 94             |
|                                                                                     | 28          | 10     | 92             |
|                                                                                     | 59          | 18     | 89             |
|                                                                                     | 42          | 24     | 81             |
|  | TAD DENEY 4 |        |                |
|                                                                                     | pxcor:      | pycor: | danger-status: |
|                                                                                     | 07          | 05     | 129            |
|                                                                                     | 27          | 05     | 116            |
|                                                                                     | 44          | 14     | 110            |
|                                                                                     | 06          | 05     | 106            |
|                                                                                     | 08          | 06     | 105            |
|                                                                                     | 42          | 24     | 97             |
|                                                                                     | 27          | 28     | 91             |
|                                                                                     | 06          | 41     | 88             |
|                                                                                     | 28          | 10     | 79             |
|                                                                                     | 51          | 16     | 79             |

**Tablo 16.** TAD Sonrası Gerçekleştirilen Deneyler (devam)

|                                                                                     |        |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------|
| TAD DENEY 5                                                                         |        |                       |
|    | pxcor: | pycor: danger-status: |
|                                                                                     | 07     | 05 135                |
|                                                                                     | 06     | 05 123                |
|                                                                                     | 27     | 28 98                 |
|                                                                                     | 27     | 05 96                 |
|                                                                                     | 35     | 25 95                 |
|                                                                                     | 08     | 06 95                 |
|                                                                                     | 42     | 24 91                 |
|                                                                                     | 39     | 14 91                 |
|                                                                                     | 36     | 25 82                 |
|                                                                                     | 07     | 06 77                 |
| TAD DENEY 6                                                                         |        |                       |
|   | pxcor: | pycor: danger-status: |
|                                                                                     | 07     | 05 129                |
|                                                                                     | 27     | 28 118                |
|                                                                                     | 08     | 06 110                |
|                                                                                     | 06     | 05 105                |
|                                                                                     | 35     | 25 100                |
|                                                                                     | 27     | 05 91                 |
|                                                                                     | 07     | 06 81                 |
|                                                                                     | 28     | 10 79                 |
|                                                                                     | 36     | 25 79                 |
|                                                                                     | 42     | 24 77                 |
| TAD DENEY 7                                                                         |        |                       |
|  | pxcor: | pycor: danger-status: |
|                                                                                     | 07     | 05 113                |
|                                                                                     | 27     | 05 108                |
|                                                                                     | 28     | 10 102                |
|                                                                                     | 27     | 28 99                 |
|                                                                                     | 42     | 24 91                 |
|                                                                                     | 44     | 14 90                 |
|                                                                                     | 06     | 05 88                 |
|                                                                                     | 35     | 25 88                 |
|                                                                                     | 27     | 09 84                 |
|                                                                                     | 59     | 18 84                 |
| TAD DENEY 8                                                                         |        |                       |
|  | pxcor: | pycor: danger-status: |
|                                                                                     | 07     | 05 142                |
|                                                                                     | 28     | 10 117                |
|                                                                                     | 06     | 05 105                |
|                                                                                     | 44     | 14 104                |
|                                                                                     | 27     | 28 100                |
|                                                                                     | 27     | 05 90                 |
|                                                                                     | 43     | 14 88                 |
|                                                                                     | 08     | 06 85                 |
|                                                                                     | 59     | 18 83                 |
|                                                                                     | 42     | 24 83                 |

**Tablo 16.** TAD Sonrası Gerçekleştirilen Deneyler (devam)

| TAD DENEY 9                                                                        |  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|------------------------------------------------------------------------------------|--|--------|--------|----------------|
|   |  | 28     | 10     | 110            |
|                                                                                    |  | 7      | 5      | 103            |
|                                                                                    |  | 44     | 14     | 99             |
|                                                                                    |  | 6      | 5      | 93             |
|                                                                                    |  | 27     | 9      | 86             |
|                                                                                    |  | 35     | 25     | 86             |
|                                                                                    |  | 41     | 12     | 85             |
|                                                                                    |  | 27     | 5      | 82             |
|                                                                                    |  | 45     | 14     | 74             |
|                                                                                    |  | 59     | 18     | 69             |
| TAD DENEY 10                                                                       |  | pxcor: | pycor: | danger-status: |
|  |  | 06     | 05     | 147            |
|                                                                                    |  | 07     | 05     | 143            |
|                                                                                    |  | 28     | 10     | 127            |
|                                                                                    |  | 27     | 05     | 115            |
|                                                                                    |  | 44     | 14     | 104            |
|                                                                                    |  | 43     | 14     | 98             |
|                                                                                    |  | 35     | 25     | 97             |
|                                                                                    |  | 27     | 08     | 91             |
|                                                                                    |  | 59     | 18     | 84             |
|                                                                                    |  | 06     | 40     | 84             |

Tablo 16’da görüldüğü üzere, TAD oluşturulduktan sonra oluşan risk haritaları ve en yüksek 10 risk durumun bulunduğu konumlar yer almaktadır. Deneylere ait bulgular ve değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır.

### 3.8. BULGULAR

Araştırmada deniz ulaştırmasında emniyet yönetimi açısından gerçek deniz trafiği koşullarının bilgisayar ortamına aktarılması için NetLogo programı kullanılmış, programda deniz trafiği akım benzetim modeli geliştirilmiştir. Bireysel gemi özellikleri dikkate alınarak geliştirilen benzetim modeli, geçerliliği ve güvenilirliği için seçilen deniz alanında uygulanmıştır. Geçerli ve güvenilir bir model geliştirildiği görüldükten sonra mevcut koşullar için gerçekleştirilen deneylerden alınan risk haritalarına göre, konum olarak 1 deniz mili içerisinde gemi karşılaşmalarının olduğu alanlar tespit edilebilmiştir. Mevcut koşullar ile gerçekleştirilen deneyler ve gemilerin karşılaşma durumlarının en çok olduğu bölgelerden biri Karaburun’un kuzeybatı bölgesi olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede emniyet yönetimi açısından trafik ayırım

düzeni gerçekleştirilmiştir. Olası yeni deniz trafiği koşulları ile deneyler tekrarlanmıştır.

Mevcut koşullar için deneylerin gerçekleştirilmesi ile ortaya çıkan riskli bölgeler ve en çok gemi karşılaşmalarının olduğu 10 konum arasında en yüksek risk değerlerden biri (07,05), (08,06), (09,06), (09,05), (06,05), (07,06) konumudur. Bu konumlar, C8 bölgesi olarak tanımlanan bölgededir, en çok karşılaşma durumları bu çevrede gerçekleşmiştir. Bu bölgede gemi gelişleri arası süre diğer bölgelere göre daha kısadır. Ayrıca gemilerin liman bölgelerinden üretilip C8 bölgesine varıp sistemden ayrılması sırasında yine aynı bölgeden gemi üretilmesinin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.

En çok gemi karşılaşmalarının olduğu 10 konum arasında en yüksek risk değerlerden biri olan (06,40) konumudur ve C1 bölgesi olarak tanımlanan bölgededir, karşılaşma durumları bu konumda gerçekleşmiştir. Bu bölgede gemi gelişleri arası süre diğer bölgelere göre nispeten daha kısadır. Ayrıca gemilerin liman bölgelerinden üretilip C1 bölgesine varıp sistemden ayrılması sırasında yine aynı bölgeden gemi üretilmesinin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.

(35,25) konumu Midilli adasının güneyinde yer alan bölge, Türkiye karasuları dışında olan bir bölgedir. (34,10) konumu olarak görülen bölge Karaburun'un kuzeybatı bölgesinde risk durumu yüksek bir bölge olarak görülmüştür. Bu bölgede deniz trafiğinin düzenlemesi için trafik ayırım düzeni önerilmiştir.

Önerilen trafik ayırım düzeninde gerçekleştirilen deneyler sonucunda çalışılan bölgede risk haritası değişmiştir. C8 bölgesinde bulunan (07,05), (08,06), (09,06), (09,05), (06,05), (07,06) konumlarında risk değerleri azalmıştır. TAD sonrasında yarımada'nın kuzeybatı kısmında sarı turuncu ve kırmızı renklerle gösterilen risk haritası, uygulanan TAD ile batıya doğru aktarılmış görülmektedir. Gerçekleştirilen TAD uygulaması ile gemi karşılaşmaları o bölgede azalmış, tanımlanan bölge dışında diğer bölgelere de etkisi olmuş, risk haritaları üzerinde değişimler göstermiştir.

Araştırmada amaçlanan deniz trafiği koşullarının bilgisayar ortamına aktarılması, deniz trafiği değerlendirmesi analizi yapabilmesi, emniyet yönetimi açısından öneriler ve prosedürler geliştirilmesi amacına uygun, olası trafik koşulları değişikliklerinde uyarlanabilir esnek bir model olduğu, gerçekleşen değişikliklere göre

güncellenebilir bir model olduğunu, mevcut koşullar ve trafik ayırım düzeni sonrası gerçekleştirilen deneylerde görülmektedir.

Mevcut koşullarda ve TAD sonrasında gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, araştırmanın amaçlarından deniz trafiğinde olası, gerçekleşen değişikliklere göre güncellenebilir bir benzetim olduğunu göstermektedir. Deniz trafiğinde emniyetin geliştirilmesine yönelik değişiklikler, öneriler getirilmesi için uygun bir benzetim modeli olduğu görülmüştür.

### 3.9. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Araştırma kapsamında geliştirilen benzetim modeli belirtilen bir deniz alanında uygulanmasında SAMSON, MARTRAM değerlendirme araçlarındaa olduğu gibi dış çevre koşulları modelde yer almamıştır. Modelin uygulandığı alanın (70 x 40 deniz mili) büyük bir alan olması nedeniyle gemi tiplerine ve gemi boylarına ait bireysel özelliklerin yer aldığı mezoskopik bir model geliştirilmiştir. Araştırılmak istenen deniz alanının nispeten daha küçük bir alanın olduğu, bireysel gemi özelliklerinin çalışıldığı mikroskopik modeller için akıntı, rüzgâr, görüş mesafesi gibi dış çevre koşullarının modele eklenmesi mümkündür.

Bölgesel olarak deniz trafiğinin yoğunlaştığı, gemilerin model arayüzünde belirlenebilen mesafelerde ve görüş açılarına göre pruva pruva karşılaşmalarında çatışmadan kaçınma davranışını gerçekleştirebildiği MARTRAM ve DYMTRI değerlendirme araçlarında olduğu gibi deniz trafiği benzetim ortamını sunmaktadır. Görsel olarak gemi izlerinin takip edilemesi, bölgeye ait harita ile kullanılabilmesine ve gemi karşılaşmalarına ait risk haritasının elde edilebilmesine imkân vermesiyle ile alanyazından öncüllerinden farklılaşan bir benzetim modelidir.

Araştırma MARCS değerlendirme aracında olduğu gibi gerçekleşen kazaların analizde kullanılabilecek bir araç değildir. Geliştirilen benzetim modeli, deniz trafiği koşullarında liman bölgelerinde demir sahalarının tespit edilmesi, yeni yapılan limanlar ya da liman kapasitesinin artırılması ile artan trafiğin değerlendirilmesi, yeni su yollarının yapılması ile bölgesel trafiğin nasıl değişeceği dağılması, belirli bir alanda gemi karşılaşmalarının yoğun olduğu bölgeleri sayısal olarak gösterebilmesi

nedenleriyle karar vericilere hizmet edebilecek bir araç olarak kullanılması mümkündür.

Deniz trafiğinin değerlendirme araçlarında (SAMSON, GRACAT, DYMITRI) yer alan karaya oturma analizi, bu benzetim modelinde yer almamıştır. Gemi davranışları ve deniz trafiği koşullarında gemi karşılaşma oranlarının yüksek olduğu bölgeler, risk haritaları modelin çıktısı olarak yer almaktadır. Gemiler ve deniz alanına için yapılacak değişiklikler ile karaya oturma analizi için kullanılabilir bir araç olarak kullanılması mümkündür.

Geliştirilen modelde yer alan gemi tiplerinin seçilen deniz alanında yapılan gözleme göre tanımlanmıştır. Başka bir deniz alanı için yolcu gemileri, gezinti tekneleri, balıkçı tekneleri gibi farklı gemi tipleri tanımlanabilir ve bu gemi tiplerine ait karakteristikler modelde yer alması mümkündür. Ayrıca gemi tipi ve gemi tipine bağlı özellikler dikkate alınmadan, standart bir gemi oluşturularak makroskobik çalışmalarda gerçekleştirilmesi mümkündür.

### **3.10. ARAŞTIRMANIN KISITLARI VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER**

Modelde gemi üretilirken ve gemi gelişleri arası süreye bağlı olarak gemi tiplerinin belirli olasılıklarla yapılması istenmiş ancak NetLogo programı üzerinde eşit olasılıklar ile gemi üretilebilmiştir. Program, bu şekilde etmen üretilmesine izin vermemesi nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

NetLogo dili kod sekmesinde yazılan kodları büyük harflere çevirerek okumakta, NetLogo kütüphanesi de dâhil olmak üzere “size” ve “heading” kelimeleri tüm modellerde yazım hatası olarak çıkmakta ve benzetimin çalışmamaktadır. Bilgisayarın dili İngilizce olmasına rağmen yazım hataları ile sıklıkla karşılaşılması için modelde kullanılan değerlerde programın var olan ayarlarında olması haricinde “i” harfi kullanılmadan yazılmıştır.

Çalışmada NetLogo programı üzerinde gerçekleştirilen benzetim programının deniz trafiğinde uygulanması gerçekleştirilmiş, seçilen denizalanı ile geçerlilik ve güvenilirliği test edilmiştir. Liman bölgelerine ait verilere ulaşılabilmesi ve bölgesel yakınlığı, deniz trafiği akımının farklı bölgelerden gelen gemilerden oluştuğu açık

deniz trafiğinin bulunduğu bölge olması nedenleri ile seçilen denizalanı 70x40 deniz milinin kapsayan oldukça büyük bir alandır. Bu alanda, gemi boyları model üzerinde temsili olarak gösterildiğinde model üzerinde neredeyse nokta kadar görünmektedir. Model üzerinde kolaylıkla görülebilmesi açısından kaplumbağa etmenlerinin, NetLogo üzerinde var olan ayarlarının iki katı olarak gösterilmiştir. Ancak modelde bir gemi diğer gemilere olan mesafesi gerçekçi olarak görünmemekte ve birbirlerine oldukça yakın ya da üst üste görülebilmektedir. NetLogo üzerinde çalışılacak denizalanı seçimi yapılırken daha küçük bir alanın tercih edilmesi, modelin çalışma sırasında görsel olarak daha gerçekçi bir görünümü olmasını sağlayacaktır.

Araştırmada, uygulama için bireysel gemi özelliklerini aktarabilmek amacıyla gemi numarası, gemi tipine bağlı değişkenler olarak gemi boyu, gemi hızı, geminin dönüş özelliği, geminin hızlanması ve yavaşlaması eklenmiştir. Daha küçük bir denizalanında gemi eni ve draft bilgilerini içeren modeller ile bireysel gemi özelliklerine uygun yeni model geliştirilebilir. Böylece model karaya oturma analizi için kullanılan bir araç olarak kullanılabilir.

Modelde gemi üretilmesi için yazılan prosedürlerde başlangıç bölgesinden gideceği varış bölgesi için seçenekler oluşturulmuş, ancak seçenekler eşit olasılıklı olarak belirlenebilmiştir. İstatistiksel, bölgesel gözlemler ile OD araştırmaları yapılabilir, sıklıkla kullanılan trafik rotalarına ulaşılabilir.

Araştırmada liman bölgelerine giden gemiler için belirli bir dağılımda liman hizmetleri aldığı hibrit bir model geliştirilmesi istenmiştir. Ancak NetLogo programında bir etmenin beklemesi tüm sistemin beklemesine neden olmuştur. Bu kısıtla, gemiler liman bölgelerinde varış noktalarına ulaştıktan sonra geri dönmesi yaklaşımı kullanılmıştır.

Benzetimin çalışması sırasında her bir ilerleyişi bir dakika olarak varsayılmıştır. 70x40 deniz mili alan için her bir “tick” ilerleme bir dakika olarak kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda, çalışılan alanın küçülmesi ile zaman birimi saniyelerle ölçülen, çalışılan gemi özelliklerine, gemiyi sevk ve idare eden kullanıcı davranışlarını içeren mikroskobik çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Benzetimde kullanılan gemi gelişleri süresi alanyazında kullanılan dağılımlara göre gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda bölgesel gözlemler ve istatistiksel

veriler ile bölgesel trafiğe ait değerler ile benzetimden daha hassas çıktılar alabilmek mümkündür.

Benzetim modelinde olabildiği ölçüde gerçek deniz trafiği koşulları yansıtılmak istenmiştir. Seyir sırasında oluşan akıntı, rüzgâr vb çevresel koşullar modelde yer almamıştır, araştırmanın varsayımlarında belirtilmiştir. İleride yapılacak araştırmalarda, bölgesel deniz trafiği açısından yapılacak değerlendirmelerde çevresel koşullar eklenebilir.

Deniz trafiği akımı ile ilgili bilimsel çalışmalarda kullanılan değişkenler, geminin emniyetli alanı ve yörüngesi model arayüzüne eklenmiştir. Ancak, geminin (etmenin) bireysel özelliği olarak modele bütünleşik kullanılması işlevsel olmamıştır. Model arayüzünde düğmeye basıldıkça NetLogo dünyasında görsel olarak geminin emniyetli alanı gösterilebilmesi mümkün olmuştur. İleride yapılacak çalışmalarda sadece deniz trafiği analizinde değil ayrıca demir sahası seçimi vb. konularla ilgili çalışmalarda bu değişken modelde yer alabilir.

Bireysel gemi özellikleri dikkate alınarak büyük bir alanda bir deniz trafiği benzetimi yapılmıştır. Bu yönüyle mezoskopik bir deniz trafiği modeli gerçekleştirilmiştir.

## SONUÇ

Deniz ulaştırması, küresel ticaretin ve tedarik zincirinin önemli bir parçasıdır. Dünya üzerinde gerçekleştirilen ticaretin hacim ve değer olarak büyük bir kısmı denizyolu ile gerçekleşmektedir. Deniz ulaştırma faaliyetleri denizyolu taşımacılığı ve liman hizmetlerinden oluşmaktadır. Deniz ulaştırması temel olarak gemi ve liman bileşenlerinden oluşmaktadır. Dünya üzerinde limanlar arasında seyirde olan gemilerin emniyetli, güvenli ve deniz çevrenin korunarak gerçekleştirilmesi, denizcilik tarihinde karşılaşılan kazalardan alınan dersler ile kazalarının gerçekleşmeden önlenmesi, emniyetin geliştirilmesi ilgi çeken ve odaklanılan konulardan biridir.

Beklenmeyen durumların oluşmaması, tehlikeden uzak olunması, kazaların ortaya çıkmasına neden olabilecek şartların oluşmasının engellenmesi emniyet yönetimi ile mümkündür. Deniz trafiğinde emniyetin, seyir emniyetinin geliştirilmesi için yasal düzenlemeler, deniz trafiğinde kullanılan kontrol araçları, deniz trafiğinin düzenlenmesi, yönlendirilmesi amacıyla kullanılan şamandıralar, fenerler, trafik ayırım düzeni, gemi trafik hizmetleri, teknik seyir hizmetleri kullanılmaktadır. Ayrıca deniz trafiğinde emniyeti ve riski değerlendirmek için kullanılan emniyet ve risk değerlendirme araçları da mevcuttur.

Bu çalışmada, deniz ulaştırmasında emniyeti geliştirmek amacıyla gemi trafik hizmetlerinin bulunmadığı bölgelerde mevcut koşullarda gerçekçi bireysel gemi davranışlarını içeren deniz trafiği akım benzetimi gerçekleştirilmesi, deniz trafiğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Benzetim yöntemi, matematiksel yaklaşımların yeterli olmadığı durumlarda, deneylerin gerçek sistem üzerinde maliyet, tekrar edilebilir ve emniyet vb. nedenlerle gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda sistem üzerinde deneylerin yapılmasına imkân vermesi nedeniyle tercih edilen, kullanılan bir yöntemdir. Benzetim yöntemi, araştırma konusu deniz trafiğinin karmaşık ve dinamik yapısına uygun olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Öncelikle deniz trafiğinde emniyet, risk değerlendirmesi yapılmasını sağlayan araçlar, düzenlemeler incelenmiştir. Bu araçlar karaya oturma, çatışma ve diğer deniz kazalarının ortaya çıkma olasılıklarının, deniz trafiğinin emniyet ve risk değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Benzetim yöntemiyle yapılmış olan bilimsel çalışmalar incelenmiş, araştırmanın konusu ve yöntem ile ilgili alanyazın taramaları gerçekleştirilmiştir. Deniz trafiğinde modelleme ve benzetim ile hazırlanmış bilimsel çalışmaların çatışma modelleri, çatışmadan kaçınma ya da kaçınma rotalarının önerildiği, deniz trafiği benzetiminin oluşturulduğu, deniz trafiği ortam benzetici için görsel seyir destek sistemi geliştirilmesi, yoğunluğunun bulunduğu alanlarında olası senaryolar ile gelecek deniz trafiği ile ilgili benzetimlerin yapıldığı, limanlar, nehirler, kanallar gibi kısıtlı su alanlarında deniz trafiğinin modellenmesi ve gemiler arası etkileşimin dikkate alındığı trafik modelleri, liman yönetimine, karar vericilere önerilerin sunulduğu benzetim modelleri; gemi hidrodinamiğinin dikkate alındığı karar destek sistemleri, otonom gemiler için denizcilik prototip sistemleri geliştirilmesi, gemi davranışlarının yer aldığı alanyazın taraması, deniz trafiği karmaşıklığı, açık denizde taşımacılık faaliyetlerini ve gemi yoğunluğu gösteren benzetim modelleri konularında olduğu görülmüştür. Benzetim yaklaşımları olarak kesikli olay benzetimi, etmen tabanlı modelleme, etmen tabanlı modellemenin özel bir hali olan hücresel otamata ve istatistiksel benzetimler yapılmıştır.

Deniz trafiğinde benzetim ve modelleme yöntemi ile yapılan çalışmalar taranırken etmen tabanlı modelleme yaklaşımının çalışma konusu için etmenlerin kendi aralarında ve çevreleriyle etkileşim halinde olması nedeniyle araştıma konusunda kullanılabilir yaklaşım olarak düşünülmüştür. Bu nedenle etmen tabanlı modelleme ve deniz ulaştırması konusunda yapılan çalışmalara odaklanılmıştır. Deniz ulaştırmasında deniz haydutluğu ve güvenlik, deniz trafiği, liman elleçleme donanımları ve verimlilik, arama kurtarma konuları üzerinde çalışıldığı görülmüştür.

Etmen tabanlı modelleme için kullanılan araçlardan ücretsiz, açık erişimin olması, belirli bir programlama dili bilmenin önkoşul olmaması ve komutların konuşma diline yakın olması nedenleriyle akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılan NetLogo programı ve dili tercih edilmiştir. NetLogo üzerinde deniz trafiği benzetiminin gerçekleştirilmesi için model geliştirilmeye başlanmıştır. Modelin geliştirilmesi aşamasında alanyazın taraması, NetLogo model kütüphanesi ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır.

Modelde gerçek deniz trafiği koşullarının bilgisayar ortamına aktarılması için gemi boyu, gemi tipi, geminin yavaşlama, hızlanma hareketleri, dönüşü, başlangıç ve

varış noktaları tanımlanmıştır. Gemilerin sistem üzerinde başlangıç noktasından varış noktasına ilerlemesi sırasında pruva pruvaya karşılaştıklarında belirli mesafe ve birbirlerini gördükleri açıyla ilişkilendirilerek COLREG Kural 14'e uygun olarak hareket etmesi sağlanmıştır.

Modelin geçerliliği ve güvenilirliğinin test edilmesi için açık deniz alanı ve liman bölgelerini içeren bir alan seçilmiştir. Bölge, farklı rotalardan gemi gidiş gelişlerinin olduğu bir alandır. Liman bölgelerinde yapılan bir haftalık gözlem ile gemi eni, boyu, tipi bilgileri elde edilmiş, modelde kullanılmak üzere değerlendirilmiştir. Bu bölgeye ait deniz trafiği yoğunluğu haritasında başlangıç ve varış bölgeleri, dönüş yapıları noktalar tespit edilmiş ve modele uyarlanmıştır. Modelde liman bölgesine giden gemilerin belirli mesafeden sonra gittikçe yavaşlayarak ilerlemesi yazılan kodlarla sağlanmıştır. Ayrıca liman bölgesinden uzaklaşırken, gemilerin limana olan uzaklığı artarken açık denizde gemi tipine göre seçilmiş hızlarına ulaşması modelde sağlanmıştır. Gerçek koşullarda gelen gemiler yerine sistemde o bölgelerde gemiler üretilmiş ve varış bölgelerine ulaştıktan sonra sistemden ayrılmışlardır. Modelde liman bölgelerine giden gemiler dönüp yeni varış bölgelerine ilerleyecek şekilde tasarlanmıştır. Gemi gelişleri ile ilgili istatistiksel değerlendirme için alanyazında yapılmış çalışmalardan faydalanılmıştır. Gemi gelişleri arası süre poisson dağılımına uygun olarak modelde uygulanmıştır. Model, sistem üzerinde 10 tekrar, 150000 birim zaman geçinceye kadar çalıştırılmış, çıkan sonuçlar ile liman bölgelerine giden gemi sayısı sistemin çalışma süresine göre ilişkilendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Modelde liman bölgelerine giden gemi sayıları gerçek veriler ile uyumludur. Sistemde üretilen gemilerin hareketleri ile deniz trafiği yoğunluğu haritası görüntüleri eşleşmektedir. Modelin geçerliliği ve güvenilirliği sağlanmıştır. Araştırmanın temel amaçlarından olan gemi tipi ve bireysel gemi özelliklerini içeren deniz trafiği akım ortamı, bilgisayar ortamına NetLogo programı aracılığıyla aktarılmıştır.

Modelde, 1 deniz mili altında gemi karşılaşmalarının olduğu bölgelerin tespit edilebilmesi amacıyla program üzerinde sabit etmenlere risk durumu başlangıç olarak sıfır olarak tanımlanmış ve bu şartlarda karşılaşmaların olması durumunda risk durumları artıracak şekilde bir prosedür yazılmıştır. Bu kodlarla risk durumlarına göre modelde risk durumu azdan çoğa doğru sarı, turuncu ve kırmızı renklerle ilişkilendirilmiştir. Gerçerliliği ve güvenilirliği sağlandıktan sonra gerçekleştirilen

deneylerde bölgelerde oluşan risk durumlarına ait risk haritaları elde edilmiş ve konumları ve risk durumlarına ait dosya programdan çıktı olarak alınmıştır. Deneyler sonucunda gemi karşılaşmaları nedeniyle Karaburun Yarımadası'nın kuzeybatısında risk durumunun yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit ile geliştirilen modelin deniz trafiği değerlendirmesinde kullanılabilir bir model olması amacına ulaşılmıştır.

Tespit edilen bölgede deniz trafiğinde emniyetin geliştirilmesi amacıyla COLREG Kural 10'a göre modelde güncelleme yapılmış ve trafik ayırım düzeni uygulanmıştır. Benzetim 10 tekrar 150000 birim süre çalıştırılarak trafik ayırım düzeni sonrası deneyler gerçekleştirilmiştir. Trafik ayırım düzeninin uygulanması ile bölgede oluşan risk haritalarının değiştiği, başka bir bölgeye aktarılmış olduğu görülmüştür. Modelin mevcut koşullar altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda tespit edilen duruma göre ve sonrasında trafik ayırım düzenine göre güncelleştirilmeye imkân veren bir model olması, suyollarında yapılacak değişikliklerde karar vericilere öneriler ve prosedürler geliştirilmesine uygun olmasıyla nedenleriyle araştırmanın diğer amaçlarına ulaşılmıştır.

Deniz trafiğinde emniyetin geliştirilmesi amacıyla açık deniz şartlarında gerçekleşen deniz trafiği akım koşullarında modelin kurulduğu NetLogo programının belirli sınırlılıkları olmuştur. Modelin uygulandığı bölgenin 70x40 deniz millik bir alan olması, model üzerinde gemilerin tanımlandığı etmenlerin model üzerinde kapladığı alan gözle ayırt edilmesini zorlayacak ölçekte küçük görülmektedir. Modelde gemilerin görünürlüklerini sağlamak amacıyla daha büyük ölçekler kullanılmıştır ancak görsel olarak yanıltıcı olmuştur. İlerleyen çalışmalarda çalışılan bölgenin görece olarak daha küçük bir alan seçilmesi ile modelde gemi temsilinin görsel olarak daha gerçekçi olacağı düşünülmektedir.

Sistemin her bir birim zaman ilerleyişi, seçilen alan ölçeği düşünülerek gerçek dünya zamanı ile dakika olarak varsayılmıştır. Çalışılan bölgenin daha küçük seçilmesi ve gemi hareketlerine odaklanılmak istenen araştırmalarda her bir birim ilerleyişi saniye olarak değerlendirilebilir, mikroskobik çalışmalarda kullanılması mümkündür.

Modelde gemilerin gemi tipleri seçimi ve varış noktaları seçimlerinin belirli olasılıklıklarla gerçekleştirilmesi istenmiştir. Ancak kullanılan programda bu olasılıklar tanımlanamamıştır. Modelde gemi tipi ve varış noktaları seçimleri eşit olasılıklıklarla rastgele seçilmiştir. Çalışılan denizalanı ile ilgili istatistiğin yeterli olmaması

nedeniyle modelde gemi gelişleri arası süre uygulanan bölge için kalibrasyonu arayüz üzerinde kontrol araçlarının değiştirilerek denemeleri yapılmış ve arayüzde görünen sayılar tespit edilmiştir. Çalışılan bölgeye ait verilerin elde edilmesi ile modelde deniz trafiği için başlangıç varış rotalarının daha hassas belirlenmesinde kullanılabilir.

Çalışılan çevre koşullarının havanın sakin, görüşün iyi ve rüzgârın seyir emniyetine etkilemeyeceği varsayımı nedeniyle modelde yer almamaktadır. İleride yapılan çalışmalarda, uygulanan bölgeye göre modele akıntı, rüzgâr, gelgit gibi çevresel koşulların eklenebilmesi mümkündür. Ayrıca modelde gemilerin iki boyutta hareket ettiği varsayımı yapılmıştır. Ancak gemilerin draflarının modelde tanımlanması ve konumlara ait derinlik bilgileri girilerek güncelleştirilmesiyle model aracılığı ile karaya oturma analizinin yapılmasının mümkün olduğu düşünülmektedir.

Araştırmada deniz trafiği akımı bireysel ve gemi tipi özellikleri, gemi tipi ile ilişkilendirilerek boyu, hız sınırlılıkları, hızlanma, yavaşlama, gemi dönüşü özellikleri dikkate alınarak deniz trafiğinin olabildiği ölçüde gerçekçi olarak bilgisayar ortamına aktarılması, belirli bir alanda deniz trafiğinin analizinin yapılmasına imkân veren, çalışılan yeni alanlarda bölgesel deniz trafiği durumlarına göre güncelleştirilebilen, deniz trafiğinin analizinde uyarlanabilir genel bir benzetim modeli yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca emniyet yönetimi açısından öneriler ve prosedürler geliştirilmesi amacına uygun, olası trafik koşulları değişikliklerinde uyarlanabilir esnek bir model olduğu, gerçekleşen değişikliklere göre güncellenebilir bir model olduğunu, mevcut koşullar ve trafik ayırım düzeni sonrası gerçekleştirilen deneylerde görülmektedir. Deniz trafiğinin değerlendirilmesinde etmen tabanlı modelleme yaklaşımı ile oluşturulan benzetim modeli ile seçilen alan üzerinde deniz trafiği analizi gerçekleştirilmiş, risk durumları tespit edilmiş ve risk haritalarının oluşturulmuş ve tespit edilen riskli bölge için yeni bir prosedür geliştirilerek model güncellenmiştir.

Ayrıca benzetim modeli ile deniz trafiğinde yaşanan gelişmelere ve değişimlere göre, suyollarında yapılacak olası değişiklikler, yeni bir liman yapılması ile değişen trafik koşullarının bölgeye, sisteme olan etkisinin gözlenmesi, yeni demirleme sahasının seçimi ile bölgede olabilecek durumlar ile karar vericilere öneriler, prosedürler, politikalar geliştirilmesi mümkün olduğu düşünülmektedir.

Çalışılan açık deniz şartlarında gemi gelişleri süresi, gemilerin deniz trafiği koşullarını, gerçekçi ölçüde yansıtan bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Seyir

emniyetini etkileyecek çevre şartları, modelde yer almamaktadır. Ancak çalışılan bölgeye göre eklenebilmesi mümkündür.



## KAYNAKÇA

Akçaoğlu, V. ve Akçaoğlu, S. (2002). Deniz Fenerleri. 4. Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı- 2. Cilt (ss. 573-589). Antalya. 24-27 Ekim 2002.

Allan, R. (2010). Survey of Agent Based Modelling And Simulation Tools. *Science and Technology Facilities Council Report*: 1-48.

Allen, T. (2011). *Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-Based Modeling Voting Systems, Health Care, Military, And Manufacturing*. London: Springer-Verlag London Limited 2011.

Al-Dmour, N. A. A-H. (2011). TarffSim: Multiagent Traffic Simulation. *European Journal of Scientific Research*. 53(4): 570-575.

Aleš Janota, A., Spalek, J. ve Šebeňová, J. (2010). Multiagent System-Based Modeling of Traffic Control System Behavior. *The 14th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*. Orlando, Florida, USA.

Almaz, Ö.A. (2006). *İstanbul Boğazi Transit Gemi Trafiklerinin Benzetim Modelleme ve Senaryo Analizi ile İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Almaz, Ö.A., Or, İ., Ozbaş, B., 2006. Investigation of transit maritime traffic in the strait of Istanbul through simulation modeling and scenario analysis. *International Journal of Simulation System Science. Technology*, 7:1-9.

Almaz, A.Ö., Or, İ. ve Ozbaş, B. (2006). Investigation of Transit Maritime Traffic in The Strait of Istanbul Through Simulation Modeling and Scenario Analysis. *International Journal of Simulation: Systems Science & Technology*. 7(7): 1-9.

Altan, T. (2014). *Marmara Denizi Trafik Akışı ve Trafik Düzeninin Analizi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Altan, Y. (2017). *İstanbul Boğazı'nda Otomatik Gemi Takip Sistemi Temelli Deniz Trafiği ve Gemi Çatışması Analizi ve Modellenmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Altıok, T. ve Melamed, B. (2007). *Simulation modeling and analysis with ARENA*, Amsterdam: Elsevier Academic Press.

Almaz, Ö.A.ve Altıok, 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.

Altıok, T., Almaz, A.Ö. ve Ghafoori, A. (2012). *Modeling and Analysis of the Vessel Traffic in the Delaware River and Bay Area Risk Assessment and Mitigation*. Teknik Rapor. Center for Advanced Infrastructure and Transportation, Laboratory for Port Security (CAIT-LPS), Rutgers University. 204-RU6532.

Asyalı, E. (2014). *Köprüüstü ve Makine Kaynakları Yönetimi, STCW/78- 2010 Manila Değişimlerine Uygun*. İstanbul: Beta Basım.

Aydoğdu, V., Yurtören, C., Park, J. Ve Park, Y.. (2012). A Study on Local Traffic Management to Improve Marine Traffic Safety in the Istanbul Strait. *The Journal of Navigation*. 65(1): 99-112.

Ayvaz, B., Kuşakçı, A.O., ve Borat, O. (2017). *Excel, Matlab, Arena ve Simulink Uygulamalarıyla Sistem Benzetimi*. İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık.

Baber, C., Stanton, N.A., Atkinson, J. McMaster, R. ve Houghton, R.J. (2013). Using Social Network Analysis And Agent-Based Modelling to Explore Information Flow

Using Common Operational Pictures For Maritime Search And Rescue Operations, *Ergonomics*, 56(6): 889-905.

Banos, A., Lang, C. ve Marilleau, N. (2015). *Agent-based Spatial Simulation with NetLogo*. Oxford: Elsevier.

Bas G., De Boo K., Vaes-Van de Hulsbeek A.M. ve Nikolic I. (2007). MarPEM: An Agent Based Model to Explore The Effects of Policy Instruments On The Transition Of The Maritime Fuel System Away From HFO. *Transportation Research Part D*. 55 (2017): 162–174.

Banos, A., Lang, C. ve Marilleau, D. (2015). *Agent-based Spatial Simulation with NetLogo Volume 1- Introduction and Bases*. London: ISTE Press Ltd.

Banos, A., Corson, N., Lang, C., Marilleau, D., Taillandier, P. (2017). *Multiscale Modeling: Application to Traffic Flow. Agent-based Spatial Simulation with NetLogo, Volume 2. Advanced Concepts* (ss.37-62). Editors: Banos, A., Lang, C. ve Marilleau, N. London: ISTE Press Ltd.

Barras, C.B. (2004). *Ship Design and Performance for Masters and Mates*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Bayar, N. (2010). *İstanbul Boğazı'nda Deniz Trafik Güvenliğinin Risk Tabanlı Bulanık-AHP ve FMEA Yöntemleri ile İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Berryman, M.J. ve Angus, S.D. (2010). Tutorials on Agent-based modelling with NetLogo and Network Analysis with Pajek. *Proceedings of the 22nd Canberra International Physics Summer School*. (ss.351-375). Düzenleyen The Australian National University. Canberra. 8 – 19 Aralık 2008.

Blokus-Roszkowska, A. ve Smolarek, L. (2013). Application of Simulation Methods for Evaluating the Sea Waterways Traffic Organisation. *ISRN Applied Mathematics*. Volume 2013, Article ID 715142.

Blokus-Roszkowska, A. ve Smolarek, L. (2015). Maritime Traffic Flow Simulation in The Intelligent Transportation Systems Theme. *Safety and Reliability: Methodology and Applications* (pp. 265-274). London: CRC Press.

Boer, T. (2010). *Application of AIS Data in a Nautical Traffic Model*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Delft: Delft University of Technology.

Bourdon, S., Gauthier, Y., ve Greiss, J. (2007). *MATRICES: A Maritime Traffic Simulation*. DRDC – Centre for Operational Research and Analysis Technical Report.

Bozuyula, M. (2019). *Çift Modlu Ulaşım Sistemleri için Yeni Bir Yaklaşım Olarak Metrocar*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Braem, T.A. (1974). *A Simulation Model of Marine Traffic Flow with Particular Application to Rosario Strait*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Vancouver: The University of British Columbia Commerce and Business Administration Faculty.

Çamcı, F., Eldemir, F., Uysal, O. ve Üstün, İ. (2009). Istanbul Strait Marine Traffic Simulation Using Multiple Serially Connected Machinery Concept. *Proceedings of the 2009 Summer Computer Simulation Conference* (pp. 424-429). İstanbul. 13- 16 Haziran 2009.

Cerit, A.G., Deveci, D.A. ve Denktaş Şakar, G. (2013). Denizcilik İşletmeleri Yönetimi: Sınıflamalar, İşlevler ve Deniz Ulaştırması. *Denizcilik İşletmeleri Yönetimi* (ss. 1-57). İstanbul: Beta Basım A.Ş.

Chion, C. (2011). *An Agent-Based Model For The Sustainable Management Of Navigation Activities In The Saint Lawrence Estuary* (Yayınlanamış Doktora Tezi). Montreal: Ecole de Technologie Supérieure.

Chmieliński, M. (2020). Requirements Regarding Safety Maritime Transport of Explosives Materials. *TransNav: International Journal on Marine Navigation & Safety of Sea Transportation*. 14(1): 115-120.

Cockcroft, A. N. ve Lameijer, J. N. F. (2012). *A Guide to the Collision Avoidance Rules*. 7th edition. Butterworth-Heinemann.

Cortes, P., Munuzuri, J., Ibanez, J.N. ve Guadix, J. (2007). Simulation of Freight Traffic in the Seville Inland Port. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 15(3): 256-271.

Çelik, B. ve Zorba, Y. (2019). Deniz Ulaştırmasında Etmen Tabanlı Modelleme ve Benzetim İncelemesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*. 11(2): 151-175.

Dağkiran, B. (2018). *Etmen Tabanlı Modelleme ve Simülasyon Yaklaşımı ile Gemi Trafik Hizmetleri Sosyo Teknik Sisteminin Analizi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Decraene, J., Zeng, F., Low, M.Y.H., Cai, W., Cheng, Y.Y. ve Choo, C.S. (2012). Evolutionary Design Of Experiments Using The Mapreduce Framework. *Proceedings of the 2011 Summer Computer Simulation Conference* (ss. 76-83). Düzenleyen Society for Modeling & Simulation International. Hague, Netherlands. Haziran 2011.

Ding, Z., Gong, W., Li, S. ve Wu, Z. (2018). System Dynamics versus Agent-Based Modeling: A Review of Complexity Simulation in Construction Waste Management. *Sustainability*. 10(7), 2484.

Downey, A. B. (2012). *Think Complexity*. Needham, Massachusetts: Green Tea Press.

Douma, A. M., J. Van Hillegersberg, and P. C. Schuur. 2012. Design and Evaluation of a Simulation Game to Introduce a Multi-Agent System for Barge Handling in a Seaport. *Decision Support Systems* 53: 465–472.

Ece, N. J. (2005). *İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Kazalarının Seyir ve Çevre Güvenliği Açısından Analizi ve Zararsız Geçiş Koşullarında Değerlendirilmesi*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Elefteriadou, L. (2004). An Introduction to Traffic Flow Theory. Springer, ISBN 13: Element". *Journal of Safety Research*. Volume 37, Issue 4, Ss: 401–411.

Köse E., Başar E., Demirci E., Güneroglu A., Erkebay, S. (2003). Simulation Of Marine Traffic İn Istanbul Strait. *Simulation Modelling Practice And Theory*.11: 597-608.

Kessels, F. (2019). Introduction to Traffic Flow Theory Through a Genealogy of Models. Elektronik Kitap: Springer International Publishing.

Molland, A. (2008). *The-Maritime-Engineering-Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation*. Oxford: Elsevier.

Eriksen, T., Høye, G., Narheim, B., ve Meland, B. J. (2006). Maritime Traffic Monitoring Using A Space-Based AIS Receiver. *Acta Astronautica*. 58(10): 537-549.

Erol, A. (1999). Gemi Trafik Hizmetleri ve Boğazlarımız. *Türk Kılavuz Kaptanlar Derneği Aylık Bülteni*. 1(2):1-4.

European Maritime Safety Agency. (2013). *Vessel Tracking Globally, Understanding LRIT*. <http://www.emsa.europa.eu/emsa-documents/latest/item/256-vessel-tracking-globally-understanding-lrit.html>, (09.07.2019).

European Maritime Safety Agency (EMSA). (2019). *Annual overview of marine casualties and incidents 2019*. <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/3734-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2019.html>, (09.07.2019).

Fang, Z., Qi, Y., Hao, J., Huang, J., ve Dong, M. (2014). Agent-Based Simulation Analysis on the Effect of an LNG Terminal on a Port Transport System. *Proceedings 14th COTA International Conference of Transportation Professionals* (ss.131-144). Changsha, China.4-7 Temmuz 2014.

Farias, Monteiro de ve Leite, L.T. (2006). Simulation and Control of Maritime Area through Multi-Agent Systems and Geographical Information Systems, *Proceedings International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce* (pp. 734-738). (CIMCA-IAWTIC'06), Vienna. 28-30 Kasım 2005.

Feng, H. (2013). Cellular Automata Ship Traffic Flow Model Considering Integrated Bridge System. *Journal of U-and E- Service, Science and Technology*. 6(6): 121-132.

Fish, J.M. (2017). *A Cross-Disciplinary Approach to the Maritime Security Risk of Piracy and Lessons Learned from Agent-Based Modeling*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Virginia: Old Dominion University International Studies.

Fışkın, R. (2019). *Denizde Çatışmadan Kaçınma Rotası Planlama ve Optimizasyonu*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Formela, K., Neumann, T. ve Weintrit, A. (2019). Overview of Definitions of Maritime Safety. *TRANSNAV the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 13(2): 285-290.

Friis-Hansen, P. (2008). *IWRAP MK II, Working Document, Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies*. [https://www.iala-ism.org/wiki/iwrap/images/2/2b/IWRAP\\_Theory.pdf](https://www.iala-ism.org/wiki/iwrap/images/2/2b/IWRAP_Theory.pdf), (10.07.2019).

Garro, A., Monaco, M.F., Russo, W., Sammarra, M. ve Sorrentino, G. (2015). Agent-Based Simulation for The Evaluation of A New Dispatching Model for The Straddle Carrier Pooling Problem. *Journal Simulation*, 91(2): 181-202.

Gerede, E. (2006). Havacılık Emniyeti ve Havacılık Güvenliği Kavramları Arasındaki İlişki ve Farkların Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. *Yönetim: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Dergisi*. 17(54): 26-37.

Goerlandt, F. ve Kujala, P. (2011). Traffic Simulation Based Ship Collision Probability Modelling. *Reliability Engineering & System Safety*. 96 (1): 91-107.

Goerlandt, F. ve Montewka, J. (2015). Maritime Transportation Risk Analysis: Review and Analysis in Light of Some Foundational Issues. *Reliability Engineering & System Safety*. 138: 115-134.

Goodwin, E. (1975). A Statistical Study of Ship Domains. *Journal of Navigation*. 28(3): 328-344.

Goodwin, E. (1983). Marine Traffic Flows With Reference To Fixed Offshore Structures. *IABSE Reports*. 41 (1983):48-61.

Gökçek, U. (2018). *Trafik Akım Hızının Modellenmesi: İstanbul Barbaros Bulvarı Örneği*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., ve Railsback, S. F. (2010). The ODD Protocol: A Review and First Update. *Ecological Modelling*. 221(23): 2760-2768.

Gucma, L., Bąk, A., Sokołowska, S., (2017). Stochastic Model Of Ships Traffic Capacity And Congestion – Validation By Real Ships Traffic Data On Świnoujście – Szczecin Waterway. *Annual Navigation*. (24): 177-191.

Hadley, M. (1999) Issues in Remote Pilotage. *Journal of Navigation*, 52(1), 1-10.

Hang, F., Qing, W., Di, Z. ve Chengpeng, W. (2015). Modeling The Ship Traffic in The Three Gorges Area. *Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation Information and Safety*, (ss 699-705), Düzenleyen Institute of Electrical and Electronics Engineers, China Communications and Transportation Association. Wuhan. June 25 – June 28, 2015.

Hansen, F.T., Potthoff, M., Uhrenholdt, T., Vo, H.D., Linden, O. ve Andersen, J.H. (2015). Development of A Prototype Tool For Ballast Water Risk Management Using A Combination Of Hydrodynamic Models and Agent-Based Modeling. *The WMU Journal of Maritime Affairs (JoMA)*. 14: 219–245.

Harris, S.P., Dixon, D.S., Dunn, D.L. ve Romich, A.N. (2012). Simulation modeling for maritime port security. *Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*. 10 (2), 193–201.

Hara, K. ve Nakamura, S. (1995). A Comprehensive Assessment System for Maritime Traffic Environment”, *Safety Science*, (19): 203-215.

Harati-Mokhtari, A., Wall, A., Brooks, P., & Wang, J. (2007). Automatic Identification System (AIS): Data Reliability And Human Error Implications. *The Journal of Navigation*, 60(3), 373-389.

Hasegawa, K. (2003). Some Recent Developments Of Next Generation's Marine Traffic Systems. *IFAC Proceedings Volumes*. 37(10): 13-18.

Hasegawa, K. ve Yamazaki, M. (2013). Qualitative and Quantitative Analysis of Congested Marine Traffic Environment – An Application Using Marine Traffic Simulation System. *TRANSNAV the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 7(2): 179-184.

Henesey, L., Davidsson, P. ve Persson, J.A. (2008). Evaluation of Automated Guided Vehicle Systems for Container Terminals Using Multi Agent Based Simulation. *Proceedings MABS 2008: Multi-Agent-Based Simulation IX*. Estoril. 12-13 Mayıs 2008.

Hrstka O, Vaňek O, Kopřiva Š, Jiří, Z., Jan, F. ve Pěchouček M. (2015). Agent-Based Approach To Illegal Maritime Behavior Modeling. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*. 42 (114): 101–111.

Hoogendoorn, S. ve Bovy, P.H.L. (2001). State-of-the-Art Of Vehicular Traffic Flow Modeling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part I Journal of Systems and Control Engineering*. (215): 283-303.

Hoogerdon, S.P. (2010). Traffic Flow Theory and Simulation: CT4821. Delf University, [https://ocw.tudelft.nl/wpcontent/uploads/Reader\\_ct4821.pdf](https://ocw.tudelft.nl/wpcontent/uploads/Reader_ct4821.pdf). (13.05.2019).

Huang, S.Y., Hsu, W.J., Fang, H. ve Song, T. (2013). A Marine Traffic Simulation System For Hub Ports. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 295-304.

Huang, S., Hsu, W., Fang, H., & Song, T. (2016). MTSS- A Marine Traffic Simulation System and Scenario Studies for a Major Hub Por. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation* , 1 (27), 3-26.

Huang, Y., Yip, T.L ve Wen, Y. (2019). Comparative Analysis of Marine Traffic Flow In Classical Models. *Ocean Engineering*.187 (2019): 1- 17.

Huet, T., Osman, T., ve Ray, C. (2003). Modelling Traffic Navigation Network with A Multi-Agent Platform. *Proceedings 17th European Simulation Multiconference* (ss. 11–117). Düzenleyen United Kingdom Simulation Society. Nottingham. 9-11 Haziran 2003.

İnce, A.N., ve Topuz, E. (2004). Modelling and Simulation For Safe And Efficient Navigation In Narrow Waterways, *Journal of Navigation*, (57):53–71.

Inoue, K. ve Kawaseve, M. (2007). Innovative Probabilistic Prediction of Accident Occurrence. *Proceeding TransNav 2007, The 7th International Symposium on Navigation* (ss. 413-416). Düzenleyen Gdynia Maritime University, Polland. 20-22 Haziran 2007.

International Association of Maritime Aids to Navigation and Lighthouse Authorities-IALA. (2002). *Guidelines on The Universal Automatic Identification System (AIS)*. Volume 1, Parts I & II, Ed. 1.1.

International Association of Maritime Aids to Navigation and Lighthouse Authorities-IALA. (2016). *Vessel Traffic System Manuel 6 Edition*, France: IALA.

International Association of Maritime Aids to Navigation and Lighthouse Authorities-IALA. (2017a). *The IALA Maritime Buoyage System R1001-Ed1*, France: IALA.

International Association of Maritime Aids to Navigation and Lighthouse Authorities-IALA. (2017b). *The Use Of Iala Waterway Risk Assessment Programme (IWRAP)MII*. France: IALA.

International Association of Maritime Aids to Navigation and Lighthouse Authorities-IALA. (2017c). *The Use Of Ports And Waterways Safety Assessment (Pawsa) Mk II Tool*. France: IALA.

International Maritime Organization-IMO. (1968). *Recommendation on Pilotage*, Res. A.159(4). Adopted on 27 November 1968.

International Maritime Organization-IMO. (1993). *International Management Code For The Safe Operation Of Ships And For Pollution Prevention (International Safety Management (ISM) Code*, Resolution A.741(18). Adopted on 4 November 1993.

International Maritime Organization-IMO. (1997). Guidelines For VTS. Tarih: 3 Aralık 1997. Sayı: A.857(20).

International Maritime Organization-IMO. (1998). *Adoption of New and Amended Performance Standards*. Res. MSC. 74(69). Adopted on 12 May 1998.

International Maritime Organization-IMO. (2003). *Guidelines for the Installation of a Shipborne Automatic Identification Systems (AIS)*, Adopted on 6 January 2003.

International Maritime Organization-IMO. (2006). Res. MSC. 202(81). *Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, As Amended*, Adopted on 19 Mayıs 2006.

International Maritime Organization-IMO. (2008a). *Guidance on the Implementation of the LRIT System*. MSC.1(1298). 8 Aralık 2008.

International Maritime Organization-IMO. (2008b). *Adoption Of The Code Of The International Standards And Recommended Practices For A Safety Investigation Into A Marine Casualty Or Marine Incident (Casualty Investigation Code)*. Resolution MSC.255(84). Adopted on 16 Mayıs 2008.

International Maritime Organization (IMO). (2010). *STCW: International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, Including 2010 Manila Amendments*. London, UK.

International Maritime Organization-IMO. (2015). Res. A.1106(29). Revised Guidelines for the Onboard Operational Use of Shipborne Automatic Identification Systems (AIS), Adopted on 2 Aralık 2015.

Itoh, H., Numano, M., ve Pedersen, E. (2003). Modelling and Simulation of Sea Traffic and A Visualization-Based Collision Avoidance Support System. *Proceedings International Congress on Modelling and Simulation* (ss.1996-2001). Düzenleyen MODSIM. Townsville, Australia, 14-17 Temmuz 2003.

İstikbal, C. (2000). Deniz Ulaşımı, Güvenlik Yönetimi ve Türk Boğazları. *Marmara Denizi 2000 Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (ss.136-148). Düzenleyen Türk Deniz Araştırmaları Vakfı. İstanbul. 11- 12 Kasım 2000.

Jakob, M., Vanek, O., Urban, S., Benda, P. ve Pechoucek, M. (2010). AgentC: Agent-based Testbed for Adversarial Modeling and Reasoning in the Maritime Domain. *Proceedings 9th Int. Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2010)* (ss. 1641-1642). Düzenleyen Special Interest Group on Artificial Intelligence. Toronto. 10-14 Mayıs 2010.

Jakob, M., Vanek, O., Hrstka, O. ve Pechoucek, M.(2012). Agents vs. Pirates: Multi-Agent Simulation and Optimization to Fight Maritime Piracy. *Proceedings the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems – Innovative Applications Track (AAMAS 2012)* (ss. 37–44), Valencia. Haziran 2012.

Kabal, F. (2007). *Limanlarda Kıyı Yapısı Değişikliklerinin Liman Trafiğine Olan Etkilerinin Modellenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

Kang, L., Meng, Q. ve Liu, Q. (2018). Fundamental diagram of ship traffic in the Singapore Strait, *Ocean Engineering*. 147: 340–354.

Kaptan, M. (2014). *Türkiye’de Kılavuzluk Hizmeti ve Kılavuz Kaptan Profili*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karlson, M. Ve Rasmussen ve Frisk, L. (1998). Verification of ship collision frequency model. *Proceedings the International Symposium on Ship Collision Analysis*. (ss. 117-122). Copenhagen, 10-13 Mayıs 1998.

Kim, D.-W., Park, J.S., ve Park, Y.S. (2011). Comparison Analysis between the IWRAP and the ES Model in Ulsan Waterway. *Journal of Navigation and Port Research International Edition*. 35(4): 281-287.

Knoop, V.L. (2018). *Introduction To Traffic Flow Theory: An Introduction With Exercises*. Delft: TU Delft. İkinci baskı.

Kopacz, Z., Morgaś, W., ve Urbański, J. (2001). The Maritime Safety System, its Main Components and Elements. *Journal of Navigation*. 54(2):199-211.

Kopacz, Z., Morgaś, W., ve Urbański, J. (2002). The Maritime Navigation, Its Environment and Its Safety System. *Annual Of Navigation*. 4: 45-59.

Kristiansen, S. (2013). *Maritime Transportation Safety Management and Risk Analysis*. Newyork: Routledge Taylor & Francis Group.

Kuo, C. (1998). *Managing Ship Safety*. London: LLP Limited.

Laguna, M. ve Marklund, J. (2019). *Business Process Modeling, Simulation and Design*. Third edition, CRC Press.

Lesort, J.-B., Bourrel, E. ve Henn, V. (2003). Various Scales for Traffic Flow Representation: Some Reflections. *Traffic and Granular Flow’03*: 125–139.

Light, S.D. (2011). 6102 Sayılı Yeni Türk Ticaret Kanunu Uyarınca Çatmada Kılavuz, Gemi Trafik Hizmetleri Sistemi ve Römorkaj Kusurunun Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 10(20):1-12.

Liu, Y. H., Sun, Z. Q. ve Du, X. M. (2007). Modeling Ship Behaviors as an Intelligent Agent for Collision Avoidance Simulation. *Proceedings 2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. (ss.88-93). Hong Kong. 19-22 Ağustos 2007.

Liu, Z., Liu, J., Li, Z., Liu, R.W. ve Xiong, N. (2017). Characteristics Analysis of VesselTraffic Flow and Its Mathematical Model. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(2): 230-241.

Liu, Z., Liu, J., Li, Z., Liu, R.W. ve Xiong, N. (2017a). Characteristics Analysis of Vessel Traffic Flow and Its Mathematical Model. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(2): 230-241.

Liu, Z., Liu, J., Li, H., Li, Z., Tan, Z., Liu, R.W. ve Liu, Y. (2017b). Hierarchical And Coupling Model Of Factors Influencing Vessel Traffic Flow, *PLoS One*. 12 (4): e0175840.

Liu, J. ve Hekkenberg, R. (2017) Sixty years of research on ship rudders: effects of design choices on rudder performance, *Ships and Offshore Structures*, 12(4): 495-512.

M. Jakob, O. Vaněk, Š. Urban, P. Benda and M. Pěchouček, *Proceeding 9th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems* (pp. 1641-1642). Düzenleyen AAMAS. Toronto.10–14 Mayıs 2010.

Macal, C.M. ve North, M.J. (2006). Tutorial On Agent-Based Modeling And Simulation Part 2: How To Model With Agents. *Proceedings the 2006 Winter Simulation Conference* (ss.73-83). Düzenleyen Winter Simulation Conference Community. California. 3-6 Aralık 2006.

Macal, C.M. ve North, M.J. (2007). Agent-Based Modeling And Simulation: Desktop ABMS. *Proceedings the 2007 Winter Simulation Conference* (ss.95-106). Washington. 9-12 Aralık. 2007.

Macal, C.M. ve North, M.J. (2010). Tutorial on Agent-Based Modelling And Simulation. *Journal of Simulation*. 4: 151–162.

Maleki, N. (2018). *Maritime Transport And Trade: A Field Of Tensions*. <https://malekidispatch.com/2018/12/07/maritime-transport-and-trade-a-field-of-tensions/>, (08.03.2019).

Maria, A. (1997). Introduction to Modelling and Simulation. *Proceedings 1997 Winter Simulation Conference* (ss: 7-13). Georgia. 7-10 Aralık 1997.

Maidstone, R. (2012). *Discrete Event Simulation, System Dynamics and Agent Based Simulation: Discussion And Comparison.1* (6) Poster. <https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/robert.maidstone/poster1.pdf>.(06.02.2019).

Maritime Safety and Security, African Maritime Safety and Security Agency (AMSSA), <http://www.amssa.net/intelligence/risk-prevention-and-maritime-security.aspx>. (21.05.2019).

May, A. (1990). Traffic Flow Fundamentals. New Jersey: Prentice- Hall.

Mehrkens, H. Ve Steuer H. (2010). Bir Kılavuz Kaptanın VTS Operatörlerinin Yanısıra Vts Merkezinde Sürekli Çalışacak Şekilde Entegre Edilme Durumu Üzerine Bir Tez. <https://www.denizhaber.com/konuk-yazar/kilavuz-kaptanlarin-vtsde-gorevlendirilmeleri-h23923.html>. (08.05.2020).

Merrick, J.W.R., van Dorp, J.R. Blackford, J.P., Shaw, G.L., Harrauld, J. ve Mazzucchi, T. (2003). A Traffic Density Analysis Of Proposed Ferry Service Expansion in San

Francisco Bay Using A Maritime Simulation Model. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 81, Issue 2, August 2003, Pages 119-132.

Miyake R., Fukuto J. ve Hasegawa K. (2015). Procedure for Marine Traffic Simulation with AIS Data. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 9, No. 1, pp. 59-66.

Montewka, J., Tomasz, H., Kujala, P ve Matusiak, J. (2010). Probability modelling of vessel collisions. *Reliability Engineering and System Safety*, 95 (2010) 573–589.

Montewka, P., Goerlandt, F., Mazaheri, A. ve Kujala, P. (2011). Marine traffic risk modelling-An innovative approach and a case study. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part O Journal of Risk and Reliability*. 225:307-322.

Montewka, J., Goerlandt, F., Kujala, P. (2012). Determination of Collision Criteria And Causation Factors Appropriate to a Model for Estimating The Probability of Maritime Accidents. *Ocean Engineering*.40:50–61.

Möller, D. P. F., Jehle, I. A., Froese, J., Deutschmann, A. ve Koch, T. (2018). "Securing Maritime Traffic Management," IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT), Rochester, MI, 2018, pp. 0453-0458. 10.1109/EIT.2018.8500147.

Murat, Y.Ş. (2012). Trafik Mühendiliği Ders Notları, Yetiş Şazi Murat, <http://www.pau.edu.tr/ysmurat/tr/haber/trafik-muhendisligi>, (06.02.2020).

Nas, S. (2012). "Emniyet ve Güvenlik Sözcükleri Üzerine Bir Çalışma", *Denizcilik Dergisi*, 60: 18-22.

NetLogo Kullanıcı Rehberi. (2019).

<http://ccl.northwestern.edu/NetLogo/docs/NetLogo%20User%20Manual.pdf>,  
(20.10.2019).

Niazi, M. ve Hussain, A. (2011). Agent-based Computing From Multi-Agent Systems To Agent-Based Models: A Visual Survey. *Scientometrics* 89: 479–499.

Numano, M., Itoh, H., ve Niwa, Y. (2001). Sea traffic simulation and its visualization in multi-PC system. In Proc. Of International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM) 2001, pp. 2093-2098, Canberra, Australia, Aralık 2001.

Nyman, T.T. (2011). *Review Of Collision and Grounding Risk Analysis Methods which Can Utilize the Historical AIS Data And Traffic Patterns In Seawaters*. Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı SKEMA Consolidation Study.

Onggo, B.S. ve Karatas, M. (2016). Test-Driven Simulation Modelling: A Case Study Using Agent-Based Maritime Search-Operation Simulation. *European Journal Of Operational Research*, 254(2): 517-531.

Ulusçu, Ö.S., Özbaş, B., Altıok, T., ve Or, İ. (2009). Risk Analysis Of The Vessel Traffic İn The Strait of Istanbul, *Risk Analysis*. 29(2009):1454–1472.

Özbaş, B. (2013). Safety Risk Analysis of Maritime Transportation Review of the Literature. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2326:2–38.

Özkan, E.D., Koçer, U.U. ve Nas, S. (2020). Statistical Analysis for Modeling Ship Operation Processes in Ports. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*. 62 (134): 71-79.

Öztanrıseven, F. (2016). *Modeling Economic Impacts Of The İnland Waterway Transportation System*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Arkansas: University of Arkansas Industrial Engineering,

Pachakis, D. ve Kiremidjian, S.A. (2003). Ship Traffic Modelling Methodology for Ports. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. 3 (129): 193-202.

Padilla, J.J., Diallo, S.Y., ve Tolk, A. (2011). Do We Need M&S Science? *Transactions of Society for Modeling & Simulation International SCS M&S Magazine*, 4 (Oct):161-166.

Padilla, J.J., Diallo, S.Y., Lynch, C.J. ve Gore, R. (2018). Observations On The Practice And Profession Of Modeling And Simulation: A Survey Approach. *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 2018, 94(6) 493–506.

Parrott, L., Chion, C., Martins, C.A., Lamontagne, P., Turgeon, S., Landry, J.A., Zhens, B., Marceau, D.J., Michaud, R., Cantin, G., Ménard, N. ve Dionne, S. (2011). A Decision Support System To Assist The Sustainable Management Of Navigation Activities In The St. Lawrence River Estuary. *Environmental Modelling & Software*. 26:1403-1418.

Perez, T., ve Fossen, T.I. (2007). Kinematic Models for Manoeuvring and Seakeeping of Marine Vessels. *Modeling, Identification and Control*, Vol. 28(1): 19–30.

Piccoli, C., (2014). Assessment of Port Marine Operations Performance by means of Simulation. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Delft: Delft University of Technology.

Pidd, M. (2004). *Computer Simulation In Management Science*. 5th Edition. Chichester: John Wiley ve Sons Ltd.

Puszczyk, A., Gucma, L. Ve Gucma, M. (2008). Development of A Model for Simulation of Vessel Traffic Streams. [http://www.geocities.ws/icts\\_papers/Papers/Puszczyk,%20Gucma,%20Gucma.pdf](http://www.geocities.ws/icts_papers/Papers/Puszczyk,%20Gucma,%20Gucma.pdf), ss: 1-12.

Puszczyk, A., Gucma, L. ve Gucma, M. (2011). Development of a model for simulation of vessel traffic streams. In Proceeding of: 14th International Conference on Transport

Science- ICTS 2011. pp: 1-11 Portoroz, Slovenia, Mayıs 2011.  
[http://www.geocities.ws/icts\\_papers/](http://www.geocities.ws/icts_papers/).

Railsback, S.F., Lytinen, S.L. ve Jackson, S.K. (2006). Agent-based Simulation Platforms: Review and Development Recommendations. *Simulation*, 82(9): 609-623.

Railsback, F. ve Grimm, V. (2012). *Agent Based and Individual Based Modeling: A Practical Introduction*. New Jersey: Princeton University Press,

Rayo, S., 2013. Development of a Simulation Model for the Assessment of Approach Channels: The Taman Seaport Case. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Delft: Delft University of Technology. Master Thesis.

Rebollo, M., Julián, V., Carrascosa, C. ve Botti, V.J. (2000). In A Multi-Agent System for the Automation of a Port Container Terminal. *Proceeding of Workshop in Agents in Industry* (ss. 83-94). Barcelona.

Rodrigue, J-P. (2000). Maritime Transportation: Drivers for the Shipping and Port Industries. *Proceedings International Transport Forum 2010 Transport and Innovation: Unleashing the Potential* (ss:1-21). Paris, 26 Ocak 2010.

Sanders, D.J., Plumridge, M.J.M. ve Nautical Institute. (1990). *The Nautical Institute on Pilotage and Shiphandling*. London: The Nautical Institute.

Sang, L.Z., Tong, X.P., Xu, W.X., Mao, Z. ve Yan, X.P. (2017). An agent-based simulation on navigational capacity of multi-bridge waterways. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 231(1), 200–211.

Shannon, R.E. (1992). Introduction to Simulation. *Proceedings of the 24th conference on Winter simulation (WSC '92)* (ss. 65-73). New York. Aralık 1992.

Sinha-Ray, P., Carter, J., Field, T., Marshall, J., Polak, P., Schumacher, K., Song, D., Woods, J., ve Zhang, J.P (2003). Container World: Global Agent-Based Modelling Of The Container Transport Business. *Proceedings 4th Workshop on Agent-Based Simulation* (ss.161-165). Düzenleyen The Society for Modeling & Simulation International. San Diego.

Siegfried, R. (2014). Modeling and Simulation of Complex Systems: A Framework for Efficient Agent-Based Modeling and Simulation. Dissertation, Universität der Bundeswehr München: Springer Vieweg 2014. ISBN 978-3-658-07528-6, DOI 10.1007/978-3-658-07529-3.

Sokolowski, A.J. ve Banks, M.C. (2009). Modelling and Simulation for Analyzing Global Events. New Jersey: Wiley & Sons. Inc. Publication.

SOLAS Consolidated Edition. (2009). London: IMO (International Maritime Organization).

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

Sügen, Y. (2007). Kaptanın Kılavuzu 3. Basım, İstanbul: Beta Basım Yayım.

Sharif, O. (2013). *Application of agent-based approaches to enhance container terminal Operations*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Columbia: University of South Carolina College of Engineering and Computing

Sterman, J. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking And Modelling For A Complex World. New York: Mcgraw-Hill.

Stuer-Lauridsen, F., Drillet, G., Hansen, F.T., Saunders, J. (2018). Same Risk Area: An Area-Based Approach For The Management Of Bioinvasion risks From Ships' Ballast Water. *Marine Policy*. 97:147-155.

T.C. Resmî Gazete (1978). *Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü*. Tarih: 29.04.1978. Sayı: 26438.

T.C. Resmî Gazete (1994). *Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Hakkında Tüzük*. Tarih: 11 Ocak 1994. Sayı: 21815.

T.C. Resmî Gazete. (1998). *Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü*. Tarih: 06.11.1988. Sayı: 23515.

T.C. Resmî Gazete. (2007). *Gemi Trafik Hizmetleri Sistemlerinin Kurulmasına ve İşletilmesine İlişkin Yönetmelik*. Tarih: 18.02.2007. Sayı: 26438.

T.C. Resmî Gazete. (2018). *Gemiadamları ve Kılavuz Kaptanlar Yönetmeliği*. Tarih: 10/02/2018. Sayı: 30328.

T.C. Resmî Gazete. (2019). *Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği*. Tarih: 15/08/2019. Sayı: 30859.

T.C. Resmî Gazete. (2019). *Deniz Kaza ve Olaylarını İnceleme Yönetmeliği*, Resmî Gazete Tarihi: 27.11.2019 Sayı: 30961.

Teahan, W.C. (2010). *Artificial Intelligence agents and Environments*. Ventus Publishing ApS ISBN 978-87-7681-528-8.

Teng, T-H, Lau H.C. ve Kumar, A. (2017). A Multi-Agent System for Coordinating Vessel Traffic (Demonstration). *Proceeding 16th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2017)* (ss.1814-1816). Sao Paulo. 8-12 Mayıs 2012.

Thiele, J.C., Kurth, W. & Grimm, V. (2011) Agent- and Individual-based Modelling with NetLogo: Introduction and New NetLogo Extensions. In: K. Römisch, A. Nothdurft & U. Wunn (eds.): *Die Grüne Reihe 22. Tagung der Sektion Forstliche*

Biometrie und Informatik des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten und der Arbeitsgemeinschaft Ökologie und Umwelt der Internationalen Biometrischen Gesellschaft - Deutsche Region, 20-21th September 2010 in Göttingen (Germany), pages 68-101, ISSN 1860-4064.

Thurston, T. ve Hu, H. (2002). Distributed Agent Architecture For Port Automation. *Proceeding Twenty-Sixth International Computer Software and Applications Conference*. (ss. 81-87). Oxford. 26-29 Ağustos 2002.

Topsoy, F. (2013). Uluslararası Deniz Hukuku Kuralları Işığında Gemi Trafik Hizmetleri (VTS) Sistemi ve Operatörlerinin Hukuki Statüsü. Gazi Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi. 12(1-2): 899-938.

Toroslul, M.V. (2008). Deniz Fenerleri “Denizciye Göz Kırpan Sevdalar”. İzmir: Dev Fuarcılık / Dev Yayıncılık.

Tsamenyi, M. ve Palma, M. A. (2008). Long-Range Identification and Tracking Systems for Vessels: Legal and Technical Issues. Herbert-Burns, R., Bateman, S., & Lehr, P. (Editors). Lloyd's MIU handbook of maritime security içinde (s.215-232). Auerbach Publications.

Tunç, A. (2003). Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.

Uani, K.D. (1994). Ship Optimal Path Planning and Artificial Neural Nets for Berthing. OCEANS' 94.1(1): 785-790.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, UAB MARPOL 2019, <https://imo.uab.gov.tr/marpol-73-78>, (16.05.2019).

United Nations Conference On Trade And Development (UNCTAD) Review Of Maritime Transport 2019, UNCTAD/RMT/2019/ Corr.1.(30 Ocak 2020).

Usluer, H. B. (2010). *Türk Boğazları'nda Fenerler ve Sis İşaretleri'nin Elektronik Seyir'e Entegrasyonu'nun İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

Valdez Banda, O. A. vd. (2016). A Method for Extracting Key Performance Indicators from Maritime Safety Management Norms, *WMU Journal of Maritime Affairs*. Springer Berlin Heidelberg, 15(2): 237–265.

van de Ruit, G.J., van Schuylenburg, M., Ottjes, J.A. (2010). Simulation of Shipping Traffic Flow in The Maasvlakte Port Area of Rotterdam. System.

Jacob, M. Vanek, O. ve Pechoucek, M. (2011). Using Agents to Improve International Maritime Transport Security. *IEEE Intelligent Systems*, 26 (1): 90-96.

Vanek, O., Jakob, M. ve Hrstka, O. (2011). Using multi-agent simulation for security of maritime transit. In: *Proceedings of Multi-Agent-Based Simulation XII International Workshop, MABS 2011*. Taipei, Taiwan.

Vanek, O., Jakob M., Hrstka O. ve Pechoucek, M. (2013). Agent-Based Model Of Maritime Traffic İn Piracy-Affected Waters. *Transportation Research Part C*, 36 (2013) 157–176.

Varol, A.E. (2012). *Simulation Modeling Of Maritime Piracy Using Hybrid Agent Based And Discrete Event Simulation*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Deniz Harp Okulu Komutanlığı Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü.

Varol, A.E. ve Günal, M.M. (2013). Simulation Modeling of Maritime Piracy Using Hybrid Agent Based And Discrete Event Simulation. *Proceedings of the 3rd International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH-2013)* (ss. 438-445). Reykjavik, Iceland. 29- 31 Temmuz 2013.

Varol, A. E. ve Günal, M. M. (2015). Simulating prevention operations at sea against maritime piracy. *The Journal of the Operational Research Society*, 66 (12): 2037-2049.

Verma, B. K. (2009). Long Range Identification and Tracking (LRIT) Apropos Global Maritime Security. *Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India*, 5(1): 39-56.

Wang, P., Li, G., Ju, R., ve Peng, Y. (2017). Random Finite Set Based Data Assimilation For Dynamic Data Driven Simulation Of Maritime Pirate Activity. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017: 1-18.

Wen, Y., Huang, Y., Zhou, C., Yang, J., Xia, C. ve Wu, X. (2015). Modelling Of Marine Traffic Flow Complexity, *Ocean Engineering*, 104: 500–510.

Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/NetLogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

Wilensky, U. ve Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling- Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. London: The MIT Press.

Wu, Bing, W., Xinping, Y., Wang, Y. ve Xiaoyang, W. (2014). Maritime Emergency Simulation System (MESS)- A Virtual Decision Support Platform For Emergency Response Of Maritime Accidents. *Proceeding 4th International Conference On Simulation ve Modeling Methodologies (ss. 155-162). Technologies ve Applications (SIMULTECH)*, Vienna. 28-30 Ağustos 2014.

Winsberg, E. (2009). Computer Simulation and the Philosophy of Science. *Philosophy Compass*. 4/5: 835–845.

Wu, B. ve Cheng, Z. (2012). Safety Opportunity of U-Turn Model Based on Ship-Following Theory. In: Zhang Y. (eds) Future Wireless Networks and Information Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering, Sayı: 144. Springer, Berlin, Heidelberg.

Xiao F., Ligteringen H., Gulijk C.V. ve Ale B. (2012). Artificial Force Fields For Multi-Agent Simulations of Maritime Traffic and Risk Estimation. *Proceeding of 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference ve ESREL 2012*. Helsinki.

Xiao, F., Ligteringen, H., Gulijk, C. ve Alevd, B. (2013) Nautical traffic simulation with multi-agent system for safety. *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, The Hague, The Netherlands. 6-9 Ekim 2013.

Xiao, F. (2014). *Ships in an artificial force field: A multi-agent system for nautical traffic and safety*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Delft: Delft University of Technology. Faculty of Technology, Policy and Management.

Xiao, F., Ligteringen, H., Gulij, C. ve Ale, B. (2015). Comparison study on AIS data of ship traffic behavior. *Ocean Engineering* Volume 95(1): 84-93.

Xiong, J. ve Xie, H. (2018). Research Prospects of Ship Traffic Flow Simulation Technology. International Conference on Civil and Hydraulic Engineering (IConCHE 2018). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 189.

Xu, W. ve Wu, S. (2020). Ship Agent Model For Traffic Flow Simulation İn İnland Waterway. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Artificial Intelligence and Computer Engineering*. 768:1- 6.

Xu, W., Chu, X. Ve Liu, X. (2015). Models of Vessel Traffic Flow in Inland Multi-bridge Waterway. *Proceeding The 3rd International Conference on Transportation Information and Safety*. (ss.505-511). Wuhan. 25-28 Haziran 2015.

Yılmaz, F. ve İlhan, M. N. (2018). Türk Bayraklı Gemilerin Karıştığı Deniz Kazaları ve Denizcilere Etkilerine İlişkin Bir Analiz. *GMO-SHIPMAR* / Number: 211 March 2018, ss: 78-95.

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.

Zhang, L., Meng, Q. ve Fwa, T. F. (2017). "Big AIS data based spatial-temporal analyses of ship traffic in Singapore port waters" *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.

Zhang, M., Zhang, D., Fu, S. Yan, X. ve Goncharov, Y. (2017). Safety Distance Modeling For Ship Escort Operations In Arctic Ice-Covered Waters. *Ocean Engineering*. 146: 202–216.

Zhang, W., Zou, Z., Goerlandt, F., Qi, Y. ve Kujala, P. (2019). A multi-ship following model for icebreaker convoy operations in icecovered Waters. *Ocean Engineering*. 180: 238–253.

Zhao, M., Yao, X.M., Sun, J., Zhang, S., & Bai, J.F. (2019). GIS-Based Simulation Methodology for Evaluating Ship Encounters Probability to Improve Maritime Traffic Safety. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20: 323-337.

Zhou, Y., Daamen, W., Vellinga, T., Hoogendoorn, S. (2019). Review of Maritime Traffic Models from Vessel Behavior Modeling Perspective. *Transportation Research Part C*. 105: 323–345.

Zorba, Y. ve Kişi. H. (2009). Uluslararası Deniz Ticaretinde Tehlikeli Y¼klere İlişkin Emniyet Y¼netimi ve T¼rk Limanları Üzerine Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Dergisi*, 1(1): 27- 45.

#### WEB SAYFALARI

URL-1, T¼rk Dil Kurumu S¼zl¼kleri Web Sayfası, Ulaştırma, [sozluk.gov.tr/](http://sozluk.gov.tr/), Erişim Tarihi: 07.05.2020.

URL-2, Deniz Ulaştırması, Sea Transport, <https://stats.oecd.org/glossary/search.asp>, (10.05.2019).

URL-3,T¼rk Dil Kurumu Web Sayfası, Emniyet, [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5cd5dae7468864.14396224](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5cd5dae7468864.14396224), (10.05.2020).

URL-4, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Emniyet ve G¼venlik, 2019, <https://imo.uab.gov.tr/solas-1974>, (16.05.2020).

URL-5, Introduction to IMO, <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>, (15.05.2019).

URL-6, Uluslararası Denizcilik Örg¼t¼ Web Sitesi, Denizde Emniyet Tarihi, <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ReferencesAndArchives/HistoryofSafetyatSea/Documents/P.%20Boisson%20History%20of%20safet%20at%20sea%20extract.htm>, (05.05.2020).

URL-7, Uluslararası Çalışma Örg¼t¼ Web Sitesi, <https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/mission-and-objectives/lang--en/index.htm>, (12.05.2020).

URL-8, Uluslararası Denizcilik Örg¼t¼ Web Sitesi, Denizcilik S¼zleřmeleri Listesi,

<http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/Default.aspx>,  
(09.05.2020).

URL-9, International Chamber of Shipping, Safety and Regulation, <https://www.ics-shipping.org/shipping-facts/safety-and-regulation/the-principal-regulations-governing-maritime-safety>, (18.05.2020).

URL-11, Uluslararası Denizcilik Örgütü Web Sitesi, SOLAS,  
[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx), (09.05.2020).

URL-12, Uluslararası Denizcilik Örgütü Web Sitesi, STCW,  
[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-Standards-of-Training,-Certification-and-Watchkeeping-for-Seafarers-\(STCW\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-Standards-of-Training,-Certification-and-Watchkeeping-for-Seafarers-(STCW).aspx), (12.05.2019).

URL-13, Uluslararası Denizcilik Örgütü Web Sitesi, MARPOL,  
[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx);  
(12.05.2019).

URL-14, Uluslararası Denizcilik Örgütü Web Sitesi, COLREG,  
<http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/COLREG.aspx>,  
(16.05.2019).

URL-15, Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Birlikleri (IALA), Web Sitesi,  
<https://www.iala-aism.org/about-iala/>, (10.05.2020).

URL-16, IMO, Vessel Traffic Services.  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Pages/VesselTrafficServices.aspx>,  
(07.05.2020).

URL-17, KEGM, Gemi Trafik ve Kılavuzluk Hizmetleri.  
[https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/gemi\\_trafik\\_ve\\_kilavuzluk\\_hizmeti](https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/gemi_trafik_ve_kilavuzluk_hizmeti), (07.05.2020).

URL-18, Uluslararası Denizcilik Örgütü Web Sitesi, Formal Safety Assesment-FSA,  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/SafetyTopics/Pages/FormalSafetyAssessment.aspx>, (07.05.2020).

URL-19, IWRAP IALA,  
[https://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/History\\_of\\_IWRAP](https://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/History_of_IWRAP), (15.05.2020).

URL-20, SAMSON,  
<https://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/SAMSON>. (20.05.2020).

URL-21, GRACAT,  
<https://www.mek.dtu.dk/english/Sections/FVM/Software/GRACAT>, (20.05.2020).

URL-22, The Society for Modeling and Simulation International–SCS,  
<https://scs.org/about/> (26.01.2020).

URL-23, Modelleme ve Simülasyon,  
<http://www.modsim.com.tr/hizmetler/simulasyon-modelleme.html>, (26.01.2020).

URL-24, Marine Traffic,  
<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:26.3/centery:38.8/zoom:10>,  
(20.01.2020).

URL-25, Google Earth Ege Denizi,  
<https://earth.google.com/web/@38.81020579,26.68130163,9.54560716a,100982.18226889d,35y,-0h,0t,0r>, (20.01.2020).

URL-26, Gemi Dizaynı, <http://gemidizayni.blogspot.com/2012/06/gemi-hz-ship-speed.html>, (19.01.2020).

**EKLER**

## EK 1: NetLogo ile Etmen Tabanlı Modelleme Seminer ve Kurs Katılım Sertifikası



University of Göttingen

Büsgen-Institute  
Ecosystem Modelling

### CERTIFICATE

**Burcu Çelik** has successfully attended the module

***"M.Forst.1620: Agent-based modelling with NetLogo" (Nr. 700268)***

in summer term 2019.

Skills and knowledge promoted by this module:

- Comprehensive knowledge of agent-based modelling
- Ability to select, conceptualize, apply, implement, and document agent-based modelling techniques in NetLogo with respect to a given question
- Development of an own agent-based modelling project
- Development of interdisciplinary analytical thinking
- Critical analysis and evaluation of the potentials and limitations of agent-based models based on the scientific literature
- Refined presentation skills

Duration of course: 4 SWS (semester periods per week)

ECTS-Credits: 6.0

Form of examination: presentation

Grade: **1,3** (1,0 = excellent; 4,0 = passed; 5,0 = not passed)

Göttingen, 03.09.2019



**Dr. Katrin Meyer**

Büsgen-Institut, Abteilung Ökosystemmodellierung  
Büsgenweg 4  
37077 Göttingen  
Tel. +49 (0)5 51 / 39-10121  
Fax +49 (0)5 51 / 39-334 65

Abteilungsleiterin: Prof. Dr. Kerstin Wiegand  
Kerstin.Wiegand@mail.uni-goettingen.de  
www.uni-goettingen.de/EcoMod