


## BÖLÜM XIV

# İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEMİ KAZALARININ ÖNLENMESİ İÇİN BAYES AĞI TABANLI BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ


*A Bayesian Network Based Decision Support System Proposal for The  
Prevention of Ship Accidents in The Bosphorus*

Esra Yağdır Çeliker<sup>1</sup>&Şehnaz Cenani<sup>2</sup>& Gülen Çağdaş<sup>3</sup>


<sup>1</sup>(Yüksek Mimar), İstanbul Bilgi Üniversitesi, e-mail: [yağdir.celiker@bilgi.edu.tr](mailto:yağdir.celiker@bilgi.edu.tr)

 ORCID 0000-0002-1817-3829

<sup>2</sup>(Dr.), İstanbul Medipol Üniversitesi, e-mail: [sdurmazoglu@medipol.edu.tr](mailto:sdurmazoglu@medipol.edu.tr)

 ORCID 0000-0001-8111-586X

<sup>3</sup>(Prof. Dr.), İstanbul Teknik Üniversitesi, e-mail: [cagdas@itu.edu.tr](mailto:cagdas@itu.edu.tr)

 ORCID 00000-0001-8853-4207

### 1. Giriş

İstanbul Boğazı jeopolitik konumu sebebiyle ulusal ve uluslararası gemi ticaretinin yoğun bir biçimde gerçekleştiği bir dar su yoludur. Diğer boğazlar ile karşılaştırıldığında İstanbul Boğazı, Panama Kanalı'ndan dört kat ve Kiel Kanalı'ndan 2 kat daha fazla deniz trafik yoğunluğuna sahiptir (Akten, 2005). 2019 verilerine göre İstanbul Boğazı'ndan günde 140 adet kargo gemisi geçerken, yılda bu miktar 41.112 olarak saptanmıştır ve bu gemilerin 814'ü LPG/LNG yüklü gaz taşıyan, 2462 adedi ise kimyasal yük (TCH) taşıyan tankerlerdir (Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistikleri, 2019). Tankerler ve kuru yük gemilerinin yanı sıra, şehir içi ve şehirler arası yolcu taşımacılığı, balıkçılık ve özel amaçlı deniz seyahatlerinin de yoğun olarak yapılması, İstanbul Boğaz Trafiklerinin birden fazla etmen tarafından etkilenmesine sebep olmakta ve boğazdaki çatışma (collusion) bazlı kaza riskini önemli ölçüde arttırmaktadır (Otayve Özkan, 2003). Bununla birlikte, değişen hava koşulları, su yolunun oşinografik yapısı da deniz kazalarının oluşma riskini etkileyen faktörler arasındadır (Georlandt ve Kujala, 2011). İstanbul Boğazı özelinde ise dip ve alt olmak üzere iki taraflı akıntıların varlığı ve seyir sırasında 12 kez rota değişimi gerekliliği olması sebebiyle kaza riskinin çok daha fazla olduğu görülmektedir (Ece, 2011).

İstanbul Boğazı'nda 1982-2010 yılları arasında meydana gelmiş olan kaza türleri istatistiklerine bakıldığında ise kazaların %43,6'sının çatışma, %20,42'sinin karaya oturma olduğu görülmektedir (Ece, 2012). Özellikle kimyasal madde, ham petrol, LPG ve LNG gibi patlayıcı ve parlayıcı maddeler içeren tankerlerin İstanbul Boğazı'nda kaza yapmaları, ciddi can ve mal kayıplarına neden olmakta ve çevreye oldukça ciddi zararlar vermektedir. Tablo 1'de İstanbul Boğazı'nda can kaybına ve önemli tonajlarda petrol ve kimyasal sızıntıya sebep olan kazalar listelenmiştir.

Tablo 1: İstanbul Boğazı'nda Can ve Mal Kayıplarına Neden Olmuş Kazalar (Url-1).

Kaza Yılı	Kaza Türü	Kaza Yapan Gemi Tipi	Can Kaybı ve Çevresel Etki
1960	Çatışma	Ham Petrol Taşıyan İki Tanker	20 can kaybı 18000 ton ham petrol sızıntısı
1966	Çatışma	Ham Petrol Taşıyan İki Tanker	1850 ton ham petrol sızıntısı.
<b>1979</b>	<b>Çatışma</b>	<b>Ham Petrol Taşıyan İki Tanker</b>	<b>43 can kaybı, 95000 ton ham petrol sızıntısı</b> <b>Bölgede bulunan deniz canlılarının %95'inin ölümü.</b>
1988	Çatışma	Ham petrol taşıyan gemi- amonyak taşıyan gemi	Yüksek miktarda amonyak sızıntısı
1990	Çatışma	Ham Petrol Taşıyan İki Tanker	2500 ton ham petrol sızıntısı
1994	Çatışma	Ham Petrol Taşıyan İki Tanker	9 can kaybı, 20000 ton ham petrol sızıntısı

1979 yılında gerçekleşen ve Independenta Faciası olarak literatüre geçmiş olan tanker kazası 43 can kaybına, yaklaşık 1 ay boyunca İstanbul Boğazı'na sızmış olan ham petrolün yanmasına, çıkan yangın sebebiyle

Haydarpaşa Garı'nın kurşun cephe bezemelerinin erimesine, Kadıköy ilçesinin denize yakın mahallelerinde oturan sakinlerin evlerinin camlarının patlamasına neden olmuştur (Url-1). İstanbul Boğazı uzun süre siyah dumanlar altında kalmış ve boğazda yaşayan deniz canlıları yanmakta olan ham petrol sebebiyle oldukça zarar görmüştür. Deniz canlılarının zarar görmesi balıkçılık faaliyetlerini de olumsuz etkilemiştir (Url-2).

Kaza türlerine ek olarak, İstanbul Boğazı'nda 1982-2010 yılları arasında meydana gelmiş kaza nedenlerine bakıldığında ise, %47,8 oranında insan karar vericinin yanlış kararlar vermesi, %27,2 oranında ters akıntılar ve kötü hava koşulları ve %4,01 oranında mekanik arızalar olarak tespit edilmiştir (Ece, 2012). Yukarıda bahsedilen istatistikî bilgilere dayanarak, İstanbul Boğazı'nda tehlikeli madde taşıyan bir tankerin kaza yapması İstanbul Kenti ve kentlilerini oldukça ciddi olarak etkileyebilecek sonuçlar doğurabilmektedir. Geçmişte İstanbul Boğazı'nda meydana gelmiş olan kazaların yarısına yakını (%47,8) insan gemi operatörleri tarafından verilen yanlış karar nedeniyle gerçekleşmiştir (Ece, 2011).

Yukarıdaki istatistiksel veriler kaza durumlarının tek bir parametre bazında değerlendirilmesine olanak sağlasa da kaza tipleri, kaza nedenleri ve kazanın olduğu konumdaki oşinografik ve meteorolojik verilerin birbirlerine olan etkilerini saptamak söz konusu istatistikler ile mümkün olamamaktadır. Ancak, kazaların önlenmesi açısından söz konusu parametrelerin, kaza olasılığını hangi oranlarda değiştirdiğinin belirlenmesi, özellikle insan operatörlerin karar verme süreçlerine katkı sağlayacak bir yaklaşım olarak ele alınabilir. Bu bağlamda çalışma, insan operatörlerin hataları nedeniyle meydana gelebilecek çatışma türündeki kazaları önlemek amacıyla çok etmenli ve tek kriterli bir karar destek sistemi modelinin geliştirilmesini amaçlamaktadır.

Karar destek sistemi en üst ölçekte üç ana adımdan oluşmaktadır. İlk adım geçmiş dönem kaza analizlerinden yola çıkarak, konumu, fiziksel özellikleri ve bulunduğu konuma ait oşinografik ve meteorolojik enformasyonları bilinen bir geminin çatışma ve oturma türünde kaza yapma ihtimallerini belirlemeyi amaçlamaktadır. İkinci adım ise; İstanbul Boğazı'nda seyir yapmak isteyen ve kaza analizine göre çatışma türünde kaza yapma olasılığı %50'nin üzerinde olan bir geminin içinde bulunduğu fiziksel çevre koşulları analiz edilerek seyir için gemiye izin verilip verilmeyeceği üzerine önerilerde bulunan bir karar destek sistemi modülüne karşılık gelmektedir. Bu modül hem deniz aracı operatörleri hem de Kıyı Emniyet görevlilerinin karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Üçüncü adım ise, seyir izni olan gemiye İstanbul

Boğaz'ı sınırlarında çatışma türünde kaza yapma olasılığını en aza indirmek için hızı azalt/arttır, manevra yap/yapma gibi önerilerde bulunan karar destek sistemi modülüne karşılık gelmektedir. Bu modül farklı pozisyonlardaki gemilerin çatışmalarını önlemeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle söz konusu modül üç farklı çatışma senaryosu kurgulanarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte seyir izni ve seyir sırasındaki karar destek sistemi önerilerinin belirlenmesi sürecinde Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün yayımladığı Denizlerde Çatışmayı Önleme Tüzüğü(1977) ve Türk Boğazları Deniz Trafik Yönetmeliği'nde (2019) belirtilen kurallar baz alınmıştır.

Çalışmanın ilk adımında Veriden Öğrenilmiş Bayes Ağı Modeli kurgulanırken, çalışmanın İkinci ve üçüncü adımlarında ise Nedensel Bayes Ağı Modelleri geliştirilerek karar destek sistemi yapılandırılmıştır. Bayes Ağları düğümlerden ve oklardan meydana gelen, yönü dönüşsüz grafik modeli olarak tanımlanmaktadır (Pearl, 1988). Bayes Ağları'ndaki düğümler olasılıkları, oklar ise düğümler arasındaki ilişkileri temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen modelin ilk adımı olan Veriden Öğrenilmiş Bayes Ağı Modeli, 2001-2016 yılları arasında İstanbul Boğaz'ında gerçekleşmiş olan kazalarda etkin rol oynayan parametrelerin gerçekleşme olasılıklarını, söz konusu parametrelerin birbirleri ile kurdukları ilişkiyi baz alarak analiz etmektedir. Bu analizin ardından, ikinci ve üçüncü adımlarda neden sonuç ilişkilerinin kurulduğu Nedensel Bayes Ağları Modeli ile geçmişte kaza yaptığı kayıtlara geçmiş olan tehlikeli madde taşıyan SCF Khibiny isimli tanker, Okmeydanı isimli yolcu feribotu, Danapris-4 isimli kuru yük gemisi ve Yazıcı-4 isimli yolcu motoru etmenleri için öndeki gemi ile çatışma, arkadaki gemi ile çatışma, zıt yönden gelen gemi ile çatışma olmak üzere üç çatışma senaryosu baz alınarak seyir önerilerinde bulunmaktadır. Böylece, seyir halindeki hedef deniz aracının çevresinde bulunan tehlike olasılıklarına göre seyir planlamasının daha güvenli hale getirilmesi hedeflenmektedir.

## **2. Literatür Araştırması**

Deniz trafiğinin iyileştirilmesi ve gemi operatörleri için güvenli seyirin sağlanması amacıyla yapılan geçmiş çalışmalar bu bölümde özetlenmektedir. Literatür araştırması özellikle çok etmenli karar destek sistemleri ile ilgili yapılmış çalışmaları kapsarken, makine öğrenmesi ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmaları da içermektedir.

Parrott ve diğ. tarafından St. Lawrence Nehri'nin ağzında sıklıkla yaşanan balina-gemi çatışmalarını önlemek üzere deniz aracı operatörleri

için çok etmenli bir karar destek sistemi geliştirilmiştir (2011). Çalışma balinaların yer-zaman ilişki örüntülerini üreterek gemi operatörleri için farklı rota önerileri oluşturmayı ve gemi trafiğinin kesintiye uğramamasını hedefler. Çalışmada çok etmenli modelleme yöntemi kullanılarak balinaların ve gemilerin davranışları ve hava koşulları simüle edilerek 3MTSim Toolbox isimli bir rota öneren araç geliştirilmiştir. Geliştirilen araç gemi operatörlerine, balinaların ve diğer gemi araçlarının konumlarından yararlanarak risk haritaları oluşturmakta ve operatörlerin karar verme süreçlerini daha güvenli ve hızlı bir biçimde gerçekleştirmelerini sağlamaktadır. Modelin geliştirilmesi sırasında Path Planning algoritması ve Multinomial Naïve Bayes Algorithm (MMNB) kullanılırken, modelleme sürecinde Grimm ve Railsback'ın geliştirdiği örüntü yönelimli yaklaşımı (pathoriented approach) kullanılmıştır (2019).

Çok kriterli rota planlaması amacıyla yapılmış olan başka çalışmada ise kaptanların rota belirleme süreçlerini kolaylaştırmak amacıyla deniz yolu üzerinde risk konturları oluşturularak akıllı bir navigasyon modeli önerilmiştir (Jeong ve diğ., 2019). Çalışmanın ana yöntemi çok etmenli karar destek sistemi yaklaşımıdır. Karar destek sistem modeli bir gemi tipi seçilerek geliştirilmiş ve senaryo bazında simülasyonlar yapılarak validasyonu gerçekleştirilmiştir. Modelin etmenleri çevre koşulları, coğrafi koşullar, gemi özellikleri, kanun ve yönetmelikler iken, modelden beklenen çıktıların değerlendirilme kriterleri güvenlik, etkinlik, uygunluk ve seyir kabiliyeti olarak belirlenmiştir. Modelleme pseudo-code algoritması kullanılarak tasarlanmış ve verilerin görselleştirilmesi MATLAB yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Yukarıda detaylı olarak açıklanmış çalışmaların yanı sıra, korsanların aktivitelerini önlemek amacıyla Alite ve Google Earth kullanılarak Java tabanlı çok etmenli bir karar destek sistem simülatörü geliştirilmiştir (Vaněk ve diğ., 2013). Bu modelde birey merkezci yaklaşım (individual centric approach) ile hava koşulları, korsan aktiviteleri, ticari gemi aktiviteleri ve donanma gemileri aktivitelerini simüle edebilmek için dört ayrı alt model oluşturulmuş ve ana modele bu alt modeller entegre edilmiştir. Söz konusu alt modeller Nedensel Bayes Ağları olarak kurgulanmıştır.

2016 yılında yapılan bir çalışmada ise Bayes Ağları kullanılarak trafik kazaları ve bu kazalara neden olan etmenlerin analizi yapılmıştır (Çinicioğlu ve diğ., 2016). Söz konusu çalışmada hava durumu, kaza tipi, ölü ve yaralı durumu, kazaya karışan araç sayısı, yol yüzeyinin nitelikleri, araç donanımında kusur, sürüş kuralları ihlali, hız kurallarına uymama, alkol, hatalı park, sürücü cinsiyeti, kazanın gerçekleştiği gün ve saat gibi

parametrelerin olduğu bir veri seti kullanılarak, Bayes Ağı eğitilmiş ve ardından kazaya sebep olan etmenler arasındaki olasılıksal ilişkiler saptanmıştır. Ardından duyarlılık analizi yapılarak modeldeki ölüm durumu ve yaralı durumu değişkeninin diğer değişkenler üzerindeki hassasiyeti belirlenmiştir. Böylece, olası bir kazada ölüm ve yaralı durumunu minimize etmek için alınması gereken önlemlerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

2016 yılında yapılan başka bir çalışmada ise, deniz trafiğinin düzenlenmesi ve çatışma sebebiyle meydana gelecek olan kazaların önlenmesi amacıyla, Bayes Ağları kullanılarak bir karar destek sistemi kurgulanmıştır (Zhang ve Furusho, 2016). Çalışmada güvenli deniz seyrinin operatör, gemi mekaniği, fiziksel çevre ve geminin yönetilmesi olarak dört ana parametre göz önüne alınarak, karar destek sistem modeli geliştirilmiştir. Bayes Ağı'nın kurgusunda karar destek sistemi piramidi kavramı üzerinden ilerletilen çalışmada piramidin birinci katmanı fiziksel çevre parametreleri, ikinci katmanı deniz aracının konumu ve boyutsal özellikleri, üçüncü katmanı deniz aracının manevra kabiliyeti ve hızı gibi teknik özellikleri olarak tanımlanmıştır. Dördüncü katman ise Bayes Ağı'na karşılık gelirken, piramidin en üst katmanı insan operatörün mevcut şartlardaki kararını temsil etmektedir. Modelin kurgulanması sırasında değişkenlerin belirlenmesinde uzman görüşleri alınmış, değişkenler arasındaki ilişkiler PC algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Kurgulanan Bayes Ağı'ndaki değişkenlerin yeni durumlara göre değişimi eğitilen modeldeki değişkenlerin değerleri farklılaştırılarak elde edilmiştir.

### **3. Yöntem ve Araçlar**

Etmen tabanlı karar destek sistemleri Epstein'in da belirttiği gibi tümevarım ve tümdengelim yaklaşımlarından ayrılarak özellikle ampirik araştırmalar için kullanılabilir, üretken bir sistem olmasının yanı sıra disiplinlinler arası araştırma sorularının geliştirilmesine fırsat tanıyan, teorik ve hesaplamalı yöntemleri bir arada kullanabilmeye olanak tanıyan bir araç olarak tanımlanabilir (2012). Bu bağlamda deniz trafiğinin birçok disiplini içine alan bir optimizasyon problemi olması nedeniyle, yapılan çalışma çok etmenli ve tek kriterli bir karar destek sistemi olarak geliştirilmiştir. Çalışmadaki kriter çatışma türündeki kaza olasılığını düşürmek amacıyla güvenlik olarak belirlenmiştir. Söz konusu karar destek sisteminin temelde üç ana hedefi bulunmaktadır. İlki, İstanbul Boğaz'ında seyir yapan bir deniz aracının teknik özellikleri ve içinde bulunduğu fiziksel çevre koşulları göz önüne alınarak söz konusu aracın çatışma türünde kaza yapma olasılığını belirlemek, ikincisi İstanbul Boğaz'ında seyir başlayacak bir deniz aracının seyir izni olup olmadığını

belirlemek ve son olarak da seyir izni olan bir aracın çatışma olasılığını önleyebilecek seyir kararlarını belirlemektir.

Yukarıda açıklanan üç adımdan oluşan karar destek sisteminin geliştirilmesi sırasında Bayes Ağları ana yöntem olarak belirlenmiş, karar destek sisteminin birinci adımında Veri ile Eğitilmiş Bayes Ağları Modeli, ikincive üçüncü adımlarda Nedensel Bayes Ağları Modelleri GeNIe aracı kullanılarak geliştirilmiştir. Kurgulanacak Bayes Ağı Modellerinde etmenler, aktivite halindeki dinamik etmenler, aktivite halinde olmayan dinamik etmenler ve statik etmenler olarak tanımlanmıştır. Aktivite halinde olan dinamik etmenler tehlikeli madde taşıyan tanker, kuru yük gemisi, yolcu motoru, feribot olarak belirlenmişken, aktivite halinde olmayan dinamik etmenler ise değişen hava koşulları, boğazın coğrafi ve oşinografik özellikleri olarak belirlenmiştir. Statik etmenler ise İstanbul Boğaz Trafikini düzenleme amacıyla kullanılan yönetmelikler ve tüzüklerde bulunan seyir kurallarıdır.

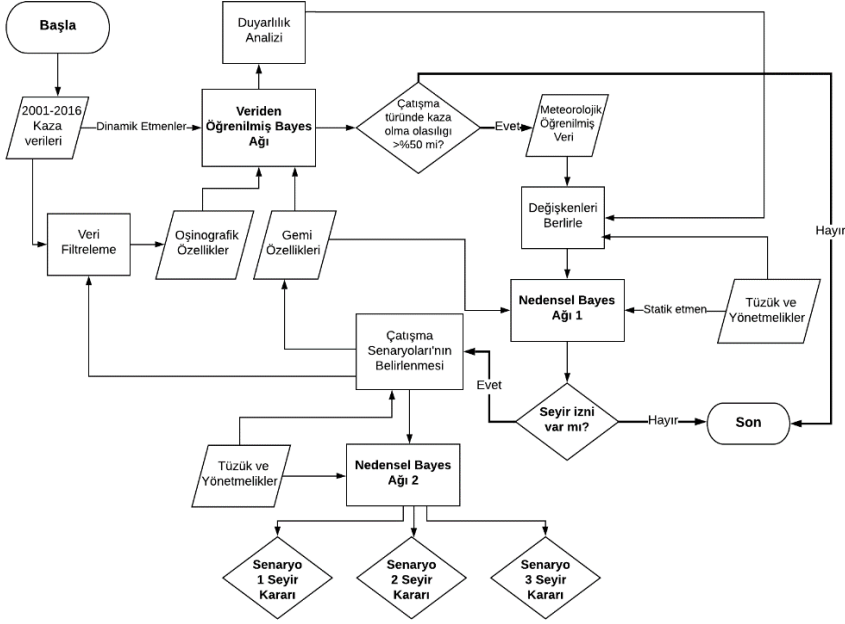
Modelde kullanılacak kriter ise güvenlik olarak belirlenmiş, alt kriterler ise çatışma türünde meydana gelebilecek kazaların minimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Dinamik ve statik olarak tanımlanmış etmenler Tablo 2’de belirlendikten sonra karar destek sisteminin birinci adımı olan Veriden Öğrenilmiş Bayes Ağı Modeli, 2001-2016 yılları arasında İstanbul Boğaz’ında gerçekleşmiş olan çatışma ve karaya oturma türündeki kaza verileri kullanılarak kurgulanmıştır.

Tablo 2: Karar Destek Sistemi Etmenleri

Dinamik Etmenler		Statik Etmenler	Kriter
<b>Hareket Halinde</b>	<b>Hareket halinde olmayan</b>	Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)	Güvenlik
Tehlikeli Madde Taşıyan Tankerler	Hava Koşulları	Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (1977)	<b>Alt Kriter</b> Çatışma Türünde Kazaların Önlenmesi
Kuru Yük Gemileri	Oşinografik Özellikler	Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği (2019)	
Feribotlar			
Yolcu Motorları			

Ardından Tablo 1’de belirlenen etmenlere karşılık gelen geçmişte kaza yapmış gemilerin fiziksel özellikleri Veriden Öğrenilmiş Bayes Ağı modeline entegre edilmiş, ardından çatışma tipindeki kaza olasılığı %50’den büyük olduğu durum için karar destek sisteminin ikinci adımı

devreye sokulmuştur. İkinci ve üçüncü adımlarda hareketli deniz araçlarının seyir izni ve seyir sırasındaki karar destek önerilerinin belirlenmesi için geliştirilen Nedensel Bayes Ağları birbiriyle ilişki halinde olan yapılar olarak kurgulanmıştır (Şekil 1).



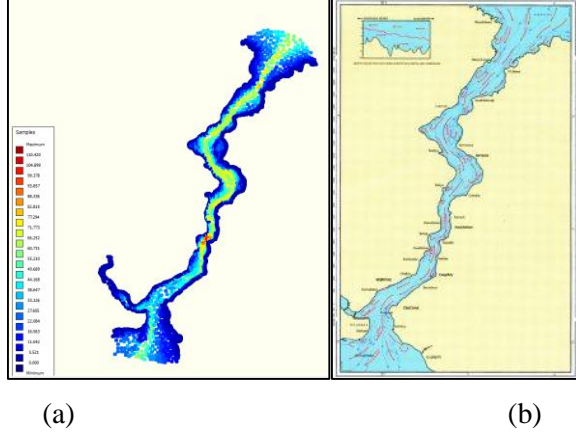
Şekil 1: Karar Destek Sistemi Ana Akış Şeması

### 3.1. Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmanın kaza analizi bölümünde, 2001-2016 yılları arasında gerçekleşen çatışma ve karaya oturma türündeki 150 adet kazanın meydana geldiği konum, gemi tipi, kazanın meydana geldiği saat ile ilgili veriler T.C Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı veri tabanından elde edilmiştir (Url-3). Kazaya karışan gemilerin manevra hızları, uzunlukları ve yapım yılları ile ilgili veriler ise Marine Traffic web sayfasından elde edilmiştir (Url-4). Ancak, 2001-2016 yılları arasında çatışma ve karaya oturma türünde kaza yapmış olan deniz araçlarından 49 adedinin fiziksel özelliklerine ulaşamadığı için kaza analizi modeli 101 adet gemi aracının verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kazanın gerçekleştiği konum, tarih ve saate göre veri setine entegre edilen meteorolojik veriler (sıcaklık, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç, nemlilik vb.) Meteoblue internet sitesinin sunduğu API hizmeti ile elde edilirken (Url-5), model için kullanılacak oşinografik verilerden konuma bağlı deniz tabanı derinliği verisi İstanbul Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilen İstanbul Boğazı Oşinografi Haritası (2020), (Şekil 2(a)) ve Emod Net



Batimetri Portalı'ndan elde edilmiştir (Url-6). Ortalama akıntı hızı ise, Türk Deniz Araştırmaları Vakfı internet sitesindeki ortalama akıntı hızı haritası (2020) ve Altıok'un (2005) çalışmalarındaki ortalama debi değerleri baz alınarak modele entegre edilmiştir (Şekil 2(b)).

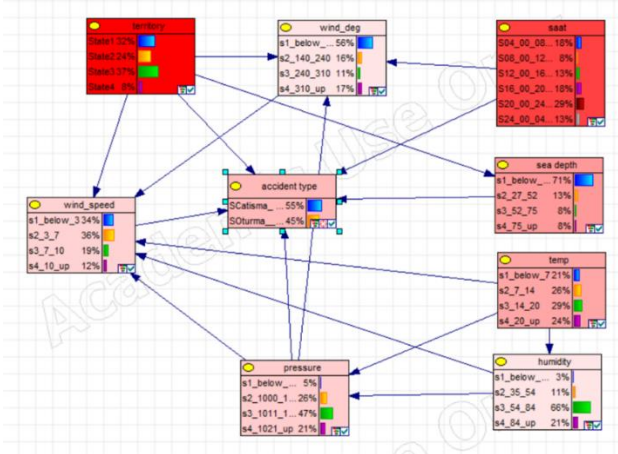


Şekil 2: (a) İstanbul Boğazı Batimetri Haritası, (Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, 2020), (b) Ortalama Akıntı Hızı Haritası, (Türk Deniz Araştırmaları Vakfı, 2020).

Çalışmanın ikinci ve üçüncü adımları olan Nedensel Bayes Ağları Modellerinde ise, operatörlerin kaza riskini minimize etmesi için uyulması gereken kuralları kapsayan statik etmenlerin verileri, Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği (2019) ve Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün Denizlerde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (1977) baz alınarak oluşturulmuştur.

### 3.2. Kaza Analizi: Veriyle Eğitilen Bayes Ağı Modeli

İstanbul Boğazı'nda 2001-2016 yılları arasında karaya oturma ve çatışma türünde meydana gelmiş 150 adet kazanın hangi etmenlere bağlı olarak ve hangi oranda gerçekleşeceğinin saptanması için GeNIe yazılımı kullanılarak Veriyle Eğitilen Bayes Ağı oluşturulması için gereken doğru model konfigürasyonuna ulaşabilmek ve hangi etmenlerin söz konusu kaza modeline entegre olması gerektiğini kararlaştırmak amacıyla ana modele kıyasla daha az değişken ve 59 adet kaza verisi ile öncül bir model oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: Kaza Analizi için oluşturulacak Bayes Ağı Öncül Modeli & Duyarlılık Analizi

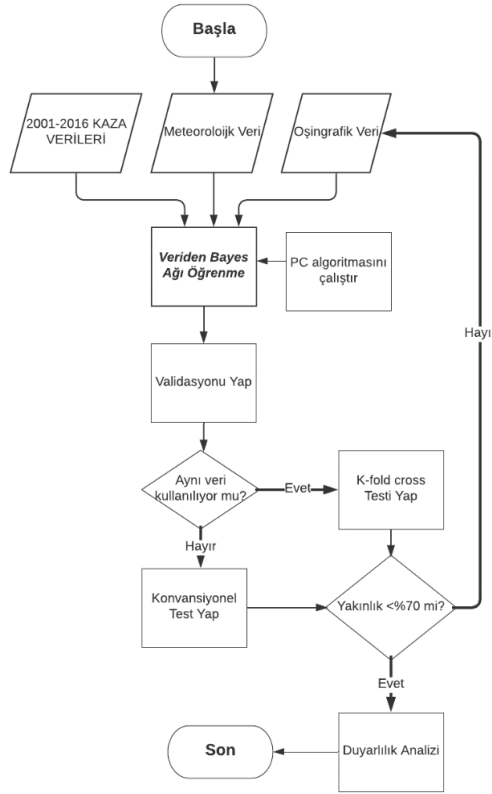
Şekil 3'te görüldüğü üzere, öncü modelde meteorolojik etmenlerden, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve yönü ve hava basıncı kullanılırken, oşinografik etmenlerden deniz derinliği, kazanın bulunduğu bölge, kazanın meydana geldiği saat etmenleri bulunmaktadır. Söz konusu modelin duyarlılık analizi yapıldığında kazanın olduğu saat ve kazanın bulunduğu bölgenin kazanın türünün belirlenmesinde en etkili parametreler olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bununla birlikte ikinciderece duyarlılığa sahip etmenler ise; sıcaklık ve deniz tabanı derinliği olmuştur. Üçüncü derece duyarlılığa sahip etmenler ise, rüzgâr hızı ve hava basıncı olmuştur.

Öncül modelde en az etkinliğe sahip etmenin nem oranı olması nedeniyle bu parametre ana modelde kullanılmamıştır. Bununla birlikte, lodos sebebiyle birçok kazanın meydana gelmesinden ötürü rüzgâr yönü etmeninin ana modelde de kullanılmasına karar verilmiştir. Ek olarak Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği'nde (2019) bulunan akıntı limitlerinin trafiği düzenlemede etkin bir rol oynaması nedeniyle ana modele akıntı değişkeni de eklenmiştir. Ancak, yönetmelikte seyir kurallarının belirlenmesinde etkin rolü olan görüş mesafesi değişkeni yeterli veri elde edilemediği için kaza analizi modeline entegre edilememiştir. Gelecek çalışmalarda bu etmenin de söz konusu karar destek sistemine entegre edilmesi planlanmaktadır. Öncül analizin ardından bir önceki bölümde açıklanan veriler bir araya getirilerek nihai veri seti oluşturulmuştur. Veri setindeki değişkenler ve bu değişkenlere atanan değer tanımları Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo:3 Kaza Analizi Ana Modeli: Veriyle Eğitilmiş Bayes Ağı Değişkenleri

<b>Düğüm 1: Kaza Tipi</b>	<p>1. Bölge: Eminönü-Kadıköy, Ortaköy-Çengelköy Arası</p> <p>2. Bölge: Ortaköy-Çengelköy, Yeniköy-Paşabahçe Arası</p> <p>3. Bölge: Yeniköy-Paşabahçe, Rumeli Kavağı-Anadolu Kavağı Arası</p> <p>4. Bölge: Rumeli Kavağı-Anadolu Kavağı, Rumeli Feneri Anadolu Feneri Arası</p>
<b>Düğüm 2: Gemi tipi</b>	LPG tankeri, kuru yük gemisi, feribotu, yolcu motoru
<b>Düğüm 3: Manevra Kabiliyeti</b>	<p>&lt;10 mil/sa</p> <p>&gt;10 mil/sa</p>
<b>Düğüm 4: Gemi Boyu (m)</b>	<p>&lt;50 m; 50-100 m; 100-150 m</p> <p>150-200 m; &gt;200 m</p>
<b>Düğüm 5: Kaza Bölgeleri (Ece,2012)</b>	<p>1. Bölge: Eminönü-Kadıköy, Ortaköy-Çengelköy Arası</p> <p>2. Bölge: Ortaköy-Çengelköy, Yeniköy-Paşabahçe Arası</p> <p>3. Bölge: Yeniköy-Paşabahçe, Rumeli Kavağı-Anadolu Kavağı Arası</p> <p>4. Bölge: Rumeli Kavağı-Anadolu Kavağı, Rumeli Feneri Anadolu Feneri Arası</p>
<b>Düğüm 6: Rüzgâr Hızı (Bofor Rüzgâr Skalası, (Url-4)</b>	<7 knot; 7-11 knot; 11-17 knot; 17-22 knot; >22 knot
<b>Düğüm 7: Rüzgâr Yönü</b>	<p>Kuzey-Yıldız; Kuzey Doğu-Poyraz</p> <p>Doğu-Gündoğusu; Güney Doğu- Keşişleme</p> <p>Güney-Kıble; Güney Batı-Lodos</p> <p>Batı-Günbatısı; Kuzey Batı-Karayel</p>
<b>Düğüm 9: Sıcaklık</b>	<0 C°; 0-5 C°; 5-10 C°; 10-20 C°; >20 C°
<b>Düğüm 10: Kaza Saati</b>	<p>04:00-08:00; 08:00-12:00; 12:00-16:00</p> <p>16:00-20:00; 20:00-24:00; 24:00-04:00</p>
<b>Düğüm 11: Akıntı Hızı (Türk Boğazları Deniz Trafığı Düzeni Yönetmeliği, 2019).</b>	<4 mil/sa; 4 mil-6 mil/sa; >6 mil/sa

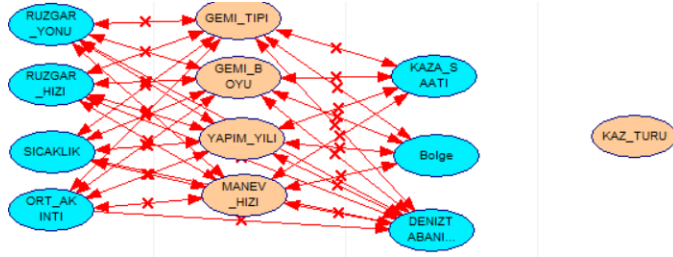
Ana kaza analizi sırasında 2001-2016 yılları arasında gerçekleşmiş kazaverileri ile meteorolojik ve oşinografik veriler kullanılarak işlenmiş Eğitilmiş Bayes Ağı'nın akış seması Şekil 4'te görülmektedir. Söz konusu modelin eğitilmesi sırasında kategorik verileri işlemek için en uygun algoritma olan PC algoritması kullanılmıştır (Genie Software Manual, 2015). PC algoritmasının çalıştırılmasından sonra modelin validasyonu aynı veri kullanılarak yapılmış ve bu nedenle de validasyon için K-foldcross testi tercih edilmiştir. Yakınlığın %70 ve üzerinde olması durumunda modelin kabul edilebilir olduğu öngörülmüş ve duyarlılık analizinin yapılması kararlaştırılmıştır. Söz konusu adımların bir işlem dizisiolarak temsili Şekil 4'te yer alan akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 4: Kaza Analizi için Eğitilmiş Bayes Ağı Modeli Akış Şeması

Modelin konfigürasyonu için değişkenler arasındaki ilişkilerin tek yönlü veya iki yönlü çalışma durumları da GeNIe yazılımına tanıtılmış böylece yüksek yakınlık oranlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu ön tanımlama süreci GeNIe yazılımının sahip olduğu ebeveyn-çocuk düğümler arasındaki ilişkileri yasaklama/zorlamayı sağlayan ara yüz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Böylece veriler arasında hiyerarşik bir ilişki kurulması amaçlanmıştır. Ancak, kaza türü değişkeninin ebeveyn-çocuk

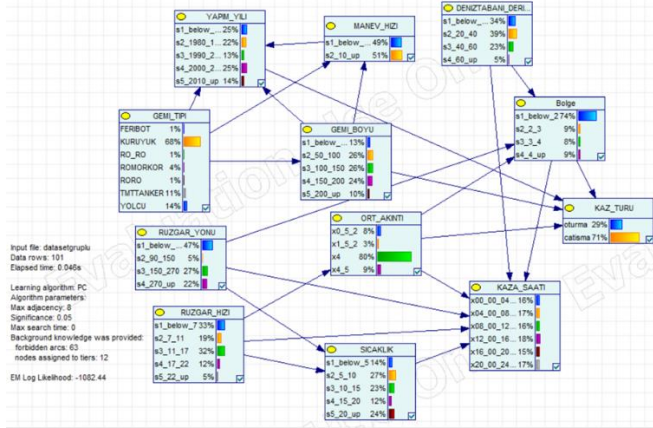
ilişkisi ön tanımlı olarak yazılıma tanıtılmamış, söz konusu kazaların oluşmasına neden olan temel parametrelerin yazılım tarafından belirlenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 5: Kaza Analizi için Eğitilecek Bayes Ağı Değişkenleri Arasındaki İlişkilerin Tanımlanması

Değişkenler arasındaki ilişkilerin ön tanımlanmasının yapılmasından sonra PC algoritması çalıştırılmış ve BayesAğı'nda otomatik kurulan ebeveyn-çocuk ilişkileri elde edilmiştir (Şekil 6).

Validasyon sürecinde modele K-Fold Cross Validation testi fold sayısı 10 olarak belirlenerek uygulanmıştır. Farklı algoritmalar ve farklı ilişki kısıtları denenmesine rağmen sınırlı sayıda veriye erişim sağlanabilmesi nedeniyle validasyonda maksimum tutarlılık %48 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6: 101 adet Kaza Verisi ile Eğitilmiş Bayes Ağı Modeli

Validasyonun tamamlanmasından sonra, kaza türü değişkeni hedef değişken olarak seçilerek, modele bir duyarlılık analizi yapılmıştır (Tablo 4). Duyarlılık analizine göre, kaza türünü birinci derecede etkileyen değişkenler rüzgâr yönü, gemi tipi, gemi boyu ve deniz tabanı derinliği, ikinci derecede etkileyen değişkenler rüzgâr ve akıntı hızı olmuştur. Yapım yılı ve kazanın gerçekleştiği bölge kaza türünü üçüncü derecede etkilerken,

manevra hızı dördüncü derecede, sıcaklık ve kaza saatinin beşinci derecede etkilediği görülmektedir.

Tablo 4: Ebeveyn-çocuk düğümlerine göre Duyarlılık Analizi

Ebeveyn Düğüm	Çocuk Düğüm	Ortalama	Maks.	Ağırlıklı
Deniztabanı_Derinlik	Bölge	0.160383	0.5832	0.160383
Ort_Akıntı	Bölge	0.271065	0.7752	0.271065
Rüzgar_Yönü	Bölge	0.136201	0.5686	0.136201
Gemi_Tipi	Gemi_Boyu	0.391601	0.5621	0.391601
Bölge	Kaz_Türü	0.045217	0.45	0.045217
Gemi_Boyu	Kaz_Türü	0.028668	0.45	0.028668
Ort_Akıntı	Kaz_Türü	0.044383	0.45	0.044384
Yapım_Yılı	Kaz_Türü	0.027458	0.45	0.027458
Bölge	Kaza_Saati	0.007995	0.4303	0.007995
Deniztabanı_Derinlik	Kaza_Saati	0.007448	0.5873	0.007448
Ort_Akıntı	Kaza_Saati	0.007995	0.43033	0.007995
Rüzgar_Hızı	Kaza_Saati	0.007104	0.58728	0.007104
Rüzgar_Yönü	Kaza_Saati	0.007275	0.58728	0.007275
Sıcaklık	Kaza_Saati	0.007316	0.58728	0.007316
Gemi_Boyu	Manev_Hızı	0.197721	0.72857	0.197721
Gemi_Tipi	Manev_Hızı	0.196576	0.67857	0.196576
Rüzgar_Hızı	Ort_Akıntı	0.163961	0.34248	0.163961
Rüzgar_Hızı	Sıcaklık	0.277661	0.53291	0.277661
Rüzgar_Yönü	Sıcaklık	0.301828	0.56793	0.301828
Gemi_Boyu	Yapım_Yılı	0.179329	0.58689	0.179329
Gemi_Tipi	Yapım_Yılı	0.185378	0.58689	0.185378
Manev_Hızı	Yapım_Yılı	0.173373	0.5	0.173373

Tablo 4’te görüldüğü üzere, kaza türünü ağırlıklı olarak en fazla etkileyen ebeveyn düğüm Bölge ve Akıntı Hızı olmuştur. Duyarlılık analizleri sonucunda, Nedensel Bayes Ağlarına akıntı, gemi boyu, gemi tipi, gemi yapım yılı, rüzgâr yönü ve hızı parametreleri eklenmesine karar

verilmiştir. Ek olarak çatışma türünde kazaların önlenmesi için belirlenmiş olan seyir kurallarının bulunduğu statik etmenlerde (tüzük ve yönetmelikler) bulunan görüş mesafesi ve manevra hızı kurallarının da Nedensel Bayes Ağları'na entegre edilmesine karar verilmiştir.

### **3.3. Nedensel Bayes Ağı Modeli1: Güvenli Seyir İzni**

Modelin birinci aşaması boğaza giriş yapacak gemilere yetkili merciler tarafından verilecek (kıyı emniyet müdürlüğü, deniz kuvvetleri komutanlığı, vb.) seyir izni kararını mevcut çevre koşullarında uyulması gereken kurallara, gemi tipi ve taşıdığı yük türüne göre belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda Nedensel Bayes Ağı-1'in ilk modülüne entegre edilecek olan Denizlerde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (1977) ve Türk Boğazları Trafik Düzeni Yönetmeliği (2019)'ne göre belirlenen seyir izni kuralları aşağıda listelenmiştir.

1. Boğazdan geçiş yapan 100 m'den büyük ve tehlikeli madde taşıyan gemilerin kılavuz kaptan almaları önerilir.

2. Boğazda akıntı hızı 4 mil/sa üzerinde çıktığında manevra hızı 10 mil/sa'in altındaki gemiler geçiş yapamayacaktır. 6 mil/sa'in üstündeki akıntılarda tehlikeli madde geçişine taşıyan gemilerin geçişine izin verilmeyecektir.

3. Görüş mesafesi 2 mil altında düştüğünde radarlar açık olacak, 1 mil'in altında düştüğünde trafik tek yönlü işleyecek ve tehlikeli yük taşıyan gemilerin geçişine izin verilmeyecektir. Görüş uzaklığı 0.5 mil 'in altına düştüğünde İstanbul Boğazı geçişe kapatılacaktır.

Yukarıda maddeler halinde listelenen kurallar Şekil 9'daki Boğaz Seyir İzni Kararı Modeli göz önüne alınarak oluşturulan Nedensel Bayes Ağı-1 Model'inin LPG taşıyan Tanker Etmeni için hazırlanmış akış şeması Şekil 7'de görülmektedir. Söz konusu akış şeması GeNİe yazılımına aktarılarak modelin değişkenlerinin olasılıkları her deniz aracı tipine göre 1 ve 0 olarak girilmiştir. Böylece deniz araçları operatörleri için geliştirilen karar destek sisteminin 1. Modülü de tamamlanmıştır (Şekil 8).





kuru yük, feribot, yolcu motoru ve LPG taşıyan tanker hedef etmenleri için çalıştırılarak, söz konusu deniz araçlarının İstanbul Boğazı'nda seyir izni olup olmadığı belirlenmiştir. Böylece, Bayes Ağı-1'e entegre edilen etmenlerin boyu, manevra hızı ve tehlikeli madde taşıyıp taşımadığı ile ilgili parametreler göz önünde bulundurularak Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği'nde (2019) belirtilen şartlara göre, İstanbul Boğazı'ndaki seyir durumu enformasyonunun gemi operatörlerine iletilmesi amaçlanmıştır. Söz konusu örnek etmenler geçmişte İstanbul Boğazı'nda kazaya karışan deniz araçlarından seçilmiş olup Tablo 5'te bu deniz araçlarının teknik özellikleri listelenmiştir.

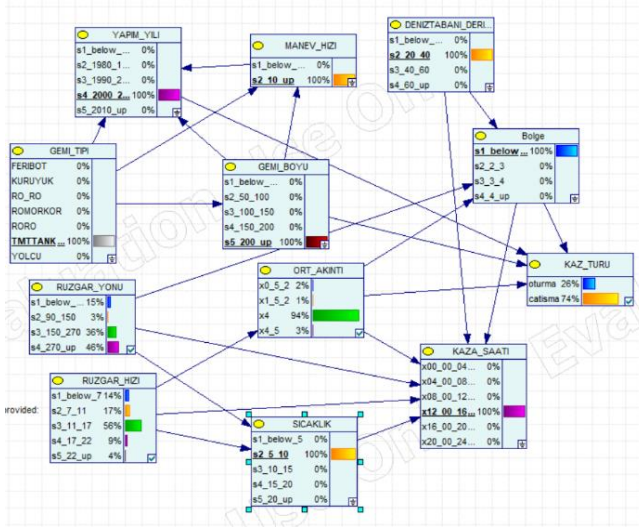
Tablo 5: Nedensel Bayes Ağı-1'de Kullanılan Hedef Etmenler Olarak Belirlenmiş Deniz Araçları

Kaza Tarihi	Deniz Aracı İsmi	Yapım Yılı	Türü	Tehlikeli Madde	Uzunluk (m)	Ort. Hız (mil/sa)	Manevra Hızı (mil/sa)
2015	SCF Khibiny	2002	LPG Tankeri	Evet	274	8.6	11.4
2012	Okmeydanı	1990	Feribot	Hayır	67	12.3	14
2006	Yazıcı-4	2000	Yolcu Motoru	Hayır	40	11.1	12.7
2011	Danaris-4	1986	Kuru Yük Gemisi	Hayır	108	6.5	7.2

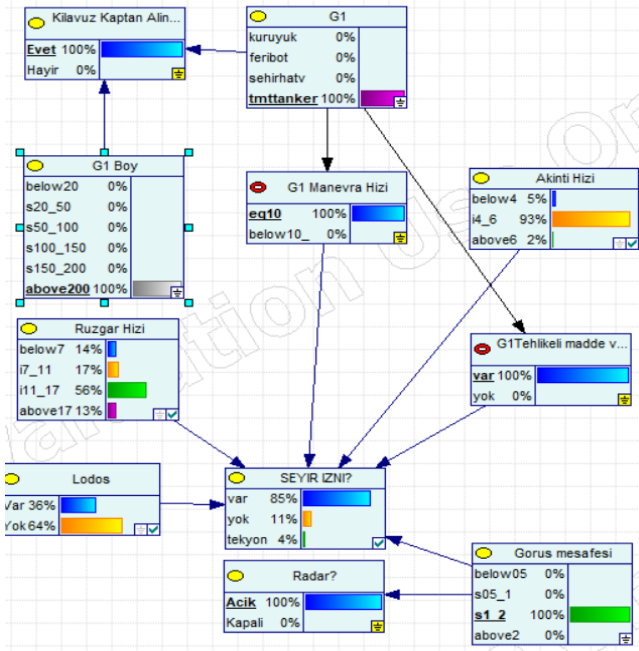
Tablo 5'te görülen hedef etmenlerin (LPG tankeri, feribot, yolcu motoru, kuru yük gemisi) seyir izni kararı için gereken akıntı hızı, rüzgâr hızı ve yönü parametrelerine ait veriler çalışmanın 1. Bölümü olan Veriler ile Eğitilmiş Bayes Ağı Modülü'nün çıktılarında elde edilirken (Şekil 9, Url-7), görüş mesafesi güncel verilere ulaşamadığından ön tanımlı bir şekilde 1-2 mil olarak Nedensel Bayes Ağı-1'e entegre edilmiştir. LPG tankeri, kuru yük gemisi, yolcu vapuru ve feribot için yapılan kaza analizlerine çatışma türünde kaza olasılığının en yüksek olasılıkta gerçekleştiği koşulların deniz tabanı derinliğinin 20-40 m arası, kaza saatinin 12:00-16:00 arası, sıcaklığın ise 5-10 C° olduğu belirlenmiştir.

Dört farklı özellikteki deniz aracı etmenleri için yapılan kaza analizi sonucunda elde edilen veriler ışığında söz konusu taşıtların her birine uygulanmış seyir izin kararı modeli Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 ve Şekil 13'te görülmektedir. Tüm deniz aracı etmenleri için yapılan seyir izni analizi sonuçlarına bakıldığında, Kuru Yük Gemisi dışındaki tüm deniz aracı etmenlerinin geçiş izni model tarafından onaylanırken; Kuru Yük

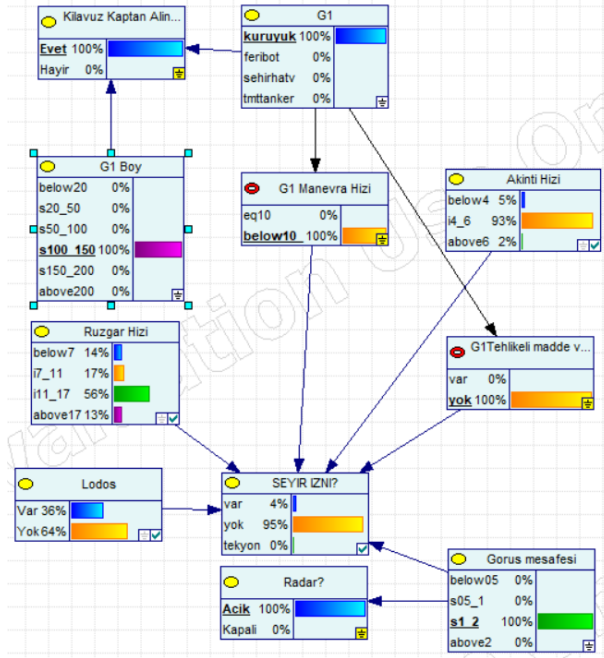
Gemisinin manevra hızının 10 mil/sa'den düşük olması ve akıntı hızının 4-6 mil/sa aralığında olması nedeniyle bu geminin seyir iznini %95 olasılığı ile model tarafından reddedilmiştir (Şekil 11).



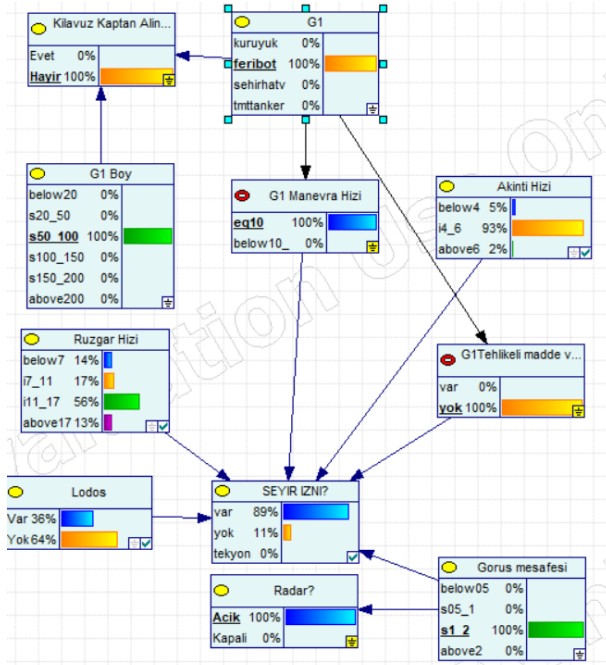
Şekil 9: LPG Tankeri Etmeni için Kaza Analizi



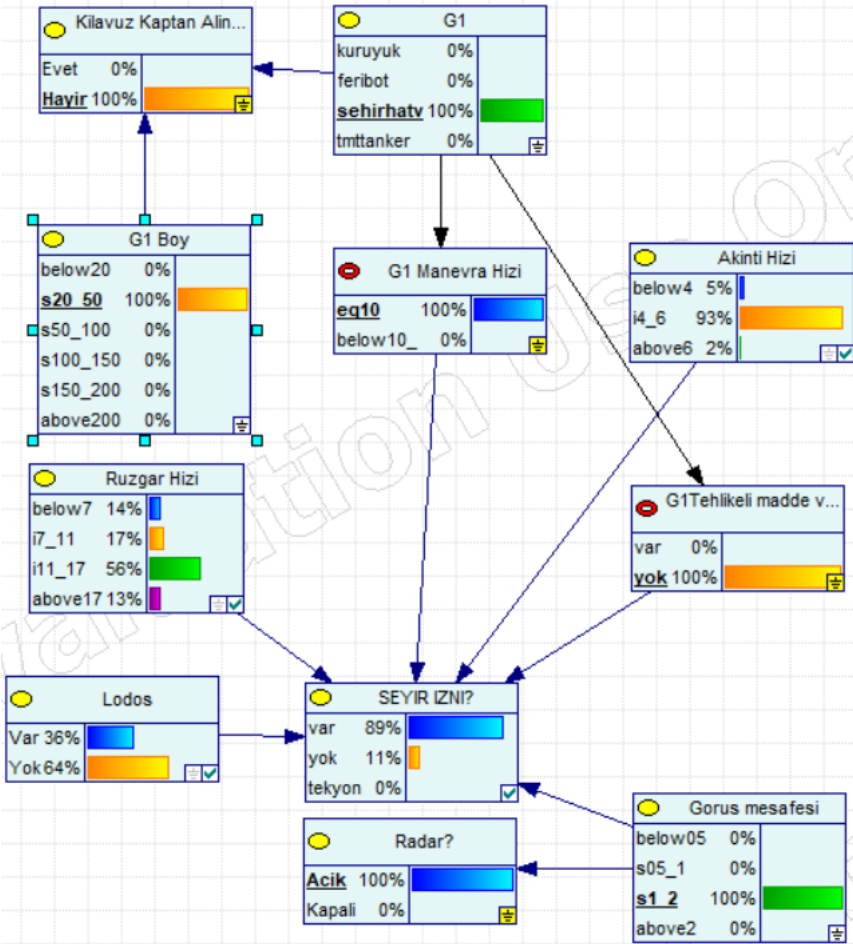
Şekil 10: LPG Tankeri Etmeni için Seyir İzni



Şekil 11: Kuru Yük Gemisi Seyir İzni



Şekil 12: Feribot Seyir İzni



Şekil 13: Yolcu Motoru Seyir İzni


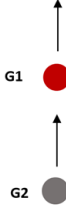

#### 3.4. Nedensel Bayes Ağı Modeli2: Seyir Halindeki Deniz Araçlarının Güvenliği

Kaza analizi için kurgulanmış Bayes Ağı Modeli'nden yararlanılarak İstanbul Boğaz'ındaki seyir izni olasılıkları belirlenmiş olan LPG tankeri, kuru yük gemisi, feribot ve yolcu motorlarının birbirleri ile çatışma halinde olmaları durumunda seyir karar önerilerinin söz konusu deniz araçları operatörlerine aktarılması amacıyla Nedensel Bayes Ağı-2 modülü geliştirilmiştir. Bu ağda G1 kodlu deniz aracı için analiz yapılırken, G2 olarak kodlanmış deniz aracı modelin işlevselliğini sağlamak adına sisteme entegre olan ikincil etmen görevi görmektedir. Böylece bu Bayes Ağı analizinde G1 kodlu deniz aracının seyir güvenliği

gözetilmiş ve öneriler G1 deniz aracını kullanan gemi operatörü için geliştirilmiştir.

Karar destek sisteminin son modülü olan bu Nedensel Bayes Ağı önerilerini üç farklı senaryo üzerinden gemi operatörüne sunmaktadır. Tablo 5’te söz konusu gemilerin teknik özellikleri tanımlandıktan sonra senaryolar Tablo 6’da tanımlanmıştır.

Tablo 6: Çatışma Senaryoları ve Gemilerin Birbirlerine Göre Konumları

Çatışma Senaryoları		
Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
(G1) LPG Tankeri (G2) Kuru Yük Gemisi	(G1) Kuru Yük Gemisi (G2) Feribot	(G1) Yolcu Motoru (G2) Feribot
		

Tablo 6’da görüldüğü üzere, Senaryo 1’de çalışmanın hedef etmeni olan G1, G2’nin arkasında konumlanırken, ikincisenaryoda G1, G2 etmenin önünde seyretmektedir. Senaryo 3’te ise, G1 ve G2 karşıt yönlerden gelen iki deniz aracı olarak tanımlanmıştır. Söz konusu senaryoların fiziksel çevre koşulları Tablo 7’de belirtilmiştir.

Tablo 7: Farklı Çatışma Senaryolarına Göre G1 ve G2 Rolündeki Gemiler ve Tanımlanan Fiziksel Çevre Koşulları

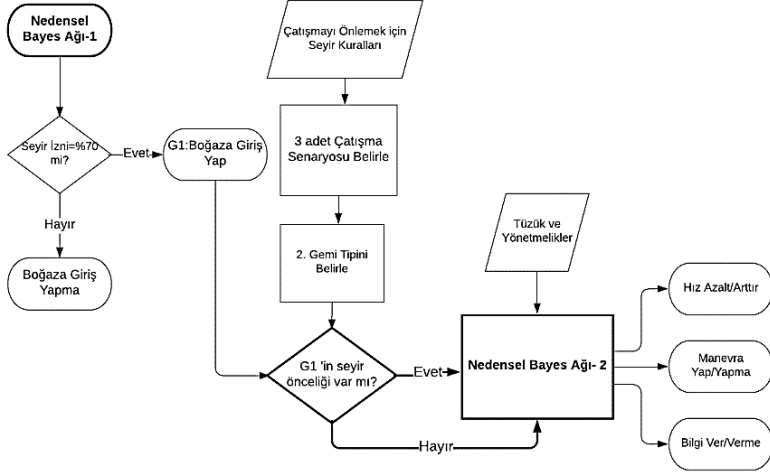
			Kaza Analizi Çıktıları			Ön Kabul
Senaryo No	Etmen Roller	Gemi Tipi	Akıntı Hızı (knots)	Rüzgâr Hızı (knots)	Rüzgâr Yönü	Görüş Mesafesi (mil)
Senaryo 1	G1	LPG Tankeri	4	11-17	GB-B	1-2 mil
	G2	Kuru Yük Gemisi				
Senaryo 2	G1	Kuru Yük Gemisi	4	11-17	GB-B	1-2 mil
	G2	Feribot				
Senaryo 3	G1	Yolcu Motoru	4	11-17	GB-B	1-2 mil
	G2	Feribot				

Belirlenen senaryo, tanımlı kaza analizi verileri göz önüne alınarak, Denizlerde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (1977) ve Türk Boğazları Trafik Düzeni Yönetmeliği (2019)'ne göre aşağıda listelenen kurallar çerçevesinde modele entegre edilmiştir.

1. Zorunlu olmayan durumlar dışında hız limiti 10 mil/sa'dır.
2. Önünde seyreden gemi varsa sollama yapılmayacaktır.
3. Hızını azaltan gemi arkasındaki gemiye hızını azalttığını bildirecektir.
4. Çatışma sırasında tehlikeli madde taşıyan, uzunluğu daha fazla olan araca öncelik verilecektir.
5. Görüş mesafesi 2 mil altına düştüğünde seyir halindeki gemilerin radarları ve sis fenerleri açık olacaktır.

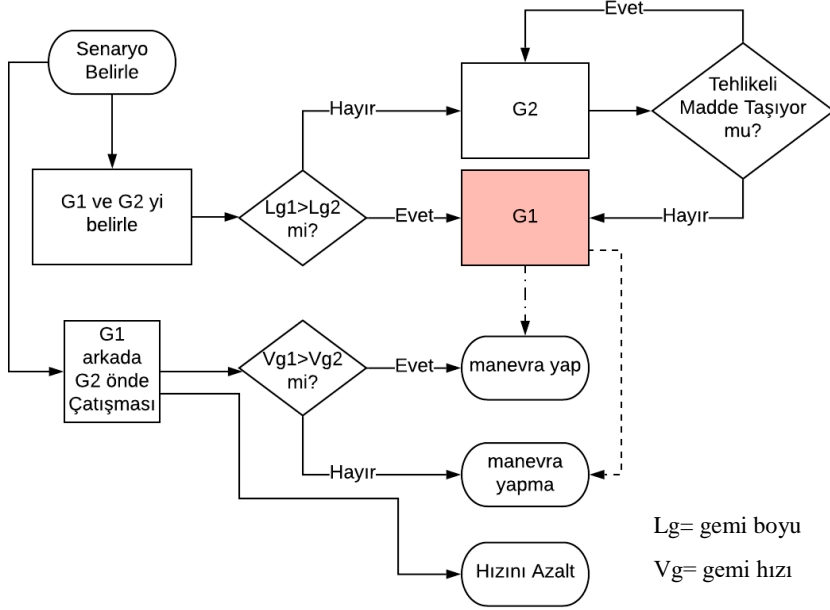
Tüzük ve yönetmeliklere göre belirlenen hız azaltma/arttırma, manevra yap/yapma kararları Şekil 14 ve Şekil 15'tesirasıyla görülen Nedensel Bayes Ağı-2 Model Akış Şeması ve Senaryo1 için hazırlanmış Örnek Akış Şeması ile temsil edilmiş olup gemi tipi, senaryo tipi ve fiziksel

çevre koşulları belirlendikten sonra, G1 ve G2 kodlu deniz araçlarından hangisinin geçiş üstünlüğüne sahip olduğu kararlaştırılmıştır.



Şekil 14: Nedensel Bayes Ağı-2 Model Akış Şeması

Şekil 14’te görülen kurallar dizisi göz önüne alınarak gemiler arasında geçiş önceliği belirlendikten sonra 3 farklı senaryoya (Tablo 6) göre G1 deniz aracının hızını arttırıp azaltması, manevra yapıp yapmaması ve bu hamleler ile ilgili yakınındaki diğer gemilere haber verip vermeyeceği belirlenmiştir.

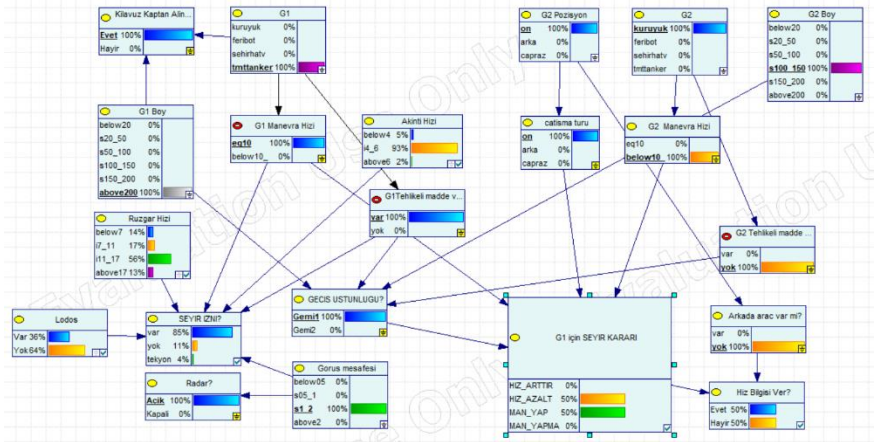


Şekil 15: Nedensel Bayes Ağı-2 Senaryo 1 için Örnek Akış Şeması

Senaryo 1 için yapılmış akış şeması (Şekil 15) ve model analiz sonuçlarına bakıldığında, G1 gemisinin (LPG yüklü tanker) G2 gemisine (kuru yük gemisi)'ne karşı geçiş üstünlüğü bulunmaktadır. Bu kararın G1'in tehlikeli madde taşıyan bir deniz aracı olması ve aynı zamanda uzunluğunun G2'nin uzunluğundan fazla olması neden olmuştur. Geçiş üstünlüğüne sahip gemiler bu çalışma kapsamında çatışmaya karışan diğer gemi ile kıyaslandığında güvenliği tehdit eden daha fazla unsura sahip olan gemiler olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, geçiş üstünlüğü olan geminin minimum manevra yapacak şekilde seyir kararı olasılıkları modele entegre edilmiştir. Ancak bir diğer karar ölçeği de gemilerin manevra hızlarıdır. Akıntı hızının 4 mil/sa'ti geçtiği fiziksel koşullarda; manevra hızı 10mil/sa'in altında olan araçların manevra yapması kısıtlanmaktadır.

Bu bağlamda G2'ye bakıldığında geçiş üstünlüğüne sahip olmamasına rağmen manevra hızı yetersiz olduğu için bu koşullarda manevra yapma olasılığı modelde 0 olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda Senaryo 1 için G1 deniz aracının en güvenli seyir kararı, hızını azaltmak ve manevra yapmak olarak belirlenmiştir (Şekil 16).

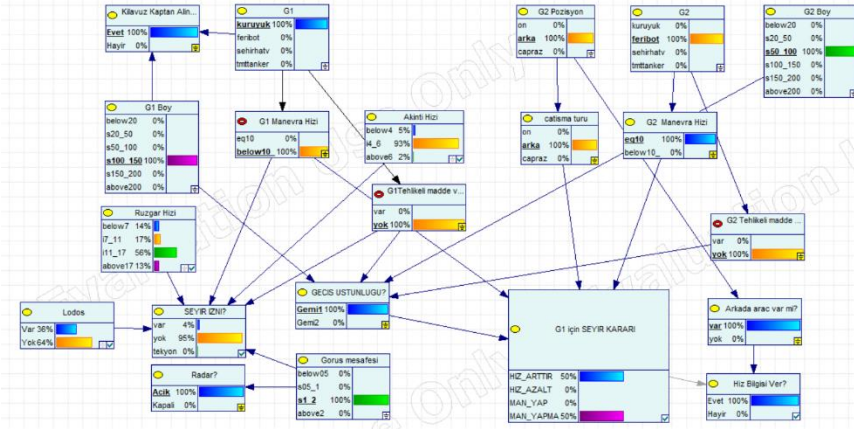




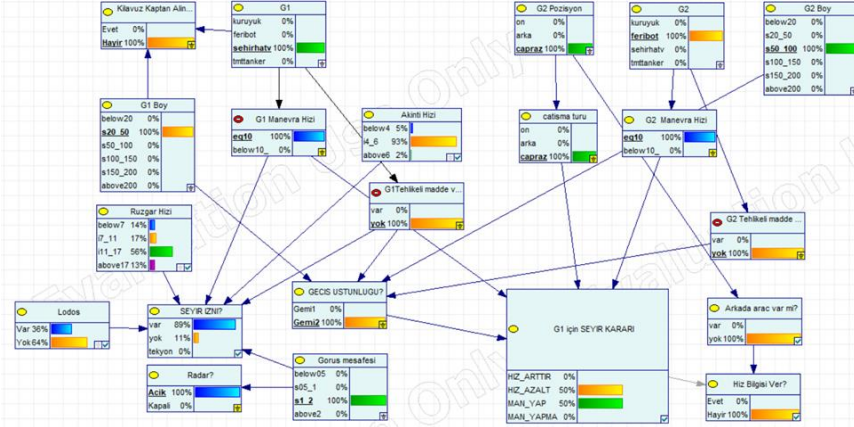
Şekil 16: Senaryo 1 LPG Tankeri-Kuru yük Gemisi Çatışması

Senaryo 2, G1'in arkadan G2'ye çarpması olarak kurgulanmıştır. Bu senaryoda G1 kuru yük gemisi (ana etmen) rolünde bulunurken, G2 feribot olarak tanımlanmıştır. Kuru yük gemisinin boyunun feribottan uzun olması ve manevra hızının da feribotun manevra hızından daha düşük olması nedeniyle geçiş üstünlüğü G1 gemisine yani kuru yük gemisine verilmiştir. Tehlikeli madde taşıma değişkeni iki araç için de aynı olduğu için kararda bir etkisi bulunmamaktadır. Son karar parametresi olan manevra hızına bakıldığında; feribotun manevra hızının kuru yük gemisinden fazla olduğu görülmektedir (Tablo 5). Bu bağlamda kuru yük gemisi hem geçiş üstünlüğüne sahip hem de manevra hızı az olan araç olduğu için söz konusu çatışmada kuru yük gemisinin alacağı en güvenli önlemin hızını azaltmak ve manevra yapmamak olduğu belirlenmiştir. Bu noktada kazayı önleme manevrasını geçiş üstünlüğü olmayan ve manevra hızı yüksek olan feribot devralmaktadır (Şekil 17).

Senaryo 3'te ise söz konusu model karşıt yönlerden gelen iki deniz aracının çatışmasını önlemeyi sağlayacak önerileri geliştirmiştir. Bu senaryoda, G1 yolcu motoru ve G2 feribot olarak belirlenmiştir. Feribotun uzunluğunun yolcu motorundan fazla olması nedeniyle geçiş üstünlüğü feribota verilmiştir. İki araç da tehlikeli madde taşımadığı için bu koşul geçiş üstünlüğü kararını etkilememiştir. G1 aracının geçiş üstünlüğü bulunmaması nedeniyle manevra yapma önceliği G1 aracının olmuştur. Aynı zamanda çatışmayı önlemek için hız azaltma ve manevra yapma kararı %50'şer olasılığa sahip olarak eş ağırlıktadır (Şekil 18).



Şekil 17: Senaryo 2 Kuru Yük Gemisi (G1) -Feribot (G2) Çatışması



Şekil 18: Senaryo 3 Yolcu Motoru (G1) ve Feribot (G2) Çatışması

#### 4. Sonuç ve Öneriler

İstanbul Boğazı coğrafi, iklimsel ve oşinografik yapıdan oldukça özel bir konuma sahip olması, tehlikeli madde taşıyan tanker, büyük kuru yük gemilerinin sıkça geçiş yapması ve aynı zamanda yoğun bir şehir içiyolcu trafiğine sahip olması nedeniyle, çevreye ciddi zararlar verebilecek kazaların olma ihtimali yüksek bir dar su yoludur. Bu bağlamda özellikle geçmiş dönemde yaşanan kazaların analizi İstanbul Boğazı'nın seyir kurallarının tekrar irdelenmesinde ve geliştirilmesinde etkin rol oynayabilir. Bu nedenle çalışmanın ilk aşamasını oluşturan Veriyle Eğitilmiş Bayes Ağı Modeli'nin, İstanbul Boğazı'nın iklimsel, oşinografik ve coğrafi yapısı hakkında bütüncül bilgiler edinmek ve bu

edinilen bilgileri kullanarak, boğaz trafiğinin düzenlenmesi için alternatif çözümler üretmek amacıyla kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu yapılan çalışmada görülmüştür.

Veriyle Eğitilmiş Bayes Ağı Modeli'nin 101 adet veri ile yapılması nedeniyle modele uygulanan K-Fold Cross Validation testi %48 oranında model ile yakınlık kurmuştur. Söz konusu yakınlık oranı göz önüne alındığında, karar destek sisteminin daha iyi tahminler yapabilmesi için veri setinin genişletilmesi gerekmektedir.

Veriyle Eğitilmiş Bayes Ağı Model'inin duyarlılık analizi sonucunda kaza türü ebeveynine en duyarlı çocuk düğümler ortalama akıntı düğümü ve kazanın gerçekleştiği konumu tanımlayan bölge düğümü olmuştur. Buna sonuca göre, akıntı hızının ve kazanın konumunun kaza türünü en fazla etkileyen etmenler olduğu görülmektedir. Bu bağlamda validasyonu gereken tutarlılığa erişmiş olan modelin geliştirilmesinden sonra, söz konusu etmenler karar destek sisteminin 2. ve 3. Adımları olan Nedensel Bayes Ağı Modellerine eklenilebilir.

Seyir izni karar önerilerin geliştirildiği Nedensel Bayes Ağı-1'de baz alınan tüzük ve yönetmeliklere bakıldığında, akıntı hızının 4 mil/sa'in üzerine çıkması durumunda deniz trafiğine belirli kısıtlar getirdiği görülmektedir. Aynı zamanda Kaza Analizi sonuçlarında da akıntı çatışma türünde meydana gelmiş olan kazaların büyük çoğunluğunun akıntı hızının 4 mil/sa ve üzeri hızlarda olduğu zamanlarda meydana geldiği gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, söz konusu tüzük ve yönetmelikler ile kaza analiz sonuçlarının birbirleri ile tutarlılık gösterdiği görülmektedir.

Karar destek sisteminin üçüncü ve son modülünde bilinçli olarak hız ve manevra yapma tercihleri %50 %50 olarak modele entegre edilmiştir. Böylece karar vericinin tek bir karar önerisi görerek, farklı opsiyonları düşünmesinin engellenmemesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, karar verici %50 %50 olarak belirlenmiş iki tercihten her ikisini de ya da seçtiği bir kararı kendi deneyimleri doğrultusunda öneri olarak kabul ederek kararını verebilecektir. Böylece üçüncü modülün ana amacı tek bir karar önerisini geliştirmek değil var olan alternatifleri en aza indirmek olduğu söylenebilir.

Konu ile ilişkili yapılabilecek ileriki çalışmalarda daha fazla veri ile kaza analizi yapmak ve 3.modülü geliştirmek amacıyla da tek bir geminin ana etmen olmaktan çıkarılıp çatışma yaşayacak tüm deniz araçlarının dahil olduğu bir karar destek sistem modeli ile seyir önerileri sunmak gemi operatörleri ve kıyı emniyet ekipleri arasındaki iletişimi daha da güçlü kılmayı sağlamak için oldukça uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Böylece İstanbul Boğazı'nda çatışma türünde kazaların önlenmesi için optimize edilmiş bir karar destek sistemi deniz

aracı operatörleri, kıyı emniyet çalışanları tarafından etkin bir biçimde kullanılacaktır.

## Kaynakça

- Akten, N., (2005) Türk Boğazlarında Seyir Rejimi, *Mersin Deniz Ticareti Dergisi*, No. 154, 4-7.
- Altıok H. & Kayışoğlu M. (2015), Seasonal and Interannual Variability of Water Exchange in the Strait of Istanbul, *Mediterranean Marine Science*, 16/3, 636-647.
- Çinicioğlu, E. N., Atalay, M., & Yorulmaz, H. (2016). Trafik Kazaları Analizi için Bayes Ağları Modeli Bayesian Network Model for Analysis of Traffic Accidents. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 6(2), 41–52.
- Denizlerde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (1977). Ankara: Dışişleri Bakanlığı. Erişim Adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/2.5.714561.pdf>
- Ece, N. J. (2011). İstanbul Boğazı'nda Meydana Gelen Deniz Kazalarının İncelenmesi ve Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 3(2), 37–59. <https://doi.org/10.18613/deudfd.48962>
- Ece, N. J. (2012). Analysis Of Ship Accidents In The Strait Of İstanbul. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 4(2), 27–47.
- Epstein, J. M. (2012). Agent-based computational models and generative social science. *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*, 4(5), 4–46. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-0526\(199905/06\)4:5<41::aid-cplx9>3.3.co;2-6](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-0526(199905/06)4:5<41::aid-cplx9>3.3.co;2-6)
- GeNIe. (2020). Bayes Fusion (Sürüm 3.0) [Yazılım]. Pittsburgh, ABD. Tedarik edilebileceği adres: <https://download.bayesfusion.com/>
- Jeong, M. G., Lee, E. B., Lee, M., & Jung, J. Y. (2019). Multi-criteria routeplanning with risk contourmap for smart navigation. *Ocean Engineering*, 172 (August 2018), 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.11.050>
- Parrott, L., Chion, C., Martins, C. C. A., Lamontagne, P., Turgeon, S., Landry, J. A., Zhens, B., Marceau, D. J., Michaud, R., Cantin, G., Ménard, N., & Dionne, S. (2011). A decision support system to assist the sustainable management of navigation activities in the St. Lawrence River Estuary, Canada. *Environmental Modelling and Software*, 26(12), 1403–1418. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.08.009>

- Railsback, S. F., Grimm, V. (2019). *Agent-Based and Individual-Based Modeling. A Practical Introduction*, Second Edition, Princeton: Princeton University Press, ISBN 978-069119083-9.
- Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı. (2020). İstanbul Boğazı Batimetri Haritası [Harita]. Erişim adresi: [www.shodb.gov.tr](http://www.shodb.gov.tr)
- Şimşir, U. (2007). Dar Su Yollarında El Kumandası ile Seyir Yapan Gemilerin Konumunun Yapay Sinirsel Ağlar Kullanılarak Öngörülmesi. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. <https://doi.org/10.17942/sted.59428>
- Türk Boğazları Trafik Düzeni Yönetmeliği (2019). Ankara: T.C. Cumhurbaşkanlığı Erişim Adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/21.5.1426.pdf>
- Türk Deniz Araştırmaları Vakfı. (2020). İstanbul Boğazı Ortalama Akıntı Hızı Haritası [Harita]. Erişim adresi: <http://tudav.org/calismalar/deniz-alanlari/turk-bogazlari/istanbul-ve-canakkale-bogazi-akinti-haritalari/>
- Vaněk, O., Jakob, M., Hrstka, O., & Pěchouček, M. (2013). Agent-based model of maritimetraffic in piracy-affected waters. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 36, 157–176. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.08.009>
- Xue, J., Van Gelder, P. H. A. J. M., Reniers, G., Papadimitriou, E., & Wu, C. (2019). Multi-attributed decision-making method for prioritizing maritime traffic safety in fluencing factors of autonomous ships' maneuvering decisions using grey and fuzzy theories. *Safety Science*, 120 (May), 323–340. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.019>
- Zhang, R., & Furusho, M. (2016). *Constructing a Decision Support System for safe Ship Navigation Using a Bayesian Network*. Springer International Publishing Switzerland, 3, 75–81. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-40247-5>
- Url-1 <<https://www.milligazete.com.tr/haber/3445452/istanbul-bogazina-tarihe-gecmis-gemi-kazalari>> Erişim Tarihi: 03.11.2020.
- Url-2<<https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-50894076>> Erişim Tarihi: 03.11.2020.
- Url3<[http://atlantis.udhb.gov.tr/denizkaza/yayin/aakb\\_bolsonuc.asp?BOLGE=ISTANBUL&Submit=ARA#siteInfo](http://atlantis.udhb.gov.tr/denizkaza/yayin/aakb_bolsonuc.asp?BOLGE=ISTANBUL&Submit=ARA#siteInfo)> Erişim Tarihi: 03.11.2020.
- Url4<<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:29.0/centery:41.1/zoom:10>> Erişim Tarihi: 03.11.2020.

Url-5<<https://content.meteoblue.com/nl/access-options/meteoblue-weather-api>> Erişim Tarihi: 03.11.2020.

Url-6<<https://www.emodnet-bathymetry.eu/metadata-data>> Erişim Tarihi: 03.11.2020.

Url-7<<https://www.yagdirceliker.com/copy-of-academic-reserach>> Erişim Tarihi: 14.11.2020.

