



# İstanbul Boğazı'ndaki ticari gemi kazalarının karar ağacı yöntemiyle analizi

Erkan ÇAKIR<sup>ORCID</sup>, Bünyamin KAMAL<sup>ORCID</sup>

## Cite this article as:

Çakır, E., Kamal, B. (2020). İstanbul Boğazı'ndaki ticari gemi kazalarının karar ağacı yöntemiyle analizi. *Aquatic Research*, 4(1), 10-20.

<https://doi.org/10.3153/AR21002>

Recep Tayip Erdoğan Üniversitesi,  
Turgut Kiran Denizcilik Fakültesi, Rize,  
Türkiye

## ORCID IDs of the author(s):

E.Ç. 0000-0001-8486-3310

B.K. 0000-0002-9885-114X

Submitted: 01.06.2020

Revision requested: 18.06.2020

Last revision received: 07.07.2020

Accepted: 15.07.2020

Published online: 21.10.2020

Correspondence: Bünyamin KAMAL

E-mail: [bunyamin.kamal@erdogan.edu.tr](mailto:bunyamin.kamal@erdogan.edu.tr)



© 2021 The Author(s)

Available online at

<http://aquatres.scientificwebjournals.com>

## ÖZ

Bu çalışmada İstanbul Boğaz bölgesi olarak İstanbul Gemi Trafik Hizmetlerinin kapsama alanına giren Türkeli, Kandilli, Kadıköy ve Marmara sektörlerinde 2001-2016 yılları arasında meydana gelen ticari gemi kazaları incelemeye tabi tutulmuştur. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKKM) veri tabanındaki kaza kayıtlarına uygulanan filtrelemeler sonucunda 500 groston üzeri ticari yük gemilerinin karıştığı 535 adet gemi kazası analiz edilmiştir. Belirtilen sektörlerde meydana gelen ticari yük gemi kazaları Ki-kare Otomatik Etkileşim Dedektörü (CHAID) karar ağacı yöntemi ile incelenmiştir. CHAID karar ağacı yöntemi sınıflandırma ve büyük veri kümelerinden anlamlı kurallar çıkarmada en yaygın kullanılan karar ağacı algoritmalarından biridir. CHAID karar ağacı yöntemi icra edilerek ticari yük gemilerinde meydana gelen kazaların tipi (çatışma/çatma, karaya oturma ve diğer) ile gemi faktörleri (gemi tipi, gemi boyu, gemi tonajı, gemi yaşı, gemi bayrağı, gemi yüklülük durumu), zaman faktörleri (kaza zamanı ve kaza mevsimi) ve diğer faktörler (kazanın meydana geldiği sektör, kaza nedeni ve gemiye pilot alınması durumu) arasındaki ilişki incelemeye alınmıştır. Kazanın meydana geldiği sektör, gemide pilot bulunması durumu, gemi tipi ve kaza zamanı kaza tipini etkileyen en önemli girdi değişkenleri olarak bulunmuştur. Veri setine uygulanan Karar Ağacı yöntemi sonucuna göre Kadıköy sektöründe meydana gelen kazaların % 86 olasılıkla çatışma/çatma, Kandilli veyahut Marmara sektörlerinde meydana gelen kazaların % 48 olasılıkla çatışma/çatma ve Türkeli sektöründe ise kazaların % 36 olasılıkla çatışma/çatma ve diğer kaza tipleri ile sonuçlandığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** İstanbul Boğazı, Gemi kazaları, Kaza analizi, Karar ağacı

## ABSTRACT

### Analysis of merchant vessel accidents in Istanbul strait through decision tree method

In this study merchant vessel accidents which occurred between 2001 and 2016 in the sectors of Türkeli, Kandilli, Kadıköy, Marmara which constitutes Istanbul Strait region under Istanbul Vessel Traffic Services scope have been examined. Data was obtained from database of Ministry of Transport and Infrastructure Main Search and Rescue Coordination Center, and after data cleansing process, 535 vessel accidents which involve merchant cargo vessels of above 500 grosston have been analyzed. Merchant cargo vessel accidents which were taken place in the specified sectors have been examined with CHAID (Chi-square Automatic Interaction Detector) Decision Tree method. CHAID Decision Tree method is one of the most common used decision tree algorithms in extracting meaningful rules from big datasets and for classification. Through conducting CHAID Decision Tree method for merchant vessel accidents relationship between accident type (collision/contact, grounding and other) and vessel factors (vessel type, Length overall (LOA), vessel gross tonnage, vessel age, flag, loading condition), time factors (accident time, season of accident) and other factors (sector where accident occurred, pilot on board or not) has been analyzed. Accident occurring sector, pilot on board/not, vessel type and accident time have been found as the most important input variables. Based on the result of the Decision Tree method applied to the data set, it was observed that the accidents occurring in the Kadıköy sector were collision / contact with 86% probability, the accidents occurring in the Kandilli or Marmara sectors were collision / contact with 48% probability and in the Türkeli sector, both collision / contact and other accident types had 36% occurring probability.

**Keywords:** Istanbul Strait, Vessel accidents, Accident analysis, Decision tree

## Giriş

Kuzeyde Anadolu Feneri ile Türkeli Feneri'nin birleştiği hat-tan başlayan ve güneyde ise Ahırkapı Feneri ile Kadıköy İnceburun Feneri'nin birleştiği hatta son bulan İstanbul Boğazı dünyanın en dar kanallarından birisidir ve yoğun bir deniz trafiğine maruz kalmaktadır. Boğaz coğrafi yapısı ve oşinografik özellikleri sebebiyle riskli bir suyoludur. Boğaz'ın ortalama genişliği 1500 metre iken en dar yeri 696 metredir ve en sığ yerde 19 metre derinliğe sahiptir (Özdemir, 2019). Kıvrımsı yapısından dolayı Boğaz toplam sayıları 12'yi bulan keskin dönüşe sahiptir ve buna istinaden Kandilli'de 45°'lik, Umur Bankı'nda 70°'lik ve Yeniköy'de ise 80°'lik büyük açılı rota değişikliği yapılmaktadır (Akten, 2003; Ece, 2016). Bu keskin dönüşlere ek olarak dipteki ve yüzeydeki ters akıntılar seyir emniyetini ciddi bir şekilde etkilemekte ve zaman zaman 6 ile 8 knota varan bir akıntı rejimi söz konusu olabilmektedir (Özdemir, 2019).

Karadeniz ülkelerinin ticaret hacimlerindeki ve filo hacimlerinde artış, Tuna-Ren, Tuna-Main gibi iç suyollarının devreye alınması ve son zamanlarda ölçek ekonomisinden istifade amacına binaen gemi boyutlarında görülen artışlar Boğaz'dan taşınan yük miktarında artışa sebebiyet vermiştir (Ece, 2011). Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı verilerine göre Boğaz'da taşınan tehlikeli yük miktarı yıldan yıla artış göstermekte ve 2010 yılında taşınan tehlikeli yük miktarı yaklaşık 359 milyon ton iken bu oran 2018 yılında yaklaşık 147 milyon tonu tankerlerce taşınmak kaydıyla yaklaşık 439 milyon tona ulaşmıştır (Deniz Ticareti İstatistikleri, 2018). Malaka Boğaz'ının ardından dünyanın en yoğun ve tehlikeli trafiğine sahne olan İstanbul Boğazı Panama Kanalından yaklaşık 3 kat, Süveyş Kanalından 2 kat ve Kiel Kanalından 1.5 kat daha yoğun deniz trafiğine sahiptir (Kiel Canal, 2018; Panama Canal, 2019; Suez Canal, 2019). Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı verilerine göre 8.957 adedi tanker olmak üzere 2019 yılında 41.112 gemi geçişi gerçekleşmiştir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019).

Emniyet kurallarındaki ve deniz taşımacılığındaki teknolojik gelişmelere rağmen kazalar vuku bulmaya devam etmekte, önlenememekte ve ciddi bir sorun teşkil etmeye devam etmektedir (Erol ve Başar, 2015). Boğazın hem hidrolojik, jeomorfolojik ve meteorolojik yapısı hem de yoğun deniz trafiği ve beraberinde artan gemi tonajları ile taşınan tehlikeli yükler deniz kazası riskini arttırmaktadır. Meydana gelen kazalar can/mal kaybına ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Boğaz'da meydana gelmekte olan deniz kazalarının önlenmesi ve emniyetin tesisi için evvela bu kazaların farklı yönlerden analize tabi tutulması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda ele alınan bu çalışma belirtilen sıra ile organize edil-

miştir. Çalışmanın ikinci kısmında İstanbul Boğazında meydana gelen gemi kazaları ile ilgili yapılan literatür çalışmalarına yer verildikten sonra üçüncü kısımda çalışmada istihdam edilen veri setinin detayları verilmiştir. Akabinde ise verilerin işlenmesinde kullanılan Ki-kare Otomatik Etkileşim Dedektörü (CHAID) karar ağacı yöntemi açıklanmıştır. Bulgular kısmında icra edilen yöntemin çıktıları verildikten sonra sonuç kısmında bazı öneriler yapılmıştır.

İstanbul Boğazında meydana gelen kazalar bağlamında literatür incelendiğinde görülmektedir ki Sezgin F. ve Kadioğlu M. (2000) tarafından yapılan çalışma İstanbul Boğazı'nda 1982 ile 1999 yılları arasında vuku bulan 218 kaza verisini yıllara ve aylara ayırarak uygunluk analizi istatistiki yöntemi ile incelemiştir ve boğazda meydana gelen kazalar sebep, yer, meydana geldiği saat, kazaya müdahil olan geminin bayrağı, tonajı ve türü gibi değişkenler bağlamında sınıflandırılmıştır. Akten (2003) çalışmasında 1953-2002 yılları arasında İstanbul Boğazı'nda meydana gelen 461 kazayı kaza türleri ve kaza zamanına (gece-gündüz) göre ayırmıştır. Otay N. E. ve Özkan Ş. (2005) çalışmalarında İstanbul Boğazında gemilerin çarpışma, sahile vurma ve karaya oturma olasılıklarını hesaplamıştır ve elde edilen sonuçlar ışığında İstanbul Boğazı'ndaki transit gemi trafiği için kaza olasılıklarının coğrafi olarak dağılımını gösteren risk haritalarını teşkil etmişlerdir. Bayar vd. (2008) İstanbul Boğazındaki kazaları Gemi Trafik Sisteminin (VTS) etkisini görebilmek için VTS kurulumu öncesi ve sonrası dönemlerini baz alarak incelemiştir. VTS öncesi periyodu 1985 ve 2003 yılları arası baz alınarak ve VTS sonrası periyodu 2004 ve 2008 yılları arası baz alınarak incelenmiştir. Çalışmada İstanbul Boğazında meydana gelen kazalar gemi türlerine, bayrak ülkelerine ve kaza türlerine göre frekans dağılımı ile sınıflandırılmıştır ve VTS'nin kazaları azaltmada etkili olup olmadığı değerlendirilmiştir. Ece (2011) ise İstanbul Boğazı'nda Sağ Seyir Düzeni'nin icra edilmeye başlandığı 1982 yılından 2008 yılı sonuna kadar meydana gelen 341 kaza için kazaya karışan gemilerin adı, tonajı, bayrağı, kaza saat, günü, ayı, yılı, kaza türü, kaza nedeni ve kazaya karışan geminin kılavuz kaptan istihdam edip etmediği gibi bilgileri gibi değişkenleri ihtiva eden kaza veri tabanı teşkil edilmiştir. Bu değişkenlere ilişkin olarak frekans dağılımı tabloları teşkil edilmiş olup değişkenler arasındaki ilişki için Ki-Kare İlişki Analizi gibi istatistiki analizler icra edilmiştir. Ayrıca Boğazdaki gemi kazalarının önlenmesine dair bazı önerilerde bulunulmuştur. Erol ve Başar (2015) çalışmalarında Karadeniz, Marmara Denizi ile Akdeniz ve Ege Denizinin bir kısmından müteşekkil olan Türkiye Arama ve Kurtarma sahasında 2001 ve 2009 yılları arasında vuku bulan 1247 deniz kazasını incelemiştir. Çalışmalarında Türkiye

Arama Kurtarma sahası Trabzon, Samsun, İstanbul, Çanakkale, İzmir, Antalya ve Mersin olarak 7 bölgeye ayrılmıştır ve elde edilen veriler frekans analizi ile sınıflandırılmış ve karar ağacı yöntemi ile analiz edilmiştir. Ece (2016) frekans dağılımları, Ki-Kare İlişki Testi ve Cramer's V Testi gibi istatistiksel analizleri yaparak İstanbul Boğazı'nda 1982 ile 2014 yılları arasında meydana gelen kazalara karışan gemiler ile bunların kılavuz kaptan almaları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Erol vd. (2017) veri filtreleme işlemi sonucu Boğaz'da 2001-2015 yılları arasında meydana gelen 135 deniz kazasını meteoroloji verilerini de hesaba katarak kaza şiddetine göre sınıflandırarak incelemiştir. Yılmaz ve İlhan (2018) çalışmalarında Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezinden elde edilen verilerle 2002 ile 2014 seneleri arasında İstanbul Boğazı'nı da içerecek şekilde Türkiye arama-kurtarma bölgesinde Türk bayraklı gemilerde veyahut Türk bayraklı gemilerin karıştığı ve ölüm, yaralanma veyahut kayıp ile sonuçlanan 182 adet deniz kazası/olayını istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Özdemir (2019) ise 2003 ile 2013 yılları arasında Türkiye Boğazlar Sistem'inde hasıl olan deniz kazalarını frekans ve mekansal analiz yöntemiyle genel olarak ve boğazların sektörleri temelinde incelemiştir. Bu çalışmada kazalar İstanbul ve Çanakkale Gemi Trafik Hizmetleri bölgelerinde oluşan kazalar olarak iki bölümde değerlendirilmiştir ve mekansal analiz için Coğrafi Bilgi

Sistemi istihdam edilmiştir. İstikbal (2020) Boğaz'da meydana gelen 3 büyük gemi kazasını 1934-1982 yılları arasında geçerli olan "Sol Seyir Düzeni" ile olan ilişkileri bağlamında değerlendirmiştir.

## Materyal ve Metot

### Veri Seti Detayları

Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'nda 2001-2016 yılları arasında meydana gelen deniz kazaları konu edilmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Deniz ve İç Sular Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi (AAKKM) sözü geçen yıllar arasında İstanbul Boğazı'nda meydana gelen toplam 1091 deniz kazasını/olayını kayıt altına almıştır. Bu 1091 deniz kazası/olayından 535 tanesi gerekli filtrelemelerden sonra çalışmaya dâhil edilmiştir. 535 deniz kazası, 500 groston üstü ticari yük gemilerinin İstanbul Boğaz Bölgesi'ndeki Gemi Trafik Hizmetlerinin (GTH) sürdürüldüğü ve aşağıdaki Şekil 1'de de görüldüğü üzere Kadıköy, Türkeli, Marmara ve Kandilli sektörlerinde meydana gelen kazaları kapsamaktadır. Balıkçı tekneleri, yolcu gemileri, gezinti tekneleri vb. kazaları çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Ayrıca çalışmada sadece gemi kazaları ele alınıp gemilerde meydana gelen iş kazaları, sağlık sorunları vb. deniz olayları incelenmemiştir.



Şekil 1. İstanbul GTH alanı ve sektörleri (KEGM, 2020)

Figure 1. Istanbul VTS area and sectors (KEGM, 2020)

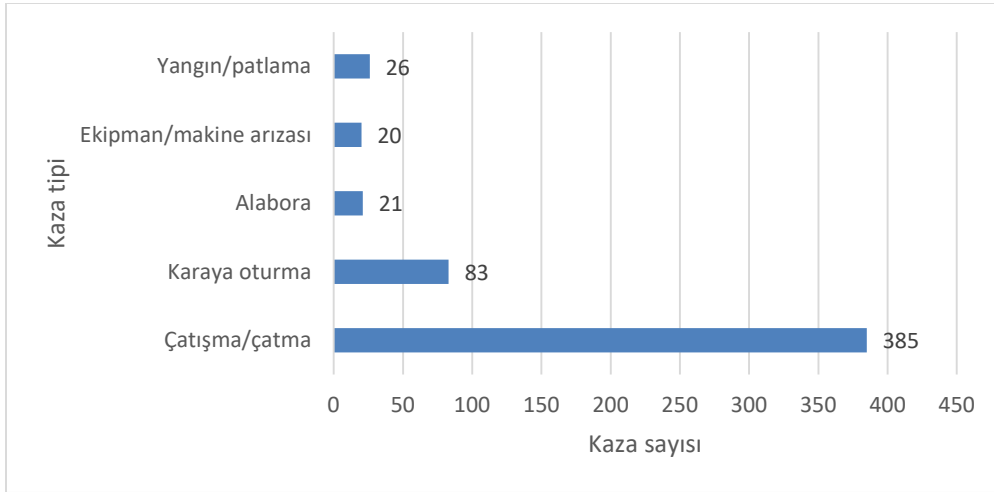
Tablo 1’de çalışmada kullanılan değişkenler, değişkenlerin değerleri (kategorileri) ve bunların kaza tipine göre dağılımı gösterilmiştir. Toplam 11 değişken AAKKM’nin kaza raporları incelenerek elde edilmiş olup bu çalışmada girdi (bağımsız) değişken olarak kullanılmıştır. Kaza tipi değişkeni ise çıktı diğer adıyla bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Şekil

2’de görüldüğü üzere çalışmada kullanılan 535 gemi kazasının 385’inin çatışma/çatma, 83’ünün karaya oturma, 26’sının yangın/patlama, 21’inin alabora ve 20’sinin makine/ekipman arızası olduğu görülmektedir. Kaza sayılarının yetersiz olması nedeniyle yangın/patlama, makine/ekipman arızası ve alabora tip gemi kazaları diğer kategorisi altında birleştirilerek çalışmada kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan değişkenlerin kaza tipine göre dağılımı

**Table 1.** Distribution of input variables according to accident type

Değişkenler	Değerler	Toplam	Kaza tipi		
			Çatışma/ Çatma	Karaya oturma	Diğer
Gemi tipi	Genel yük gemisi	359 (%67.1)	261 (%72.7)	54 (%15.0)	44 (%12.3)
	Dökme kuruyük gemisi	77 (%14.4)	59 (%76.6)	13 (%16.9)	5 (%6.5)
	Petrol tankeri	15 (%2.8)	6 (%40.0)	4 (%26.7)	5 (%33.3)
	Kimyasal tanker	25 (%4.7)	18 (%72.0)	3 (%12.0)	4 (%16.0)
	Konteyner	16 (%3.0)	10 (%62.5)	4 (%25.0)	2 (%12.5)
	Diğer	43 (%8.0)	31 (%72.1)	5 (%11.6)	7 (%16.3)
	Gemi yaşı	[0-4]	32 (%6.0)	22(%68.6)	6 (%18.8)
[5-14]		46 (%8.6)	33 (%71.7)	8 (%17.4)	5 (10.9)
[15-24]		94 (%17.6)	67 (%71.3)	15 (%16.0)	12 (%12.8)
25+		363 (%67.9)	263 (%72.4)	54 (%14.9)	46 (%12.7)
Gemi grosston	[500-10.000]	431 (%80.6)	312 (%72.4)	62 (%14.4)	57 (%13.2)
	10.000+	104 (%19.4)	73 (%70.2)	21 (%20.2)	10 (%9.6)
Gemi tam boyu (m)	[0-100]	216 (%40.4)	143 (%66.2)	45 (%20.8)	28 (%13.0)
	100+	319 (%59.6)	242 (%75.9)	38 (%11.9)	39 (%12.2)
Gemi yüklülük durumu	Dolu	175 (%32.7)	124 (%70.9)	27 (%15.4)	24 (%13.7)
	Boş	360 (%62.3)	261 (%72.5)	56 (%15.6)	43 (%11.9)
Gemi bayrağı	T.C.	133 (%24.9)	94 (%70.7)	22 (%16.5)	17 (%12.8)
	Kolay bayrak (FOC)	330 (%61.7)	241 (%73.0)	49 (%14.8)	40 (%12.1)
	Diğer	72 (%13.5)	50 (%69.4)	12 (%14.5)	10 (%13.9)
Gemide pilot durumu	Var	213 (%39.8)	122 (%57.3)	48 (%22.5)	43 (%20.2)
	Yok	322 (%60.2)	263 (%81.7)	35 (%10.9)	24 (%7.5)
Kaza zamanı	Gündüz	216 (%40.4)	147 (%68.1)	30 (%13.9)	39 (%18.1)
	Gece	319 (%59.6)	238 (%74.6)	53 (%16.6)	28 (%8.8)
Kaza mevsimi	İlkbahar	105 (%19.6)	72 (%68.6)	19 (%18.1)	14 (%13.3)
	Yaz	86 (%16.1)	58 (%67.4)	16 (%18.6)	12 (%14.0)
	Sonbahar	142 (%26.5)	98 (%69.0)	26 (%18.3)	18 (%12.7)
Kaza sektörü	Kış	202 (%37.8)	157 (%77.7)	22 (%10.9)	23 (%11.4)
	Kadıköy	357 (%66.7)	307 (%86.0)	29 (%8.1)	21 (%5.9)
	Kandilli	61 (%11.4)	29 (%47.5)	20 (%32.8)	12 (%19.7)
	Marmara	31 (%5.8)	16 (%51.6)	9 (%29.0)	6 (%19.4)
Kaza nedeni	Türkeli	86 (%16.1)	33 (%38.4)	25 (%29.1)	28 (%32.6)
	İnsan hatası	147 (%27.5)	118 (%80.3)	17 (%11.6)	12 (%8.2)
	Makine/ekipman arızası	52 (%9.7)	20 (%38.5)	18 (%34.6)	14 (%26.9)
	Çevresel faktörler	136 (%25.4)	100 (%73.5)	23 (%16.9)	13 (%9.6)
	Bilinmiyor	200 (%37.4)	147 (%73.5)	25 (%12.5)	28 (%14.0)



**Şekil 2.** İstanbul Boğazı'nda Meydana Gelen Kazaların Kaza Tipine Göre Dağılımı

**Figure 2.** Distribution of vessel accidents occurred in Istanbul Strait according to accident type

### **Karar Ağaçları ve Ki-kare Otomatik Etkileşim Dedektörü (CHAID) Algoritması**

Bu çalışmada, 2001-2016 yılları arasında İstanbul Boğazı Bölgesi'nde meydana gelen ticari yük gemisi kazaları Ki-kare Otomatik Etkileşim Dedektörü (CHAID) karar ağacı yöntemi ile IBM SPSS Modeler 18.0 kullanılarak analiz edilmiştir. Veri seti % 65'i eğitim ve % 35'i test amacıyla kullanılmak üzere ikiye bölünmüştür. Eğitim veri seti, model parametrelerini tahmin etmek ve modeli oluşturmak için kullanılırken, test veri seti modeli bağımsız verilere uygulanabilirliğini ve modelin genelleme yeteneğini test etmek için kullanılmaktadır. CHAID karar ağacı yöntemi kullanılarak ticari yük gemilerinde meydana gelen kazaların tipi (çatışma/çatma, karaya oturma ve diğer) ile gemi faktörleri (gemi tipi, gemi boyu, gemi büyüklüğü, gemi yaşı, gemi bayrağı, gemi yüklülük durumu), zaman faktörleri (kaza zamanı ve kaza mevsimi) ve diğer faktörler (kazanın meydana geldiği sektör, kaza nedeni ve gemide pilot durumu) arasındaki ilişki incelenmiştir.

Karar ağacı, hem sınıflandırıcıları hem de regresyon modellerini göstermek amacıyla kullanılabilen bir tahminleme yöntemidir (Rokach ve Maimon, 2008). Bu yöntemin temel amacı; büyük bir veri kümesinden anlamlı ve kullanılabilir bilgiler çıkarabilmektir (De Oña ve diğerleri, 2013). Karar ağacı, her iç düğümün (yapraksız düğüm) bir öznelik üzerinde bir testi temsil ettiği, her dalın testin bir sonucunu temsil ettiği ve her bir yaprak düğümünün (veya terminal düğümün-

nün) bir sınıf etiketi içerdiği akış şeması benzeri bir ağaç yapısıdır. Bir ağaçtaki en üstteki düğüm kök düğümdür (Han ve Pei, 2012). Karar ağaçları finans, pazarlama, mühendislik ve tıp gibi uygulamalı alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Rokach ve Maimon, 2008). Sınıflandırma ve büyük veri kümelerinden anlamlı kurallar çıkarmak amacıyla kullanılan C5.0, CART, CHAID, QUEST vb. birçok karar ağacı algoritması mevcuttur. CHAID bu algoritmalar içinde en yaygın kullanılanlardan biridir (Lin ve Fan, 2019).

Kass (1980) tarafından ortaya çıkarılan CHAID, karar ağacında ikiden çok bölünmeler oluşturulmasını sağlayan bir tür makine öğrenme algoritmasıdır. CHAID, bir veri kümesini girdi değişkenleri (bağımsız değişken) ile çıktı değişkenleri (bağımlı değişken) arasındaki ilişkiler temelinde alt gruplara ayırır (Prati ve diğerleri, 2017). Algoritma temel olarak diğer Karar Ağaçları algoritmaları ile benzer özelliklere sahiptir, ancak ki-kare bağımsızlık testi kullanılarak ağacı bölmelere ayırır (Mistikoglu ve diğerleri, 2015; Han ve Pei, 2012). Girdi değişkenlerinin her biri ile çıktı değişkeni arasındaki çapraz tablolar, ki-kare testi kullanılarak incelenir ve CHAID en önemli girdi değişkenini seçer. Bir girdi değişkeninin ikiden fazla kategorisi varsa, CHAID karşılaştırma kategorileri karşılaştırır ve sonuçta hiçbir farkı olmayanlar bir araya getirilir (Prati ve diğerleri, 2017). Nihai CHAID karar ağacı, girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasında anlamlı bir ilişki kalmayınca sonlandırılır.

CHAID, her bir düğümde ikiden fazla dalı olan ağaçları inşa edebilmesi açısından diğer sınıflandırma yöntemlerine göre

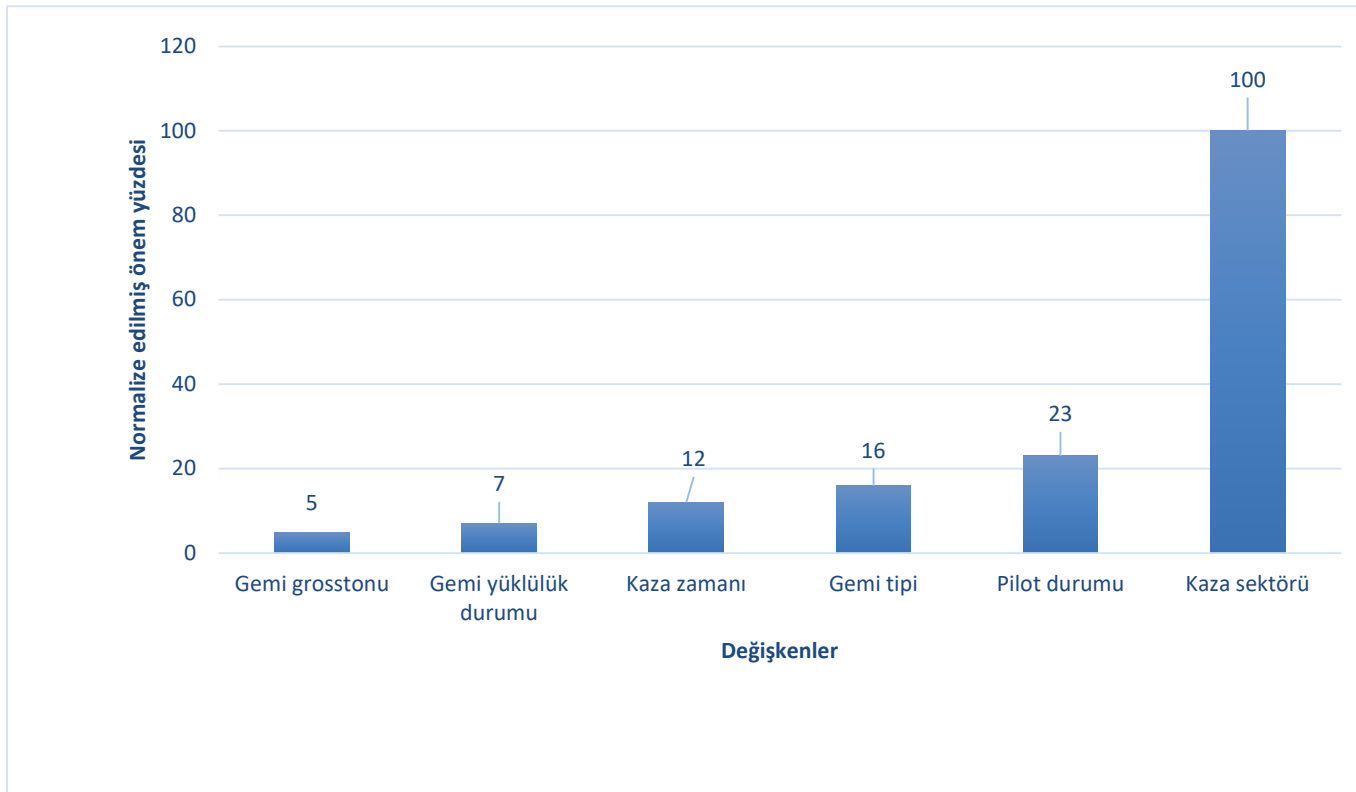
çeşitli avantajlar sağlar (Luna ve Méndez, 2006; SPSS, 1998). Diğer karar ağacı algoritmalarının aksine, bölünme sonucu ortaya çıkan dal sayısının ikiden fazla olması, ağaç yapısının daha kolay anlaşılır ve yorumlanabilir olmasına olanak verir (Virens, 2001). Bununla birlikte hem kategorik hem de sürekli değişkenlerle çalışabilmesi CHAID algoritmasına kullanımını açısından esneklik sağlamaktadır (Althuwaynee ve diğerleri, 2016). Ayrıca, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi incelemek için parametrik teste ihtiyaç duyulmaması ve verinin normal dağılımı şartının aranmaması CHAID algoritmasının diğer önemli avantajlarıdır (Díaz-Pérez ve Bethencourt-Cejas, 2016; Althuwaynee ve diğerleri, 2016).

## Bulgular ve Tartışma

Daha önce belirtildiği gibi, CHAID algoritması, karar ağacı oluşturmak için kullanılan bir sınıflandırma yöntemidir. Bir karar ağacı, girdi değişkenleri (gemi tipi, kaza zamanı, kaza sektörü, vb.) ve çıktı değişkeni (kaza tipi) arasındaki ilişkiler temelinde bir veri kümesini alt gruplara ayırır. Her ağaç düğümünde veriler, bir girdi değişkeninin değerleri ile iki veya daha fazla farklı gruba özyineli olarak bölünür ve sonuç ola-

rak bu bölünme işlemi karar ağacında başka bir anlamlı bölünme ortaya çıkmayacak duruma gelene kadar devam eder. Bu sayede CHAID, bir dizi eğer-ise -değilse kuralını (if – then – else rules) kullanarak ticari yük gemi kazalarının çatışma/çatma, karaya oturma ve diğer olarak sonuçlanma durumu hakkında oluşturduğu karar ağacı yapısı ile detaylı bilgiler sağlar.

Şekil 3’de girdi değişkenlerinin modeldeki göreceli önem derecesi diğer adıyla öngörü değeri normalize edilmiş haliyle verilmiştir. Her bir girdi değişkeninin önem derecesi, sonuç (bağımlı) değişkeninin varyansındaki azalmanın duyarlılık analizi yoluyla hesaplanması sonucu elde edilir. Kazanın meydana geldiği sektör (100), gemide pilot bulunma durumu (23), gemi tipi (16) ve kaza zamanı (12), kaza tipinin belirlenmesinde en önemli girdi değişkenleri olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, girdi değişkenlerinin önem değeri, tek başına yordama güçlerinin altındaki mantığı anlamak için yeterli değildir. Bu yüzden, CHAID’in tahminleri hakkında daha derin bir fikir edinmek için karar ağacı yapısının ve ortaya çıkarılan kuralların incelenmesi gerekir.



Şekil 3. Değişkenlerin Normalize Edilmiş Önem Yüzdesi

Figure 3. Normalized importance of input variables

Şekil 4’de ticari yük gemi kazalarının hangi tür kaza tipi ile sonuçlandığını belirten son ağaç yapısı görülmektedir. Karar ağacı yapısı kaza sektörü, pilot durumu, kaza zamanı, gemi tipi, gemi doluluk durumu ve gemi grostonu olmak üzere toplam altı bölünmeye neden olan değişken içermektedir. 0 düğümündeki ilk bölünme, ticari yük gemisi kazalarını üç gruba ayıran kaza sektörü ile meydana gelmiştir. Bu bölünmeye göre, kazanın meydana geldiği yer Kadıköy sektörü olduğunda kazalar %86 olasılıkla çatışma/çatma ile kazanın meydana geldiği yer Kandilli veya Marmara sektörleri olduğunda kazalar %48 olasılıkla çatışma/çatma ile ve kazanın meydana geldiği yer Türkeli sektörü olduğunda ise kazalar %36 olasılıkla çatışma/çatma ya da diğer kaza tipleri ile sonuçlanmıştır. Burada çatışma/çatma olasılığının Kadıköy sektöründe yüksek olması bir nebze buranın Boğaz bölgesindeki en yoğun deniz trafiğine sahip bölge olması ile izah edilebilir. Zira Kadıköy sektörü Boğaz’ın güney girişini temsil etmektedir ve bölgede yer alan Kartal ve Ahırkapı demir sahalarında demirleme yapan çok sayıda gemi bulunmaktadır (Özdemir, 2019).

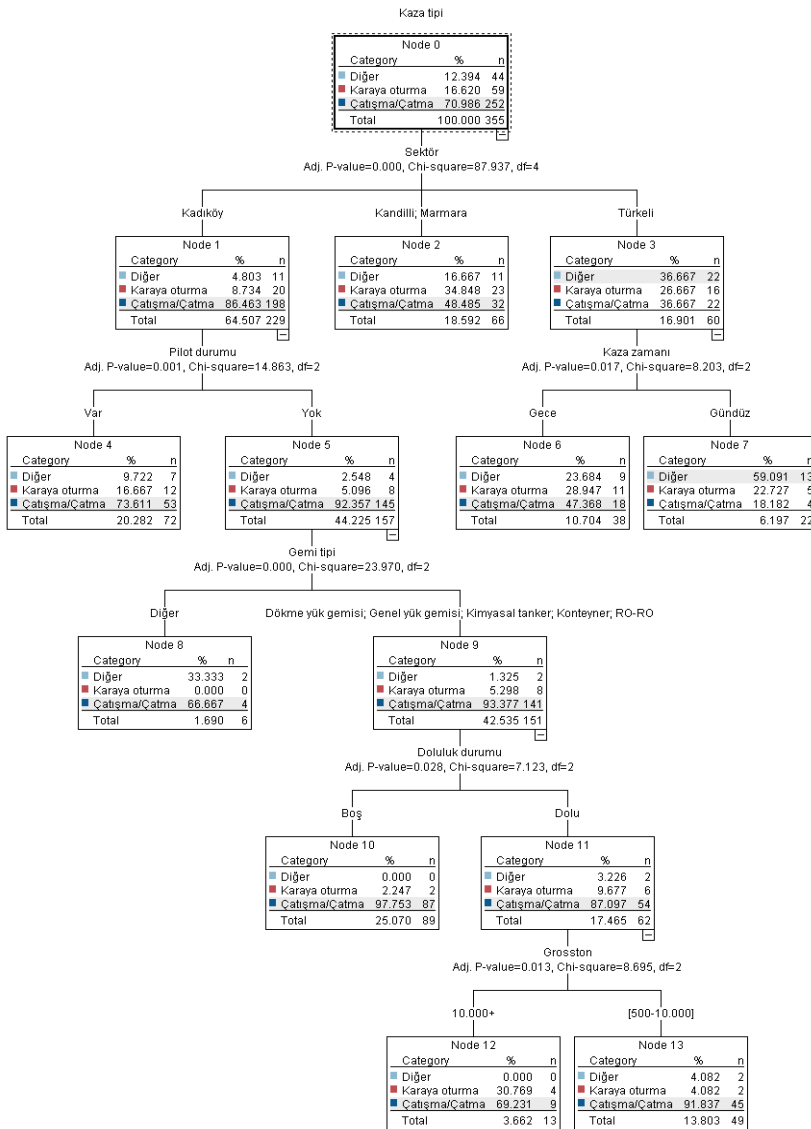
Karar ağacının ikinci seviyesinde, Kadıköy sektöründe meydana gelen ticari gemi kazaları, gemide pilot olma durumuna göre ikiye bölünmüştür. Eğer Kadıköy sektöründe kaza yapan gemilerde pilot mevcut ise çatışma/çatma kazası meydana gelme olasılığı %73 iken, gemide pilot olmaması durumunda ise çatışma/çatma kazası olasılığı %92’ye yükselmiştir. Boğaz geçişlerinde kılavuz kaptan istihdam etmeyen gemilerin kazalara karışma oranının artması Ece (2016) çalışmasında da teyit edilmiştir. Zira gemi kazaları çok yüksek bir oranda insan hatasından kaynaklanmaktadır ve Boğaz’ı iyi bilen, yüksek tecrübe, eğitim seviyesi ve uzmanlığa sahip kılavuz kaptanların alınması personel hatalarından kaynaklanan kazaları minimize etmektedir. Ağacın üçüncü seviyesinde, Kadıköy sektöründe gemiye pilot almadan seyir yapan ticari gemilerin yapmış olduğu kazalar gemi tipine göre diğer gemiler ve genel yük; dökme kuru yük; kimyasal tanker; petrol tankeri; Ro-Ro; konteyner gemileri olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Diğer gemilerin yaptığı altı kazadan dördü çatışma/çatma diğer ikisi ise diğer kaza tipleri ile sonuçlanmıştır. Dökme kuru yük; kimyasal tanker; petrol tankeri; Ro-Ro veya konteyner gemilerinin yaptığı kazaların ise %93 olasılıkla çatışma/çatma olduğu tahmin edilmiştir. Ağacın dördüncü seviyesinde, diğer gemi tipleri sınıfı haricindeki gemilerin yapmış olduğu kazalar geminin doluluk/yüklülük durumuna göre boş gemi ve dolu gemi olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Dolu gemiler için %87 olan çatışma/çatma kazası olasılığının, boş gemiler için %97’ye çıktığı görülmüştür. Kargo taşımayan gemilerin yüklü gemilere kıyasen daha fazla çatışma/çatmaya müdahil olması rüzgar etkisine daha açık olması, pervanesinin daha az batık olması, fribordunun

(geminin su üzerinde kalan kısmı) çok olması, dümen dinlemesinin iyi olmaması, boğazdaki akıntıdan daha fazla etkilene ve geminin yapısal durumlarının (makine, boy, dizayn, tip vs.) balastlı gemide aleyhe işlemesi gibi unsurlarla izah edilebilir. Ayrıca dolu gemilerin yapmış olduğu 62 kazadan 6’sı karaya oturma iken, boş gemiler için 89 kazadan sadece 2’sinin karaya oturma olduğu tespit edilmiştir. Son olarak ağacın beşinci seviyesinde, yüklü gemilerin yapmış olduğu kazalar, gemi grostonuna göre 10.000 groston üstü gemiler ve [500-10.000] groston arasındaki gemiler olmak üzere iki terminal düğüme ayrılmıştır. 10.000 groston üstü gemilerin geçirmiş olduğu 13 kazanın 9’u çatışma/çatma, 4’ü ise karaya oturma kazası olarak bulunmuştur. Yüksek kapasiteli gemilerde çatışma/çatma oranının yüksek olması bu gemilerin dönüş çapının artması ile ilintilendirilebilir. Diğer tarafta ise [500-10.000] groston arasındaki gemilerin yapmış olduğu kazaların yaklaşık %92’sinin çatışma/çatma ile sonuçlandığı görülmüştür. Bu bağlamda belirtilebilecek önemli bir husus şudur ki düşük tonajlı gemi zabıtlarının ehliyetinin yakın yol ehliyeti olma oranı yüksektir ve burada personel kalifikasyonunun yetersiz olmasının negatif bir rol oynadığı düşünülmektedir.

CHAID Karar Ağacı yapısının ikinci seviyesinde Türkeli sektöründe meydana gelen kazalar, kaza zamanı değişkenine göre gece ve gündüz olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Bu bölünmeye göre, Türkeli sektöründe gece meydana gelen kazalar %47 olasılıkla çatışma/çatma, %29 olasılıkla karaya oturma ve %23 olasılıkla diğer kaza tipi olduğu görülmüştür. Aynı sektörde gündüz meydana gelen kazaların %59’u diğer, %22’si karaya oturma ve %18’inin çatışma/çatma olduğu tespit edilmiştir. Türkeli sektöründe çatışma/çatma tipi ticari gemi kazalarının geceleri meydana gelme olasılığının gündüz vakitlerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum vardiya tutan personelde durumsal farkındalık eksikliği yani algıların azalması ile izah edilebilir. Zira personelin yorgunluğu ile beraber Boğaz manzarası ve insan popülasyonu bu bağlamda vardiya zabıtının dikkatini dağıtıcı bir unsur olarak negatif katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak köprü üstünde görevli olmayan gemi personelinin fotoğraf veya telefon görüşmeleri yapmak için köprü üstü civarında bulunarak dikkat dağıtıcı hareketlerde bulunmaları da bu minvalde belirtilebilir. Ayrıca Boğaz trafiğine dâhil olan balıkçı gemisi, yat veya tur motoru kaptanlarının ticari gemilerin geçiş üstünlüğüne engel olacak şekilde manevra yapmaları veya çatışmayı önleme kurallarına aykırı manevraları ile beraber eksik iletişim de bu durumu bir nebze izah etmektedir. Bu bağlamda son husus olarak gece özellikle Boğaz kıyısındaki sahil ışıklarının vardiya zabiti/kaptanın görüşünü olumsuz etkilediği belirtilebilir.

Bu çalışmada dikkate alınan değişkenler yukarıda belirtilenler ile sınırlıdır. Öte yandan belirtilmelidir ki karar ağacında değişkene ait yeterli bölünme sağlanabilmesi için her bir değişkene ait olan değer sayısının yeterli frekansa sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada, Kadıköy sektöründe meydana gelen kaza sayısı 357 iken, Kandilli/Marmara sektöründe toplam kaza sayısı 92 ve Türkeli sektöründeki mevcut kaza sayısının 86 olması ağaç yapısının bu şekilde oluşmasına neden olmuştur. Ayrıca karar ağacında meydana gelen bölünmeler sonucu elde edilen kurallardaki vaka sayısının az olması, bu kuralın genel kabul edilebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden, CHAID karar ağacı uygulaması öncesinde her bir

sonuç düğümündeki frekans sayısının asgari 5 olarak belirlenmesi Kandilli/Marmara ve Türkeli sektöründe daha fazla dal oluşmasına engel teşkil etmiştir. Buna istinaden, çalışmada daha ziyade Kadıköy sektörü üzerine yoğunlaşmıştır. Bir sonraki çalışmada Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün deniz kazalarının şiddeti-seviyesi hususunda yaptığı çok ciddi deniz kazası, ciddi deniz kazası ve deniz olayı gibi bir sınıflandırmayı temel alarak ve kazaya sebebiyet veren unsurların da AAKKM'den kaza bazlı derlenip hesaba katılması ile bu çalışmanın daha bütüncül bir analiz yapmaya daha elverişli hale geleceği düşünülmektedir.



Şekil 4. CHAID Karar Ağacı Yapısı

Figure 4. CHAID decision tree structure



## Sonuç

İstanbul Boğaz'ı uluslararası taşımacılık bağlamında stratejik öneme sahip alternatifsiz bir su yoludur. Özellikle Karadeniz bölge ülkelerinin deniz yolu çıkışı kapısıdır ve bu boğazda meydana gelebilecek kazalar Boğaz gemi trafiğini ciddi maddede sekteye uğratabilir. Bu nihayetinde bölge ülkelerinin ekonomilerine ciddi bir zarar verebilme potansiyeli ihtiva etmekle beraber can kayıplarına ve çevre felaketlerine de yol açabilir. Bu bağlamda, kazaların önlenmesi hususunda politika yapımcıların alacağı önlemlerin daha efektif olabilmesi için kazaların etkili ve kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda icra edilen çalışmada AAKKM'den elde edilen verilerle dört sektörden teşekkül olan İstanbul Boğaz Bölgesi'nde 2001-2016 yılları arasında 500 groston üzeri ticari yük gemilerinin karıştığı 535 adet gemi kazası (CHAID) karar ağacı yöntemi ile incelenmiştir. CHAID Karar Ağacı vesilesi ile ticari yük gemileri için çıktı değişkeni olan kaza tipi ile gemi tipi, kaza zamanı, kaza sektörü vs. gibi girdi değişkenleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve en önemli girdi değişkenleri olarak kazanın olduğu sektör, gemiye pilot alınması durumu, gemi tipi ve kaza zamanı tespit edilmiştir. Bunu takiben görülmektedir ki en yüksek çatışma/çatma olasılığı Kadıköy sektöründe iken bu olasılık Kandilli/Marmara sektörlerinde düşüş göstermekte ve Türkeli sektöründe en düşük orana sahip olmaktadır. Kadıköy sektöründe pilot istihdam etmeden ve yüklü olarak seyir yapan ticari gemilerden genel yük, dökme kuru yük, kimyasal tanker, petrol tankeri, Ro-Ro ve konteyner gemilerinde çatışma/çatma kazası olasılığı %87 iken bu oran boş gemiler için % 97'ye çıkmaktadır. Ayrıca, Türkeli sektöründe gece oluşan kazalarda çatışma/çatma olasılığı gündüz meydana gelen kazalara kıyasen daha yüksek olduğu görülmekte iken karaya oturma olasılığı çok düşük bir oranla gece daha yüksek çıkmaktadır. Diğer taraftan gemiye pilot almadan Boğaz geçişi yapan ticari yük gemilerinin pilot alarak seyir yapan gemilere kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla kazaya karışmış olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, Boğaz'daki seyir emniyetinin iyileştirilmesi ve kaza riskinin azaltılması amacıyla binaen İdare'nin gemilerin pilot almasını teşvik edici bir rol oynaması gerekmektedir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçların boğaz geçişini sık kullanan armatörlerin yanında tekne & makine ve emtea sigortacıları ile donatanın üçüncü partilere karşı mesuliyetini teminat altına alan Koruma ve Tazminat (P&I Club) Kulüplerinin risk değerlendirmesinde ve adil bir prim seviyesinin tespitinde dikkate alınması öngörülmektedir. Bir sonraki çalışmada kazaya sebebiyet veren unsurlar olarak insan hatası, arızalar ve kazanın meydana geldiği andaki hava durumu gibi verilerin ve kazanın şiddeti bağlamında IMO sı-

nıflandırmasına dayalı verilerin de çalışmada dikkate alınması daha bütüncül bir değerlendirme yapmak için önem arz etmektedir.

## Etik Standart ile Uyumluluk

**Çıkar çatışması:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

**Etik kurul izni:** Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

**Finansal destek:** -

**Teşekkür:** -

## Kaynaklar

**Akten, N. (2003).** The Strait of Istanbul (Bosphorus): The seaway separating the continents with its dense shipping traffic. *Turkish J. Marine Sciences*, 9(3), 241-265.

**Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Lee, S. (2016).** A novel integrated model for assessing landslide susceptibility mapping using CHAID and AHP pair-wise comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 37(5), 1190-1209. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1148282>

**Bayar, N., Özüm, S., Yılmaz, H. (2008).** Analysis of Accidents in Istanbul Strait. <http://web.deu.edu.tr/maritime/imla2008/Papers/43.pdf>  
Erişim Tarihi: 15.04.2020

**De Oña, J., López, G., Abellán, J. (2013).** Extracting decision rules from police accident reports through decision trees. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1151-1160. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.09.006>

**Deniz Ticareti İstatistikleri (2018)** Filo, Denizyolu Taşıma, Teşvik, Gemi Sanayi, Gemi Denetim, Türk Boğazları Geçiş İstatistikleri. <https://denizcilik.uab.gov.tr/uploads/pages/yayinlar/deniz-ticaret-2018-istatistikleri.pdf>  
Erişim Tarihi: 15.03.2020

**Díaz-Pérez, F.M., Bethencourt-Cejas, M. (2016).** CHAID algorithm as an appropriate analytical method for tourism market segmentation. *Journal of Destination Marketing & Management*, 5(3), 275-282. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2016.01.006>

**Ece, N.J. (2011).** İstanbul Boğazı'nda Meydana Gelen Deniz Kazalarının İncelenmesi ve Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 3(2), 37-59.

**Ece, N.J. (2016).** Kılavuzluk Hizmetlerinin Deniz Emniyetine Katkısı: İstanbul Boğazı'nda Kazaya Karışan Gemiler İle Kılavuz Kaptan Almaları Arasındaki İlişkinin Analizi. *Journal of ETA Maritime Science*, 4(1), 3-21.

**Erol, S., Başar, E. (2015).** The analysis of ship accident occurred in Turkish search and rescue area by using decision tree. *Maritime Policy & Management*, 42(4), 377-388. <https://doi.org/10.1080/03088839.2013.870357>

**Erol, S., Demir, M., Çetişli, B., Eyüboğlu, E. (2018).** Analysis of ship accidents in the Istanbul Strait using neuro-fuzzy and genetically optimised fuzzy classifiers. *The Journal of Navigation*, 71(2), 419-436. <https://doi.org/10.1017/S0373463317000601>

**Galguera, L., Luna, D., Méndez, M.P. (2006).** Predictive segmentation in action-Using CHAID to segment loyalty card holders. *International Journal of Market Research*, 48(4), 459-479. <https://doi.org/10.1177/147078530604800407>

**Han, J., Kamber, M., Pei, J. (2012).** Data mining: concepts and techniques. Waltham, MA., Morgan Kaufman Publishers.

**İstikbal, C. (2020).** Strait of Istanbul, major accidents and abolishment of left-hand side navigation. *Aquatic Research*, 3(1), 40-65. <https://doi.org/10.3153/AR20005>

**Kass, G.V. (1980).** An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 29(2), 119-127. <https://doi.org/10.2307/2986296>

**KEGM. (2020).** Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri Kullanıcı Rehberi, <https://kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Document/Documents/pH/EG/cT/iV/T%C3%9CRK%20BO%C4%9EAZLARIP%20GEM%C4%B0%20TRAF%C4%B0K%20H%C4%B0ZMETLER%C4%B0%20KULLANICI%20REHBER%C4%B0.pdf>. Erişim Tarihi: 10.05.2020

**Kiel Canal. (2018).** The Kiel Canal A major waterway of international importance, [https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/NOK\\_englisch.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/NOK_englisch.pdf?__blob=publicationFile&v=4)  
Erişim Tarihi: 22.06.2020

**Lin, C.L., Fan, C.L. (2019).** Evaluation of CART, CHAID, and QUEST algorithms: a case study of construction defects in Taiwan. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18(6), 539-553. <https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1696203>

**Mistikoglu, G., Gerek, I.H., Erdis, E., Usmen, P.M., Cakan, H., Kazan, E.E. (2015).** Decision tree analysis of construction fall accidents involving roofers. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2256-2263. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.009>

**Otay, N.E., Özkan, Ş. (2005).** "Risk Map for the Strait of Istanbul," Proc. of the 5<sup>th</sup> Natl Conf on Coastal Engineering, May 2005, p19-32.

**Özdemir, M. (2019).** Türk Boğazları'nda Meydana Gelen Gemi Kazalarının Konumsal Analizi ve Değerlendirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

**Panama Canal (2019).** Panama Canal Traffic Fiscal Years 2017 Through 2019, <https://www.panama.com/eng/op/transit-stats/2019/Table-01-Rev.pdf>  
Erişim Tarihi: 22.06.2020

**Prati, G., Pietrantoni, L., Fraboni, F. (2017).** Using data mining techniques to predict the severity of bicycle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 101, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.01.008>

**Rokach, L., & Maimon, O. Z. (2008).** *Data mining with decision trees: theory and applications* (Vol. 69). World scientific. <https://doi.org/10.1142/6604>

**Sezgin, F., Kadioğlu, M. (2000).** İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Kazalarının İstatistiksel Analizi, Marmara Denizi 2000 Sempozyumu (Öztürk, B., Kadioğlu, M. ve Öztürk, H. Ed.) TÜDAV 11-12 Kasım 2000, Ataköy Marina/ İstanbul, s. 149-160.

**SPSS. (1998).** *Answer Tree 2.0: User's Guide*. Chicago, IL: SPSS.

**Suez Canal (2019).** Navigation Statistics, <https://www.suezcanal.gov.eg/English/Navigation/Pages/NavigationStatistics.aspx>  
Erişim Tarihi: 22.06.2020

**Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (2019).** Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistikleri, [https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi\\_gecis.aspx](https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx)

Erişim Tarihi: 10.03.2020

**Virens, M. (2001).** Market segmentation. Analytical deve-

lopments and application guidelines. Millward Brown IntelliQuest.

**Yılmaz, F., İlhan, M. (2018).** Türk Bayraklı Gemilerin Karıştığı Deniz Kazaları ve Denizcilere Etkilerine İlişkin Bir Analiz. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (211), 80-95.