

Yayın Geliş Tarihi: 11.03.2019
Yayına Kabul Tarihi: 17.03.2020
Online Yayın Tarihi: 02.06.2020
DOI: 10.18613/deudfd.740159
Araştırma Makalesi

Dokuz Eylül Üniversitesi
Denizcilik Fakültesi Dergisi
Özel Sayı Sayfa:69-90
ISSN:1309-4246
E-ISSN: 2458-9942

DENİZ KAZALARININ ÇÖZÜMLENMESİNE GÜNCEL BİR BAKIŞ: FRAM YÖNTEMİ İLE ANALİZ ÖRNEĞİ

Elif BAL BEŞİKÇİ¹
Aydın ŞİHMANTEPE²

ÖZ

Dünyada taşımacılık etkinliklerinin yaklaşık yüzde sekseninin deniz yoluyla yapıyor olması doğal olarak deniz trafiğinde atışa neden olmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO-International Maritime Organization) seyir emniyeti, insan hayatı ve çevrenin korunmasına yönelik koyduğu kurallar, uluslararası sözleşmeler ve protokoller ve tavsiye kararlarının varlığına rağmen deniz kazaları olmaya devam etmektedir. Denizciliğe bir bütün olarak bakıldığında; kaza riskini en aza indirebilmek, seyir emniyeti ve güvenliğini sağlamak, insan yaşamı ve çevrenin korunmasını garanti altına almak için yürürlükteki kural ve yönergelere uymak kadar, geçmişte yaşanan kaza ve olumsuzluklardan ders çıkarmak gerekliliğinin önemli olduğu görülmektedir. Bu çalışma deniz kazalarının analizine yeni bir soluk getirmek amacıyla, Functional Resonance Analysis Model-İşlevsel Birleştirme Analiz Modeli (FRAM) yöntemiyle geçmişte yaşanmış bir deniz kazasını analiz etmektedir. Normal işleyişlerin (variables) beklenmedik birleşimlerinin/kombinasyonlarının (resonance) kazaya neden olabileceği varsayımını esas alan FRAM yöntemi ile yapılan bu çözümler, gemi kaza riskini azaltmada rehber niteliğinde olacaktır. Yapılan analiz kazanın oluşmasında etken olan değişkenliklerin bağılıklarının lineer olmadığını, seyir yardımcı cihazlarının kaza riskini ortadan kaldıramadığını, kazanın tek bir nedene değil birçok nedenin bileşkesinden ortaya çıktığını ve kazanın önlenmesinde durumsal farkındalığın önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: *Deniz Kazaları, Kaza Önleme, Risk Analizi, FRAM Yöntemi*

¹ Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Müh. Bölümü, İstanbul, bale@itu.edu.tr

² Dr. Öğretim Üyesi, Piri Reis Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Müh. Bölümü, İstanbul, asihmantepe@pirireis.edu.tr

A CONTEMPORARY PERSPECTIVE ON THE ANALYSIS OF MARITIME ACCIDENTS: AN ANALYSIS EXAMPLE WITH FRAM METHOD

ABSTRACT

Nearly eighty percent of global transportation activities are performed seaborne and this naturally causes an increase in maritime traffic. In spite of the existence of the regulations and recommendations on navigation safety, safety of life and environmental protection laid down by International Maritime Organization (IMO) and presence of international conventions and protocols, maritime accidents still continue to happen. Considering the whole maritime world, in order to minimise risk of accident and to ensure navigation safety and security, learning lessons from the past accidents is as important as abiding by the rules and regulations in force. This study, with an effort to bring novelty to analysis of maritime accidents, utilizes Functional Resonance Analysis Model (FRAM) method to analyse a past maritime accident. FRAM method assumes that accidents result from unexpected combinations (resonance) of normal performance variability. Accident analyses performed by FRAM method will serve as useful guidelines to minimise risk of maritime accidents. Analysis has shown that variables causing the accident do not have a linear relation. Having all necessary navigational aids on the bridge does not necessarily eliminate the risk of accident. One other important finding is that a single substantial reason did not cause the accident; on the contrary, it was caused by combination of reasons. The study also makes a reference to situational awareness as it plays a great role in preventing the accidents.

Keywords: *Maritime Accident, Accident Prevention, Risk Analysis, FRAM Method*

1. GİRİŞ

Deniz yolu ile taşıma sunduğu avantajlar ile günümüz dünyasında en üst sıradaki yerini korurken, kendisine özgü riskleri de beraberinde getirmektedir (Balisampang vd. 2018: 350). Bu riskler gerçekleştiğinde, yaşanan kaza/olay, ekonomik kayıplara, insanların yaşamını yitirmesine yol açmanın yanı sıra çevrenin kirlenmesine de neden olmaktadır (Zhang ve Thai, 2016: 54). Olayın niteliğine göre bu zararlardan biri, ikisi ya da hepsi birden yaşanabilmektedir. IMO'nun öncülüğünde, konulan kurallar, yapılan uluslararası sözleşmeler ve bunlara ilave olarak ulusal/yerel düzenlemeler bu tür kazaların yaşanmaması için gerekli olan rehberlik, sınırlama ve serbestlikleri ortaya koymaktadır (Hetherington vd. 2006: 401; O'Neil, 2003: 95). Ancak yapılan yasal düzenlemeler ve teknolojik olanaklara rağmen deniz kazaları olmaya devam etmektedir (Baltic Sea

Maritime Incidence Response Group (MIRG), 2017: 20; Celik vd. 2010: 18; Darbra ve Casal, 2004: 86; Eleftheria vd. 2016: 282; Roberts vd. 2012: 703). Uluslararası Emniyet Yönetim Sistemi, denizde yapılacak her türlü operasyona birim bazında standartlar getirerek olası kaza risklerini azaltmayı hedeflerken, çözüme yönelik ana unsurlardan biri insan faktörü olarak kalmaya devam etmektedir (Pennie vd. 2007: 3; Ugurlu vd. 2015: 758). Kuşkusuz denizcilikle ilgili işleyişlerde kaza riskini oluşturan temel etken sadece insan faktörü değildir. Denizcilik doğası gereği birçok farklı bileşeni bir araya getirdiğinden, yapılacak bir çözümleme ya da değerlendirmede, mümkün olan tüm faktörler dikkate alınmalıdır. Kazaların önlenmesinde öncelikle kazalara neden olan etkenlerin doğru tanımlanması ve anlaşılması gerekir (Hollnagel, 2004: 1). Deniz taşımacılığında nihai kararı veren birim insandır ancak iyi bir analiz için karara etken olan diğer girdiler de - hava ve deniz durumu, deniz trafiği, coğrafik yapı, teknik altyapı ve teknik aksaklıklar, taşınan yükün getirdiği sınırlandırmalar - dikkate alınmalıdır (Senol ve Sahin, 2016: 70-71). Bu nedenle denizcilikte geçmişte yaşanan kazalardan ya da son anda önlenebilen yakın kazaları çok yönlü inceleyerek onlardan ders çıkarmak, geleceğe yönelik alınacak tedbir ve konulacak kuralların doğru şekillendirilmesi açısından çok önemlidir. Bu sayede insan, teknik teçhizat ve çevreye ilişkin tüm girdiler eksiksiz ele alınmış ve birbirleriyle etkileri doğru değerlendirilmiş olabilecektir. Böylelikle elde edilen sonuçlara paralel olarak muhtemel riskler doğru tespit edilebilecek ve önleyici tedbirlerin zamanlı olarak alınmasına rehberlik edilebilecektir. Sonuçta, gelecekte benzer nedenlerle benzer kazaların tekrarlamasının önlenmesine, insan yaşamının ve çevrenin korunmasına katkı sağlanabilecektir.

Deniz taşımacılığında meydana gelen kazaların risk analizi için kullanılan farklı yöntemler mevcuttur (Kuzu vd. 2019: 128). IMO tarafından bir önlem teşkil etmesi amacı ile risk değerlendirmesi ve kontrolü için The Formal Safety Assessment (FSA) yöntemi önerilmiştir (IMO, 2013). FSA risk değerlendirmesi gerçekleştirmek için nicel (quantitative) ve nitel (qualitative) veya her ikisinin kombinasyonunun kullanılmasına olanak sağlayan her türlü verinin kullanımına izin vermektedir. Her ne kadar FSA kullanımı yaygın olsa da (Kontovas ve Psaraftis, 2009; Psarros vd. 2010), literatürdeki bazı çalışmalar FSA'nın riskin genel bir çerçevesini sunmadığı (Montewka vd. 2014: 77), riski kesin olarak ölçemediği (Merrick ve Van Dorp, 2006: 223), ve güvenilirlik ve geçerliliğinin olmadığı (Goerlandt ve Kujala, 2011: 92) yönünde dezavantajlarının olduğunu vurgulamaktadır. Bu tür eksikliklerin üstesinden gelmek için, hata-olay ağacı analizi (Antão ve Guedes Soares, 2006; Ronza vd. 2003) ve bayes ağları modeli (Antão vd. 2008; Li vd.

2014; Trucco vd. 2008; Yang vd. 2008; Zhang vd. 2013) gibi çeşitli yeni fikirler ve yöntemler önerilmiştir.

FRAM, klasik analizlerde yapıldığı gibi doğrudan kaza nedenini araştırmak yerine, sistemin nasıl işlediğini anlamaya çalışır ve normal işleyişi bozacak etkenler olduğunda kazanın önlenmesi için esnekliğin nasıl sağlanacağını tespit edecek sonuçlara ulaşmaya çalışır. Çoğunlukla havacılık sektöründe kullanılmış olan FRAM yöntemi (Carvalho, 2011; Hollnagel vd. 2008; Sawaragi vd. 2006; Woltjer, 2008; Woltjer ve Hollnagel, 2007) günümüzde artık diğer sektörlerde de kullanılır duruma gelmektedir (Belmonte vd. 2011; Patriarca vd. 2017). Elde edilen sonuçlar, FRAM yönteminin sistem işlevlerinin teknoloji, insan ve organizasyon bağlamında birbirleriyle etkileşimlerini anlamaya yardımcı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle bu yöntem, başka şekilde fark edilemeyecek risklerin tanımlanabilmesine yardımcı olmaktadır (Praetorius vd. 2015: 12).

Bu çalışmada izlenen FRAM analiz yöntemi, mantığı gereği (mümkün olduğunca) olaya ilişkin tüm değişkenleri içerecek şekilde kullanılmakta ve aslında birbirinden bağımsız gibi görünen bu değişkenlerin arasındaki ilişkiyi göstermeye çalışmaktadır. Türkçeye İşlevsel Birleştirme Analiz Modeli olarak çevrilebilecek olan FRAM yöntemi denizcilik sektöründe de son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (Lee ve Chung, 2018; Smith vd. 2018). Çalışma kapsamında bir kaza örneği seçilmiş ve elde olan tüm veriler uygulanan modele giriş değişkeni olarak atanmıştır. Niteliksel bir analiz yöntemi olan FRAM üzerinden kazalara yol açan ve birbirinden bağımsız gibi görünen temel unsurlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Takip eden bölümlerde FRAM yönteminin işleyiş mantığından söz edilecek, seçilen kazaya ilişkin özet bilgi sunulacak ve uygulamaya ilişkin model sunulacaktır.

Deniz kazalarının incelemesine farklı bir bakış getiren bu yöntem, kazayı oluşturan ve birbirinden bağımsız gibi görünen elementlerin daha iyi anlaşılmasına ve gelecekte yaşanabilecek olası kazalara önlem alınabilecek bulguları tespit etmeye katkı sağlayabilecektir.

2. FRAM YÖNTEMİ VE YAKLAŞIMI

FRAM, karmaşık sistemleri kaza analizi maksadıyla modellemekte kullanılan sistematik bir çerçeveyi tanımlamaktadır (Carvalho, 2011: 1482). FRAM tekniğini benzer diğer yeni tekniklerde olduğu gibi, klasik kaza analizlerinden ayıran temel nokta; analiz sonrası elde edilen

bulguların, ilgili sistemi daha esnek³ (resilient) kılmak üzere yeniden tasarlamaya katkıda bulunmayı hedefliyor olmasıdır. Diğer bir ifadeyle, yapılan analiz sonrasında, çözümlenmeye tabi tutulan sistemin değişkenliğini azaltmak, emniyetini artırmak ve beklenmedik olaylara karşı esnekliğini artıracak tavsiyeler üretilebilmektedir.

Kullanılmakta olan birçok kaza inceleme yöntemi, incelenmekte olan sistemin anlamlı elemanlara (bileşen ve olay) ayrıştırılabileceğini temel varsayım olarak kullanır. Bu yaklaşımlarda, incelenen her eleman iki sonuçludur (doğru/yanlış ve çalışma/bozulma), her elemanın hata yapma olasılığı bireysel olarak analiz edilebilir veya açıklanabilir, olay akışı önceden belirlenmiştir ya da değişmezdir. Bu elemanların bir kombinasyonu oluştuğunda, bu durum ise lineer (sonuç çıkarılabilir ve karşılıklı etkileşmeyen) olarak tanımlanır, içerik/koşulların etkisi sınırlıdır ve sayısal olarak ifade edilebilir (Carvalho, 2011: 1484). FRAM ise normal işleyişlerin (variables) beklenmedik birleşimlerinin/ kombinasyonlarının (resonance) kazaya neden olabileceği varsayımını esas alır. Bu nedenle de Türkçe'deki karşılığını İşlevsel Birleştirme Analiz Modeli olarak çevirmek yerinde olacaktır. Bu bakışa göre kazalar sistemin işlevlerinin izlenmesi ve sistemin bileşenleri arasındaki değişkenliğin (etkileşimin) azaltılması yoluyla önlenebilir, emniyet ise gelecekteki muhtemel olayların sürekli öngörülmesi yeteneğine sahip olmayı gerektirir. Yani, zarar verici riskler sosyo-teknik ortamın normal etkileşimlerinin kombinasyonundan doğar (Tian vd. 2016: 41). FRAM bu nedenle, geleceğin, günümüzdeki karakteristik değişkenlikleri dikkate alarak anlaşılabilirliğini esas alır.

FRAM, karmaşık sistemleri nasıl yapılandıklarından çok yaptıkları işlevler üzerinden tanımlar. Bu bakışla FRAM, lineer olmayan bağımlılıkları ve sistem işlevlerinin değişkenliklerinin performansını modelleyerek sistem işlevlerinin dinamiklerini ve bunların arasındaki etkileşimi ele alır. FRAM dört prensibi esas alır (Hollnagel, 2012: 22):

1. Başarı ve başarısızlığın denkliliği prensibi esnek mühendislik görüşüne dayanır. Buna göre başarısızlıklar, sistemin normal işlevlerinin başarısızlığı olarak değil, gerçek dünyanın karmaşıklığına adapte olmak için gerekenlerin ters yüzünü temsil eder. Başarı, organizasyonların, grupların ve bireylerin riskleri ve

³ Burada esnek, İngilizce resilient kelimesinin karşılığı olarak kullanılmıştır. Bu terim Resilience Engineering terminolojisinde önemli bir yer tutar. Esneklik Mühendisliği olarak çevrilebilecek olan bu kavram, bir sistemde oluşabilecek bir değişiklik ya da düzensizliğin öncesinde, süresince ve sonrasında, beklenen ya da beklenmeyen koşullarda, sistemin istenen faaliyetlerini kesintisiz sürdürebilmesini sağlayan yapısal yeteneği olarak tanımlanabilir. FRAM ile yapılan çözümlenmeler de ortaya çıkardığı sonuçların bu hedefe yönlenecek nitelikte olmasını amaçlamaktadır ve esneklik kavramı FRAM yönteminde önemli bir yer oluşturur. Resilience Engineering hakkında detaylı bilgi için bakınız: (Hollnagel, 2006). Ayrıca bakınız: (Patriarca vd. 2018: 79).

kritik durumları öngörme, zamanında tanımlama ve gerekli tedbiri alma yeteneklerine bağlıdır. Başarısızlık ise bir sistem bileşeninin (insan ya da teknik) normal işlevini yapamamasına değil, bu yeteneğin geçici ya da kalıcı olarak yokluğuna bağlıdır.

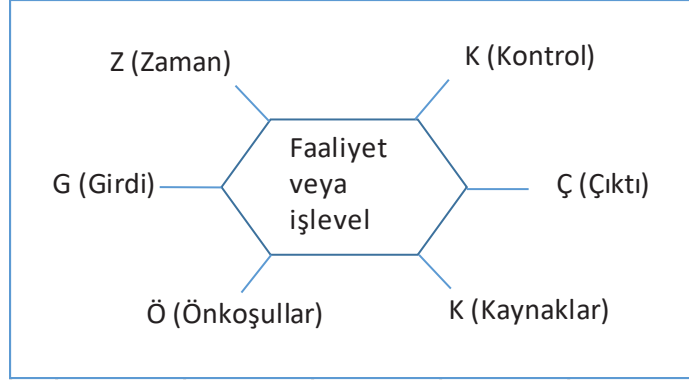
2. Tahmini ayarlama prensibine göre sistemler o denli karmaşıktır ki çalışma durumları her zaman yeterince belirlenemez, bu yüzden de önceden kestirilemezler. İşleyişler ve araçlar çoklu ve muhtemelen çatışan hedeflere ulaşmaya uyum sağlayamazsa, sadece birkaç görev - o da mümkün olursa- başarılı olarak tamamlanabilir. Bu da performans değişkenliğinin hem normal hem de gerekli olduğu anlamına gelir.

3. Oluşma/meydana gelme prensibi, normal performans değişkenliğinin nadiren kazanın, hatta bir arızanın tek nedeni olabilecek kadar büyük olduğunu söyler. Buna karşın birden fazla işlevin değişkenliği, beklenmedik şekilde birleşerek oransız büyüklükte bir sonuç üretebilir ve böylelikle lineer olmayan bir etki doğurabilir. Hem başarısızlıklar hem de normal performans, sonuç olmaktan ziyade, oluşan/meydana gelen olaylardır. Çünkü her ikisi de (başarısızlık ve normal performans) sadece belirli bir bileşenin ya da parçanın işleyişi veya işlemeyişi ile izah edilemez.

4. İşlevsel birleşme (resonance) prensibi, birden fazla işlevin değişkenliğinin birbiriyle birleşerek, fonksiyonlardan birinin normal sınırlarını aşmasına neden olabileceğini söyler. Böyle sonuçlar, tanımlanabilir ve sayılabilir neden-sonuç ilişkisinden ziyade, birbiriyle sıkıca birleşmiş sonuçlar olarak sisteme yayılabilir. Bu, normal işlevlerin değişkenliklerinin birleşimi (resonance), yani işlevsel birleşim olarak tanımlanabilir. Birleşim (resonance) benzetimi, bunun dinamik bir fenomen olduğunu, tesadüfi/sıradan bağlantıların basit bir kombinasyonu olmadığını vurgulamak için kullanılmaktadır. Eğer bir dizi işlevin değişkenliği, bazı işlevlerin değişkenliğini beklenen sınırların ötesine taşıyacak şekilde birleşebilirse, sonuç bir kaza olabilecektir.

FRAM bir model olarak işlevsel birleşmenin dinamikliğine ve lineer olmamasına vurgu yaparken, aynı zamanda bunun rasgele olmadığını da vurgulamaktadır. FRAM, bu nedenle bir yöntem olarak ise, kazaların anlaşılması ve önlenmesi için işlevsel birleşimin analizini ve öngörülmesini destekler. FRAM kullanarak bir analiz yapmanın temel adımları şöyledir: Modellemenin amacını tanımlayın (risk değerlendirmesi) ve analiz edilecek hedefin durumunu ya da senaryoyu tarif edin. Sistemin ana işlevlerini belirleyin ve her bir işlevi altı temel parametre (Girdi, Çıktı, Zaman, Kontrol, Önkoşul ve Kaynaklar) üzerinden tanımlayın (Carvalho, 2011: 1484). Şekil 1 FRAM ile yapılacak olan bir

modellemede kullanılacak olan altı parametreyi içeren temel hücrenin kurgusunu göstermektedir.



Şekil 1: FRAM Temel Hücresi

Temel hücrede:

- Girdi (input) hareketi tetikleyen ve dönüştüren ya da sonucu oluşturan ve önceki işlevlerle bağı kuran birimdir.
- Zaman (Time available) bir kısıt olabileceği gibi, özel bir kaynak olarak da görülebilir.
- Kontrol (Control) eylemle bağı ani kontrol elemanıdır. Bir işlevi yönetir ya da ayarlar; planlar, prosedürler, kılavuzlar, otomatik kontrol sistemleri veya diğer işlevler bu kapsamda olabilir.
- Çıktı (Output) bir işlev ya da eylem tarafından üretilir, alt işlevlerle bağı kurar.
- Önkoşullar (Preconditions) sistemin bir işlevi gerçekleştirmeden önce yerine getirmesi gereken koşullardır, sonucu etkileyen bağlamsal elemanlardır.
- Kaynaklar (Resources) bir işlev tarafından girişi işlemek için gerek duyulan ya da tüketilen o anda elde mevcut olan kaynakların seviyesini ifade eder.
- Takip eden bölümde örnek bir kazaya ilişkin FRAM temel hücresi esas alınarak yapılan modelleme ve çözümleme sunulmuştur.

3. FRAM ANALİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK ÖRNEK BİR DENİZ KAZASININ İNCELEMESİ

3.1. Örnek Kaza Tanımı

Modelleme, iki geminin çatışmasını içeren bir kaza seçilerek yapılmıştır. Çatışma olayı, 20 Ekim 2011 tarihinde Arnavutluk Durres Limanı açıklarında gerçekleşmiş olan, Türk bayraklı M/F Ankara ile Malta bayraklı M/V Reina 1 gemilerinin çatıştığı kazadır.

Türk Bayraklı Ankara Feribotu, Arnavutluk/Durres Limanında yüklemesini tamamlamasına müteakip 19 Ekim 2011 tarihinde saat 23:05'de İtalya'nın Bari Limanına doğru 267 rotası ile toplamda sekiz saat sürecek olan seyrine başlamıştır. Köprüüstünde vardiyasında gemi kaptanı ve gözcü olarak usta gemici bulunmaktadır.

13 Ekim 2011 tarihinde saat 00:05'de seferine başlamış olan Malta Bayraklı Reina 1 isimli gemi ise, kuzeyli bir rota ile seyrine devam etmektedir. Köprüüstü vardiyasında ikinci zabıt ve gözcü olarak usta gemici bulunmaktadır.

Ankara Feribotu kaptanı saat 00:20'de radar vasıtası ile iskele baş omuzluğunda, 8,5 deniz mili mesafedeki bir geminin varlığını tespit etmiş ve radar ekranı üzerinde değişken mesafe halkası (VRM) ile elektronik kerteriz hattı (EBL) özelliklerini kullanarak söz konusu gemiyi izlemeye başlamıştır.

Saat 00:40'da yaklaşık 2,5 deniz mili mesafede iken Reina 1 gemisi vardiya zabiti, telsiz aracılığı ile Ankara Feribotu kaptanı ile temasa geçmiş ve mevcut rotaların çatışma riski yaratmasından dolayı kendi rotasını bir miktar sancağa alarak Ankara'nın kıç tarafından geçmek niyetinde olduğunu bildirmiştir. Ankara Feribotu kaptanı ise cevaben, kendi gemisinin zaten yeterince süratli olduğunu, Reina 1 gemisinin bu tarz bir manevra yapmak yerine, rotasını biraz iskeleye almasının rahat bir geçiş sağlamak için yeterli olduğunu bildirmiştir. Karşılıklı olarak Reina 1 tarafından iskele tarafa yapılacak küçük bir rota değişikliği konusunda mutabık kalınmıştır.

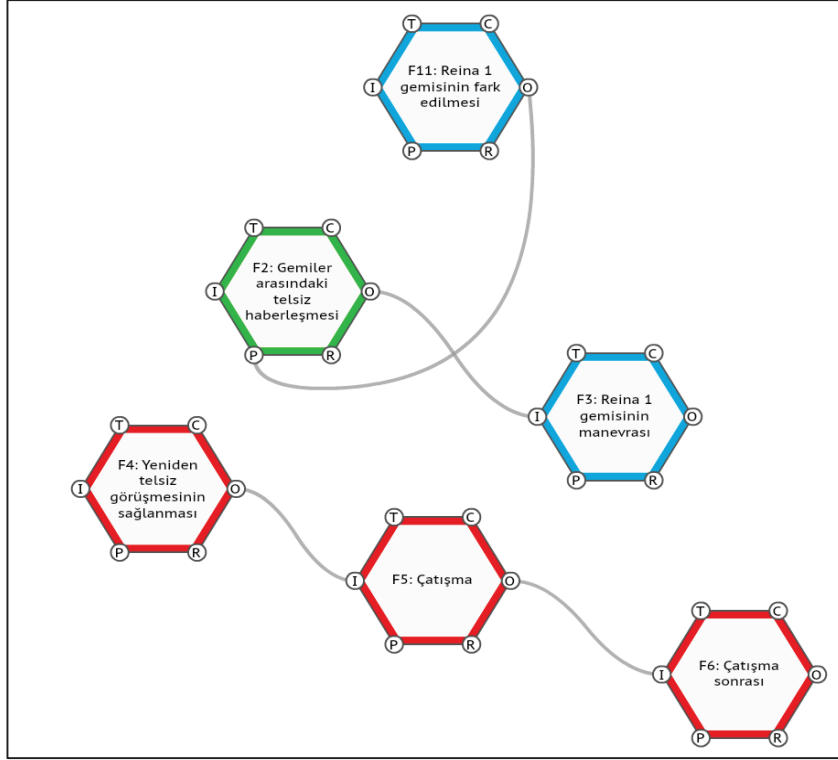
Yapılan telsiz görüşmesi sonrasında Ankara Feribotu hızını ve rotasını korumaya devam etmiş, Reina 1 gemisi ise iskele tarafa yaklaşık 5-6 derecelik bir rota değişikliği yapmıştır.

Saat 00:49'da, gemiler arasında sadece 1-2 gomina mesafe kalmış iken Reina 1 vardiya zabiti tarafından Ankara Feribotuna yeniden çağrı yapılmış ve Ankara'nın çok yakın geçtiği belirtilip niyetinin ne olduğu sorulmuş, ancak yapılan bu çağrıdan çok kısa bir süre sonra, aradaki mesafenin yetersizliği nedeni ile gemiler çatışmadan kaçınmayı sağlayacak manevrayı yapamamış ve Durres Limanından yaklaşık olarak 19 deniz mili mesafede çatışma gerçekleşmiştir.

Kaza neticesinde, M/V Reina tamamen batmış, Ankara Feribotunun baş tarafında hafif hasar oluşmuştur. Kaza herhangi bir çevre kirliliğine sebep olmazken Reina 1 gemisi personelinin 8 denizci kaybolmuştur. Gece yarısı gerçekleşen kaza sırasında hava ve deniz koşulları sakindir, gemilerin personelinin kayda değer yorgunluğu bulunmamaktadır ve her iki gemide de teknik aksaklık veya cihaz arızası yoktur. Kaza gemilerin birbirlerine yaklaşık 90 derecelik açı ile seyrettikleri durumda olmuştur. İki gemi arasında geçişe ilişkin mutabakat telsiz üzerinden yapılan muhabere ile yapılmıştır. Ancak buna rağmen, gerek kural ihlali, gerekse de durumsal farkındalık, algıda hata ve muhatapların farklı rütbe ve tecrübeye sahip olması gibi nedenlerle kaza kaçınılmaz hale gelmiştir. Kazaya ve yapılan hatalara ilişkin detaylı bilgiler (Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu, 2012) aşağıda FRAM ile yapılan modellemede detaylı olarak verilmiştir.

3.2. FRAM Sistem İşlevsellerinin Belirlenmesi

FRAM yöntemi ile kaza analizi sonucunda M/F Ankara ile M/V Reina 1 gemilerinin çatışmasına ilişkin kazanın temel sistem işlevselleri belirlenmiştir. Şekil 2'de işlevsellerin birbirleriyle olan bağlantıları görülmektedir. Tablo 1 ise her bir işlevlerin 6 ana parametresini içeren FRAM modülünü vermektedir.



Şekil 2: Kazanın FRAM Yöntemi İle Analizi

3.3. Her Bir İşlev Performansının Değişkenliği

Her bir işlev, normal koşullardan sapabilmesi yönüyle birbirinden bağımsız olarak ele alınmıştır. Böylelikle değişkenliklerin olası kombinasyonları (bileşimi) takip eden adımlarda tespit edilebilmiştir. Yukarıda tanımlanan işlevler esas alınarak, her bir işlevin tüm olası değişkenlikleri daha detaylı olarak incelenmiş ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

İşlev 1’de yer alan değişkenlerde usta gemicinin yeterli gözcülük yaptığı ve gemiyi erken fark edip (İ1DO) gemi kaptanına raporlaması söz konusudur. Ankara Feribotu gözcünün uyarısı ile Reina-1 gemisini radarda tespit edip radarın VRM ve EBL özelliklerini kullanarak takip etmeye başlamış ancak radarın Elektronik Radar Plotlama Desteği (ARPA) özelliklerini kullanmayarak köprüüstü seyir yardımcılarını etkin kullanamamıştır (İ1D4). Bununla birlikte, Ankara Feribotu kaptanının radardan etkin bir şekilde yararlanmaması ve elde ettiği bilgiler ışığında çatışma riskinin olduğunu fark edememesi durumsal farkındalık düzeyinin yetersiz olduğunu (İ1D6) göstermektedir.

Radarda gemiler birbirini önceden fark etmesine rağmen gemiler arasındaki mesafe 2.5 deniz mili iken gerçekleşen ilk telsiz haberleşmesine kadar (işlevsel 2) gemilerde herhangi bir rota ve hız değişikliği olmamıştır. Oysaki, Reina-1 gemisi DÇÖT Kural 15⁴'e göre yol vermekle yükümlü gemi olup DÇÖT Kural 16⁵ hükümlerine uygun "erken ve belirgin bir manevra" yapmamıştır (İ2D1). Bununla birlikte, Ankara Feribotu da Reina-1 gemisinin erken ve belirgin manevra yapmadığını gözlemlediği halde herhangi bir çatışmadan sakınma manevrası yapmamış olup DÇÖT Kural 17⁶'ye uygun davranmamıştır (İ2D3).

Reina-1 gemisinin Ankara feribotu ile yaptığı görüşme neticesinde yapması gereken manevraya yönelik tereddüt yaşadığı görülmüştür (İ2D4). Ankara Feribotu birbirlerine neredeyse dik bir açı ile seyir halinde oldukları halde Reina-1 gemisinin kendi rotasına paralel seyrettiği yönünde yanlış bir algı içindedir (İ2D6). Bu durum aynı zamanda Ankara feribotunun göz ile izleme yapmadığını da göstermektedir (İ2D9).

İşlevsel 3'de Reina-1 gemisinin manevra konusunda tereddüde düştüğü halde gemi kaptanını köprüüstüne çağırmadığı (İ3D1) ve Reina-1 gemisi öncesinde rotasını sancak tarafa doğru alma niyetindeyken telsiz görüşmesine istinaden rotasını iskele tarafa alarak yanlış manevrada bulunduğu (İ3D3) değişkenleri rol oynamıştır. Ayrıca Ankara Feribotu da kendi gemisinin süratli gemi olması özelliğine aşırı özgüven duyarak karar vermiştir (İ3D4).

Son olarak yeniden telsiz görüşmesinin sağlanması işlevselinde (işlevsel 4) Ankara feribotunun dümeninin otopilotta olması (İ4D0) ve

⁴ Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (DÇÖT), Kural 15 / Aykırı Geçiş başlığı altında "Kuvvetle yürütülen iki teknenin çatışma tehlikesi doğuracak şekilde birbirini aykırı olarak geçmeleri halinde, diğer tekneyi sancak tarafından gören tekne onun yolundan çıkacak koşullar elverdiği takdirde diğerinin pruvasından geçmekten kaçınacaktır."

⁵ DÇÖT, Kural 16 / Yol Veren Teknenin Davranışı başlığı altında "Diğer bir tekneye yol vermekle yükümlü olan tekne iyice neta olmak üzere, olanağı kadar erken ve belirgin manevra yapacaktır." ifadeleri yer almaktadır.

⁶ DÇÖT, Kural 17 / Yol Verilen Teknenin Davranışı başlığı altında:

"a) (i) İki teknenin biri diğerinin yolundan çıkmak zorunluluğunda bulunduğu yerlerde diğeri kendi rotasını ve hızını koruyacaktır.

(ii) Bu kurallar uyarınca yol vermesi gereken teknenin uygun manevra yapmadığı görülür görülmez, manevra yapmakla yükümlü olmayan tekne çatışmayı sadece kendi manevrası ile önlemek üzere harekete geçebilir.

(b) (ii) Rotasını ve hızını muhafaza etmesi gereken tekne, herhangi bir sebepten dolayı, sadece yol vermesi gereken teknenin yapacağı manevra ile çatışmanın önüne geçilemeyecek kadar kendisini yakın bulursa, çatışmayı önlemeye yardımcı olacak en iyi hareketi yapacaktır.

(c) Bir aykırı geçiş durumunda, diğer kuvvetle yürütülen bir tekne ile çatışmayı önlemek üzere, bu Kuralın (a) (ii) sayılı alt paragrafı uyarınca manevra yapan kuvvetle yürütülen bir tekne, olayın koşulları elverdiği takdirde, kendi iskele tarafından gördüğü bir tekne için rotasını iskesine alarak değiştirmeyecektir." hükümleri yer almaktadır.

çatışma işlevselinde ise Çatışmadan kaçınmayı sağlayacak manevranın yapılamaması (İSD0) değişkenlerinin kombinasyonu sonucu iki gemi arasındaki çatışma kaçınılmaz hale gelmiştir.

3.4. Emniyet Kısıtlamaları

Emniyet kısıtlamaları genellikle sistemin işleyişinin ihtiyaçlarından türetilir ve sistemin istenmeyen şekilde davranmasına neden olabilecek işlev performansı (ya da performans kombinasyonları) olarak gösterilirler. Kazanın oluş şeklinin açıklamasına dayanarak, birçok faktörün bileşimi iki geminin çatışmasına katkıda bulunmuştur. Faktörlerden sadece bir ya da ikisinin kazaya neden olamayacağı genel olarak kabul görmüştür. Bu nedenle, bu kazadan öğrenilen emniyet kısıtlaması, bu faktörlerin bileşimine ulaşmamak gerekliliğidir.

Tablo 1: Altı Yönu İle Birlikte Kazaya Ait Tüm İşlevlerin Tamımı

İşlev Adı	Girdi	Çıktı	Ön koşul	Kaynak	Kontrol	Zaman
İ1: Reina 1 gemisinin fark edilmesi	Reina 1 gemisini radaradan tespit edilmesi	Ankara Feribotunun gemiyi takip etmeye başlaması	Eğitim	DÇÖT	Gözcülük	Saat 00:20
			Deniz haritaları	Köprüüstü kaynak yönetimi	Durumsal farkındalık düzeyi	
			Planlar	Köprüüstü elektronik ekipmanları	Köprüüstü seyir yardımcılarının etkin kullanımı	
			Reina 1 gemisi 8,57 deniz mili mesafe olup karterizi 241 derecedir.	Haberleşme sistemi		
İ2: Gemiler arasındaki telsiz haberleşmesi	Reina 1 gemisinin Ankara Feribotuna çağrı yapması	Telsiz görüşmesinin gerçekleşmesi	Ankara Feribotunun gemiyi takip etmeye başlaması	Haberleşme sistemi	Erken ve belirgin manevra	00:40
			Radarda fark edildiği andan telsiz çağrısına kadar her iki gemi de herhangi bir rota veya hız değişikliği yapmamıştır.	Köprüüstü elektronik ekipmanları	Yol Verilen Teknenin Davranışı	
				DÇÖT	Reina 1 gemisinin tereddüt içinde olması	
				Köprüüstü kaynak yönetimi	Durumsal farkındalık zayıflığı	
					Göz ile izlemenin yapılmaması	

Tablo 1: Altı Yönu İle Birlikte Kazaya Ait Tüm İşlevlerin Tanımı (devamı)

İşlev Adı	Girdi	Çıktı	Ön koşul	Kaynak	Kontrol	Zaman
İ3: Reina 1 gemisinin manevrası	Telsiz görüşmesinin gerçekleşmesi	Ankara Feribotu hızını ve rotasını korumaya devam etmiştir. Reina-1 gemisi ise rotasını iskele tarafa alacak şekilde, yaklaşık 8-9 derecelik bir rota değişikliği yapmıştır.	Durumsal farkındalık zayıflığı		Reina 1 gemisinin tereddüde düşüğünde kaptanı köprüüstüne çağırması Reina-1 gemisinin telsiz konuşmasına istinaden yanlış manevra yapması	
İ4: Yeniden telsiz görüşmesinin sağlanması	Reina 1 gemisinin Ankara Feribotuna yeniden çağrı yapması	Ankara Feribotu kaptanının dümenini sancak tarafa çevirmesi Ankara Feribotu kaptanının telsizinden karşı gemiye dümenini iskele alabandaya basması talimatı	Aşırı Özgüven Görsel takip yapılmaması	Haberleşme sistemi		Saat 00:49
				Erken ve belirgin manevra		
				Yol Verilen Teknenin Davranışı Ankara Feribotunun dümeninin otopilotta olması		

Tablo 1: Altı Yönu İle Birlikte Kazaya Ait Tüm İşlevlerin Tanımı (devamı)

İşlev Adı	Girdi	Çıktı	Ön koşul	Kaynak	Kontrol	Zaman
İ5: Çatışma	Ankara Feribotu kaptanının dümenini sancak tarafa çevirmesi Ankara Feribotu kaptanının telsizinden karşı gemiye dümenini iskele alabandaya basması talimatı	Çatışma meydana gelmiştir.	Aradaki mesafenin yetersizliği nedeniyle gemiler çatışmadan kaçınma manevrası yapamamıştır.			
İ6: Çatışma sonrası	Çatışma meydana gelmiştir.	Reina 1 gemisi batmıştır. Ankara Feribotunda çok ciddi bir hasar meydana gelmemiştir.				Kaza sonrası

Tablo 2: Her Bir İşlev Performansının Değişkenliği

İşlev	Değişken	Tanım
İ1	İ1D0	Usta gemicinin gemiyi erken fark etmesi
	İ1D1	Usta gemicinin gemiyi geç fark etmesi
	İ1D2	Usta gemicinin gemiyi fark etmemesi
	İ1D3	Köprüüstü seyir yardımcılarının etkin kullanılması
	İ1D4	Köprüüstü seyir yardımcılarının etkin kullanılması
	İ1D5	Yeterli durumsal farkındalık düzeyi
	İ1D6	Yetersiz durumsal farkındalık düzeyi
İ2	İ2D0	Reina 1 gemisinin erken ve belirgin manevra yapması
	İ2D1	Reina 1 gemisinin erken ve belirgin manevra yapmaması
	İ2D2	Yol Verilen Teknenin Davranışının tüzüğe uygun olması
	İ2D3	Yol Verilen Teknenin Davranışının tüzüğe uygun olmaması
	İ2D4	Reina 1 gemisinin manevrasında tereddüde düşmesi
	İ2D5	Reina 1 gemisinin manevrasında tereddüde düşmemesi
	İ2D6	Ankara Feribotunun Reina 1 gemisinin rotası hakkında yanlış bir algı içinde olması
	İ2D7	Ankara Feribotunun Reina 1 gemisinin rotasına yönelik durumsal farkındalığının yüksek olması
	İ2D8	Göz ile izleme yapılması
	İ2D9	Göz ile izleme yapılmaması
İ3	İ3D0	Reina 1 gemisi vardiya zabitanın tereddüde düştüğünde kaptanı köprüüstüne çağırması
	İ3D1	Reina 1 gemisi vardiya zabitanın tereddüde düştüğünde kaptanı köprüüstüne çağırmaması
	İ3D2	Reina-1 gemisinin doğru manevra yapması
	İ3D3	Reina-1 gemisinin yanlış manevra yapması
İ4	İ3D4	Ankara Feribotunun gemisinin özelliklerine aşırı özgüven duyarak karar vermesi
	İ4D0	Ankara Feribotunun dümeninin otopilotta olması
	İ4D1	Ankara Feribotunun dümeninin elde olması
İ5	İ5D0	Çatışmadan kaçınmayı sağlayacak manevranın yapılamaması
	İ5D1	Çatışmadan kaçınmayı sağlayacak manevranın yapılması

4. SONUÇ

FRAM yöntemi ile yapılan bu kaza incelemesinde görülmektedir ki toplamına seyir emniyeti ya da emniyetli seyir diyebileceğimiz sistemde (gemi kaptanı, vardiya zabiti, seyir yardımcıları, DÇÖT kurallarının uygulanması vb.) işlev görenlerin değişkenliğinin beklenmedik birleşimi kazaya neden olmuştur. Sistemi oluşturan değişkenler (- ki bunlar; seyir cihazları, gemi özellikleri, insan ve iş tecrübesi, muhabere, seyre ilişkin kurallar, şirket politikaları, hava ve deniz koşulları vb. olarak sıralanabilir.) kazanın oluşumuyla ilgisi olması durumunda çözümlenmeye dahil edilmiştir.

Çözümlemenin sonunda FRAM'ın esas aldığı gibi, kazanın oluşmasında etken olan değişkenliklerin bağılıklarının lineer olmadığı görülmektedir. Başka bir deyişle, kazanın oluşumunda örneğin, denizcinin tecrübesinin fazla olmasının kaza riskini azaltması, ya da tam tersi olacak şekilde doğrudan ve sayılabilir bir ilişki yoktur. Benzer şekilde, seyir yardımcı cihazlarının (ARPA ve bu durumda telsiz vb.) donatılmış olması kaza riskini yok etmemekte, hatta bu değişkenlerin beklenmedik kullanımı kazaya doğrudan neden olabilmektedir. FRAM yönteminin genel prensipleri açısından bakıldığında ise çözümlenmede tespit edilen hususlar şunlardır:

- Başarı ve başarısızlığın denkliği prensibi, başarısızlığı bir sistem bileşeninin (insan ya da teknik) normal işlevini yapamamasına değil, bu yeteneğin geçici ya da kalıcı olarak yokluğuna bağlamaktadır. Kaza incelemesinde görülmektedir ki aslında Ankara feribotu kaptanı normal işlevlerini yerine getiren yetkin bir denizcidir. Ama kazaya neden olan süreçte bu yetkinliğini geçici olarak kullanamamıştır.
- Tahmini ayarlama prensibine göre sistemler o denli karmaşıktır ki çalışma durumları her zaman yeterince belirlenemez, bu yüzden de önceden kestirilemezler. Kaza oluşumuna bakıldığında Ankara feribotunun kaptanının durumsal farkındalığının o an için düşük olması ve özgüveninin aşırıya kaçması önceden kestirilemez bir durumdur. Kaptanın aşırı özgüveni zabitin kendi algısına değil kıdemliye uyması, DÇÖT başka türlü diyor olsa da farklı davranması buna bir örnek oluşturmuştur.
- Oluşma/meydana gelme prensibi normal performans değişkenliğinin nadiren kazanın, hatta bir arızanın tek nedeni olabilecek kadar büyük olduğunu söyler. Buna karşın birden fazla işlevin değişkenliği, beklenmedik şekilde birleşerek oransız

büyükte bir sonuç üretebilir ve böylelikle lineer olmayan bir etki doğurabilir. Kazanın oluşumuna bakıldığında, kazanın tek başına ne Ankara feribotunun kaptanının, ne de Reina-1'in vardiya zabitanın bireysel hataları yüzünden olmadığı görülmektedir.

- İşlevsel birleşme (resonance) prensibi, birden fazla işlevin değişkenliğinin birbiriyle birleşerek, fonksiyonlardan birinin normal sınırlarını aşmasına neden olabileceğini söyler. Eğer bir dizi işlevin değişkenliği, bazı işlevlerin değişkenliğini beklenen sınırların ötesine taşıyacak şekilde birleşebilirse, sonuç bir kaza olabilecektir. Nitekim kaza analizi göstermiştir ki, Reina-1 gemisi vardiya zabitanın işlevi; kendi doğru algısı, köprüüstü cihazlarının varlığı, DÇÖT kurallarını biliyor olması ve doğru manevrayı öngörmüş olmasına rağmen, Ankara feribotunun kaptanının tavsiyesiyle (ki bu tavsiye işlev performansının değişmesidir) kendi sınırlarının normal seviyesi üstüne çıkmıştır. Bu yüzden kendi doğru algısına uymayarak manevrayı yapmamış ve sonuçta da kaza meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, FRAM yöntemi ile yapılan bu kaza analizinden, gelecekte olabilecek muhtemel insan hatalarına önlem oluşturabilecek dersler çıkarmak mümkündür. Bir kazanın önlenmesinde sistemin esnek yapısı, yani hatalara rağmen bütünlüğünü koruyabilmesi kadar, olası insan hatalarının en aza indirilmesi de önem taşımaktadır. Böylelikle sistemin değişkenliğini azaltmak, emniyetini yükseltmek ve beklenmedik olaylara karşı esnekliğini artıracak tedbirler üretmek mümkün olabilecektir. Konu seyir emniyeti olduğunda birincil etkenin insan faktörü olduğu görülmektedir. Bu nedenle de eğitim en yüksek önceliği almaktadır. Konu üzerinde alınacak en temel tedbir, seyre ilişkin temel/tazeleme eğitimlerine bireylerin durumsal farkındalığını yükseltecek unsurların ilave edilmesi ve sınanması olacaktır. Bu kapsamda, bireylerin yetkinliğini artıracak uygulamalı eğitimler yapılmalı ve algılarına güvenen ve cihazları uygun kullanan kişinin kararını tereddütsüz uygulaması gerektiğini vurgulanmalıdır.

KAYNAKLAR

Antão, P. ve Guedes Soares, C. (2006). Fault-tree models of accident scenarios of RoPax vessels. *International Journal of Automation and Computing*, 3(2), 107–116.

Antão, P., Guedes Soares, C., Grande, O. ve Trucco, P. (2008). Analysis of maritime accident data with BBN models. S. Martorell, C. Guedes Soares ve J. Barnett (Ed.), *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications* (s. 3265–3273). London: Taylor & Francis Group.

Baalisampang, T., Abbassi, R., Garaniya, V., Khan, F. ve Dadashzadeh, M. (2018). Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation. *Ocean Engineering*, 158, 350–366.

Baltic Sea Maritime Incidence Response Group (MIRG) (2017). *Baltic Sea MIRG Project 2014-2016 Ship Fire Incident Analysis*. The Finnish Border Guard, Ministry for Foreign Affairs of Finland.

Belmonte, F., Schön, W., Heurley, L. ve Capel, L. (2011). Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technical systems based on the functional resonance accident model: an application to railway traffic supervision. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), 237–249.

Carvalho, P.V.R. (2011). The use of Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in a mid-air collision to understand some characteristics of the air traffic management system resilience. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(11), 1482–1498.

Celik, M., Lavasani, S. M. ve Wang, J. (2010). A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation, *Safety Science*, 48(1), 18–27.

Darbra, R.M. ve Casal, J. (2004). Historical analysis of accidents in seaports. *Safety Science*, 42(2), 85–98.

Eleftheria, E., Apostolos, P., Markos, V. (2016). Statistical analysis of ship accidents and review of safety level. *Safety Science*, 85, 282–292.

Goerlandt, F. ve Kujala, P. (2011). Traffic simulation based ship collision probability modeling. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(1), 91–107.

Hetherington, C., Flin, R., Mearns, K. (2006). Safety in shipping: the human element. *Journal of Safety Research*, 37(4), 401–411.

Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. UK: Ashgate Publishing.

Hollnagel, E. (2006). Resilience – the challenge of the unstable. E. Hollnagel, D.D. Woods, ve N. Leveson, (Ed.), *Resilience Engineering: Concepts and Precepts* (s. 9–18). UK: Ashgate Publishing.

Hollnagel, E. (2012). *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-Technical Systems*. UK: Ashgate Publishing.

Hollnagel, E., Pruchnicki, S., Woltjer, R. ve Etcher, S. (2008). Analysis of Comair flight 5191 with the functional resonance accident model. In: *Proceedings of the 8th International Symposium of the Australian Aviation Psychology Association*. Sydney, Australia.

IMO (2013). *Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rulemaking process*. MSC-MPEEC.2/Circ. 12.

Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu. (2012). *Kaza İnceleme Raporu No: 05/2012*. <http://www.kaik.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 18.07.2018.

Kontovas, C.A. ve Psaraftis, H.N. (2009). Formal safety assessment: a critical review. *Marine technology*, 46(1), 45–59.

Kuzu, A.C., Akyuz, E. ve Arslan, O. (2019). Application of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) to maritime industry: A risk analysing of ship mooring operation. *Ocean Engineering*, 179, 128–134.

Lee, J. ve Chung, H. (2018). A new methodology for accident analysis with human and system interaction based on FRAM: Case studies in maritime domain. *Safety Science*, 109, 57-66.

Li, K.X., Yin, J., Bang, H.S., Yang, Z. ve Wang, J. (2014). Bayesian network with quantitative input for maritime risk analysis. *Transportmetrica A: Transport Science*, 10(2), 89–118.

Merrick, J.R. ve Van Dorp, R. (2006). Speaking the truth in maritime risk assessment. *Risk Analysis*, 26(1), 223–237.

Montewka, J., Goerlandt, F. Ve Kujala, P. (2014). On a systematic perspective on risk for formal safety assessment (FSA). *Reliability Engineering and System Safety*, 127, 77–85.

O'Neil, W.A. (2003). The human element in shipping. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 2(2), 95–97.

Patriarca, R., Bergström, J., Gravio, G.D. ve Costantino, F. (2018). Resilience engineering: Current status of the research and future challenges, *Safety Science*, 102, 79-100.

Patriarca, R., Gravio, G.D. ve Costantino, F. (2017). A Monte Carlo evolution of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to assess performance variability in complex systems. *Safety Science*, 91, 49–60.

Pennie, D., Brook-Carter, N. ve Gibson, W. (2007). Human factors guidance for maintenance. In: *Human Factors in Ship Design, Safety and Operation Conference*. The Royal Institution of Naval Architects, March, London, UK.

Praetorius, G., Hollnagel, E. ve Dahlman, J. (2015). Modelling Vessel Traffic Service to understand resilience in everyday operations. *Reliability Engineering and System Safety*, 41, 10–21.

Psarros, G., Skjong, R. ve Eide, M.S. (2010). Under-reporting of maritime accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 42(2), 619–625.

Roberts, S.E., Marlow, P.B. ve Jaremin, B. (2012). Shipping casualties and loss of life in UK merchant shipping, UK second register and foreign flags used by UK shipping companies. *Marine Policy*, 36(3), 703–712.

Ronza, A., Félez, S., Darbra, R.M., Carol, S., Vilchez, J.A. ve Casal, J. (2003). Predicting the frequency of accidents in port areas by developing event trees from historical analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), 551–560.

Sawaragi, T., Horiguchi, Y. ve Hina, A. (2006). Safety analysis of systemic accidents triggered by performance deviation. In: *IEEE SICE-ICASE, International Joint Conference*. Busan, Korea.

Senol, Y.E. ve Sahin, B. (2016). A novel real-time continuous fuzzy fault tree analysis (RCFFTA) model for dynamic environment. *Ocean Engineering*, 127, 70–81.

Smith, D., Veitch, B., Khan, F. ve Taylor, R. (2018). Using the FRAM to Understand Arctic Ship Navigation: Assessing Work Processes During the Exxon Valdez Grounding. *Transnav: the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(3), 447-457, DOI: 10.12716/1001.12.03.03.

Tian, J., Wu, J., Yang, Q. ve Zhao, T. (2016). FRAMA: A safety assessment approach based on Functional Resonance Analysis Method, *Safety Science*, 85, 41–52.

Trucco, P., Cagno, E., Ruggeri, F. ve Grande, O. (2008). A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: a case study in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*, 93(6), 845–856.

Ugurlu, O., Yıldırım, U. ve Basar, E. (2015). Analysis of grounding accidents caused by human errors. *Journal of Marine Science and Technology*, 23(5), 748–760.

Woltjer, R. (2008). Resilience assessment based on models of functional resonance. In: *Proceedings of the 3rd Symposium on Resilience Engineering*. Antibes - Juan - les - Pins, France.

Woltjer, R. ve Hollnagel, E. (2007). The Alaska Airlines Flight 261 Accident: a Systemic Analysis of Functional Resonance, *International Symposium on Aviation Psychology*, Dayton, Ohio.

Yang, Z., Bonsall, S. ve Wang, J. (2008). Fuzzy rule-based Bayesian reasoning approach for prioritization of failures in FMEA. *IEEE Transactions on Reliability*, 57(3), 517–528.

Zhang, D., Yan, X.P., Yang, Z.L., Wall, A. ve Wang, J. (2013). Incorporation of formal safety assessment and Bayesian network in navigational risk estimation of the Yangtze River. *Reliability Engineering and System Safety*, 118, 93–105.

Zhang, G. Ve Thai, V.V. (2016). Expert elicitation and Bayesian Network modeling for shipping accidents: A literature review. *Safety Science*, 87, 53–62.