

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

GEMİ İNŞAATI VE DENİZ BİLİMLERİ FAKÜLTESİ



TEKNİK RAPOR

**GEMİ VE DENİZ TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ**

Rapor Tipi: İnceleme - Araştırma

Rapor No: DEN 2015 / 03

Tarih: 01.12.2015

Onaylayan:

**DENİZCİLİK SEKTÖRÜNDE RİSK ANALİZİ
İÇİN KARAR VERME YÖNTEMLERİ**

**Prof.Dr.Hakan AKYILDIZ
Yrd.Doç.Dr. Ayhan MENTEŞ
Arş.Gör. Murat YETKİN
Arş.Gör. Nagihan TÜRKOĞLU**

ÖNSÖZ

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz, İstanbul ve Çanakkale boğazlarından geçen farklı tonajlardaki yük ve yolcu gemilerinin yarattığı yoğun trafik nedeniyle dünya deniz taşımacılığında önemli bir yere sahiptir. Deniz kazalarının önlenmesi ya da azaltılabilmesi açısından Türk karasularında meydana gelebilecek deniz kazalarının detaylı bir şekilde incelenmesi oldukça önemlidir. Can, mal ve doğal çevrenin korunması etkin araç ve teknikleri hesaba katan risk analiz yöntemlerinin geliştirilmesine bağlıdır. Geçmiş kaza istatistiklerinden yararlanarak, IMO'nun tavsiye ettiği Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi (Formal Safety Assessment, FSA) adımlarını da içine katan ve doğasında belirsiz, eksik ya da bulanık bilginin mevcut olduğu risk problemlerinin çözümüne olanak sağlayan risk analiz yöntemlerinin geliştirilmesi Türk karasularının güvenliğine büyük katkı sağlayacaktır. Bu raporla, belirtilen amaca uygun risk analiz yöntemlerinin incelenmesi ve sunulması hedeflenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa	
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Risk Yönetimi	2
1.2 Risk Değerlendirmesi	3
2. DENİZCİLİK SEKTÖRÜNDE BİÇİMSEL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİ	4
3. RİSK ANALİZİNDE KARAR VERME, BULANIK MANTIK VE YÖNTEMLER	15
3.1 Risk analiz tekniklerinin sınıflandırılması	15
3.2 Karar Verme	16
3.3 Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri	17
3.3.1. Baskınlık (Dominans)	18
3.3.2 Tatmin Yöntemleri (Satisficing Methods)	18
3.3.3 Ardışık Eleme Yöntemleri (Sequential Elimination Methods)	19
3.3.4 Davranışa Yönelik Yöntemler (Attitude Oriented Methods)	19
3.3.5 Puanlama Yöntemleri (Scoring Methods):	19
3.3.6 Yalın Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi (SAW – Simple Additive Weigting Method):	19
3.3.7 Ağırlık Çarpımı Yöntemi (Weighted Product Method):	20
3.3.8 TOPSIS	20
3.3.9 ELECTRE	21
3.3.10 Medyan Sıralama Yöntemi (Median Ranking Method)	21
3.3.11 AHP : Hiyerarşik SAW Yöntemi	21
3.4 Bulanık Mantık	22
3.4.1 Bulanık Küme Teorisi	22
3.4.2 Üyelik Fonksiyonu	23
3.4.3 Bulanık Sayılar	23
3.4.3.1 Üçgen Bulanık Sayılar	24
3.4.3.2 Yamuk Bulanık Sayılar	24
3.4.4 Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri	25
<i>Sözel Terimlerin Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi</i>	27
<i>Bulanık Sayıları Sayısal Puanlara Dönüştürmek</i>	29
3.5 DEMATEL Metodu (Decision making trial and evaluation laboratory method)	29
4. TÜRKİYE KARASULARINDA YAŞANAN GEMİ KAZALARININ ANALİZİ	32
5. KARGO GEMİLERİ İÇİN GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİ	54
5.1 Kargo gemilerinin sistematik güvenlik değerlendirmesi	54

5.1.1 Tehlikenin belirlenmesi	55
5.1.2 Risk değerlendirmesi	56
5.1.3 Risk kontrol seçenekleri.....	56
5.1.4 Maliyet-fayda analizi	57
5.1.5 Karar verme	57
5.2 FSA Tabanlı Bulanık DEMATEL Metodu ile Risk Değerlendirmesi	57
6. SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	66

KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşı Prosesi
DM	: Karar Verici
ETA	: Olay Ağacı Analizi
FMADM	: Bulanık Çok Kriterli Karar Verme
FTA	: Hata Ağacı Analizi
FSA	: Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi
FST	: Bulanık Küme Teorisi
HAZOP	: Tehlike ve İşletilebilme Çalışmaları Yöntemi
HSE	: İngiliz Sağlık ve Emniyet Örgütü
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
MADM	: Çok Kriterli Karar Verme
MEPC	: Deniz Çevre Koruma Komitesi
MSC	: Denizcilik Güvenlik Komitesi
SAW	: Yalın Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerlik Tercih Sıralaması Tekniği

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1: BGD'ye ilişkin kuralların geliştirilmesi sürecini etkileyen başlıca deniz kazaları (Dasgupta, 2003).	7
Tablo 2: Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Amaçları (Mauri, 2000)	15
Tablo 3: Risk Değerlendirme Yöntemleri (HSE, 2000)	16
Tablo 4: Saaty karar ölçeği	22
Tablo 5: Literatürdeki FMADM yöntemlerinin sınıflandırması.	28
Tablo 6: DEMATEL metodu karşılaştırma skalası	30
Tablo 7: Gruplandırılmış Gemi Tipine Göre Kazalar	33
Tablo 8: Gemi Tiplerine Göre Yaşanan Kazaların Dağılımı	34
Tablo 9: Gemi tipine göre kazaların aylık dağılımı	35
Tablo 10: Gruplandırılmış gemi tipine göre kazaların dağılımı	37
Tablo 11: Gruplandırılmış gemi tiplerinin mevsimlere göre dağılımı	38
Tablo 12: Gemi tiplerine göre kaza tipleri	39
Tablo 13: Gruplandırılmış gemi tipleri ile gruplandırılmış kaza tiplerinin dağılımı	42
Tablo 14: Kazaların Bölgelere Dağılımı	43
Tablo 15: Gruplandırılmış gemi tipleri ile kazaların yaşandığı bölgeler arasındaki ilişki	45
Tablo 16: Gemi Bayrağına Göre Kaza Yaşanma Oranları	47
Tablo 17: Kaza yaşanan mevkiler ve genel toplam içerisindeki oranı	49
Tablo 18: Yaşanan kazaların nedenleri ve oransal dağılımları	53
Tablo 19: Gruplandırılmış kaza nedenlerinin oransal dağılımı	53
Tablo 20: Çarpışma ve temas için risk matrisi yaklaşımı	55
Tablo 21: Olay dizileri	56
Tablo 22: Maliyet-fayda analizi	57
Tablo 23: Üçgen bulanık sayılar	59
Tablo 24: Çarpışma & Temas için toplam skorlar	59
Tablo 25: Çarpışma & Temas için birleştirilmiş değerler	60
Tablo 26: Başlangıç direkt ilişki matrisi	60
Tablo 27: Etki diyagramı tablosu	60
Tablo 28: Sözel Maliyet ve Fayda Tahmini	62
Tablo 29: Çarpışma & Temas için Fayda/Maliyet Değerleri	62
Tablo 30: Karşı önlemler için deterministik sayılar	63
Tablo 31: DEMATEL sonuçları	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1: BGD uygulama adımlar (Dasgupta, 2003)	9
Şekil 2: BGD’de tehlikenin tanımlanması (Dasgupta, 2003).	10
Şekil 3: Risk değerlendirmesine ilişkin akış diagramı (Dasgupta, 2003).....	13
Şekil 4: ALARP (As Low As Reasonably Practicable).....	14
Şekil 5: MADM yöntemleri için bir sınıflandırma (Yoon ve Hwang, 1995).	18
Şekil 6: İki boyutlu uzayda pozitif ideal-negatif ideal çözümlere Öklit Mesafeleri..	20
Şekil 7: Üçgen bulanık sayı.	24
Şekil 8:Yamuk bulanık sayı.	25
Şekil 9:Gemi Tiplerine Göre Yaşanan Kaza Sayılarının Dağılımı.....	33
Şekil 10: Gruplandırılmış gemi tiplerine göre kazaların mevsimsel dağılımı	38
Şekil 11: Kaza yerlerinin dağılımı	41
Şekil 12:Yük gemileri için kaza tipleri dağılımı.....	50
Şekil 13: Yatlar için kaza tipleri dağılımı	51
Şekil 14: Yolcu gemileri için kaza tipleri dağılımı.....	51
Şekil 15:Balıkçı gemileri için kaza tipleri dağılımı	51
Şekil 16: Tankerler için kaza tipleri dağılımı	52
Şekil 17:Gruplandırılmış gemi tipleri ile gruplandırılmış kaza tiplerinin ilişkisi.....	52
Şekil 18: Etki diyagramı grafiği.....	61

DENİZCİLİK SEKTÖRÜNDE RİSK ANALİZİ İÇİN KARAR VERME YÖNTEMLERİ

ÖZET

Risk analizi için karar verme yöntemlerinde kullanılan mühendislik uygulamaları, risk değerlendirmesinde giderek daha yaygın bir şekilde kabul görmektedir. Denizde güvenliği arttırmak için, risk faktörlerinin modellenmesine ve emniyet esaslı kararların tutarlı ve etkin bir şekilde yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, risk modellemesi ve karar verme araçlarının pratik bir şekilde geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Sonuç olarak, deniz endüstrisinde bu tekniklerin birleştirilmesi daha güvenilir ve gerçekçi çözümlerin elde edimesine olanak tanıyacaktır.

Bu raporda, yazarlar Türkiye kıyıları ve açık denizlerinde daha temiz ve daha emniyetli deniz taşımacılığı için bazı risk analiz yöntemlerinin Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi (FSA) prensipleriyle birleştirilmesiyle yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Böylece, kargo gemileri kazalarının analizi için iki yöntem kullanılmıştır. İlk yöntem, IMO'nun önerdiği FSA işlemlerinin uygulanmasıdır. İkinci yöntem, Bulanık Küme Teorisi, sıralı ağırlıklandırılmış geometrik ortalama operatörü (OWGA) ve DEMATEL tekniğini FSA tekniği ile birleştiren bir yöntemdir. Türkiye kıyı ve açık denizlerindeki kargo gemilerinde meydana gelen en genel hasarların nedenlerini saptamak için iki vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, risk azaltma ihtiyaçları ve belirli emniyet tedbirleri ile ilgili bazı sonuç ve öneriler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi; Risk Analizi, Risk Analiz Yöntemleri; Bulanık Çok Kriterli Karar Verme; DEMATEL; Deniz Kazaları.

DECISION MAKING TECHNIQUES FOR RISK ANALYSES IN MARITIME INDUSTRY

SUMMARY

Engineering applications of decision making techniques for risk analyses gain more and more acceptance in risk management. To improve safety at sea, risk factors need to be modelled and safety based decisions require to be made in a consistent and efficient way. Additionally, risk modeling and decision-making tools need to be developed and applied in a practical environment. As a result, integration of the techniques leads to acquire more reliable and realistic solutions in maritime domain.

In this report, the authors have been developed a new approach by integrating some risk analysis techniques into Formal Safety Assessment (FSA) guidelines for cleaner and safer maritime transport at the coast and open seas of Turkey. Two methodologies are used to analyse accidents of cargo ships. First method is the application of IMO's FSA procedures. Second method integrates fuzzy set theory (FST), Ordered Weighted Geometric Averaging Operator (OWGA) and DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) Technique into FSA. Two case studies were then carried out to determine the most common causes of unintentional damages on cargo ships at the coasts and open seas of Turkey. Finally, some conclusions and suggestions were drawn concerning the needs to reduce the risks and improve certain safety measures.

Keywords: Formal Safety Assessment; Risk Analysis, Risk Analysis Methods, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods; DEMATEL; Ship Accidents.

1. GİRİŞ

Günümüzde, gelişmiş ülkeler teknolojinin gelişmesine paralel olarak ortaya çıkan güvenlik gereksinimleri ve risklere karşı duyarlı hareket etmek zorundadırlar. Dolayısıyla, artan riskleri kontrol etmek ve olası riskleri azaltmak için yeni yollar aramak temel amaç olmaktadır. Ortaya çıkan risk problemleri risk analizi, risk değerlendirmesi ve risk yönetimi alanlarında gelişmelere öncülük etmektedir.

Risk analizinde, olası tehlikeleri belirlemek için mevcut bilgiler sistematik olarak kullanılarak, mevcut bilgiler ışığında riski tahmin etme, değerlendirme ve mevcut standartlarla karşılaştırıp analiz edip, geliştirilen kriterleri kullanmak suretiyle risk toleransları ve kabul edilebilirliği gözden geçirilir. Risk yönetimi ise risk azaltma tedbirlerinin ve karar geliştirme sürecine katkı sağlayacak risk değerlendirme uygulamalarının etkin bir şekilde kullanımı olarak tanımlanabilir.

Risk günlük hayatta farklı çevrelerde ve sektörlerde sıkça kullanılan bir terimdir. Genel olarak risk, bir zarar veya kayıp durumuna yol açabilecek bir olayın ortaya çıkma ihtimali olarak tanımlanabilir. Tehlike ile aynı anlamlıdır ve ileride ortaya çıkması beklenen ama meydana gelip gelmeyeceği bilinmeyen olaydır (Kadal,1995). Risk ile belirsizlik arasındaki fark da önemlidir. Eğer bir olayın sonuçları uzman kişi ya da kişiler tarafından bir olasılıkla açıklanabiliyorsa buna risk denir. Eğer sonuçlar konusunda bir anlaşma sağlanamıyorsa belirsizlik söz konusudur. Dolayısıyla, risk olayların gerçekleşme olasılıkları ve sonuç senaryolarının toplanması ile ortaya çıkmaktadır($\text{Risk} = \text{Sonuç} \times \text{Olasılık}$). Burada, risk tanımı matematiksel bir işlem olarak düşünülmemelidir. İngiliz Sağlık ve Emniyet Örgütü (HSE)’ye göre; tehlike, olası zararlar olup, risk kişilerin ya da nesnelerin tehlikelerden olumsuz biçimde etkilenme olasılığıdır.

IMO’ya göre ise “Risk, sonuçların büyüklüğü ve zorlukları ile bu sonuçlara sebep olan olayların oluşma sıklığının bir bileşimidir.” Burada, ‘Sonuçlar’ ifadesi, insanlara, mülkiyete ya da çevreye olumsuz etkileri olan istenmeyen olayları tarif etmektedir. Dolayısıyla, risk ‘kaybolma ya da yaralanma olasılığı’ ya da ‘kaybolma ve/veya yaralanma durumuna maruz kalma’ olarak düşünülürse, risk sadece gerçek tehlike anlamına gelmeyecek aynı zamanda bu tehlikenin ortaya çıkma olasılığı anlamına da gelecektir.

Denizcilik sektöründe hızla gelişen teknoloji ile birlikte artan faaliyetler ne yazık ki olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir. Denizcilik faaliyetleri sırasında çeşitli sebeplere bağlı olarak kazalar yaşanmaktadır. İnsan hatasından kaynaklanan ya da teknik arıza nedeni ile yaşanan bu kazaları incelemek ve kazaların yaşanma sıklıklarının belirlemek gerek can ve gerekse mal güvenliğini sağlamak için önemlidir. Deniz endüstrisinde meydana gelen kazaların risk seviyelerini belirlemek, kaza sonrası durum değerlendirmesi yapabilmek ve olası riskleri önleyebilmek ya da azaltabilmek için çeşitli analiz yöntemleri ve uygulamaları bulunmaktadır. Sektöre veya risk analizi yapılması istenen probleme göre uygulanan yöntemler değişiklik gösterebilmektedir.

1.1 Risk Yönetimi

Risk yönetimi, çalışan personelin ve çevrenin güvenliği açısından tüm risklerin belirlenmesi tamamlandıktan sonra, risklerin değerlendirilmesi ve tüm kontrollerin yapılmasını kapsayan çeşitli politikaların ve kaynakların sistematik bir biçimde uygulanmasıdır. Son yıllarda hemen hemen her sektörde risk yönetimi uygulanmaktadır. Bu sayede işletmeler büyük kazançlar elde etmenin yanısıra kayıplarını da minimum seviyeye indirmeyi başarabilmektedirler. Ulusal ya da uluslararası platformlarda şirketlerin ticari durumu ele alındığında, risk yönetiminin öneminin gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Risk analizi ve yönetimi konularında uzmanlaşmak isteyen kişi sayısı da buna paralel artış göstermektedir.

Gerekli analizler yapıldıktan sonra karar verme aşamasını kapsayan stratejiler bütünü risk yönetiminin içerisinde yer alır. Bu süreçte, tehlikenin belirlenmesi gerekli analizlerin yapıldıktan sonra bu tehlikelerin önlenmesi ya da en az seviyede tutulmasını amaçlar. Risk yönetiminde, risk analizinin hangi yöntem ile yapılması gerektiği oldukça önemlidir. Yönteme karar vermeden önce, riskler hem sayısal veriler ile olayların olma olasılığı hesaplanarak hem de olayların önem sıraları ve sonuçları (nitel olarak) sınıflandırılarak değerlendirilir. Risk analizinde ve yönetiminde başarı yüzdesinin fazla olması doğru yöntem ya da yöntemlerin uygulamasından geçer. Risk değerlendirmesindeki temel amaç insan sağlığı, çevre güvenliği ve teknik olarak riskin boyutları ile gerçekleşme frekanslarını belirlemektir (Geoffrey ve diğ., 1997).

1.2 Risk Değerlendirmesi

Tehlikelerin tanımlanması aşamasında iyi bir plan yapılması gerekmektedir. Plan ve işleyiş sorumluluğunu alacak tecrübeli ve iyi eğitim almış kişiler ortaya konan sorunlar ışığında riskleri belirler. Tehlikelerin tanımlanmasından sonra riskin tespiti ve değerlendirilmesi yapılmalıdır. Daha sonra, risk yönetim planlaması, geliştirilmesi, uygulanması ve denetlenmesi aşamaları başlar. Böylece, risklerin gerçekleşme olasılıklarını ve sonuçlarını dikkate alarak nitel ve nicel analizler yardımıyla risklerin tespiti yapılır.

Riskin tanımlanması ve değerlendirilmesi tamamlanıp sonuçları hakkında bilgi sahibi olunduktan sonra bu risklerden kaçınma yolları aranmalıdır. Bunun için, risk kontrol metodu seçilerek alınması gereken önlemler değerlendirilir ve uygulama aşamasına geçilir. Uygulama tek bir parametreye bağlı olmadığı için oldukça karmaşık bir takip süreci söz konusudur. Uygulama sonucunda, uygulamanın etkileri ve sonuçları denetlenir. Yaşanabilecek olumsuz durumlarda risk yönetimi basit ve etkili çözüm arayışına gitmelidir.

2. DENİZCİLİK SEKTÖRÜNDE BİÇİMSEL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİ

Dünyada yaygın ve oldukça fazla miktarda mal ve yolcu taşınmasına olanak sağlayan deniz taşımacılığında ortaya çıkabilecek risklerin tanımlanmasına ve bunların önlenmesine yönelik uygulanan risk değerlendirme yöntemleri, denizcilik sektöründe etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Risk değerlendirme yöntemleri ile ilgili olarak Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization – IMO) tarafından standart bir yöntem geliştirme çalışmaları yapılmıştır. 1988 yılında yaşanan Piper Alpha petrol üretim platformundaki patlama sonucu 167 kişinin hayatını kaybetmesinin ardından, deniz endüstrisinde emniyet analizi konusunda yapılan çalışmalar hız kazanmış ve IMO tarafından bir önlem teşkil etmesi amacı ile “Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi (BGD)– Formal Safety Assessment (FSA)” denizcilik sektörüne önerilmiştir (IMO, <http://www.imo.org>). Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi, daha sonraki süreçte özellikle dökme yük gemilerinde geniş ve kapsamlı bir uygulama alanı bulmuştur.

BGD’nin denizcilik sektöründe uygulanmasının amacı, gemi tasarımı, denetim, operasyon ve navigasyon üzerine denizcilik sektöründeki güvenliğin arttırılması yönünde bir araç olarak kullanmak ve güvenlik yönetimi standartlarına katkı sağlamaktır (Fang, 2005). BGD sayesinde karar verme işlemleri daha rasyonel olmakla birlikte ileriye yönelik ve bütünsel yaklaşım sağlamaktadır. Bunun sonucunda, politik olarak daha az yer kaplayan ve geçici çözümlerin önüne geçilen bir karar verme şablonu oluşturulmaktadır. Sonuç olarak, risklerin yönetimi aşamasında alınacak kararların geliştirilmesi için tehlikeler, risk kontrol seçenekleri ve bu seçeneklerin maliyet-fayda konularında güvenilir bilgi sağlanmaktadır (IACS, 2008).

BGD ile bir kazanın ya da istenmeyen bir olayın oluşmasından önce gerekli olan her türlü önlemin alınmış olduğuna ve bu önlemlerin kontrol edilmesine yönelik bir dizi işlemler yapılır. Bu işlemler, denizcilik faaliyetlerinin oluşturduğu risklerin değerlendirilip, maliyet ve fayda analizlerinin yapılarak risklerin en aza indirilmesi için IMO’nun sunduğu seçeneklerin sistematik ve rasyonel bir biçimde uygulanmasından oluşur.

1980 – 2001 yılları arasında 1377 ciddi yaralanmanın yaşandığı ve 367 kişinin hayatını kaybettiği denizcilik sektöründe, risk değerlendirme yöntemine gidilmesine neden olan en önemli olay 6 Haziran 1988 tarihinde meydana gelen ve 167 kişinin hayatına sebep olan Piper Alpha kazasıdır (Kontovas, 2005). Kazanın, hataların üst üste gelmesinden kaynaklanan idari yetersizliklerden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca dört platformun da yangına dayanıklılığının yetersiz olması trajik kazanın önüne geçilememesinin en önemli nedenlerinden biri olmuştur. Risk yönetimi açısından bakıldığında, “Birbirinden bağımsız etkenlerin bir araya gelerek nasıl bir felakete yol açabileceğinin” olasılığının geliştirilmesi konusunu gündeme getirmiştir. Basit kazaların üst üste meydana gelmesinden doğan daha tehlikeli ve büyük bir kazanın olabileceği konusu irdelenmiştir (Pate-Cornell, 1993).

Bilimsel ve teknolojik ilerlemeler gemilerde tasarım alanında da gelişme sağlamıştır. Dünya denizcilik ticareti geliştikçe güvenlik sağlayan, daha ucuz ve daha hızlı taşıma öneren sistemler ön plana çıkmıştır. Bunun sonucunda, daha fazla tonaj kapasiteli gemilere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Gemilerin boyutları büyüdükçe operasyon maliyeti artmış, bununla birlikte maalesef gemilerdeki güvenlik zaafiyetleri de ön plana çıkmıştır (Akyıldız ve diğ, 2012). Geçmiş yıllarda meydana gelen kazalar çok büyük çapta olmasa da, kazalar “Yükten kaynaklanan yaralanma”, “Personel yaralanması”, “Çatışma”, “Geminin yapısal hatası”, “Kirlilik” gibi çeşitli nedenlerden meydana gelmiştir. “Çatışma” ve “Karaya oturma” kaza tipi kategorisinde büyükçe bir yer kaplasa da “Yangın” sebebiyle de ciddi derecede can ve mal kaybı yaşanmıştır (Henley, 1992).

Kaza tipleri ele alındığında çeşitli durumlarda pek çok kaza “Yük” nedeniyle oluşmaktadır. İstatistikler, oluşan kazaların büyük ölçüde insan hatasından kaynaklandığını göstermiştir. Özellikle yük gemilerinin, genel olarak sürekli seyirde oldukları için ciddi kazalara maruz kalma olasılıkları artmaktadır. Bu yüzden, son 20 yılda yük gemilerinin emniyetine daha çok odaklanılmıştır (Akyıldız ve diğ, 2012).

Böylece, IMO, BGD risk yönetimini, kazaların önüne geçebilmek amacıyla uygulamaya başlamıştır. BGD, mevcut ve oluşabilecek riskleri değerlendiren IMO’nun bu riskleri azaltması ve / veya ortadan kaldırması için uygulayacağı seçeneklerin fayda / maliyet analizini yaparak karar verme aşamasında yardımcı olabilmesi amacıyla geliştirilen risk değerlendirme yöntemidir (Akyıldız ve diğ,

2012). İngiltere'nin konu ile ilgili ilk öneriyi IMO'ya sunmasının ardından, Denizcilik Güvenlik Komitesi (Maritime Safety Committee – MSC)'nin 1993 yılındaki 62. oturumunda konuyu gündeme getirmiştir. 1995 yılında yapılan 65. oturumda, MSC tarafından, BGD'nin yüksek öncelikli gündem maddelerinden biri olması gerektiğine dair karar alınmıştır. 1996 yazında IMO “Draft Guidelines for Application of Formal Safety Assessment (FSA) to the IMO rule-making process” isimli bir yönerge yayınlamıştır. 1997 yılında, MSC'nin yaptığı 68. oturumunda ve Deniz Çevre Koruma Komitesi (Marine Environment Protection Committee – MEPC)'nin 40. oturumunda, IMO'nun kural koyma sürecinde BGD'nin uygulanmasına yönelik geçici yönergelerin (interim guidelines) hazırlanıp yayımlanmaları kararlaştırılmıştır (Kontovas, 2005; DNV, 2002). 1997 yılından itibaren deneme uygulamaları sonucunda kazanılan deneyimlerle birlikte, 5 Nisan 2002 tarihinde, MSC'nin 74. ve MEPC'nin 47. oturumlarında, BGD ile ilgili IMO'nun kural koyma sürecinde kullanılması amacı ile yönergeler kabul edilmiş ve yayınlanmıştır (MSC Circ. 1023 ve MEPC Circ. 392, 5 Nisan 2002).

Denizcilik sektöründe, BGD ile ilgili çalışmaların yapılması, standartların belirlenmesi ve geliştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmaların hızlanmasında etkili olan önemli deniz kazaları Tablo 1 de kronolojik olarak verilmiştir.

Tablo 1: BGD’ye ilişkin kuralların geliştirilmesi sürecini etkileyen başlıca deniz kazaları (Dasgupta, 2003).

Tarih	Geminin / Deniz Aracının Adı	Olayın Meydana Geldiği Yer
1967 Mart	Torrey Canyon	İngiltere’nin batı sahilleri
1978 Mart	Amoco Cadiz	Fransa’nın kuzey sahilleri
1980 Eylül	MV Derbyshire	Kuzey Pasifik
1987 Mart	Herald of Free Enterprise	Zeebrugge
1988 Temmuz	Piper Alpha	Kuzey Denizi
1989 Mart	Exxon Valdez	Alaska’nın batı sahilleri
1990 Nisan	MS Scandinavian Star	Skagerak
1993 Ocak	MV Braer	The Shetland adaları
1994 Eylül	MS Estonia	Baltık denizi
1995 Şubat	MV Sea Empress	Galler’in güney batı sahil kesiminde
1998 Ocak	MV Flare	Cabot boğazı
1999 Aralık	MV Erika	Fransa’nın batı sahilleri

Böylece, BGD konusundaki araştırmalar hızlanmış ve çeşitlenmiştir. Wang (2000) BGD’de karar verme aşaması için özellikle yüksek seviyede belirsizliğin söz konusu olduğu durumlarda subjektif bir güvenlik değerlendirmesi taslağı önerdi. Bu sunulan taslak için hidrolik çekmeli vincin iletişim sistemi gösterim amaçlı kullanıldı. Wang (2001) BGD’nin beş adımını, denizcilik sektöründeki konumunu ve ileriki yıllarda BGD için olası senaryoları anlatan bir makale yazdı. Ayrıca bu makalede BGD’nin denizcilik sektöründe farklı bölümlerde kullanılabileceğine değilinirken, BGD’nin “Fayda – Maliyet Analizi” ve “Örnek Olay İnceleme” gibi konularda daha fazla geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Wang ve Foinikis (2001), BGD ve gemi endüstrisinde gelişimini anlatan ve konteyner gemilerinin kaza istatistiklerini de içeren makalesinde, konteyner gemisinin dizayn karakteristikleri ile BGD yönteminin uygulanması anlatıldı. Ayrıca, bu çalışmada BGD metodolojisi ile denizcilik endüstrisindeki güvenlik seviyesinin proaktif ve risk tabanlı bir rejimle arttırılabileceği gösterildi.

Lee ve diğ. (2001) BGD metodolojisini IMO’nun dökme yük gemilerindeki su geçirmez bölmelerine uyguladı. Bu çalışmada, 18 tehlike tanımlanarak 32 risk kontrol ölçümü yapılmış ve risklerin azaltılmasında kullanılmıştır. Kristiansen ve Soma (2001), uluslararası denizcilik güvenliğinin geliştirilmesi yönünde çalışmalar

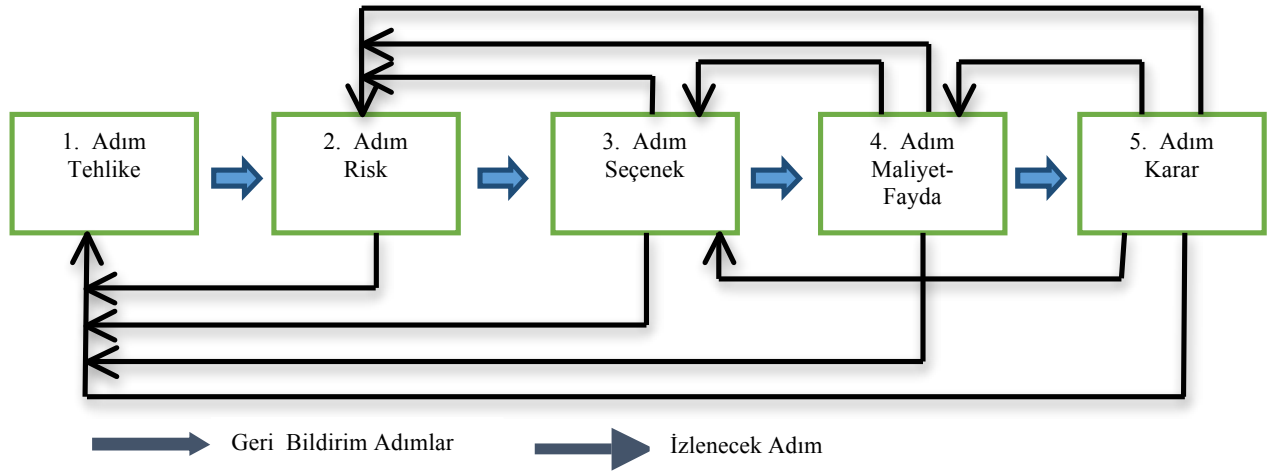
yaparak mevcut güvenlik düzenlemelerinin eksikliklerine dikkat çekmiştir. Ayrıca, BGD'nin adaptasyonu önerilerek acil durum tahliyesi vakası sunuldu.

Roberts ve Marlow (2002), çeşitli risk faktörlerinin dökme yük gemilerindeki yapısal hatalara olan etkisini araştırdı. Çalışma sonucunda birbirinden bağımsız dört adet risk faktörü tespit edilerek dökme yük gemilerinin güvenliği için kullanıldı. Lois ve diğ. (2004), BGD'nin yolcu gemilerine uygulanabileceğini içeren çalışmalar yaptı. Yolcu gemileri için bir durum çalışması yapılarak BGD'nin uygulanması anlatıldı. Fang ve diğ. (2005) ise gemi operasyonlarında insan hatasını önlemek amacıyla BGD'nin nasıl kullanılacağı üzerine çalışmalar yaptı. Bu çalışmalarda navigasyon simülasyonlarından yararlandılar.

Kontovas ve Psaraftis (2006), BGD yöntemi üzerine bir doktora tezi yayınladı. Tezde mevcut yöntemin tarihi ve yöntemin adımları ayrıntılı bir şekilde incelenirken, BGD yönteminde uygulanan adımların zayıflıklarından ve bu zayıflıkların geliştirilmesi için sunulan önerilerden bahsedildi. Hu (2007), BGD başlığı altında, özellikle gemi navigasyonundaki frekans ve önem derecesi kriterine yer verdiği, niceliksel risk değerlendirmesi ve modellemesi hakkında çalışma yaptı. Bulanık mantık çerçevesinde oluşturduğu risk değerlendirme modeli, kaza karakteristiklerini içeren beş faktörü temel almaktaydı. Bu modelin, özellikle daha uzak mesafede gerçekleştirilecek operasyonlar ve insan hatasını minimize etmek için gemi navigasyonu başlığı altında değerlendirilmesi önerildi.

Bu yöntemin uygulanması sırasında izlenmesi gereken beş adım mevcuttur (Şekil 1).

- i. Tehlikelerin Tanımlanması
- ii. Risk Değerlendirmesi
- iii. Risk Kontrol Seçenekleri
- iv. Maliyet-Fayda Değerlendirmesi
- v. Karar Verme



Şekil 1: BGD uygulama adımlar (Dasgupta, 2003)

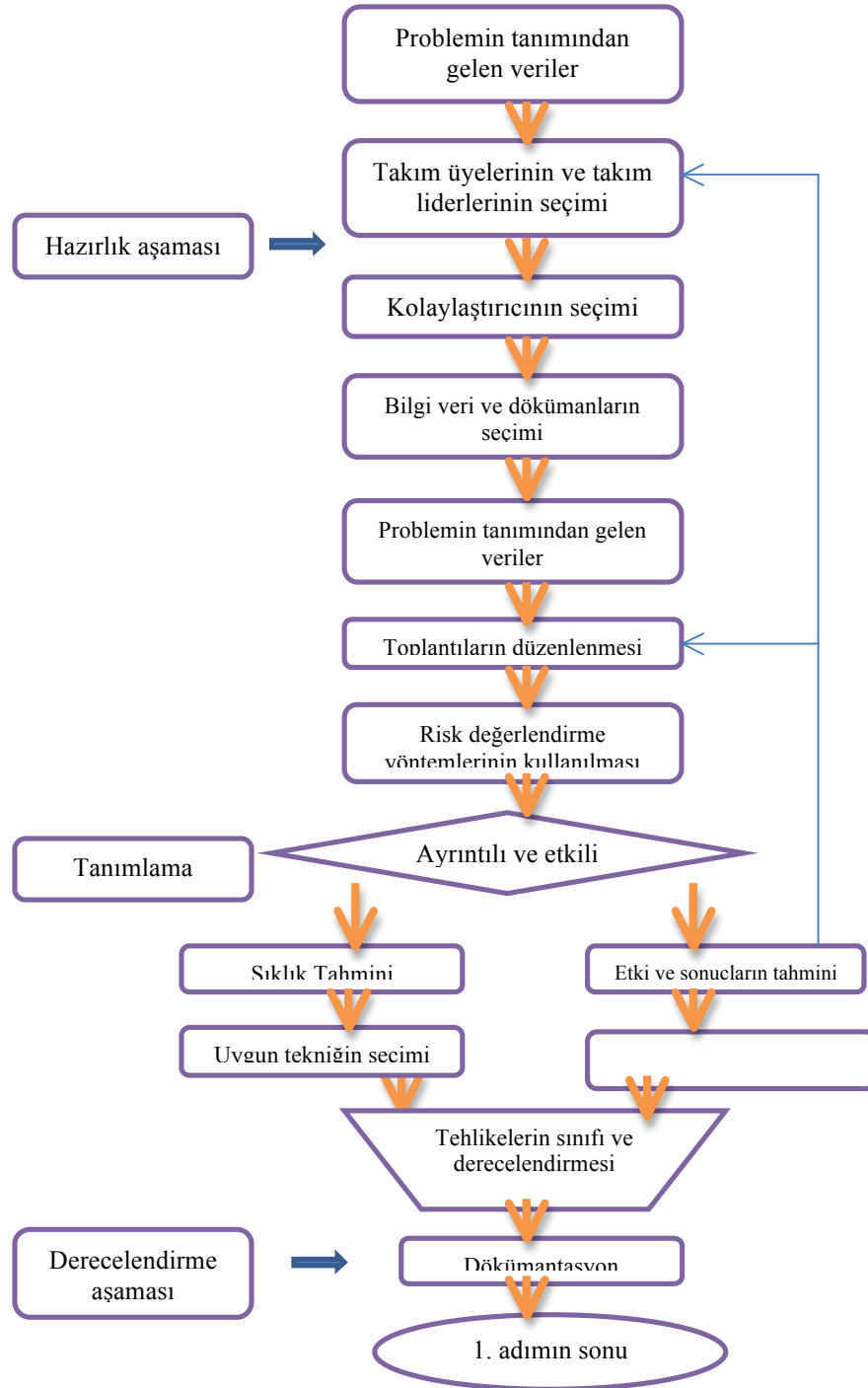
BGD'nin birinci adımı olan tehlikelerin belirlenmesinde yaratıcı ve analitik tekniklerin birlikte kullanılması bağlantılı tehlikeler açısından önemlidir(Şekil 2). Yaratıcılık kısmı, sürecin ileriye yönelik tedbirler alınmasını ve sadece geçmişle ilgili tehlikelerle sınırlandırılmamasını garanti eder. Bu da kazaların ve kazalarla ilişkili tehlikelerin neden ve sonuçlarının belirlenmesini kapsar. Analitik kısımda ise geçmişteki tecrübeler dikkate alınarak elde edilen bilgilerin kullanılması sağlanır. Bu adımda, kazaların nedenleri tanımlanır ve kaza kategorileri listelenir. Kazaların tanımlanmasında Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Hata Türleri ve Etkileri Analizi, Hata ve İşletilebilirlik Analizleri gibi yöntemler kullanılır. Tanımlanan tehlikeler ve tehlikelerle ilişkilendirilmiş senaryolar önem sırasına göre sıralandırılır ve çok küçük değere sahip olduğu saptanan kaza senaryoları göz ardı edilir. Dolayısıyla, frekans ve sonuç kategorileri risk matrisinde açık bir şekilde ifade edilerek risk seviyesi belirlenir. Sonuç olarak,

1. Tehlikelerin ve onlarla ilişkili senaryoların(başlangıç olayları da dahil) belirlenmesi, ve
2. Kaza senaryolarının değerlendirilmesi (risk seviyeleri ile öncelik sırasının belirlenmesi) birinci adımı oluşturmaktadır.

BGD'nin ikinci adımı olan risk değerlendirmesi aşamasında, kazalara ilişkin risk teşkil eden veriler "risk dağılım ağacı" oluşturularak değerlendirilir(Şekil 3). Temel amaç, risk dağılımlarının belirlenmesi, bu yolla yüksek risk içeren noktalara odaklanılmasının ve risk derecesini etkileyen etmenlerin belirlenerek değerlendirilmesinin sağlanmasıdır. Kaza verileri ve diğer kaynaklardan alınan bilgilerin, bazı tekniklerin ve simülasyonların uygulanması ile analizi yapılır.

Analizi yapılamayan veriler için uzman görüşlerine başvurulabilir. Ayrıca, bu analizlerde hassasiyet ve belirsizlik analizleri kullanılabilir. Hassasiyet analizi ve belirsizlik analizinin metodolojisi kullanılan risk analiz metoduna ve risk modeline bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Sonuç olarak,

1. Yüksek risk bölgelerinin belirlenmesi, ve
2. Risk modelinin açıklanması ikinci adımı oluşturmaktadır.



Şekil 2: BGD’de tehlikenin tanımlanması (Dasgupta, 2003).

BGD'nin üçüncü adımı olan risk kontrol seçenekleri aşamasında, risk kontrolleri ile ilgili uygun ölçümler yapılarak tespit edilen risklerin kontrol altına alınması ve en aza indirilmesi ile ilgili yöntemler geliştirilir. Bu süreç üç aşamadan oluşur: (IMO, 2002).

- Risk dağılım ağacında, en fazla olumsuz etkiye neden olan, en sık tekrarlanan, en düşük güvenilirlikte olan ve kontrol altına alınması en acil risklere odaklanılması.
- Mevcut ölçümlerin yeterli olmadığı durumlarda, yeni ölçümlerin ve etkin kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi (Bunlar, *neden olan etmenler, hata, koşullar, kaza ve etkiler* dizisine göre geliştirilmelidir).
- Risk kontrol seçeneklerinin geliştirilmesi.

Bu üç adım sayesinde “*Riskleri en aza indirmek için daha başka neler yapılabilir?*” sorusuna yanıtlar da aranır.

Üçüncü adımın uygulanarak yeni risk kontrol seçeneklerinin geliştirilmesiyle, ikinci adımda yapılan değerlendirmenin etkinliği ve geçerliliği analiz edilmiş olur.

BGD'nin dördüncü adımı olan maliyet-fayda değerlendirmesi aşamasında, süreç üzerinde temel etkiye sahip bir riskin en düşük düzeye indirilmesine ya da tamamen ortadan kaldırılmasına ilişkin çalışmalar yapılırken, diğer taraftan yapılan bu çalışmaların işletmeye olan maliyetleri ve doğan bu maliyetin riskin neden olacağı maddi kayıplar ile karşılaştırılması yapılır. Yapılan işlemler riskin doğuracağı maddi zararlardan daha maliyetli ise daha az maliyetli başka risk değerlendirme seçeneklerinin uygulanması gündeme gelecektir. Dolayısıyla, her bir risk kontrol seçeneğinin işletmeye getireceği maliyetin değerlendirilmesi oldukça önemlidir (Acar, 2006).

Maliyet-fayda değerlendirmesi yapan bir analistin, yukarıda özetlenen nedenden dolayı tüm riskleri parasal birimlere dönüştürmesi ve bu risklerin işletmeye neden olacağı maddi kayıpları gerçeğe yakın bir şekilde belirlemesi gerekir. Bu kapsamda, analist öncelikle, olası riskler ve bu risklerin kontrollerine ilişkin seçenekler için maliyet - fayda oranlarını tespit eder. Daha sonra, karar vericiler, hangi risk kontrol seçeneğinin kullanılacağına karar verir (Dasgupta, 2003; IMO, 2002).

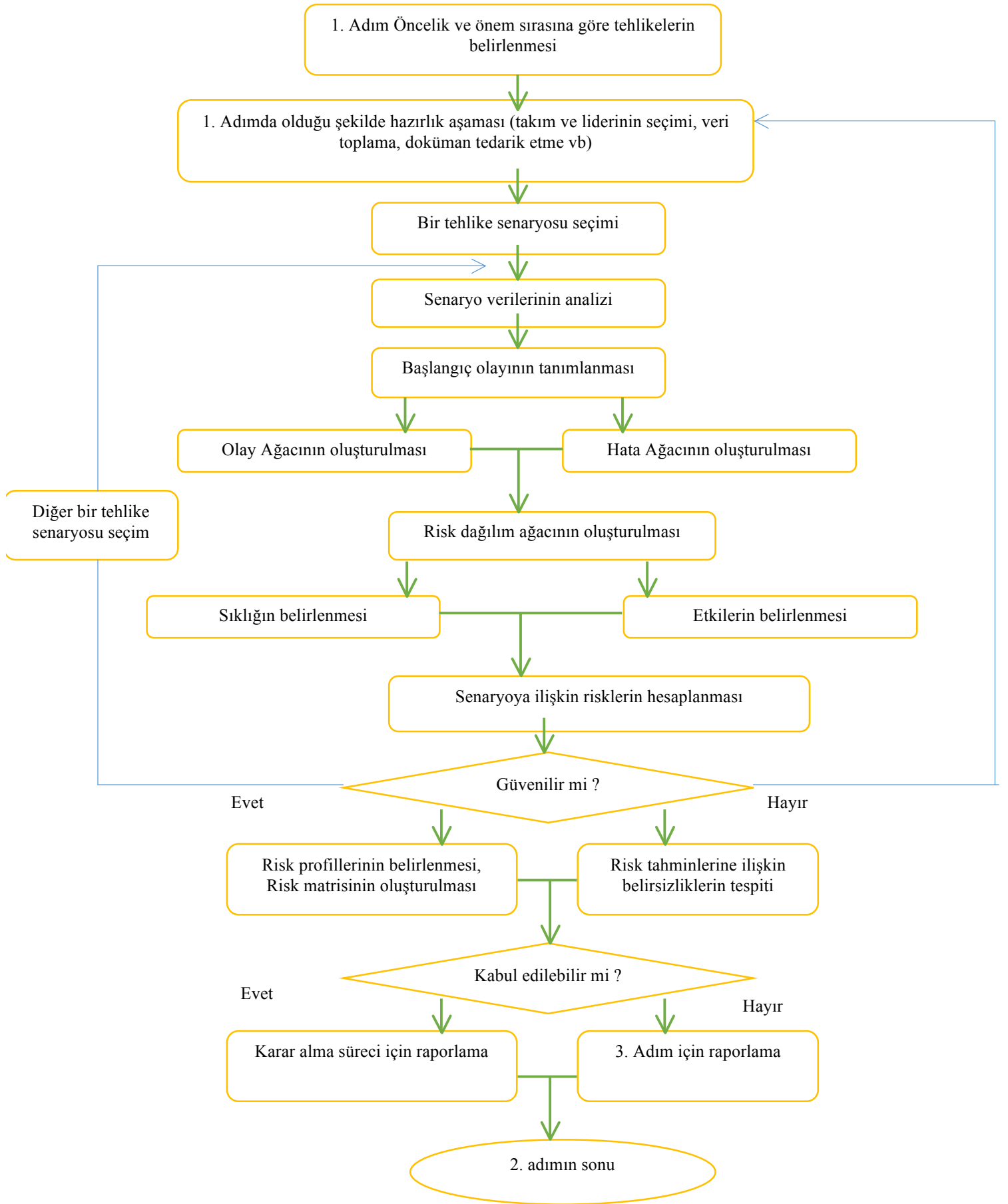
BGD'nin beşinci adımı olan karar verme aşamasında ise nelerin yapılması gerektiğine ilişkin önerilerde bulunulur. Bunu için, risklerle ilgili yapılan

derecelendirmeler, bilgiler, veriler, risk kontrol seçenekleri ile ilgili karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yapılır. Ayrıca, daha önceki dört adımda gerçekleştirilen faaliyetler hakkında geri bildirimlerde bulunularak bir kontrol ve gözden geçirme mekanizması oluşturulur. Gerekli durumlarda, önceki adımlarda yapılan işlemlerin tekrarlanması önerilir. Karar vericilere yardımcı olması açısından maliyet etkinliği ve alternatif risk kontrol etme seçenekleri ile ilgili öneriler de yapılır (Dasgupta, 2003;IMO, 2002).

Bütün değerlendirmeler hesaplanabilir ve kabul edilebilir seviyede olmalıdır. O halde, risk kontrol seçenekleri için aşağıdaki iki soruya yanıt aranır:

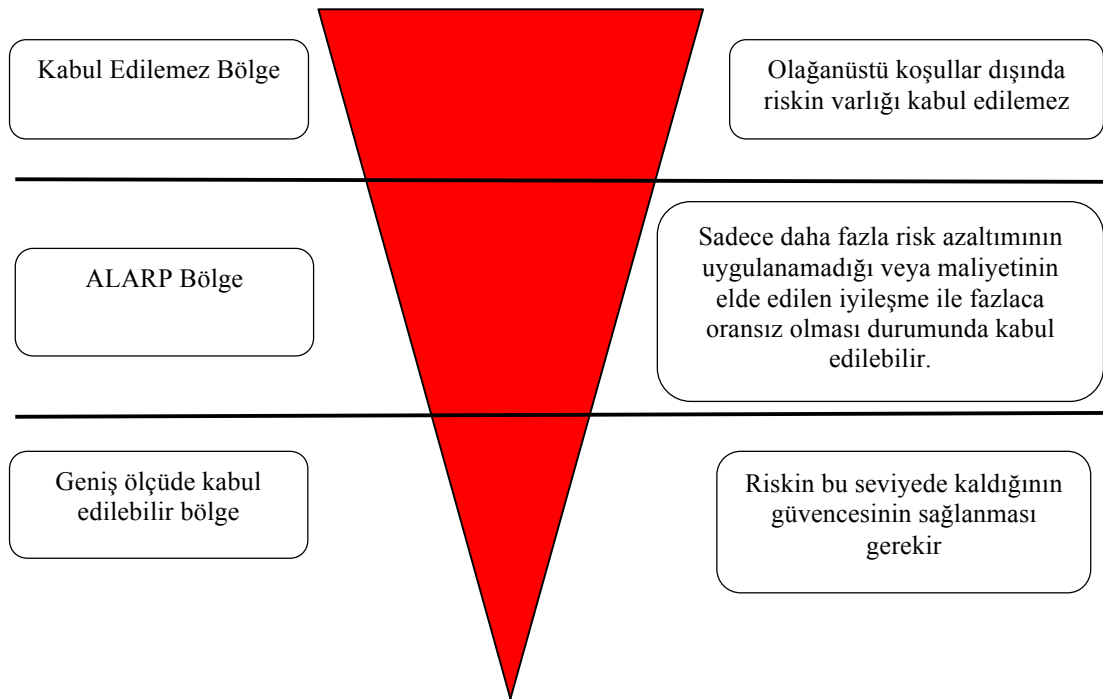
- ✓ Elde edilen durumun maliyete etkileri nelerdir?
- ✓ Var olan riskler arzu edilen risk seviyelerine kadar azaltılabildi mi?

Health and Safety Executive (HSE) kayıplara karar vermek ve bu kayıplara neden olan etkilerin maliyetini hesaplayabilmek için “Maliyet Metodolojisi’ni” geliştirmiştir. Bu metodun başarılı olabilmesi için “İş kazaları” ile ilişkilendirilmelidir. Çalışan kişinin yaralanma, ölüm ya da hastalık, engelli olma durumunun yanısıra binalarda meydana gelen hasarlar, ekipman, materyal, çevresel ya da planlanmamış olayların sonuçları iş kazaları olarak hesaplanır.



Şekil 3: Risk değerlendirmesine ilişkin akış diagramı (Dasgupta, 2003)

Health and Safety Executive (HSE), riskleri, kabul edilemez, ALARP (As Low As Reasonably Practicable) bölgesi ya da ara bölge ve geniş ölçüde kabul edilebilir bölge olmak üzere üç durumda düşünülmesi gerektiğini ifade etmiştir. Kabul edilemez bölgede, kazanın gerçekleşme olasılığı, frekansı ve riski çok yüksektir. Bu bölgeye giren olaylar “felaket” olarak adlandırılır. Geniş ölçüde kabul edilebilir bölge ise risk frekansının çok düşük ve aynı zamanda kaza sonuçlarının daha önemsiz olduğu bölgedir. Bu alandaki riskler geniş ölçüde kabul edilebilir ve risk azaltmaya ihtiyaç duyulmaz. Üçüncü bölge ise yukarıda belirtilen iki bölge arasında kalan bölgedir ve ALARP (As Low As Reasonably Practicable) diye adlandırılır. Bu bölgede, sadece riskin daha fazla azaltılamadığı ya da maliyetin elde edilen iyileşme ile orantısız olması durumunda kabul edilebilir (Şekil 4).



Şekil 4: ALARP (As Low As Reasonably Practicable)

3. RİSK ANALİZİNDE KARAR VERME, BULANIK MANTIK VE YÖNTEMLER

Endüstride ortaya çıkan risklerin analizinde ve emniyet yönetiminde karar verme yöntemlerinin önemi artmakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ele alınan risk probleminin belirsiz, eksik ya da bulanık bilgiye sahip olduğu durumlarda, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin kullanımı daha da önem arz etmektedir.

3.1 Risk analiz tekniklerinin sınıflandırılması

Risk analiz tekniklerinin sınıflandırılması ve değerlendirilmesi aşamasında dört unsur çok önemlidir (Fenelon v.d., 1994). Bunlar;

- (i) Amaç,
- (ii) Olaylar ve sonuçları (etkileri) arasında ne şekilde ilişki kurulduğu,
- (iii) Yaşam çevriminde bulunduğu yer,
- (iv) Sonuçların sunuluş biçimi.

Sistemin çalışmasını engelleyen durumların potansiyel olasılıkları listelenmeye çalışılıyorsa bunlar nitel analiz yöntemleridir. Eğer sistemin çalışmasını engelleyen durumların yaşanma sıklıklarını ve sonrasında frekansları hesaplanıyorsa bunlar da nicel analiz yöntemleridir. Bunların dışında hem nicel hem de nitel teknikleri içinde barındıran yöntemler mevcuttur. Tablo 2’de Risk analiz teknikleri ve bu tekniklerin amaçları yer almaktadır. Tablo 3’de ise deniz endüstrisinde risk değerlendirmesinde sıklıkla kullanılan klasik nitel-nicel risk analiz teknikleri verilmiştir.

Tablo 2: Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Amaçları (Mauri, 2000)

Amaçlar	Olası çıktı örnekleri
Nitel Analiz	Bir sistemi ya da süreci etkileyen potansiyel olumsuzlukların ya da tehlikelerin listelenmesi
Nicel Analiz	Kritik arızaların ya da istenmeyen olayların meydana gelme sıklığının tahminine ilişkin sayısal veriler
Hem Nitel Hem Nicel Analiz	Dalları, kökü ve yapraklarının her birinde ayrı bir olasılığı tanımlayan bir ağaca benzeyen grafik gösterim.

Tablo 3: Risk Değerlendirme Yöntemleri (HSE, 2000)

	Risk Değerlendirme Teknikleri	Sonuç	Zaman/Maliyet
1	Başlangıç Tehlike Analizi	Nitel	2
2	Başlangıç HAZOP	Nitel	1
3	HAZOP	Nitel	3
4	“What if” Analizi	Nitel	2
5	Kontrol Listeleri	Nitel	2
6	FMEA	Nitel	3
7	Fonksiyonel FMEA	Nitel	3
8	FMECA	Nitel	3
9	Sebeup-Sonuç Analizi	Nitel, Nitel	3
10	Hata Ağacı Analizi	Nitel, Nitel	3
11	Petri Nets	Nitel	2
12	Event Tree Analizi	Nitel, Nicel	3

3.2 Karar Verme

“Karar verme”, belirli bir problemi çözmek ve istenilen amaca ulaşmak için birtakım ölçütler ışığında, mevcut tüm seçenekler arasından bir ya da birkaçını seçme işlemidir. Tüm karar verme problemlerinde karar vericiler genellikle çok sayıda ve birbirleriyle rekabet halindeki ölçütler arasından seçim yapmaya çalışırlar. Çok ölçütlü karar verme problemleri ile uğraşırken bazı temel kavramları anlamak problem çözümü için önemli kolaylıklar sağlayacaktır. Bu kavramlar hakkında gerekli bilgiler aşağıda açıklanmıştır (Mentes, 2000):

Seçenekler (alternatives): Bir problemdeki tercih seçenekleridir. Ele alınan problemlerde yerine göre birkaç yerine göre yüzlerce seçenek söz konusu olabilir. Bu seçenekler önce eleme sonra seçim ve son olarak da sıralama işlemlerine tabi tutulurlar.

Ölçüt ve öz nitelik (criteria and attribute): Literatürde ölçüt ve öz nitelik kavramı ufak tefek farklar olsa da sıklıkla birbirlerinin yerine kullanılır. Öz nitelikler ölçütlerin temel alt gruplarıdır. Öz nitelikler; seçeneklerin temel özellikleri, kaliteleri veya verimlilik parametreleri olarak tanımlanır ve karar vericinin değer yargılarına bağlı olarak tanımlanıp ölçümlendirilirler. Öz nitelikler hem nesnel hem öznel özelliklerden oluşabilmektedirler.

Amaçlar (objectives): Ölçütlerin karar vericinin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir.

Hedefler (goals): Amaçların daha da somutlaşarak belirli değerlere dönüşmüş şekilleridir.

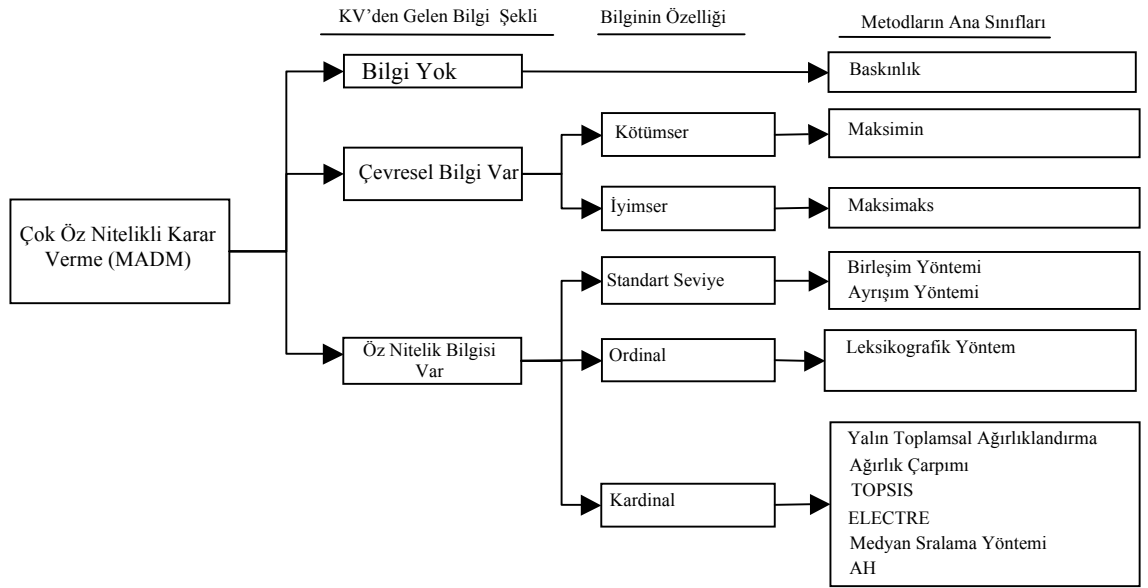
Karar Matrisi (decision matrix): Bir MADM probleminde, eldeki mevcut seçenek ve ölçütlerin karşılaştırılmaları ile elde edilen karşılaştırma göstergeleri matris formunda ifade edilir.

3.3 Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri

MADM problemlerinin çözümü için çok sayıda yöntem kullanılmaktadır (Saaty, 1980, 2000; Hwang ve Yoon, 1981; Chen ve Hwang, 1992; Yoon ve Hwang, 1995; Triantaphyllou, 2000; Figueira ve diğ., 2004). Her yöntem kendine has birtakım özelliklere sahiptir. MADM yöntemlerini sınıflandırmanın pek çok çeşidi vardır. Sınıflandırma yöntemlerinden biri kullanılan verinin cinsine (belirgin, stokastik veya bulanık veri) göredir. Diğer bir sınıflandırma şekli karar verme işlemindeki karar verici sayısına (tek karar verici, grup karar vericileri) göre sınıflandırmadır.

Yoon ve Hwang (1995), KV'den alınan bilginin tipine ve göze çarpan özelliklerine göre 13 MADM yöntemi sınıflandırmışlardır (Şekil 5):

1. Baskınlık,
2. Maksimin,
3. Maksimaks,
4. Birleşim yöntemi,
5. Ayrışım Yöntemi,
6. Leksikografik Yöntem,
7. Görünüme Göre Eleme Yöntemi,
8. Basit Eklenen Ağırlıklandırma Yöntemi,
9. Ağırlıklı Çarpım Yöntemi,
10. TOPSIS Yöntemi,
11. ELECTRE Yöntemi,
12. Orta Değer Sıralama Yöntemi,
13. AHP Yöntemi.



Şekil 5: MADM yöntemleri için bir sınıflandırma (Yoon ve Hwang, 1995).

3.3.1. Baskınlık (Dominans)

Bir tamamlayıcı olma ya da olmama farkı, bir kriterin avantajlarıyla, dezavantajlarının değiş tokuş edilebilirliği dikkate alınarak yapılır. Eğer bir kriterin değerleri kendi aralarında değiştirilebiliyorsa “Tamamlayıcı”, değilse “Tamamlayıcı Olmayan” dır. Kriterler birbirleriyle çelişki içinde bulunabilirler. Bir alternatifte, mevcut kriterlerden biri üzerinde yapılacak pozitif yöndeki bir değişim, diğer kriter ya da kriterlerin değerlerini negatif yöne kaydırabilir. Ancak diğer alternatiflerdeki yapılacak farklı değişimler ile de piyasadaki farklı seçicilere hitap edilebilmektedir.

Bir alternatif başka bir alternatif tarafından bir ya da daha fazla kriter açısından geçiliyorsa o alternatife bastırılmış (dominated), kıyaslanan kriterler açısından hiç geride kalmıyorsa bastırılmamış (nondominated) denir. Bastırılmamış alternatifler seti ikili karşılaştırmalar ile elde edilir. Eğer alternatiflerden biri diğerine baskınlık sağlıyorsa, baskınlık sağlanan atılır. Bu şekilde devam eden işlemler sonunda bastırılmamış alternatifler seti elde edilir.

3.3.2 Tatmin Yöntemleri (Satisficing Methods)

İki tip tatmin yöntemi vardır: Birleşim (Conjunctive) ve Ayrışım (Disjunctive) Yöntemleri. Bu yöntemler alternatifleri seçmek için kullanılmazlar, sadece kabul edilebilir ya da edilemez diye sınıflandırma yoluna giderler. Her alternatif minimum gereksinimleri sağladığı sürece kabul edilebilir.

3.3.3 Ardışık Eleme Yöntemleri (Sequential Elimination Methods)

Alternatifleri ardışık olarak elemek için iki yöntem vardır: Leksikografik (Lexicographic) ve Görünüme Göre Eleme (Elimination by Aspects) yöntemleri. Her iki yöntemde de alternatiflerin elenebilmesi için önce bir tek kriter kullanılır. Alternatifler incelenir ve hala alternatifler mevcut ise bu işlem tek bir alternatif kalana kadar devam eder. Leksikografik yöntem kriterlerin önem sırasına göre alternatifleri elerken, Görünüme Göre Eleme yöntemi, en çok alternatifi eleyebilecek kriterleri sıra ile kullanarak eleme işlemini gerçekleştirir.

3.3.4 Davranışa Yönelik Yöntemler (Attitude Oriented Methods)

DM' in karar çevresi hakkındaki tavrını temel alan iki yöntem vardır: Maksimin ve Maksimaks Yöntemleri. DM, çevre hakkında olumsuz bir kanıya sahipse Maksimin Yöntemi, olumlu bir kanıya sahipse Maksimaks Yöntemi kullanılır. Maksimin Yönteminde en kötü kriter alınarak alternatifler arasında bu kritere göre en iyi olan seçilir. Maksimaks yönteminde ise en iyi kriter için en iyi alternatif aranır.

3.3.5 Puanlama Yöntemleri (Scoring Methods):

MADM yöntemlerinde her alternatif çok elemanlı bir vektör olarak görülebilir. Bu vektörün uygun bir skalara dönüşümü MADM çözüm yaklaşımıdır. Daha sonra da en yüksek değere sahip alternatif seçilir.

3.3.6 Yalın Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi (SAW – Simple Additive Weigting Method):

SAW yöntemi, en çok bilinen ve en geniş uygulama alanına sahip MADM yöntemlerden biridir. Bu yöntemin temel özellikleri;

- Tüm kriterler birbirinden bağımsızdır.
- Kriter ağırlığı, her kriterin değer fonksiyonundaki birim değişikliğin bağıl değerleri ile orantılıdır.
- Her kriterin katkılarının toplamı ile bir indeks oluşturulur.

SAW yönteminde kriter katkılarının toplama işlemini yapabilmek için verilerin aynı birime sahip olması gerekir. Eğer bunun aksi bir durum söz konusu ise normalizasyon işlemi yapılır. SAW yöntemi için genelde kullanılan normalizasyon

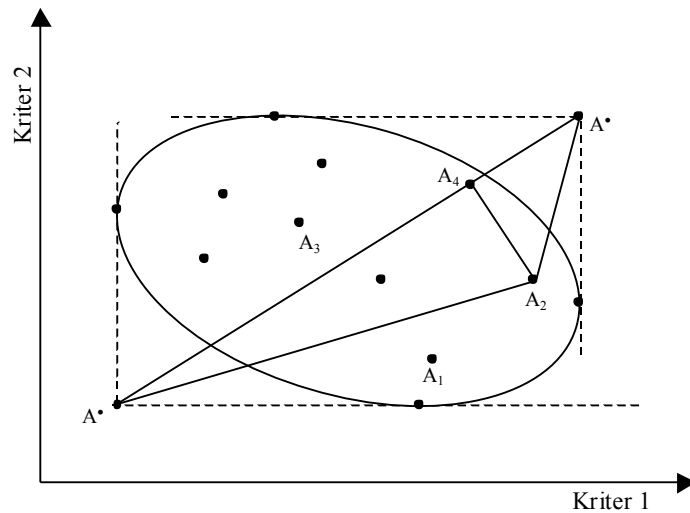
işlemi, lineer normalizasyondur. Normalizasyon işleminden sonra, her alternatif için toplam puan, o alternatif için çeşitli kriterlerdeki normalize değerler ile ağırlıkların çarpılıp, bulunan çarpım değerlerinin de toplanması ile elde edilir.

3.3.7 Ağırlık Çarpımı Yöntemi (Weighted Product Method):

SAW yönteminde, karar matrisindeki veriler arasında bir toplama işlemi yapabilmek için veriler aynı birimden değilse normalizasyon yapmak gerekli idi. Ağırlıklı çarpım yönteminde ise kriterler birbirleriyle çarpıldığı için normalizasyon işlemine gerek kalmamaktadır. Bu yöntem kullanılırken bazı kurallara dikkat etmek gerekmektedir. Bunlar, terimlerin üstel olmasından kaynaklanan sorun; ağırlık değerlerinin 1' den büyük olması gerekir. Birden küçük değerler, m gerekli herhangi bir sayı olmak üzere, 10^m ile çarpılarak 1' den büyük hale getirilir. Yarar kriterlerinin ağırlıkları pozitif ve maliyet kriterlerinin değeri negatiftir.

3.3.8 TOPSIS

Bir MADM probleminde m adet alternatif ve bu alternatiflerin çözümünde kullanılan n adet kriter, m noktalı ve n boyutlu bir uzay sistemi olarak düşünülebilir. Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olmasını esas alır (Şekil 6).



Şekil 6: İki boyutlu uzayda pozitif ideal-negatif ideal çözümlere Öklit Mesafeleri

Bir ideal çözüm, bütün kriterler bir arada düşünüldüğünde ideal seviyelerin (veya oranların) toplanması olarak düşünülebilir. Ancak, ideal çözüm genelde ulaşılamaz

ya da tatbik edilemez bir çözüm olabilmektedir. Bu nedenle çözüme ulaşabilmek için alternatifler arasından pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak olan alternatif ön plana çıkartılır.

3.3.9 ELECTRE

Bu yöntem, ilk kez Roy (1971) tarafından 1960' lı yılların sonunda ortaya atılmıştır. O günden itibaren bu yöntem günümüze kadar bazı yazarlar tarafından geliştirilerek yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu yöntem, tercih edilen ve edilmeyen alternatifler arasında üstünlük ilişkisi kurulmak suretiyle işler. Yöntemin temel taşları Üstünlük İlişkisi (Outranking Relationship) ve Kernel' dir. Bu yöntem Avrupa'da, özellikle Fransızca konuşulan bölgelerde çok popülerdir. Bu yöntemde üstünlük ilişkisinin kurulabilmesi için uyum ve uyumsuzluk indeksleri oluşturulur. Uyum ve uyumsuzluk indeksleri hangi alternatifin daha baskın olduğunun seçilmesini sağlayan tatmin ya da tatminsizliğin ölçüsüdür.

3.3.10 Medyan Sıralama Yöntemi (Median Ranking Method)

MADM problemlerinde, DM tüm kriterlere eşit ağırlık verilirse, her alternatif için kriterlerin toplam ağırlıklarıyla alternatif sıralaması yapılabilirdi. Ancak, ordinal sayılarda aritmetik işlemler yapmanın fiziki ortamda karşılığı olmadığı için bu yapılamaz. Bu nedenle başka bir yöntem kullanılmalıdır.

Eğer kriterlere göre en iyi alternatif bulunmak istenirse, her kriter değeri için farklı alternatifin ön plana çıktığı görülür. Bu kargaşanın önüne geçmek ve uygun bir sıralama yapabilmek için Cook ve Seiford (1978) tarafından bir uzaklık fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu fonksiyon sıralamalar arasında bir anlaşma ve anlaşmazlık ölçüsüdür.

3.3.11 AHP : Hiyerarşik SAW Yöntemi

Analitik Hiyerarşi İşlemi, Saaty (1980) tarafından geliştirilmiştir. Analitik Hiyerarşi İşlemi'ni bilmek hiyerarşik ağaç yapısını kullanarak çözülen problemleri anlamak açısından oldukça önemli olmaktadır. AHP yönteminde MADM problemleri kriter hiyerarşisi formunda ifade edilir.

Bu şekilde oluşturulmuş bir hiyerarşi en az üç seviyeden oluşur: En üst seviye de hedef, orta seviye de alternatiflerin değerlendirildiği kriterler, en alt seviyede ise

alternatifler yer almaktadırlar. Eğer kriterler çok soyut veya geniş kapsamlı ise orta kademe daha fazla seviyeden oluşturulur.

AHP yönteminde bir problemin çözüm aşamaları:

- 1) Problemler önemli olan faktörlere göre ayrıştırılır.
- 2) Ayrıştırılmış elemanlar üzerinde karşılaştırmalı yargılara varılır.
- 3) Çiftli karşılaştırma matrisleri ile bağıl önem ölçüleri elde edilir ve bunlar daha sonra elde bulunan seçeneklerin değerlendirilmesi için birleştirilir. İkili karşılaştırmalar yapabilmek için Saaty' in dokuz noktalı duyarlılık ölçeği kullanılır (Tablo 4).

Tablo 4: Saaty karar ölçeği

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Eşit öneme sahip
3	Biraz daha önemli
5	Çok daha önemli
7	Çok fazla daha önemli
9	Olağan üstü fazla daha önemli
2,4,6,8	Her iki karar arasındaki ara değerler.

3.4 Bulanık Mantık

3.4.1 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi ve bulanık mantık kavramı ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek bir çok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir bilim dalı olmuştur.

Bulanık küme teorisi temelde, insan düşünce ve algılarındaki belirsizliklerle ilgilenir ve bu belirsizlikleri sayısallaştırmaya çalışır. Bu teori klasik matematiğin çok yetersiz kaldığı, özünde belirsizlik veya kesinlik içermeyen karar verme problemlerine kesinlik kazandırıp çözümdeki sorunları ortadan kaldıran kavramlar ve yöntemler sunmaktadır. Günlük hayatta sıklıkla kullandığımız yüksek, biraz yüksek,

çok yüksek, az, çok az, çok fazla, ileri, çok ileri gibi belirsizlik ifade eden terimler üzerine kurulmuştur (Mentes, 2010).

3.4.2 Üyelik Fonksiyonu

Sözel ifadeler genellikle yaklaşıklık ve bulanıklık anlamları içerdiğinden bu ifadeler üzerinde matematiksel işlemler yapabilmek için bir küme ve bu kümeye ait olma üyelik fonksiyonu ile tanımlanmalıdırlar. Üyelik fonksiyonu veya karakteristik fonksiyon, E evrensel kümesine ait bir x elemanının, A alt kümesine ait olma derecesini veren bir fonksiyondur ve $\mu_A(x)$ ile gösterilir. $\forall x \in E$ için $\mu_A(x) \in [0,1]$ olmaktadır. Burada $[0,1]$, 0'dan 1'e kadar olan kapalı aralığı temsil etmektedir. $\mu_A(x)$ alt kümesi, bulanık alt küme veya bulanık küme olarak adlandırılır. Bulanık küme, yalnızca 0 (ait değil) veya 1 (ait) değerlerini almamakta bunlardan başka 0 ve 1 arasında değerler de alabilmektedir (0.2, 0.3, 0.453, 0.795, 0.8, 0.99 gibi).

Klasik bir küme ile bulanık bir küme arasındaki temel farklılık elemanlarının aldığı üyelik derecelerinden kaynaklanmaktadır. Klasik bir kümenin elemanlarının üyelik dereceleri yalnızca 0 ve 1 değerlerini alırken, bulanık bir kümenin elemanlarının üyelik dereceleri, $[0,1]$ kapalı aralığındaki herhangi bir değer olabilmektedir.

Bir bulanık kümenin üç özelliği sağlaması gerekir (Şen, 2004).

- Bulanık küme normal olmalıdır. Bu, o kümede bulunan öğelerden en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e eşit olması gerekliliğini ifade eder.
- Bulanık küme monoton olmalıdır. Bu, üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağdaki ve soldaki üyelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olması gerekliliğini ifade eder.
- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik dereceleri birbirine eşit olmalıdır. Bu özelliğe simetrik olma özelliği denilir.

Bulanık bir kümenin bu üç özellikten ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonuna sahip olması gerekmektedir. Bulanık küme simetrik olma şartını sağlamak zorunda değildir.

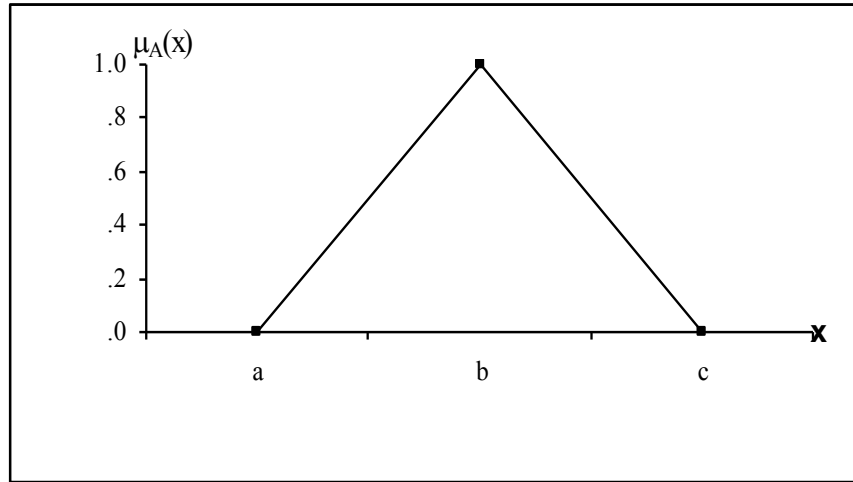
3.4.3 Bulanık Sayılar

Üyelik fonksiyonları klasik kümelerde bir dikdörtgen ile ifade edilirken bulanık kümelerde bunlara ilaveten doğrusal veya eğrisel bir fonksiyon şeklinde de ifade edilebilmektedir. Bulanık sayılar en çok üçgen veya yamuk üyelik fonksiyonlarla ifade edilmekte olup bu fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

3.4.3.1 Üçgen Bulanık Sayılar

Üçgen bulanık sayılar (a, b, c) şeklinde üç elemandan oluşan sayılardır. Şekil 7’de gösterilen üçgen bulanık sayı için üyelik fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x < c \\ 0 & , x > c \end{cases} \quad (1)$$

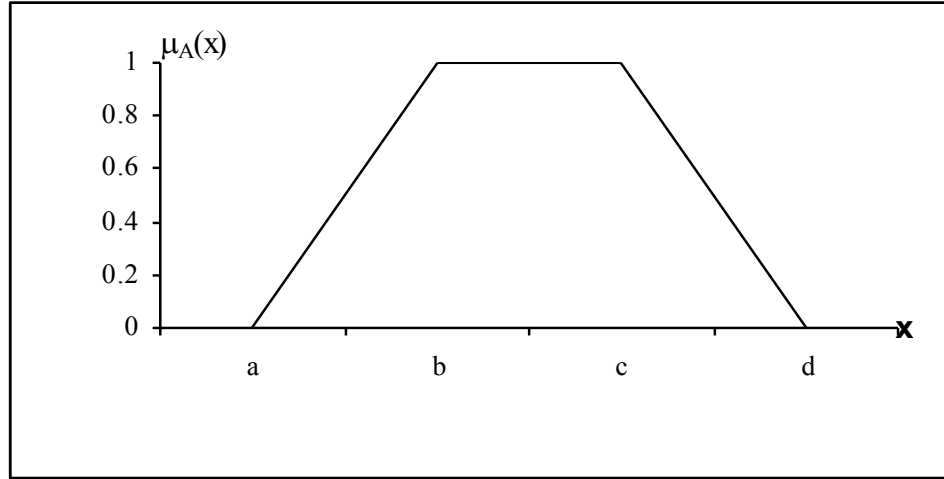


Şekil 7: Üçgen bulanık sayı.

3.4.3.2 Yamuk Bulanık Sayılar

Yamuk bulanık sayılar (a, b, c, d) şeklinde dört sayı ile temsil edilen sayılardır. Şekil 8’ de gösterilen yamuk bir bulanık sayı için üyelik fonksiyonu aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x < b \\ 1 & , b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c \leq x < d \\ 0 & , x \geq d \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 8:Yamuk bulanık sayı.

3.4.4 Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri

Bellman ve Zadeh (1970) ve Zimmermann (1978) bulanık küme kavramını klasik MADM çalışma alanına uygulamışlardır. Klasik MADM teknikleri ile çözilemeyen ya da kabul edilemeyen problemleri çözecek yeni teknikler için yeni bir yöntem açıklamışlardır. Bellman ve Zadeh (1970) bulanık ortamda karar verme konusunda ilk yöntemi sunmuşlardır. Bulanık amaçlar ve sınırlamaların bir seçenek uzayında sistematik bir şekilde bulanık küme olarak tanımlanabileceğini ifade etmişlerdir. Zimmermann (1987) bulanık MADM yöntemlerinin iki fazdan oluştuğunu ifade etmiştir. İlk faz, her bir seçenek için tüm öz niteliklerin performans oranlarının (veya memnuniyet dereceleri) bulunması safhası, ikincisi ise tüm performans oranlarının toplanmasına göre seçeneklerin derecelendirilmesi için bulanık sıralama yöntemlerinin uygulanması safhasıdır.

Baas ve Kwakernaak (1977)' in yaklaşımı, FMADM yöntemi olarak pek çok klasik çalışmada yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Diğer benzer bulanık karar verme modelleri için de bir ölçü olmuştur. Bulanık kümeyi kullanan, çok sayıdaki öz

niteliklerin oranlanması ve seçeneklerin sıralanması evreleri şeklinde iki safhadan oluşan MADM yaklaşımıdır.

Yager (1977, 1978) bir karar bulanık kümesini tüm bulanık amaçların bir kesişimi olarak ifade etmiştir. En iyi seçenek, tüm ölçüt değerlerine göre en büyük üyelik fonksiyonuna sahip olabilir ama bu durum MADM problemlerinde nadiren gerçekleşir. En iyi kabul edilebilir seçeneğe ulaşabilmek için maksimum ve minimum operatörlerin kombinasyonunu içeren bir uzlaşma çözümü önermiştir. Her öz niteliğin göreceli önemini hesaplamak için karşılaştırma matrisini esas alan Saaty (1977)'nin ikili karşılaştırma yöntemini önermiştir.

FMADM yöntemleri konusunda literatürde pek çok çalışma ve uygulama mevcuttur. Liang ve Wang (1991) bulanık ortamda tesis yeri seçimi problemi için bir algoritma geliştirmiştir. Liang ve Wang (1993) bu algoritmayı aynı zamanda robot seçim problemlerine de uygulamışlardır. Liang (1999) ağırlıklı uygunluk karar matrisini geliştirmeyi hedeflemiş ve çeşitli öz niteliklere karşılık gelen farklı seçeneklerin ağırlıklı uygunluğunu elde etmek için pozitif ve negatif ideal noktaları esas alan yeni bir FMADM yöntemi geliştirmiştir. Yeh ve diğ. (2000) şehir içi yolcu taşıma sistemi problemi çözümünde belirgin sıralama değerleri veren bir FMADM yöntemi kullanmıştır. Perego ve Rangone (1998), ileri üretim teknolojilerinin seçimi problemi için FMADM yöntemi uygulaması için iyi bir kaynak çalışması sunmuşlardır. Ekel (1999) en iyileme problemlerinin çözümü için genel bir yaklaşım sunmuştur. Mentis (2000) manevra ve sevk sistemi seçim problemi çözümünde iki farklı FMADM yöntemi önermiştir. Ölçer ve Odabaşı (2005) gemi inşaa sanayinde problemlerin çözümü için homojen ve heterojen grup ağırlıklarını hesaba katan yeni bir FMADM yöntemi önermişlerdir. Wang ve Parkan (2005) MADM problemlerinin çözümünde seçeneklerin bulanık tercih bilgisini kullanır ve sıralama işleminde de özdeğer yöntemini önermişlerdir. Ling (2006) öz nitelik ağırlıkları ve karar matrisi elemanlarının bulanık değişkenlerden oluştuğu bir FMADM yöntemi sunmuştur. Xu ve Chen (2007), bulanık ortamda çok öz nitelikli grup kararları için karşılıklı etkileşimli bir yöntem geliştirmişlerdir.

FMADM konusunda çok sayıda iyi inceleme mevcuttur (Luhandjula, 1989; Chen ve Hwang, 1992; Sakawa, 1993; Fodor ve Roubens, 1994). Perego ve Rangone (1998) FMADM tekniklerini dört ana gruba ayırmışlardır. Bunlar bulanık amaç yöntemi, bulanık sözel modeller, ikili karşılaştırmaları esas alan bulanık hiyerarşik modeller ve bulanık mantığı esas alan sezgisel modellerdir. Literatürde kullanılan FMADM

yöntemleri için iyi bir sınıflama Ölçer ve Odabaşı (2005) tarafından verilmiştir (Tablo 5).

Chen (1988) yöntemi, MADM problemlerini bulanık mantık çerçevesinde hızlı ve etkili bir şekilde çözen, hesapsal zorlukların olmadığı yeni bir yaklaşımdır. Bu yöntem problemleri iki aşamada çözer. İlk aşamada, bulanık veri sayısal puanlara dönüştürülür. Bulanık veri, sözel terimlerden, bulanık küme veya bulanık sayılardan oluşmuş olabilir. Eğer bulanık sayılar sözel terimlerden oluşmuşsa, ilk olarak bulanık sayılara dönüştürülür. Sonra, tüm bulanık sayılar (veya bulanık kümeler) sayısal skora atanır. Böylece ilk aşama sonucunda, sayısal verilerden oluşan bir karar matrisi elde edilmiş olur. İkinci aşamada, klasik MADM yöntemleri alternatifler arasında bir sıralama yapmak için kullanılır. Genellikle, matematiksel hesaplamalar minimum düzeyde tutulur. Chen (1988)'in yaklaşımının kolay anlaşılır ve uygulanabilir olması özellikle yönetim ve sistem analistliğinde tercih edilmesini sağlar.

Sözel Terimlerin Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi

Sistematik olarak sayısal terimleri, onlara karşılık gelen bulanık sayılara dönüştürmek için Chen yönteminde farklı dönüşüm ölçekleri kullanılarak sayısal bir tahmin sistemi uygulanır (Mentes, 2000).

Tablo 5: Literatürdeki FMADM yöntemlerinin sınıflandırması.

FMADM Yöntemleri	Performans Oranları		Öz Nitelik Ağırlıkları		Faz I Sonuçları	GKV
	Belirgin	Bulanık	Belirgin	Bulanık		
SAW tabanlı yöntemler						
Bass ve Kwakernaak (1977)		♦		♦	Bulanık	
Kwakernaak (1979)		♦		♦	Bulanık	
Dubois ve Prade (1983)		♦		♦	Bulanık	
Cheng ve McInnis (1980)			♦	♦	Bulanık	
Bonissone (1982)	♦	♦	♦	♦	Bulanık	
AHP tabanlı yöntemler						
Laarhoven ve Pedrcz (1983)		♦		♦	Bulanık	♦
Buckley (1985)		♦		♦	Bulanık	♦
Ruoning ve Xiaoyan (1992)		♦		♦	Bulanık	♦
Chang (1996)		♦		♦	Bulanık	♦
Outranking ilişkili yöntemler						
Roy (1977)	♦		♦		Belirgin	
Siskos ve diğ. (1984)	♦		♦		Belirgin	
Brans ve diğ. (1984)	♦		♦		Belirgin	
Takeda (1982)	♦		♦		Belirgin	
Wang (1997)		♦		♦	Belirgin	
Implied Conjunction yöntemleri						
Bellman ve Zadeh (1970)		♦			Belirgin	
Yager (1977, 1978)		♦	♦		Belirgin	
Bulanık sözel yöntemler						
Liang ve Wang (1991, 1993)		♦		♦	Bulanık	♦
Chang ve Chen (1994)		♦		♦	Bulanık	♦
Wang ve Chang (1995)		♦		♦	Bulanık	♦
Chen (1997)		♦		♦	Bulanık	♦
Rangone (1998)		♦		♦	Bulanık	
Liang (1999)		♦		♦		
Yeh ve diğ. (2000)		♦		♦		
Chen (2001)		♦		♦		
Olcer ve Odabasi (2005)	♦	♦		♦	Bulanık	♦
Kulak ve Kahraman (2005)	♦	♦	♦	♦	Bulanık	♦
Li (2007)		♦	♦	♦	Bulanık	
Diğer FMADM yöntemleri						
Efstathiou (1979)		♦			Bulanık	♦
Dubois ve diğ. (1988)		♦	♦		Belirgin	
Negi (1989)	♦	♦		♦	Belirgin	
Chen ve Hwang (1992)	♦	♦	♦		Bulanık	
Aouam ve diğ. (2003)	♦	♦	♦	♦	Bulanık	
Chen ve Larbani (2006)				♦	Bulanık	
Xu ve Yager (2008)				♦	Bulanık	

Bulanık Sayıları Sayısal Puanlara Dönüştürmek

Bulanık sayıları sayısal puanlara dönüştürmek için Chen (1988) bulanık sıralama yaklaşımını kullanmıştır. Bulanık sayı M 'nin, sayısal puanlarının hesaplanması şu şekilde yapılır:

Verilen bir maksimize etme ve minimize etme sistemi;

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1 - x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (4)$$

M 'nin sağ puanı (right score) aşağıdaki denklemden bulunur.

$$\mu_R(M) = \sup_x [\mu_M(x) \wedge \mu_{\max}(x)] \quad (5)$$

M 'nin sol puanı (left score) da aşağıdaki denklemden bulunur:

$$\mu_L(M) = \sup_x [\mu_L(x) \wedge \mu_{\min}(x)] \quad (6)$$

M 'nin verilen sağ ve sol puanları için, M 'nin toplam puanı (total score) aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$\mu_T(M) = [\mu_R(M) + 1 - \mu_L(M)] / 2 \quad (7)$$

3.5 DEMATEL Metodu (Decision making trial and evaluation laboratory method)

Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) metodu, araştırmada karmaşık ve birbirine girmiş problem gruplarının çözümünde kullanılması amacıyla 1972 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü, Bilim ve İnsan İlişkileri programı tarafından geliştirilmiştir (Shieh ve diğ., 2010). DEMATEL, özel problemlerin kavrayışını geliştirmek, birbirine geçmiş problem kümelerini ve hiyerarşik yapıda uygulanabilir çözümlerin tanımlanmasına katkıda bulunmak için uygun bilimsel araştırma yöntemlerinin kullanılmasına öncülük etme fikriyle geliştirilmiştir.

DEMATEL yönteminde diğer kriterler üstünde daha çok etkisi olan ve yüksek önceliğe sahip olduğu kabul edilen kriterler *neden kriterleri*; daha çok diğer kriterlerin etkisi altında kalan ve düşük önceliğe sahip olduğu kabul edilen kriterler ise *sonuç kriterleri* olarak adlandırılmaktadır.

Adım 1. Doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması:

Doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması için öncelikle Tablo 6’da gösterildiği gibi 5 seviyeden oluşan ikili karşılaştırma skalası kullanılmıştır.

Tablo 6: DEMATEL metodu karşılaştırma skalası

Sayısal Değer	Tanım
0	Etkisiz
1	Düşük Etki
2	Orta seviye etki
3	Yüksek Etki
4	Çok yüksek Etki

Kriterler arasındaki ilişkiler, ikili karşılaştırma skalası kullanılarak uzman grup tarafından belirlenir (Tsai ve Chou, 2009). Karşılaştırmaların sonucunda doğrudan ilişki matrisi elde edilir.

Adım 2. Normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisinin belirlenmesi:

Doğrudan ilişki matrisi (A)’a bağlı olarak denklem (9)’daki 1 ve 2 eşitlikleri, satır ve sütundaki en küçük k değeri kullanılarak normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi (M) elde edilir. A matrisinde esas köşegen değerleri 0’dır (Tsai ve Chou, 2009).

$$M = k \times A \quad (8)$$

$$k = \min \left(\frac{1}{\max_{j=1}^n \sum_{i=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij}|} \right) \quad (9)$$

$i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$

Adım 3. Toplam ilişki matrisinin elde edilmesi:

Normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi elde edildikten sonra, toplam ilişki matrisi (S) türetilir.

Toplam ilişki matrisi (S) olarak verilen denklem (10)'da (I) birim matrisi ifade eder.

$$S = M + M^2 + M^3 + \dots = \sum_{i=1}^{\infty} M^i = M(I - M)^{-1} \quad (10)$$

Adım 4. Gönderici ve alıcı grubu hesaplanması:

Toplam ilişki matrisinin hesaplamasının ardından, S matrisindeki sütunlar toplamı (R) ve S matrisindeki satırlar toplamı (D) olarak denklem (11) ve denklem (12)'de hesaplanır. D-R ve D+R değerlerini kullanarak, her bir kriterin diğer kriterlere etki ve ilişki seviyeleri belirlenir (Tsai ve Chou, 2009). Bazı kriterler D-R değeri için pozitif değerlere sahiptir. Bu kriterlerin, diğer kriterler üzerinde daha yüksek etkiye sahip olmalarından dolayı daha yüksek önceliğe sahip oldukları kabul edilir. Bu tip kriterler gönderici olarak adlandırılır. D-R değeri için negatif değere sahip olan kriterler ise diğer kriterlerden daha fazla etkilenirler. Daha düşük önceliğe sahip olduğu kabul edilen bu kriterler alıcı olarak adlandırılır. Diğer taraftan D+R değerleri her bir kriterin diğer kriterlerle arasındaki ilişkiyi gösterir ve D+R değeri yüksek olan kriterler diğer kriterler ile daha çok ilişkilidir, düşük olan kriterlerin ise diğer kriterlerle ilişkileri azdır (Tsai ve Chou, 2009).

$$S = [s_{i,j}]_{n \times n}, i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (11)$$

$$D = \sum_{j=1}^n s_{i,j} \quad (12)$$

$$R = \sum_{j=1}^n s_{i,j} \quad (13)$$

Adım 5. Eşik değerinin ayarlanması ve *etki-yönlü graf* diyagramının elde edilmesi:

Uygun bir etki-yönlü graf elde etmek için karar vericilerin etki seviyesi için bir eşik değeri ayarlamaları gerekir. S matrisinde eşik değerinden daha büyük etki değerlerine sahip olan bazı elemanlar seçilir ve etki-yönlü graf diyagramına dönüştürülür. Eşik değeri karar verici ya da uzmanlar tarafından belirlenir. Etki-yönlü graf diyagramı yatay eksenini D+R, dikey eksenini D-R olan bir koordinat düzleminde (D+R, D-R) noktalarının gösterilmesiyle elde edilir (Tsai ve Chou, 2009).

4. TÜRKİYE KARASULARINDA YAŞANAN GEMİ KAZALARININ ANALİZİ

Türkiye kıyıları ve açık denizlerinde 1 Ocak 2001- 20 Ekim 2015 yılları arasında meydana gelen kazalar TC Denizcilik Müsteşarlığı'nın istatistikleri ele alınarak incelenmiştir. Verilerin incelenmesi ile;

- Gemi tipi ile yaşanan kaza arasındaki ilişki,
- Yaşanan kazanın ne sıklıkla yaşandığı,
- Yaşanan kazanın nedenlerinin ne olduğu,
- Gemi tipi ile yaşanan kaza nedenleri arasındaki ilişki,
- Gemi tipi ile kaza yaşanan bölgeler arasındaki ilişki,
- Gemi tipi ile kazanın yaşandığı ay ve mevsim ile olan ilişki,
- Gemi tipi ile kaza tipi arasındaki ilişki,
- Geminin taşıdığı bayrak ile yaşanan kaza sayıları arasındaki ilişki

durumları irdelenmiştir.

Tablo 7'de görüldüğü üzere en fazla kazayı yük gemileri yaşamıştır. Kuru yük gemisini yatlar ve yolcu gemileri izlemiştir. Özellikle Ege ve Akdeniz kıyılarında yat kazalarına sıklıkla rastlanması bu bölgedeki yat turizminin özellikle yaz aylarında yoğunlaştığını göstermektedir. Kazalarda en çok rastlanan 3. gemi tipi balıkçı gemileridir. Dünya genelinde de balıkçı gemileri çalıştıkları ortam ve çevreden dolayı kazaların en fazla yaşandığı gemi tipleri sıralamasında başlarda yer almaktadır.

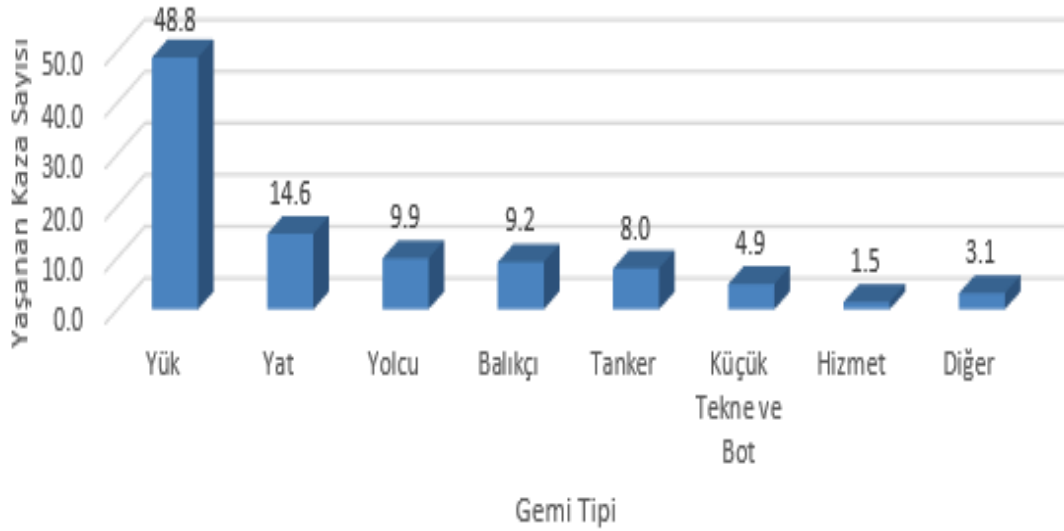
Gemi tipleri gruplara ayrılarak her bir gruba ait kaza yaşanma sayıları ve genel toplam içindeki yüzdeleri Tablo 8'de verilmiştir. Buna göre yük gemileri yük grubuna, yatlar yat grubuna, deniz otobüsü, ro-ro, feribot, şehir hatları, vapur, yolcu gemisi ve yolcu motorları yolcu grubuna, balık avlama gemileri balıkçı grubuna, tankerler tanker grubuna, bot, gezinti gemisi, sandal ve sürat teknesi küçük tekne ve bot grubuna, arama kurtarma gemisi, romörkör ve tarak gemisi hizmet grubuna, kalan gemiler de diğer grubuna alınmıştır.

Tablo 7: Gruplandırılmış Gemi Tipine Göre Kazalar

Gemi Tipi	Kaza Sayısı	Yüzde (%)
Yük	967	48.8
Yat	290	14.6
Yolcu	196	9.9
Balıkçı	182	9.2
Tanker	158	8.0
Küçük Tekne ve Bot	98	4.9
Hizmet	29	1.5
Diğer	62	3.1
Toplam	1982	100.0

Türkiye kıyılarında yaşanan kazaların neredeyse yarısına Şekil 9’da gösterildiği üzere yük gemileri karışmıştır. Yük gemilerini yatlar ve yolcu gemileri takip etmektedir.

Türkiye karasularında yaşanan kazaların aylar itibari ile gemi tiplerine göre dağılımı Tablo 9, gruplandırılmış gemi tipine göre dağılımı Tablo 10’da verilmiştir. En fazla kaza Ağustos ve Kasım aylarında yaşanmıştır.

**Şekil 9:** Gemi Tiplerine Göre Yaşanan Kaza Sayılarının Dağılımı

Tablo 8: Gemi Tiplerine Göre Yaşanan Kazaların Dağılımı

TEKNELER	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOPLAM
AÇIK DENİZ FAALİYET GEMİLERİ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
ARAMA KURTARMA GEMİSİ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
ASKERİ GEMİ	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	4
ATIK TOPLAMA GEMİSİ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
BALIK AVLAMA	17	11	10	23	10	10	10	8	8	25	21	12	8	6	3	182
BARÇ	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	2	0	0	5
BİLİMSEL ARASTIRMA / İNCELEME GEMİSİ	1	0	0	1	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	6
BOT	0	1	3	1	2	4	0	2	1	2	3	3	0	2	0	24
DENİZ OTOBÜSÜ (YOLCU + ARABA)	0	0	0	1	2	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	7
DENİZ BİSİKLETİ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DENİZ UÇAĞI	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DİĞER ARAÇLAR	3	2	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	2	1	1	15
FERİBOT (YOLCU + ARABA)	1	1	1	0	0	2	2	1	0	3	0	5	3	1	0	20
FİBER TEKNE	0	0	0	0	0	0	3	1	1	2	3	2	0	1	0	13
GEZİNTİ GEMİSİ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5	2	3	5	2	19
RO RO/ YOLCU	0	0	2	0	2	0	0	2	0	3	1	2	4	5	7	28
RÖMORKÖR	2	1	1	4	1	4	1	2	2	0	3	2	0	1	0	24
SANDAL	5	3	1	0	2	0	1	1	1	1	2	4	4	3	0	28
SEHİR HATLARI KATAMARAN TIPI	0	1	0	1	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	8
SONDAJ VE ARASTIRMA GEMİSİ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
SPORTİF VE EĞLENCE AMAÇLI TEKNELER	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	3
SU MAVNASI	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
SÜRAT TEKNESİ	1	0	2	1	4	0	1	3	1	3	0	4	5	1	1	27
TANKER	9	10	11	15	15	8	7	17	11	12	14	13	11	2	3	158
TARAK GEMİSİ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3
VAPUR	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	4
YAT	19	14	16	17	22	10	7	18	28	25	26	38	25	18	7	290
YOLCU GEMİSİ	5	4	8	10	3	0	1	8	4	3	10	10	7	5	1	79
YOLCU MOTORU	3	3	2	1	4	7	6	9	2	3	2	2	5	1	0	50
YÜK GEMİSİ	60	42	57	62	67	68	69	109	71	79	94	72	43	47	27	967
YÜZER ATIK ALIM TESİSİ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
YÜZER HAVUZ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
YÜZER VİNÇ	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
HİZMET GEMİLERİ	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	6
Toplam																1982

Tablo 9: Gemi tipine göre kazaların aylık dağılımı

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
AÇIK DENİZ FAALİYET GEMİLERİ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
ARAMA KURTARMA GEMİSİ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
ASKERİ GEMİ	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	4
ATIK TOPLAMA GEMİSİ	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
BALIK AVLAMA	15	11	17	17	18	17	11	15	16	16	11	18	182
BARÇ	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	5
BİLİMSEL ARASTIRMA / İNCELEME GEMİSİ	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	6
BOT	1	1	1	2	4	1	4	3	1	1	4	1	24
DENİZ OTOBÜSÜ (YOLCU + ARABA)	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	7
DENİZ BİSİKLETİ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
DENİZ UÇAĞI	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
DİĞER (TANIMLANMAMIS) ARAÇLAR	1	0	0	0	1	1	2	1	1	2	5	1	15
FERİBOT (YOLCU + ARABA)	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	5	1	20
FİBER TEKNE	0	0	1	0	0	2	3	5	0	0	1	1	13
GEZİNTİ GEMİSİ	0	1	1	2	3	2	3	2	2	2	1	0	19
RO RO/ YOLCU	2	0	1	4	1	6	2	2	1	2	6	1	28
RÖMORKÖR	1	2	2	1	3	0	0	0	1	4	6	4	24
SANDAL	4	1	4	2	1	1	0	4	0	1	4	6	28
SEHİR HATLARI KATAMARAN TIPI (YOLCU + ARABA)	0	2	0	1	0	1	1	1	0	2	0	0	8
SONDAJ VE ARASTIRMA GEMİSİ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Gemi tipine göre kazaların aylık dağılımı (devam)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
SPORTIF VE EĞLENCE AMAÇLI TEKNELER	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
SU MAVNASI	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
SÜRAT TEKNESİ	4	2	1	1	1	1	1	8	0	6	0	2	27
TANKER	11	10	9	16	12	15	15	15	17	10	7	21	158
TARAK GEMİSİ	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
VAPUR	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	4
YAT	13	15	22	16	37	29	32	25	36	38	21	6	290
YOLCU GEMİSİ	6	3	5	5	7	9	5	12	9	6	9	3	79
YOLCU MOTORU	5	1	1	3	5	5	10	2	5	5	5	3	50
YÜK GEMİSİ	94	99	80	69	52	69	64	83	88	78	105	86	967
YÜZER ATIK ALIM TESİSİ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
YÜZER HAVUZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
YÜZER VİNÇ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
HİZMET GEMİLERİ	0	0	0	0	3	0	1	1	1	0	0	0	6
Toplam	165	153	153	142	155	166	158	182	180	178	195	155	1982

Tablo 10: Gruplandırılmış gemi tipine göre kazaların dağılımı

Gemi Tipi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Yük	94	99	80	69	52	69	64	83	88	78	105	86	967
Yat	13	15	22	16	37	29	32	25	36	38	21	6	290
Yolcu	17	8	10	14	16	24	19	19	16	16	28	9	196
Balıkçı	15	11	17	17	18	17	11	15	16	16	11	18	182
Tanker	11	10	9	16	12	15	15	15	17	10	7	21	158
Küçük Tekne ve Bot	9	5	7	7	9	5	8	17	3	10	9	9	98
Hizmet	2	3	3	1	3	1	1	0	1	4	6	4	29
Diğer	4	2	5	2	8	6	8	8	3	6	8	2	62
Toplam	165	153	153	142	155	166	158	182	180	178	195	155	1982

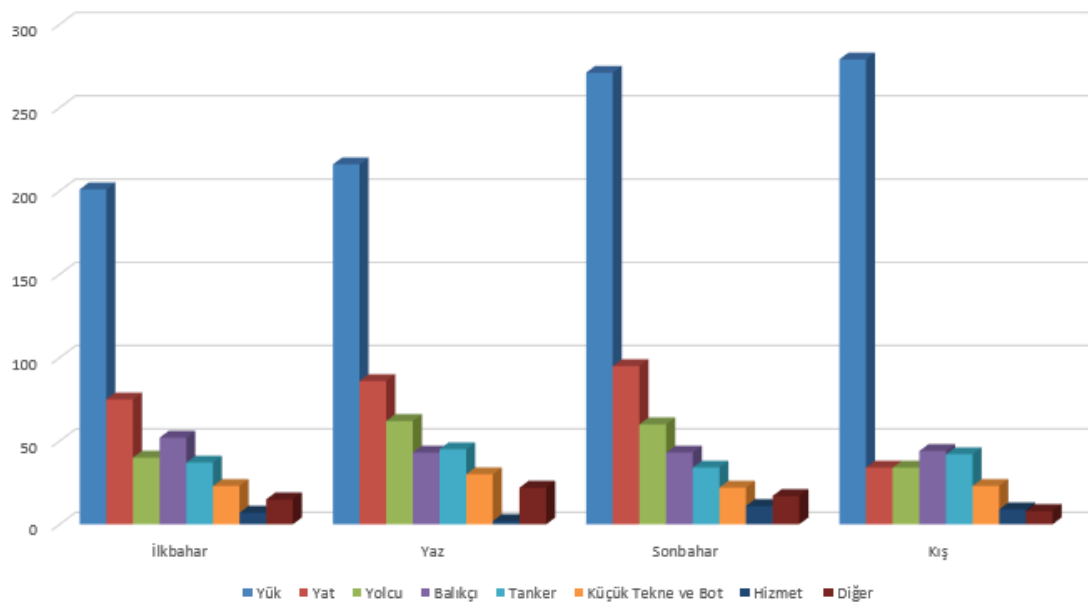
Kazaların yaşandığı aylar ile gemi tiplerinin karşılaştırıldığı matrisi basitleştirmek amacı ile Aralık, Ocak, Şubat ayları KIŞ; Mart, Nisan Mayıs ayları İLKBAHAR; Haziran, Temmuz, Ağustos ayları YAZ; ve Eylül, Ekim, Kasım ayları SONBAHAR olarak gruplandırılmış olup bu matris Tablo 11’de sunulmuştur.

Tablo 11’e göre yük gemileri en fazla kazayı kış aylarında yaşamıştır. Yatlar ise yaz ve sonbahar döneminde kaza yoğunluğu göstermiştir. Yolcu gemileri ve küçük tekneler ise en fazla kazayı yaz döneminde yaşamıştır.

Tablo 11: Gruplandırılmış gemi tiplerinin mevsimlere göre dağılımı

Gemi Tipi	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Toplam
Yük	201	216	271	279	967
Yat	75	86	95	34	290
Yolcu	40	62	60	34	196
Balıkçı	52	43	43	44	182
Tanker	37	45	34	42	158
Küçük Tekne ve Bot	23	30	22	23	98
Hizmet	7	2	11	9	29
Diğer	15	22	17	8	62
Toplam	450	506	553	473	1982

Şekil 10’a göre yük gemileri tüm mevsimlerde en fazla kazayı yaşamıştır. Yatların en az faaliyet gösterdiği kış aylarında kaza sayıları da en aza inmiştir.



Şekil 10: Gruplandırılmış gemi tiplerine göre kazaların mevsimsel dağılımı

Tablo 12: Gemi tiplerine göre kaza tipleri

TEKNELER	Oturma	Yangın	Sürüklenme	Çatma	Makina Arızası	Çatısma	Denize Adam Düşmesi	Kayıp	Su Alma	Tıbbi Tahliye	Yan yatma	Gemi veya ekipman hasarı	Diğer	Patlama	Temas	Deniz Olayı	Deniz Haydut Saldırısı	Yardım Talebi	Toplam
AÇIK DENİZ FAALİYET GEMİLERİ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ARAMA KURTARMA GEMİSİ	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
ASKERİ GEMİ	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
ATIK TOPLAMA GEMİSİ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
BALIK AVLAMA	35	29	37	6	1	22	9	6	1	1	1	0	5	0	1	19	0	9	182
BARÇ	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
BİLİMSEL ARASTIRMA / İNCELEME GEMİSİ	0	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
BOT	0	8	8	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	1	24
DENİZ OTOBÜSÜ (YOLCU + ARABA)	1	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7
DENİZ BİŞİKLETİ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
DENİZ UÇAĞI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
DİĞER (TANIMLANMAMIS) ARAÇLAR	0	3	5	0	2	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	0	15
FERİBOT (YOLCU + ARABA)	2	4	4	1	0	1	3	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	1	20
FİBER TEKNE	0	0	8	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
GEZİNTİ GEMİSİ	1	3	3	3	1	5	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	19
RO RO/ YOLCU	8	2	1	5	0	2	1	0	0	1	1	1	5	0	1	0	0	0	28
RÖMORKÖR	8	0	0	2	0	3	0	0	0	3	1	1	2	0	1	3	0	0	24
SANDAL	1	0	1	6	6	0	3	5	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	28
ŞEHİR HATLARI KATAMARAN TIPI (YOLCU + ARABA)	2	1	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
SONDAJ VE ARASTIRMA GEMİSİ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Gemi tiplerine göre kaza tipleri(devam)

TEKNELER	Oturma	Yangin	Sürüklenme	Çatma	Makina Arızası	Çatisma	Denize Adam Düşmesi	Kayıp	Su Alma	Tıbbi Tahliye	Yan yatma	Gemi veya ekipman hasarı	Diğer	Patlama	Temas	Deniz Olayı	Deniz Haydut Saldırısı	Yardım Talebi	Toplam
SPORTİF VE EĞLENCE AMAÇLI TEKNELER	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
SU MAVNASI	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
SÜRAT TEKNESİ	3	3	7	0	0	6	0	0	0	0	2	0	2	0	0	4	0	0	27
TANKER	36	29	2	8	14	24	4	0	0	17	0	0	7	1	1	9	1	5	158
TARAK GEMİSİ	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
VAPUR	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	4
YAT	50	70	54	17	20	17	2	1	9	0	5	7	3	0	0	25	0	10	290
YOLCU GEMİSİ	10	12	2	10	1	21	7	1	0	6	0	2	1	0	3	3	0	0	79
YOLCU MOTORU	8	21	2	3	0	7	1	0	0	0	0	0	2	0	2	4	0	0	50
YÜK GEMİSİ	269	83	32	72	25	220	13	3	5	69	20	7	20	1	61	56	3	8	967
YÜZER ATIK ALIM TESİSİ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
YÜZER HAVUZ	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
YÜZER VİNÇ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
HİZMET GEMİLERİ	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6
TOPLAM	440	278	171	138	76	337	45	22	16	99	30	21	61	4	74	131	4	35	1982

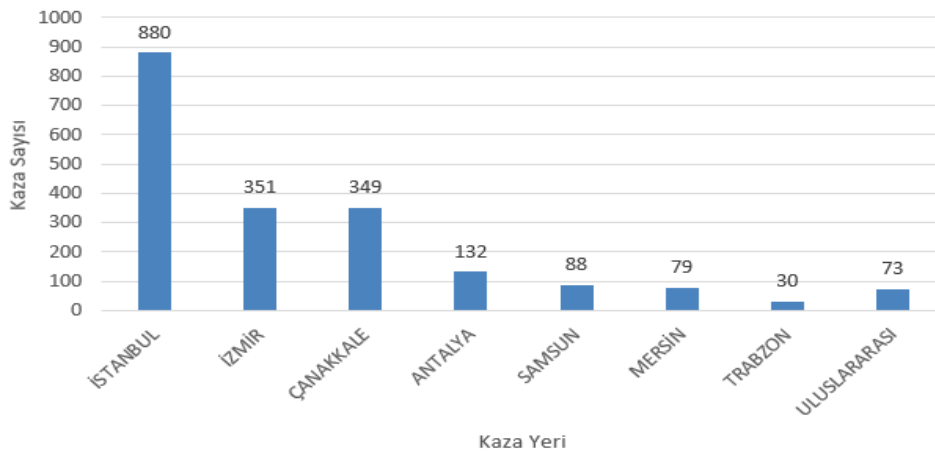
Gemi tiplerine göre yaşanan kaza tipleri Tablo 12’de verilmiştir. Tablo 12’deki verilere göre yük gemilerinde çatışma ve karaya oturma riskinin, yatlarda yangın riskinin, balıkçı gemilerinde sürüklenme riskinin, tankerlerde karaya oturma riskinin ve yolcu gemilerinde de çatışma riskinin en sık görülen riskler olduğu anlaşılmaktadır.

Botlarda en sık görülen kaza tipleri ise sürüklenme ve yangın olarak kayıtlara geçmiştir. Kaza tipleri ile gemi tiplerinin karşılaştırılmasının sunulduğu tablodaki matrisi basitleştirmek amacı ile gemilerin ve kaza tiplerinin gruplandırılması Tablo 13’de verilmiştir.

Yük gemilerinde en sık yaşanan kaza tipi karaya oturma ile çarpışma veya temas grubudur. Yolcu gemilerinde de aynı durum gözlemlenebilmektedir. Balıkçı gemilerinde ise sürüklenme ve karaya oturma, tankerlerde karaya oturma ve çarpışma veya temas, küçük tekne ve botlarda sürüklenme ve çarpışma veya temas ve hizmet gemilerinde ise karaya oturma ve çarpışma veya temas en sık rastlanan kaza tipleri olarak ortaya çıkmıştır.

Her bir gemi tipi için kazanın yaşandığı bölgelerdeki sayısal değerler Tablo 14’de verilmektedir. Tabloda yer alan bölgeler TC Denizcilik Müsteşarlığının belirlediği bölgelerdir. Türk bayraklı gemilerin uluslararası sularda yaşadıkları kazalar da tabloda yer almaktadır. Bu kazalar toplam kazaların yaklaşık %3,6’sını oluşturmaktadır.

Şekil 11’e göre en fazla kaza İstanbul bölgesinde yaşanmaktadır. İstanbul’daki kazaların fazla olmasının nedeni boğazdan geçen ticari gemilerin sayısının yüksek olmasıdır. Kuru yük gemileri en fazla kazaya İstanbul bölgesinde karışmakta iken yatların en fazla kaza yaşadıkları bölge ise İzmir olmuştur.



Şekil 11: Kaza yerlerinin dağılımı

Tablo 13: Gruplandırılmış gemi tipleri ile gruplandırılmış kaza tiplerinin dağılımı

Gemi Tipi	Sürüklenme	Makine Arızası	Yangın veya Patlama	Karaya Oturma	Tıbbi Tahliye	Çarpışma veya temas	Deniz Olayı / Denize Adam Düşmesi	Diğer
Yük	32	25	84	269	69	353	80	55
Yat	54	20	70	50	0	34	37	25
Yolcu	10	1	41	32	7	64	24	17
Balıkçı	37	1	29	35	1	29	37	13
Tanker	2	14	30	36	17	33	19	7
Küçük Tekne ve Bot	19	8	14	5	0	23	10	19
Hizmet	0	1	1	8	4	8	3	4
Diğer	17	6	13	5	1	5	5	10

Tablo 14: Kazaların Bölgelere Dağılımı

GEMİ TİPİ	KAZANIN YAŞANDIĞI BÖLGE								TOPLAM
	İSTANBUL	ANTALYA	İZMİR	ÇANAKKALE	TRABZON	SAMSUN	MERSİN	ULUSLARARASI	
AÇIK DENİZ FAALİYET GEMİLERİ	0	0	0	0	0	0	1	0	1
ARAMA KURTARMA GEMİSİ	1	1	0	0	0	0	0	0	2
ASKERİ GEMİ	2	0	1	0	0	1	0	0	4
ATIK TOPLAMA GEMİSİ	0	0	1	1	0	0	0	0	2
BALIK AVLAMA	54	19	41	25	13	17	12	1	182
BARÇ	5	0	0	0	0	0	0	0	5
BİLİMSEL ARASTIRMA / İNCELEME GEMİSİ	2	0	0	1	1	2	0	0	6
BOT	12	2	5	4	1	0	0	0	24
DENİZ OTOBÜSÜ (YOLCU + ARABA)	7	0	0	0	0	0	0	0	7
DENİZ BİSİKLETİ	0	0	0	1	0	0	0	0	1
DENİZ UÇAĞI	1	0	0	0	0	0	0	0	1
DİĞER (TANIMLANMAMIS) ARAÇLAR	2	0	6	2	2	1	1	1	15
FERİBOT (YOLCU + ARABA)	10	0	3	7	0	0	0	0	20
FİBER TEKNE	6	1	4	2	0	0	0	0	13
GEZİNTİ GEMİSİ	3	6	7	0	0	1	2	0	19
RO RO/ YOLCU	11	0	3	9	1	1	3	0	28
RÖMORKÖR	14	0	5	2	0	2	1	0	24
SANDAL	11	3	3	5	0	2	4	0	28
ŞEHİR HATLARI KATAMARAN TİPİ (YOLCU + ARABA)	2	0	2	4	0	0	0	0	8

Kazaların Bölgelere Dağılımı(devam)

GEMİ TİPİ	KAZANIN YAŞANDIĞI BÖLGE								TOPLAM
	İSTANBUL	ANTALYA	İZMİR	ÇANAKKALE	TRABZON	SAMSUN	MERSİN	ULUSLARARASI	
SONDAJ VE ARASTIRMA GEMİSİ	1	0	0	0	0	0	0	0	1
SPORTİF VE EĞLENCE AMAÇLI TEKNELER	1	0	1	1	0	0	0	0	3
SU MAVNASI	1	0	0	0	0	0	0	0	1
SÜRAT TEKNESİ	5	3	14	2	0	2	1	0	27
TANKER	86	3	12	29	2	3	9	14	158
TARAK GEMİSİ	1	0	1	0	0	0	1	0	3
VAPUR	1	0	0	3	0	0	0	0	4
YAT	79	36	129	26	2	4	5	9	290
YOLCU GEMİSİ	44	8	13	11	0	1	0	2	79
YOLCU MOTORU	7	25	11	4	0	1	2	0	50
YÜK GEMİSİ	507	25	88	208	8	50	36	45	967
YÜZER ATIK ALIM TESİSİ	0	0	0	0	0	0	1	0	1
YÜZER HAVUZ	0	0	1	0	0	0	0	0	1
YÜZER VİNÇ	1	0	0	0	0	0	0	0	1
HİZMET GEMİLERİ	3	0	0	2	0	0	0	1	6
TOPLAM	880	132	351	349	30	88	79	73	1982

Tablo 15: Gruplandırılmış gemi tipleri ile kazaların yaşandığı bölgeler arasındaki ilişki

Gemi Tipi	İSTANBUL	ANTALYA	İZMİR	ÇANAKKALE	TRABZON	SAMSUN	MERSİN	ULUSLARARASI	Toplam
Yük	507	25	88	208	8	50	36	45	967
Yat	79	36	129	26	2	4	5	9	290
Yolcu	82	33	32	38	1	3	5	2	196
Balıkçı	54	19	41	25	13	17	12	1	182
Tanker	86	3	12	29	2	3	9	14	158
Küçük Tekne ve Bot	31	14	29	11	1	5	7	0	98
Hizmet	16	1	6	2	0	2	2	0	29
Diğer	25	1	14	10	3	4	3	2	62
Toplam	880	132	351	349	30	88	79	73	1982
Yüzde	44.40	6.66	17.71	17.61	1.51	4.44	3.99	3.68	100.00

Yaşanan kazaların sıklığı bakımından İstanbul'dan sonra en yoğun olan bölgeler İzmir ve Çanakkale'dir. İzmir bölgesi tatil yörelerini içine alması, Çanakkale ise boğaz geçişi bulunması nedeniyle gemi trafiğinin yoğunlaştığı bölgeler olmuştur. Tablo 15'de gruplandırılmış gemi tiplerine göre kaza yerleri gösterilmiştir.

Türkiye karasularında en fazla kaza yaşayan gemiler yaklaşık %54'lük bir oranla Türkiye bayraklı gemiler olup, bu gemileri Panama, Malta, Kamboçya ve Rusya gemileri takip etmektedir (Tablo 16). Malta, Kamboçya ve Panama bayraklı gemilere sık rastlanması bu bayrakların kolay bayrak sınıfında olmasından kaynaklanmaktadır. Bu da Türkiye karasularında kolay bayrak taşıyan gemilerin yaşadığı ve yaşattığı kazaların önemi de açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Türkiye karasuları içinde kaza yaşanma riskinin en fazla olduğu yer Ahırkapı mevki olarak Tablo 17'de karşımıza çıkmaktadır. 1 Ocak 2001- 20 Ekim 2015 tarihleri arasında Türkiye karasularında meydana gelen her 100 kazanın yaklaşık 13'ü Ahırkapı mevkiinde meydana gelmiştir. Ahırkapı mevkiisini İstanbul Boğazı, Türkeli, Bodrum ve Tuzla Tersaneler Bölgesi izlemektedir. Bodrum mevkiinde kaza yaşanma oranının yüksek olmasının nedenlerinin başında bölgenin turistik bir yer olması itibari ile yolcu gemileri ve yat trafiğinin yoğunluğu gösterilebilir. Diğer taraftan Tuzla Tersaneler Bölgesi'nde yaşanan kazaların fazla olması ise genellikle tersanelerde ve iskelelerde bakım-onarımı yapılan gemilerde yaşanan dikkatsizlik ve iş güvenlik önlemlerinin alınmaması gibi nedenlere bağlıdır. Yaşanan kazaların nedenlerinin irdelendiği tablolarda durum daha net bir şekilde ortaya konulacaktır.

Tablo 16: Gemi Bayrağına Göre Kaza Yaşanma Oranları

	Kaza Yaşayan Gemi Bayrağı	Kaza Yaşayan Gemi Sayısı	Genel Toplama Oranı
1	TÜRKİYE	1088	54,9
2	PANAMA	89	4,5
3	MALTA	88	4,4
4	KAMBOÇYA	71	3,6
5	RUSYA	60	3,0
6	UKRAYNA	45	2,3
7	LIBERYA	44	2,2
8	AMERİKA	32	1,6
9	GÜRCİSTAN	32	1,6
10	ST VINCENT	32	1,6
11	İNGİLTERE	24	1,2
12	ALMANYA	21	1,1
13	BİLİNMIYOR	20	1,0
14	MOLDOVA	19	1,0
15	SIERRA LEONE	18	0,9
16	COMOROS	17	0,9
17	KUZEY KORE	17	0,9
18	MARSHALL ADALARI	17	0,9
19	İTALYA	14	0,7
20	SAINT KITTS AND NEVIS	13	0,7
21	BELİZE	12	0,6
22	YUNANİSTAN	12	0,6
23	BOLİVYA	11	0,6
24	ANTİGUA VE BARBUDA	9	0,5
25	HONDURAS	9	0,5
26	SLOVAKYA	9	0,5
27	BAHAMA	8	0,4
28	HOLLANDA	8	0,4
29	SURİYE	8	0,4
30	AVUSTURYA	7	0,4
31	BULGARİSTAN	7	0,4
32	FRANSA	7	0,4
33	KUZEY KİBRİS TÜRK CUMHURİYETİ	6	0,3
34	LÜBNAN	6	0,3
35	NORVEÇ	6	0,3
36	GÜNEY KİBRİS	5	0,3
37	ST.VINCENT	5	0,3
38	TANZANYA	5	0,3
39	DANİMARKA	4	0,2
40	LİBERYA	4	0,2

Gemi Bayrağına Göre Kaza Yaşanma Oranları (devam)

	Kaza Yaşayan Gemi Bayrağı	Kaza Yaşayan Gemi Sayısı	Genel Toplama Oranı
41	SINGAPUR	4	0,2
42	TAYLAND	4	0,2
43	TOGO	4	0,2
44	BARBADOS	3	0,2
45	CAYMAN ADALARI	3	0,2
46	COOK ADASI	3	0,2
47	KOMOR ADALARI	3	0,2
48	MAN ADASI	3	0,2
49	MISIR	3	0,2
50	ROMANYA	3	0,2
51	SAO TOME & PRINCIPE	3	0,2
52	TONGA	3	0,2
53	ARNAVUTLUK	2	0,1
54	DOMINIK	2	0,1
55	FILIPINLER	2	0,1
56	HINDISTAN	2	0,1
57	HONG KONG	2	0,1
58	ISRAİL	2	0,1
59	ISVEÇ	2	0,1
60	MOGOLISTAN	2	0,1
61	BELÇİKA	1	0,1
62	BRITISH INDIAN OCEAN TERRITORY	1	0,1
63	CEBELİTARİK	1	0,1
64	ÇİN	1	0,1
65	EKVATOR GİNESİ	1	0,1
66	FINLANDIYA	1	0,1
67	GIBRALTAR	1	0,1
68	HRİVATİSTAN	1	0,1
69	HOLLANDA ANTİLLERİ	1	0,1
70	JAMAİKA	1	0,1
71	KORE CUMHURİYETİ	1	0,1
72	LIBYA	1	0,1
73	LİTVANYA	1	0,1
74	MALEZYA	1	0,1
75	SİRBİSTAN	1	0,1
76	ST.JOHN'S	1	0,1
77	TUVALU	1	0,1
78	UK	1	0,1
	TOPLAM	1982	100,0

Tablo 17: Kaza yaşanan mevkiiler ve genel toplam içerisindeki oranı

Sıralama	Kazanın Yaşandığı Mevki	Kaza Yaşayan Gemi Sayısı	Kaza Yaşayan Gemilerin Genel Toplam İçindeki Oranı (%)
1	Ahırkapı	257	13.0
2	İstanbul Boğazı	88	4.4
3	Türkeli	50	2.5
4	Bodrum	45	2.3
5	Tuzla Tersaneler Bölgesi	37	1.9
6	Tuzla	31	1.6
7	Bozcaada	29	1.5
8	Kumkale	27	1.4
9	Çeşme	25	1.3
10	Kemer	21	1.1
11	Umuryeri	20	1.0
12	Haydarpaşa	20	1.0
13	Yeniköy	19	1.0
14	Kuşadası	19	1.0
15	Sinop	18	0.9
16	Göcek	18	0.9
17	Yenikale	17	0.9
18	Gelibolu	17	0.9
19	Ambarlı	16	0.8
20	Taşucu	16	0.8
21	Diğer	1192	60.1
	Toplam	1982	100

Türkiye karasularındaki kazalarda en fazla karşılaşılan gemi tipleri olan yük gemisi, yat, yolcu gemisi balıkçı gemisi ve tanker için kaza tiplerinin dağılımı ayrıca incelenmiştir (Şekil 12, 13, 14, 15 ve 16).

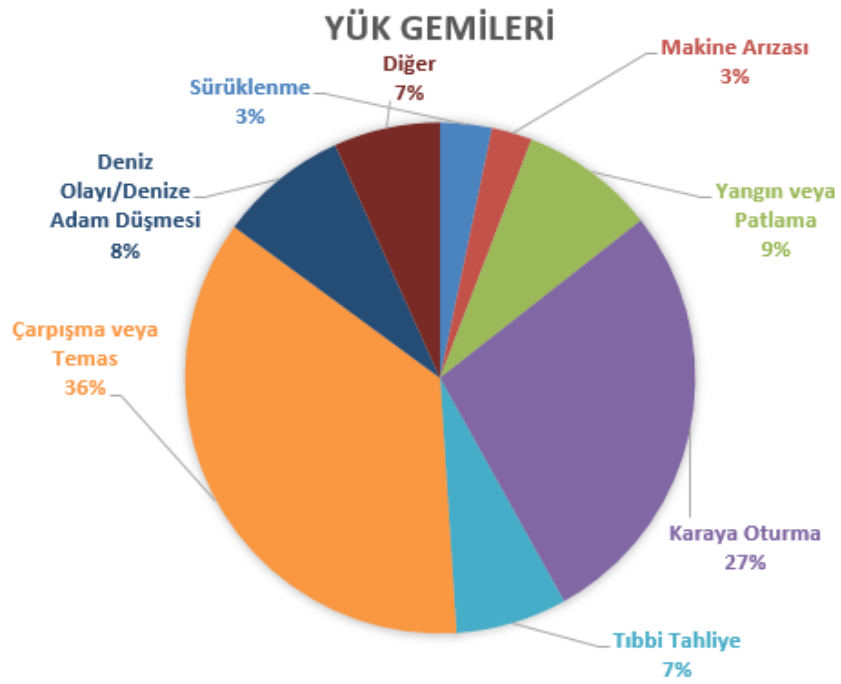
Şekil 17’de gruplandırılmış gemi tipleri ile gruplandırılmış kaza tiplerinin ilişkisi verilmiştir. Buna göre belirlenen kaza tipleri;

- Su alma ve alabora
- Gövde bütünlüğü kaybı
- Karaya oturma
- Çarpışma veya temas
- Yangın veya patlama
- Makine arızası
- Diğer

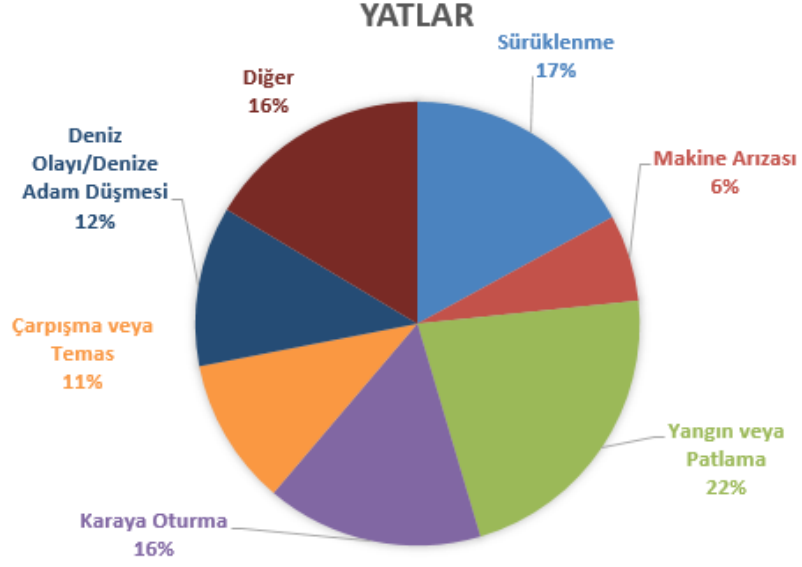
Kazaların alt kategorileri ise;

- Makine arızası
- Uygun olmayan hava koşulları
- Manevra arızası
- İnsan hatası
- Demirleme veya navigasyon arızası
- Malzeme arızası

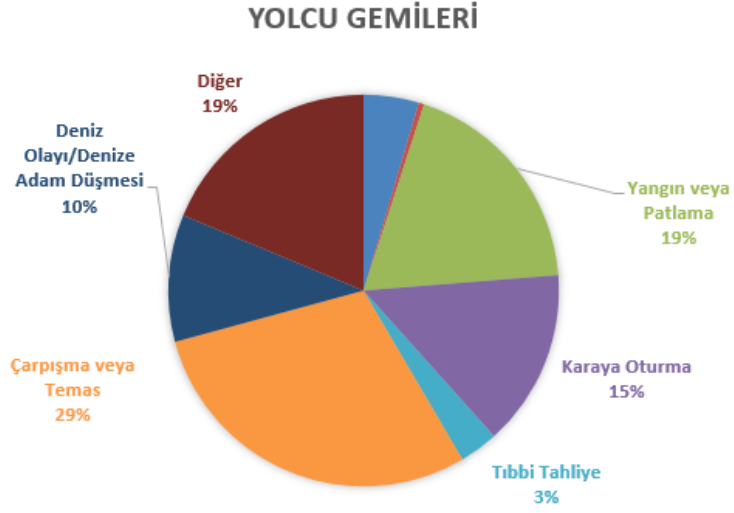
olarak sıralanmaktadır.



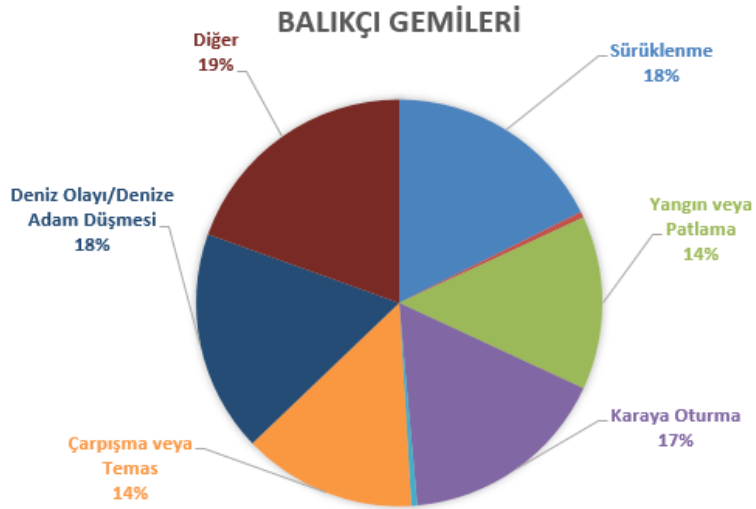
Şekil 12:Yük gemileri için kaza tipleri dağılımı



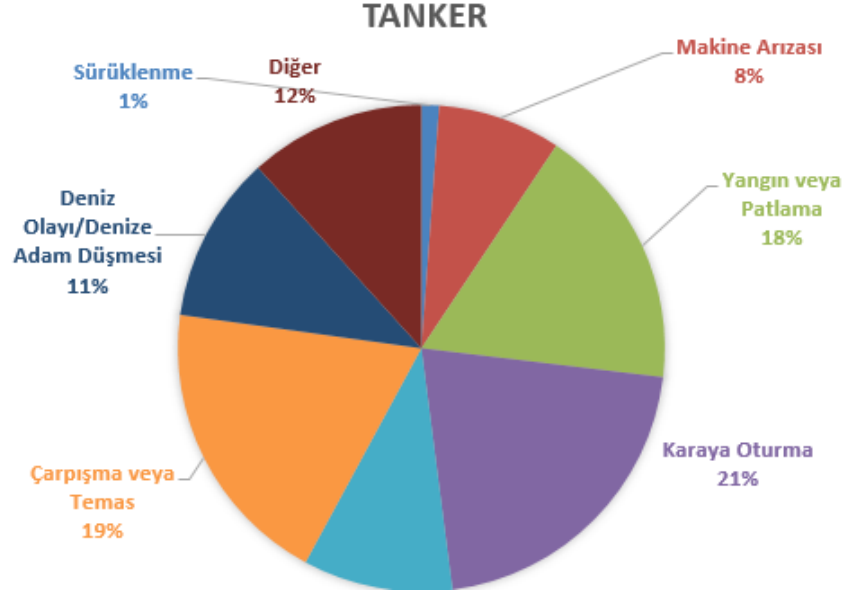
Şekil 13: Yatlar için kaza tipleri dağılımı



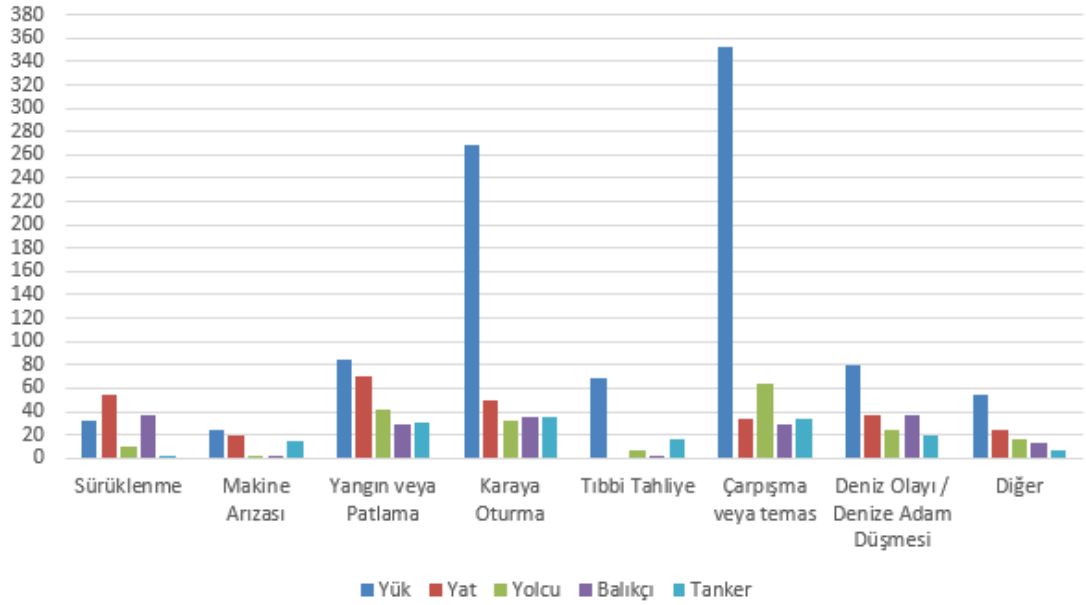
Şekil 14: Yolcu gemileri için kaza tipleri dağılımı



Şekil 15:Balıkçı gemileri için kaza tipleri dağılımı



Şekil 16: Tankerler için kaza tipleri dağılımı



Şekil 17:Gruplandırılmış gemi tipleri ile gruplandırılmış kaza tiplerinin ilişkisi

Türkiye karasularında 1 Ocak 2001- 20 Ekim 2015 yılları arasına ilişkin yapılan analizlerde, olumsuz hava koşullarının kaza yaşanmasında en önemli etken olduğu Tablo 18’de görülmektedir. İkinci sırada ise makine arızası ön plandadır. Kazaların yaşanma nedenleri gruplandırılarak Tablo 19’da sunulmaktadır.

Tablo 18: Yaşanan kazaların nedenleri ve oransal dağılımları

Sıralama	Yaşanan Kazanın Tipi	Kaza Sayısı	Genel Toplamdaki Oranı (%)
1	Olumsuz Hava Koşulları	276	13.9
2	Makine Arızası	169	8.5
3	Personel Hatası ve Sağlığı	116	5.9
4	Navigasyon Hatası	110	5.5
5	Su Alma	87	4.4
6	Dümen Arızası	60	3.0
7	Demir Taraması	47	2.4
8	Dikkatsizlik/İhmal	40	2.0
9	Elektrik Kontağı	37	1.9
10	Yapısal Eleman ve Su Geçirmez Bölme Hatası	32	1.6
11	Yangın	31	1.6
12	Yük Kayması	23	1.2
13	Teknik Arıza	10	0.5
14	İntihar	9	0.5
15	Halat Kopması	8	0.4
16	Aşırı Yük	6	0.3
17	Gaz Sıkışması	5	0.3
18	Yakıt Bitmesi	4	0.2
19	Patlama	3	0.2
	Diğerleri	909	45.9
	Toplam	1982	100

Tablo 19: Gruplandırılmış kaza nedenlerinin oransal dağılımı

Sıralama	Kaza Nedeni	Toplamı	Yüzdesi
1	Dikkatsizlik	203	10.2
2	Olumsuz Hava ve Deniz Koşulları	276	13.9
3	Makine ve Jeneratör	179	9.0
4	Teknik ve Mekanik	180	9.1
5	Yapısal Eleman Kaynaklı Hatalar	127	6.4
6	Diğer	1017	51.3
7	Toplam	1982	100

5. KARGO GEMİLERİ İÇİN GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde, yük gemilerinin güvenlik değerlendirmesi için Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi (FSA), bulanık mantık, DEMATEL ve geometrik ağırlıklandırma tekniklerini kullanan 2 uygulama çalışması verilmiştir. Çalışmanın amacı, Türkiye kıyıları ve açık denizlerinde meydana gelen kargo gemisi kazalarının belirleyici unsurlarını tanımlayıp analiz ederek, daha temiz ve daha emniyetli deniz taşımacılığı için yeni bir risk analiz yöntemi geliştirmektir.

5.1 Kargo gemilerinin sistematik güvenlik değerlendirmesi

Bu bölümde, kargo gemileri için tasarım ve operasyonel anlamda dikkate alınması gereken riskler için IMO'nun önerdiği sistematik güvenlik değerlendirmesi yapılmıştır. Yük gemilerinde, makine dairesi, sevk sistemi ve tank deposu en önemli sistemlerdir. Yük gemilerinin operasyon fazları şunlardır:

- Üretim/İşleme alma,
- Liman Girişi/Çıkışı,
- Kıyı navigasyonu,
- Kıyıya yanaşma/ayrılma,
- Açık deniz navigasyonu,
- Bakım periyodu,
- Kargo ve balast operasyonları,
- Demontaj.

Mühendislik, teknik, personel ve organizasyonel sistem anlamında geminin güvenlik ve emniyetini etkileyecek faktörler şunlardır:

- İnsan sistemleri (iletişim, eğitim, vb.),
- Organizasyonel ve yönetsel sistemler (güvenlik, ticaret, personel ve teknik yönetimler vb.),
- Navigasyon,
- Acil durum tepki/kontrol,
- Makine,

- Kargo ve balast operasyonları,
- Güç ve sevk sistemleri,
- Bağlama/demirleme,
- Yapı ve yük,
- Sığınak/depolama,
- Stabilite, manevra kabiliyeti,
- Kirliliğin önlenmesi.

5.1.1 Tehlikenin belirlenmesi

Türkiye karasularında en fazla kazanın olduğu gemi tipi yük gemileridir (Tablo 7, Şekil 9). Bu gemilerde en fazla gerçekleşen kaza şekli % 36 gibi yüksek bir olasılıkla çarpışma ve temas olarak ortaya çıkmaktadır.

Çarpışma ve temas kazasının alt kategorileri şöyle sıralanabilir:

- Yanaşma,
- Kalkış,
- Manevra,
- Limana giriş,
- Anormal operasyonlar,
- Demirleme.

Çarpışma ve temas'ın oluşma sıklığı ve olası sonuçlarının belirlenmesinin ardından kaza kategorileri için verilen dereceler Tablo 20'de gösterilmiştir.

Tablo 20: Çarpışma ve temas için risk matrisi yaklaşımı

Kaza alt kategorisi	Deniz kıyısında	Açık denizde	Limana girişte	Limandan çıkışta	Kızakta
Yanaşma	F1S1 = 1	F1S1 = 1	F2S2 = 3	F2S2 = 3	F2S2 = 3
Kalkış	F2S1 = 2	F2S2 = 3	F2S2 = 3	F2S2 = 3	F2S2 = 3
Manevra	F4S2 = 5	F4S1 = 4	F5S3 = 7	F5S3 = 7	F4S1 = 4
Açık deniz kanalı	F4S3 = 6	F4S1 = 4	F3S2 = 4	F5S3 = 7	F2S2 = 3
Liman girişi	F4S3 = 6	F4S2 = 5	F5S3 = 7	F5S3 = 7	F2S2 = 3
Anormal operasyonlar	F3S2 = 4	F5S4 = 8	F5S4 = 8	F5S4 = 8	F4S3 = 6
Demirleme	F5S1 = 5	F3S1 = 3	F3S1 = 3	F2S1 = 2	F2S1 = 2

Bu tablo kazaların sıklığı ve şiddeti analiz edilerek oluşturulmuştur. Her kaza alt kategorisi için farklı fazlarda risk seviye numarası (RSN) verilmiştir. Örneğin, RSN 7, 5 defa ve RSN 8, 3 defa görülmüştür.

Çok riskli alanlar belirlenip önem sırasına göre sıralandıktan sonraki adım ilişkili tehlikeleri yönetmek/minimize etmek olmalıdır. Bu da “beyin fırtınası” yöntemi ile olacaktır. Karar maliyet, uygunluk ve etkinlik gibi bir çok faktöre bağlı olacaktır.

5.1.2 Risk değerlendirmesi

Bu çalışmada, RSN değerleri 4’ün altında olan alt kategoriler seviyeleri kabul edilebilir düşük olduğu için incelenmemiştir. Bu nedenle, risk seviyesi 4’ün üzerinde olanlar daha detaylı incelenmiştir.

5.1.3 Risk kontrol seçenekleri

Risk matris tablosunda “yanaşma ve kalkış alanları” RSN değerleri 4’ten küçük olduğu için daha az dikkate alınacaktır. Olayların akışının insan, ekipman ve prosedür tabanlı olarak belirlenmesi gerekir. Risk düşürme ve analiz için “açık deniz kanalı” ve “liman giriş” örnek olarak düşünülmüştür. Tablo 21 bir kargo gemisinin daha güvenli operasyon yapabilmesi için olay dizisini göstermektedir.

Tablo 21: Olay dizileri

NEDEN	OLAY	KAZA	SONUÇ
İnsan performansı	Yanlış değerlendirilen etkiler	Başka bir gemiyle çarpışma	Yangının dağılması
Navigasyon arızası	Kullanılmayan navigasyon ekipmanları	Bir cisim ile çarpışma	patlama
Makine arızası	Makine yangını	Makine dairesi yangını	Geminin kaybı
Sevk arızası	Dümen kilitlenmesi		Yaşam kaybı
Dümen arızası	Kontrolü kaybetme		Bitmemiş yolculuk
Tanımlanamayan ya da görünmeyen bir cisimle temas	Bomba tehdidi		Çevre zararı
Terör			

5.1.4 Maliyet-fayda analizi

En yüksek puanlı karşı önlemler risk düşürme önlemlerini uygulamak için en iyi yerleri gösterir. Bu nedenle, en önemli karşı önlemler güvenlik ve maliyet açısından efektif risk düşürme bilgileri sağlar. Tablo 22 biçimsel güvenlik değerlendirmesi için standart maliyet-fayda analizini göstermektedir.

Tablo 22:Maliyet-fayda analizi

Karşı Önlemler		Fayda Tahmini	Maliyet Tahmini	Toplam Puan
İnsan	Kontrol eğitimi	4	4	1
	Etkin iletişim	3	3	1
	Yangın söndürücü eğitimi	5	3	1.67
	İletişim becerileri eğitimi	3	3	1
Ekipman	Navigasyon	3	1	3
	Yangın söndürücü	5	4	1.25
	Sevk	4	1	4
Prosedür	Yangın söndürme	4	3	1.33
	Makinelerin kullanımdan önce kontrolü	4	2	2
	Makinelerin gözlemlenmesi	3	1	3
	Temiz yanıcı sızıntıları	3	2	1.5
	Makine yangını söndürücüsü	4	2	2
	Güvenlik personeli ve diğer gemilerin uyarılması	4	1	4

5.1.5 Karar verme

IMO'nun Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesinde, karar verme maliyet etkinliğini göz önünde bulundurarak kaliteyi artırmayı sağlar. Politik, kültürel ve sosyal etkiler göz önünde bulundurularak uluslararası kurallara uygun bir şekilde yapılmalıdır.

5.2 FSA Tabanlı Bulanık DEMATEL Metodu ile Risk Değerlendirmesi

Bu bölümde yük gemileri güvenlik değerlendirmesinde bütünleşik bir risk analiz metodu uygulanmıştır. Uygulanan metot 6 adımdan oluşmaktadır.

1. Başlangıç analizi

Yük gemileri kaza analizi için Denizcilik müsteşarlığının web sayfasındaki veriler (Denizcilik Müsteşarlığı, 2015) ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. 1 Ocak 2001- 20 Ekim 2015 yılları arasında, Türkiye’de meydana gelen tüm deniz kazaları detaylı bir şekilde incelenerek Bölüm 5’de grafik ve tablolar halinde verilmiştir. Kaza kategorileri incelendiğinde meydana gelen 1982 kazanın % 48.8’si kargo

gemisi kazalarıdır. Bu da 967 kazaya tekabül etmektedir. Çarpışma ve temas en tehlikeli kaza tipi olup tüm kazaların %34.2'sini oluşturmaktadır. Bu nedenle, çarpışma ve temas bu çalışma için seçilmiştir.

2. Beyin fırtınası

Eldeki verilerin kısıtlı olmasından dolayı uzman görüşlerine başvurularak kazaların sıklığı ve şiddeti hakkında görüşler alınmıştır. Uzmanlar tecrübelerine, bilgilerine ve uzmanlıklarına göre fikirlerini ortaya koymuşlardır. Sayısal bilgilerin verilmesindeki güçlükler nedeniyle uzmanlar sözel olarak bildirimde bulunmuşlardır. Olayların olasılıklarını değerlendirirken 'çok düşük', 'düşük', 'orta', 'yüksek' ve 'çok yüksek' gibi sözel terimlerden oluşan bir skala kullanmışlardır. Uzmanlardan oluşan komite, kaza kayıtları ve karşılıklı fikir alışverişleri sonucunda, kargo gemileri için 6 hata moduna karar kılmışlardır. Bunlar; makine arızası (FM1), uygun olmayan hava koşulları (FM2), manevra arızası (FM3), insan hatası (FM4), demirleme ve navigasyon arızası (FM5), malzeme arızası (FM6). Ayrıca, kaza yeri için de 5 kritik konum belirlenmiştir. Bunlar; deniz kıyısında (CL1), denizde seyir halinde (CL2), limana girişte (CL3), limandan çıkışta (CL4), kızakta (CL5) şeklinde sıralanmıştır. Uzmanlardan elde edilen verilerin değerlendirmesinde üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Tablo 23: Üçgen bulanık sayılar

	Deniz Kıyısı (CL1)		Açık Deniz (CL2)		Liman Girişi(CL3)		Liman Çıkışı(CL4)		Kızakta(CL5)	
	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
FM1	(0.3,0.5,0.7)	(0.2,0.4,0.6)	(0.3,0.5,0.7)	(0.2,0.4,0.6)	(0.3,0.5,0.7)	(0,0.2,0.4)	(0.3,0.5,0.7)	(0,0.2,0.4)	(0,0,0.1)	(0,0.2,0.4)
FM2	(0.7,1.0,1.0)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7,1.0,1.0)	(0.6,0.8,1.0)	(0.5,0.75,1.0)	(0.6,0.8,1.0)	(0.5,0.75,1.0)	(0.2,0.4,0.6)	(0,0,0.1)	(0,0.2,0.4)
FM3	(0,0.25,0.5)	(0.2,0.4,0.6)	(0,0.25,0.5)	(0,0.2,0.4)	(0.7,1.0,1.0)	(0.6,0.8,1.0)	(0.7,1.0,1.0)	(0.6,0.8,1.0)	(0,0,0.1)	(0,0.2,0.4)
FM4	(0.3,0.5,0.7)	(0.4,0.6,0.8)	(0,0.25,0.5)	(0.2,0.4,0.6)	(0.7,1.0,1.0)	(0.8,1.0,1.0)	(0.7,1.0,1.0)	(0.4,0.6,0.8)	(0,0,0.1)	(0,0.2,0.4)
FM5	(0,0.25,0.5)	(0.2,0.4,0.6)	(0,0.25,0.5)	(0,0.2,0.4)	(0.5,0.75,1.0)	(0.4,0.6,0.8)	(0.5,0.75,1.0)	(0.4,0.6,0.8)	(0,0,0.1)	(0,0.2,0.4)
FM6	(0,0.25,0.5)	(0,0.2,0.4)	(0,0,0.1)	(0,0.2,0.4)	(0.5,0.75,1.0)	(0.4,0.6,0.8)	(0.5,0.75,1.0)	(0.2,0.4,0.6)	(0,0,0.1)	(0,0.2,0.4)

Tablo 24: Çarpışma & Temas için toplam skorlar

	Deniz Kıyısı (CL1)		Açık Deniz (CL2)		Liman Girişi(CL3)		Liman Çıkışı(CL4)		Kızakta(CL5)	
	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
FM1	0,5000	0,4167	0,5000	0,4167	0,5000	0,2500	0,5000	0,2500	0,0455	0,2500
FM2	0,8846	0,5833	0,8846	0,7500	0,7000	0,7500	0,7000	0,4167	0,0455	0,2500
FM3	0,3000	0,4167	0,3000	0,2500	0,8846	0,7500	0,8846	0,7500	0,0455	0,2500
FM4	0,5000	0,5833	0,3000	0,4167	0,8846	0,9167	0,8846	0,5833	0,0455	0,2500
FM5	0,3000	0,4167	0,3000	0,2500	0,7000	0,5833	0,7000	0,5833	0,0455	0,2500
FM6	0,3000	0,2500	0,0455	0,2500	0,7000	0,5833	0,7000	0,4167	0,0455	0,2500

3. Bulanıklaştırma işlemi

Uzman görüşlerinden yola çıkılarak kargo gemilerinde çarpışma ve temas için Tablo 23’de gösterildiği gibi üçgen bulanık sayılar elde edilmiştir. Ardından üçgen bulanık sayılara ait sayısal değerleri elde etmek üzere Chen’in durulaştırma yöntemi uygulanmış ve Tablo 24’deki sonuçlar elde edilmiştir.

4. DEMATEL metodu

Hata modlarının birleştirilmiş değerlerini bulmak için OWGA ağırlıklandırma tekniği kullanılmış ve sonuçlar Tablo 25’de verilmiştir. Elde edilen matris DEMATEL metodu için başlangıç direkt ilişki matrisi oluşturmak için kullanılmıştır (Tablo 26).

Tablo 25: Çarpışma & Temas için birleştirilmiş değerler

	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5
FM1	0.4565	0.4565	0.3536	0.3536	0.1067
FM2	0.7183	0.8145	0.7246	0.5401	0.1067
FM3	0.3536	0.2739	0.8145	0.8145	0.1067
FM4	0.5401	0.3536	0.9005	0.7183	0.1067
FM5	0.3536	0.2739	0.6390	0.6390	0.1067
FM6	0.2739	0.1067	0.6390	0.5401	0.1067

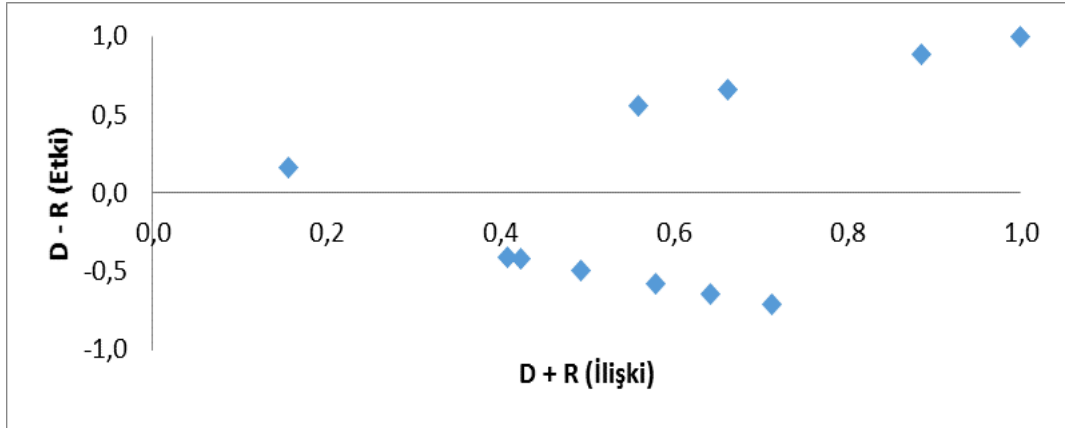
Tablo 26: Başlangıç direkt ilişki matrisi

	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	FM1	FM2	FM3	FM4	FM5	FM6
CL1	0	0	0	0	0	0.4565	0.7183	0.3536	0.5401	0.3536	0.2739
CL2	0	0	0	0	0	0.4565	0.8145	0.2739	0.3536	0.2739	0.1067
CL3	0	0	0	0	0	0.3536	0.7246	0.8145	0.9005	0.6390	0.6390
CL4	0	0	0	0	0	0.3536	0.5401	0.8145	0.7183	0.6390	0.5401
CL5	0	0	0	0	0	0.1067	0.1067	0.1067	0.1067	0.1067	0.1067
FM1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FM3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FM4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FM5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FM6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 27: Etki diyagramı tablosu

	D	R	D+R	D-R	GROUP
CL1	0.6622	0	0.6622	0.6622	CAUSE
CL2	0.5598	0	0.5598	0.5598	CAUSE
CL3	1.0000	0	1.0000	1.0000	CAUSE
CL4	0.8856	0	0.8856	0.8856	CAUSE
CL5	0.1572	0	0.1572	0.1572	CAUSE
FM1	0	0.4241	0.4241	-0.4241	EFFECT
FM2	0	0.7133	0.7133	-0.7133	EFFECT
FM3	0	0.5805	0.5805	-0.5805	EFFECT
FM4	0	0.6433	0.6433	-0.6433	EFFECT
FM5	0	0.4942	0.4942	-0.4942	EFFECT
FM6	0	0.4093	0.4093	-0.4093	EFFECT

Başlangıç direkt ilişki matrisi bulunduğundan sonra normalizasyon işlemi yapılarak toplam direkt ilişki matrisi elde edilmiş ve Tablo 27’te gösterilmiştir. Etki diyagramını çizmek için toplam direkt ilişki matrisindeki satır ve sütunların toplamı D ve R olarak ayrılmıştır. Etki diyagramının yatay eksenini (D+R) ve dikey eksenini (D-R) olarak Şekil 18’de oluşturulmuştur.



Şekil 18: Etki diyagramı grafiği

5. Risk kontrol seçenekleri

Tablo 27’deki DEMATEL sonuçlarına göre liman girişi (CL3) en kritik bölgedir. Kritik yerler azalan sırada CL3, CL4, CL1, CL2 ve CL5 olarak bulunmuştur. Hata modları da önem sırasına göre FM2>FM4>FM3>FM5>FM1>FM6 olarak tespit edilmiştir. Hata modlarını azaltmak, yok etmek ya da kaza sonrası olası felaketleri azaltabilmek için aşağıdaki önlemlerin yapılması uygun olacaktır.

Personel hatalarını önlemek için eğitim verilmesi,

- Makine ve ekipmanların kullanım öncesi kontrolü,
- Yangın söndürücü ekipman kontrolü,
- Yangın söndürme eğitimi,
- İletişimin geliştirilmesi,
- Makine ve ekipmanların gözlemlenmesi,
- Navigasyonun kontrol edilmesi.

6. Maliyet-fayda analizi

En yüksek puanlı karşı önlemler riskleri azaltmak için en iyi yerleri ifade eder. Uzman görüşlerine göre Tablo 28 sözel olarak maliyet-fayda analizini göstermektedir. Tablo 29 ise üçgen bulanık sayılar ile fayda/maliyet oranını belirtmektedir. Üçgen bulanık sayılar Chen metodu kullanılarak deterministik

Tablo 28: Sözel Maliyet ve Fayda Tahmini

Ana Karşı Önlemler	Karşı Önlemler	Fayda Tahmini	Maliyet Tahmini
İnsan (MCM1)	Denetleme eğitimi (CM1)	Eşit yüksek	Eşit düşük
	Uygun iletişim (CM2)	Eşit yüksek	Eşit yüksek
	Silahlı çatışma eğitimi (CM3)	Eşit düşük	Eşit düşük
	İletişim becerileri eğitimi (CM4)	Eşit	Eşit
Ekipman (MCM2)	Navigasyon (CM5)	Yüksek	Eşit yüksek
	Yangın söndürme aygıtı (CM6)	Eşit düşük	Eşit düşük
	Sevk (CM7)	Yüksek	Eşit yüksek
Prosedür (MCM3)	Silahlı çatışma (CM8)	Eşit	Eşit düşük
	Kullanımdan önce makine denetimi (CM9)	Eşit yüksek	Eşit düşük
	Makine gözlemlenmesi (CM10)	Eşit	Düşük
	Yanıcı dökülmeleri (CM11)	Eşit	Eşit düşük
	Motor yangın söndürme aygıtı (CM12)	Eşit	Eşit düşük
	Güvenlik görevlisi ve diğer gemileri uyarma (CM13)	Eşit düşük	Düşük

Tablo 29: Çarpışma&Temas için Fayda/Maliyet Değerleri

Ana Karşı Önlemler	Karşı Önlemler	Üçgen bulanık sayılar		A/B
		Maliyet (B)	Maliyet (B)	
İnsan (MCM1)	Denetleme eğitimi (CM1)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.8, 0.9, 1.0)	(0.4, 0.6, 0.8)
	Uygun iletişim (CM2)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.6, 0.8, 1.0)	(0.4, 0.8, 1.3)
	Silahlı çatışma eğitimi (CM3)	(0.2, 0.4, 0.6)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 1.0, 2.0)
	İletişim becerileri eğitimi (CM4)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.5, 1.8, 0.3)
Ekipman (MCM2)	Navigasyon (CM5)	(0.6, 0.8, 1.0)	(1.0, 1.1, 1.1)	(0.5, 0.7, 1.0)
	Yangın söndürme aygıtı (CM6)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.5, 1.0, 2.0)
	Sevk (CM7)	(0.4, 0.5, 0.6)	(1.0, 1.1, 1.1)	(0.4, 0.5, 0.6)
	Silahlı çatışma (CM8)	(0.2, 0.4, 0.6)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 1.0, 2.0)
Prosedür (MCM3)	Kullanımdan önce makine denetimi (CM9)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.8, 0.9, 1.0)	(0.4, 0.7, 1.0)
	Makine gözlemlenmesi (CM10)	(0.2, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.7, 1.5)
	Yanıcı dökülmeleri (CM11)	(0.2, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.3, 0.8, 1.5)
	Motor yangın söndürme aygıtı (CM12)	(0.2, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.3, 0.8, 1.5)
	Güvenlik görevlisi ve diğer gemileri uyarma (CM13)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.2, 0.5, 1.0)

Tablo 30: Karşı önlemler için deterministik sayılar

Ana Karşı Önlemler	Karşı Önlemler	Chen yöntemi		
		Sağ skor	Sol skor	Toplam skor
İnsan (MCM1)	Denetleme eğitimi (CM1)	0.6279	0.5192	0.5543
	Uygun iletişim (CM2)	0.8421	0.4444	0.6988
	Silahlı çatışma eğitimi (CM3)	1.000	0.3750	0.8125
	İletişim becerileri eğitimi (CM4)	0.8621	0.3846	0.7387
Ekipman (MCM2)	Navigasyon (CM5)	0.7857	0.3846	0.7005
	Yangın söndürme aygıtı (CM6)	1.000	0.3333	0.8333
	Sevk (CM7)	0.5238	0.5833	0.4702
	Silahlı çatışma (CM8)	1.000	0.3750	0.8125
Prosedür (MCM3)	Kullanımdan önce makine denetimi (CM9)	0.7500	0.4737	0.6382
	Makine gözlemlenmesi (CM10)	0.8182	0.5294	0.6444
	Yanıcı dökülmeleri (CM11)	0.8824	0.4545	0.7139
	Motor yangın söndürme aygıtı (CM12)	0.8824	0.4545	0.7139
	Güvenlik görevlisi ve diğer gemileri uyarma (CM13)	0.6667	0.6154	0.5256

Tablo 31: DEMATEL sonuçları

	D	R	D+R	D-R	GRUP
CM1	0.1369	0	0.1369	0.1369	NEDEN
CM2	0.1726	0	0.1726	0.1726	NEDEN
CM3	0.2007	0	0.2007	0.2007	NEDEN
CM4	0.1825	0	0.1825	0.1825	NEDEN
CM5	0.1730	0	0.1730	0.1730	NEDEN
CM6	0.2058	0	0.2058	0.2058	NEDEN
CM7	0.1162	0	0.1162	0.1162	NEDEN
CM8	0.2007	0	0.2007	0.2007	NEDEN
CM9	0.1576	0	0.1576	0.1576	NEDEN
CM10	0.1592	0	0.1592	0.1592	NEDEN
CM11	0.1763	0	0.1763	0.1763	NEDEN
CM12	0.1763	0	0.1763	0.1763	NEDEN
CM13	0.1298	0	0.1298	0.1298	NEDEN
MCM1	0	0.6927	0.6927	-0.6927	SONUÇ
MCM2	0	0.4950	0.4950	-0.4950	SONUÇ
MCM3	0	1.0000	1.0000	-1.0000	SONUÇ

sayılara dönüştürülmüştür (Tablo 30). Bütün karşı önlemlerin toplam skorları hesaplandıktan sonra, DEMATEL metodu ile (D+R) ve (D-R) değerleri hesaplanmıştır (Tablo 31). CM3, CM6 ve CM8 insan, ekipman ve prosedür için en yüksek değere sahip karşı önlem olarak hesaplanmıştır. Tablo 31'e göre Prosedür (MCM3) en önemli ana karşı önlem olarak tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye kıyı ve açık denizlerindeki kazaların analizi için Biçimsel Güvenlik Değerlendirmesi (FSA), bulanık mantık, DEMATEL ve geometrik ağırlıklandırma tekniklerini kullanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye kıyıları ve açık denizlerinde meydana gelen kargo gemisi kazalarının belirleyici unsurları tanımlanıp analiz edilerek, daha temiz ve daha emniyetli deniz taşımacılığı hedeflenmiştir.

Geliştirilen risk analiz yönteminin bazı avantajları aşağıda verilmektedir:

- Kullanılan teknik direkt ve direkt olmayan ilişkileri analiz edebilmektedir.
- Kullanılan risk modeli alternatifler arasındaki ilişkinin derecesini belirler.
- Hata modları kendi aralarında daha iyi bir sıralamaya sahiptir.
- Eksik ve kesin olmayan bilgiler kabul edilebilir ve kolayca ele alınabilir.
- Yöntem risk değerlendirme prosedürüne yardımcı olmak için daha doğru ve etkin bilgi sağlar.

Bu çalışmada ayrıca kazaların sıklıkla meydana geldiği liman girişi, liman çıkışı vb. kritik yerler için de analiz yapılmış ve elde edilen sonuçlarına göre liman girişi en kritik operasyon bölgesi olarak ortaya çıkmıştır. Liman çıkışları da ikinci dereceden kritik bölge olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere navigasyon ve manevra nedenli kazaların azaltılması için, kazanın meydana geldiği lokasyon konusuna dikkat edip risk azaltıcı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Çarpışma detektörü konularak ve köprü ekipmanlarını yeniden dizayn ederek çarpışma olasılığı düşürülebilir. Çalışmada, maliyet/fayda analizi yapılmış ve denetleme eğitimi, kullanımdan önce makinelerin denetlenmesi ve makinelerin gözlemlenmesi maliyetlerine göre en faydalı önlemler olarak belirlenmiştir. Yük gemileri için maliyet/fayda dengesine pozitif katkı sağlayan uygulama ve önlemlerin alınması operasyon maliyetlerinin tahmini ve düşürülmesi konusunda da yardımcı olacaktır. Bu da geminin güvenliğini ve karlılığını katkı sağlayacaktır. Uygun bir sistematik güvenlik değerlendirme yönteminin kullanımı, yük gemilerinin maliyetini düşürerek, maliyet tahminine yardımcı olacaktır.

Türkiye kıyılarında ve açık denizlerinde meydana gelen yük gemileri kazalarını azaltmak için insan güvenliği, yangın söndürme, hayat kurtarıcı ekipman,

mukavemet ve stabilite gibi konularını iyi değerlendirmek ve bir takım iyileştirmeler yapmak gereklidir. İnsan hatası en çok rastlanan kaza nedenleri arasında yer almaktadır. İnsan hatalarının azaltılması geminin güvenirliliği ve emniyeti için çok büyük öneme sahiptir. İnsan hatasını tetikleyen faktörlerden bazıları; değerlendirme, karar verme hataları, yetenek esaslı hataları, kötü zihin durumları, fiziksel, ruhsal yorgunluk ve limitler, stres vb. olarak belirtilebilir. Bu tetikleyici faktörler bazı insan hatalarına neden olabilir. Bunlar

- Yanlış değerlendirilen etkiler (dalga, rüzgar, akıntı, hız),
- Uygunsuz iletişim,
- Mürettebat dikkatsizliği,
- Pozisyon tespit edilememesi,
- Vardiya zabiti eksikliği,
- Mevcut navigasyon aletlerini kullanamama.

Bilgi eksikliği, güvenli bir yük gemisi seferi için ciddi problemler doğurabilir. Personel yetersizliği, bilgi ve tecrübe eksikliği nedeniyle yanlış kararlar verebilir. Acil durumlarda, güvenlik personeli efektif bir tepki için diğer insanlara liderlik etmeli ve yönlendirmelidir. Eğitim, diğer mürettebat ile iletişim ve yangın söndürücü ekipmanların kullanımı göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle, insan faktörünün bir yük gemisinin güvenliği için büyük bir rolü vardır. Öte yandan, yetenekli mürettebat temini ve mürettebat eğitiminde karşılaşılan problemler ya da eksiklikler yeni kural ve düzenlemeler dikkate alınarak güncellenmelidir. Bu çerçevede, insan hatalarını düşürmek için etkin eğitsel ve yönetsel çözümler almak gereklidir. Etkin eğitimin güvenlik için çok önemli olduğu açıktır. Bu da kuralları öğrenme ve ekipman kullanımı hakkında zorunlu eğitimleri almayı gerektirir.

Denizde güvenliği arttırmak; sistemli bir şekilde karar verme, risk analiz yöntemlerini kullanma ve olası risklere karşı personel ya da yönetim olarak durumsal farkındalık yaratarak mümkün olabilecektir. Deniz endüstrisi ile ilgili tüm kurum, kuruluş ve şirketlerin olası risklere karşı hazırlıklı, emniyet yönetiminde dinamik, emniyet sınırlarını bilen ve ona uygun çağın gerektirdiği yenilik ve tedbirleri benimseyen bir yapıya sahip olması daha güvenilir ve daha temiz bir deniz taşımacılığına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Aouam, T., Chang, S. I., Lee, E. S., 2003. Fuzzy MADM: An Outranking Method. *European Journal of Operational Research*, vol. 145, pp. 317–328.

Acar, B., 2007. Risk Değerlendirmesi Temelli Yönetim Anlayışının Denizcilikte Uygulanması ve Türk Deniz Ticaret Filosunun Risk Değerlendirmesi Yöntemi ile Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir.

Alizadeh, S., Ghazanfari, M., Fathian, M., (2008). Using data mining for learning and clustering FCM, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 18, 846-853.

Al-Najjar, B., & Alsyounf I., (2003). Just in time maintenance: A way to improve companies' competitiveness. *Conference Business Excellence*, University of Minho, 596-603, Portugal.

Aven, T., & Erik Vinnem, J., (2005). On the use of risk acceptance criteria in the offshore oil and gas industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 90(1), 15–24.

Bansal A., (2011). Trapezoidal Fuzzy Numbers (a, b, c, d): Arithmetic Behavior, *International Journal of Physical and Mathematical Sciences*, 2011, 39-44.

Bass, S. J., & Kwakernaak, H. (1977). Rating and ranking of multi-aspects alternatives using fuzzy sets. *Automatica*, 13, 47-58.

Bellman, R. E., & Zadeh, L. E. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17, 212-223.

Bonissone, P. P., 1982. A Fuzzy Sets Based Linguistic Approach : Theory and Applications. *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, M.M. Gupta and E. Sanchez (Eds.), pp. 329-339, North-Holland.

Brans, J.P., Mareshal, B., Vincke, P., 1984. Promethee: A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis. *Proc. of the 10th IFORS International Conference on Operational Research*, J.P. Brans (Eds.), pp. 477-490, Elsevier Science Publishers, North Holland, Amsterdam.

Buckley, J. J., 1985. Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 17, pp. 233-247.

Chang, D. Y., 1992. Extent Analysis and Synthetic Decision, *Optimization Techniques and Applications*. World Scientific, 1: 352, Singapore.

Chang, D. Y., 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, vol. 95, pp. 649–655.

Chang, J. R., Chang, K. H., Liao, S. H., Cheng, C. H., 2006. The Reliability of General Vague Fault-Tree Analysis on Weapon Systems Fault Diagnosis. *Soft Comput.* vol. 10(7), pp. 531-542.

Chang, P. L. and Chen, Y. C., 1994. A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method for Technology Transfer Strategy Selection in Biotechnology. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 63, pp. 131-139.

Chang, K.-Hu (2009). Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN methodology, *Microelectronics Reliability*, 49(12), 1586-1596.

Chang, K.-H., Chang, Y.-C., Wen, T.-C., Cheng, C.-H., 2012. An innovative approach integrating 2-tuple and lowga operators in process failure mode and effects analysis. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(1), 747-761.

Chen, S. M., (1988). A new approach to handling fuzzy decision-making problems, *Proceedings of the 18 th International Symposium on Multiple-Valued Logic, Spain*, pp. 72-76.

Chen, C. T., 2000. Extensions of the TOPSIS for Group Decision Making under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 114, pp. 1-9.

Chen, C. T., Lin, C.T. and Huang, S.F., 2006. A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics*, vol. 102, pp. 289-301.

Chen, G., Pham, T.-T., 2006. *Introduction to Fuzzy Systems*. Taylor & Francis Group, LLC.

Chen, M.F., Tzeng, G. H., 2004. Combining Grey Relation and TOPSIS Concepts for Selecting an Expatriate Host Country. *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 40, pp. 1473–1490.

Chen, S., Fu, G., 2003. A Fuzzy Approach to the Lecotype Optimization of Offshore Platforms. *Ocean Engineering*, vol. 30, pp. 877-891.

Chen, S.-H., 1985. Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 17, pp. 113–129.

Chen S.-H., 1999. Ranking Generalized Fuzzy Number with Graded Mean Integration. *Proceedings of the 8th International Fuzzy Systems Association World Congress*, vol. 2, pp. 899–902, Taipei, Taiwan, Republic of China.

Chen, S.-J., Hwang, C.-L., 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Berlin, Springer.

Chen, S.-J., Chen, S.-M., 2006. Fuzzy Risk Analysis Based on the Ranking of Generalized Trapezoidal Fuzzy Numbers. *Appl. Intell.*, vol. 26, pp. 1-11.

Chen, S. M., 1997. A New Method for Tool Steel Materials Selection under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 92, pp. 265-274.

Chen, S. M., Ke, J. S., and Chang, J. F., 1989. Techniques for Handling Multicriteria Fuzzy Decision Making Problems, *Proc. of the 4th International*

Symposium on Computer and Information Sciences, vol. 2, pp. 919-925, Çeşme, Turkey.

Chen, T. C., 2001. A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 118, pp. 65–73.

Chen, Y. W., Larbani, M., 2006. Two-Person Zero-Sum Game Approach for Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Problems. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 157, pp. 34–51.

Cheng, C.-H., 1997. Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on the Grade Value of Membership Function. *European Journal of Operational Research*, vol. 96(2), pp. 343–350.

Cheng C.-H., 1998. A New Approach for Ranking Fuzzy Numbers by Distance Method. *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 95(3), pp. 307–317.

Cheng, C.H., Yang, K. L., Hwang, C.-L., 1999. Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight, *European Journal of Operational Research*, vol. 116(2), pp. 423–435.

Cheng, Y. M. and McInnis, B., 1980. An Algorithm for Multiple Attribute, Multiple Alternative Decision Problems Based on Fuzzy Sets with Application to Medical Diagnosis. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 10, no.10, pp. 645-650.

Cheong, W. C., Lan Hui, L. A., (2004). Web Access Failure Analysis—Fuzzy Reliability Approach. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, vol. 12(1), pp. 65–73.

Cook, W. D., and Seiford, D. L. M. (1978) “Priority ranking and consensus formation” *Management Science* 24: 1721-1734.

Dubois, D., Prade, H., 1983. Ranking of Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory. *Information Sciences*, vol. 30, pp. 183-224.

Dubois, D., Prade, H., Testemale, C., 1988. Weighted Fuzzy Pattern Matching, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 28, pp. 313-331.

Ekel, P. Y., 1999. Approach to Decision Making in Fuzzy Environment. *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 37, pp. 59-71.

Efstathiou, H. J., 1979. A Practical Development of Multi-Attribute Decision Making Using Fuzzy Set Theory. PhD Thesis, Department of Computing, University of Durham, England.

Fang, Q.G., Yang, Z.L., Hu, S.P., Wang, J., (2005). Formal safety assessment and application of the navigation simulators for preventing human error in ship operations. *Journal of Marine Science and Application*, 4(3), 5-12.

Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., 2004. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer, New York.

- Fodor, J. C., Roubens, M., 1994. Fuzzy Preference Modelling and Multicriteria Decision Support, Kluwer, Dordrecht.
- Fuller, R., & Majlender, P., (2001). An analytic approach for obtaining maximal entropy OWA operator weights, *Fuzzy Sets and Systems*, 124, 53-57.
- Gabus, A., & Fontela, E., (1972). World Problems an Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL. Battelle Geneva Research Centre, Switzerland, Geneva.
- Gabus, A., & Fontela, E., (1973). Perceptions of the World Problematique: Communication Procedure, Communicating with those Bearing Collective Responsibility.
- Guedes Soares, C., & Teixeira, A.P., (2001). Risk assessment in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety*, 74(3), 299–309.
- Henley, E.J. & Kumamoto, H. (1992). Probabilistic risk assessment. New York: IEEE.
- Hu, S., Fang, Q., Xia, H., Xi, Y., (2007). Formal safety assessment based on relative risks model in ship navigation. *Reliability Engineering and System Safety*, 92, 369–377.
- Hwang, G. L., Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag.
- IMO. (1995). Formal safety assessment (FSA). UK Submission to the Maritime Safety Committee, MSC/65/24/2, London, UK.
- IMO. (2007). Formal safety assessment (FSA). MSC 83.
- IMO. (2002). Guidelines on the application of formal safety assessment (FSA) the IMO rule-making process. MSC/Circular 1023, MEPC/Circular 392.
- IMO. (1997). Interim guidelines for the application of formal safety assessment to the IMO Rulemaking process. IMO/MSC circular 829, London.
- Jiunn I.S., Wub H., (2010). Huang K.; A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality, *Knowledge Based Systems*, 23, 277-282.
- Kahraman, C., Gulbay, M., & Kabak, O. (2006). Applications of Fuzzy Sets in Industrial Engineering: A Topical Classification. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 201, 1-55, Springer Berlin/Heidelbergh.
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kontovas, C.A., & Psaraftis, H.N., (2006). Formal safety assessment: A critical review and ways to strengthen it and make it more transparent. NTUA-MT-06-102, School of Naval Architecture and Marine Engineering National Technical University of Athens Greece.

- Kontovas, C.A., & Psaraftis, H.N., (2009). Formal safety assessment: A critical review. *Marine Technology*, 46(1): 45-59.
- Kristiansen, S., & Soma, T., (2001). Formal safety assessment of commercial ships—status and unresolved problems. *Proceedings of the European Conference on Safety and Reliability*, Politecnico di Torino, Italy, 3, 1651–1658.
- Kulak, O., Kahraman, C., 2005a. Multi-Attribute Comparison of Advanced Manufacturing Systems Using Fuzzy vs. Crisp Axiomatic Design Approach. *International Journal of Production Economics*, vol. 95, pp. 415–424.
- Kwakernaak, H., 1979. An Algorithm for Rating of Multiple-Aspect Alternatives Using Fuzzy Sets, *Automatica*, vol. 15, pp. 615-616.
- Laarhoven, P.J.M., Pedrycz, W., (1983). A bulanık extension of Saaty' s priority theory, *Bulanık Sets and Systems II* 229-241.
- Lee, J. O., Yeo, I. C., Yang, Y.S., (2001). A trial application of FSA methodology to the hatchway watertight integrity of bulk carriers. *Marine Structures*, 14, 651–667.
- Li, D. F., 2007. Compromise Ratio Method for Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making. *Applied Soft Computing*, vol. 7, pp. 807–817.
- Liang, G. S., 1999. Fuzzy MCDM Based on Ideal and Anti-Ideal Concepts. *European Journal of Operational Research*, vol. 112, pp. 682-691.
- Liang, G. S., Wang, M. J., 1991. A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method for Facility Site Selection. *International Journal of Production Research*, vol. 29, no.11, pp. 2313-2330.
- Liang, G. S., Wang, M. J., 1993. Fuzzy Fault-Tree Analysis Using Failure Possibility. *Microelectron Reliab.*, vol. 33(4), pp. 583-597.
- Liaw C.S., Chang Y., Chang K.H., Chang T., (2011). ME-OWA based DEMATEL reliability apportionment method, *Expert Systems with Applications*, 38, 9713-9723.
- Ling, Z., 2006. Expected Value Method for Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. *Journal of Tsinghua Science and Technology*, vol. 11(1), pp. 102–106.
- Lois. P., Wang, J., Wall, A., Ruxton, T., (2004). Formal safety assessment of cruise ships. *Tourism Management*, 25, 93–109.
- Lootsma, F. A. (1997). *Fuzzy Logic for Planning and Decision Making*. Kluwer Academic Publisher: Dordrecht.
- Luhandjula, M. K., 1989. Fuzzy Optimization: An Appraisal. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 30, pp. 257–282.
- Marine Safety Agency (MSA). (1993). Formal safety assessment. Submitted by the United Kingdom to IMO Maritime Safety Committee. IMO/MSC 66/14.

Mentes, A., Nisan 2010. Açık Deniz Yapıları Bağlama Sistemlerinin Dizaynında Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye.

Mentes, A., Haziran 2000. Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.

Mentes, A., Akyildiz, H., Yetkin, M., Turkoglu, N., 2015. A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey. Safety Science, Volume 79, Pages 1–10.

Negi, D. S., 1989. Fuzzy Analysis and Optimization. PhD Thesis, Kansas State University, Kansas, USA.

Olcer, A. I., Odabasi, A. Y., 2005. A New Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making Methodology and its Application to Propulsion/Maneuvering System Selection Problem. European Journal of Operational Research, vol. 166 (1), pp. 93-114.

Perego, A., Rangone, A., 1998. A Reference Framework for the Application of MADM Fuzzy Techniques to Selecting AMTS, International Journal of Production Research, vol. 36, no.2, pp. 437-458.

Rangone, A., 1998. On the Applicability of Analytical Techniques for the Selection of AMTs in Small-Medium Sized Firms. Small Business Economics, vol. 10, pp. 293-304.

Roberts, S.E., & Marlow, P.B., (2002). Casualties in dry bulk shipping (1963–1996). Marine Policy, 26, 437–450.

Roy, B., 1971. Problems and Methods with Multiple Objective Functions. Mathematical Programming, vol. 1, pp. 239-266.

Roy, B., 1977. Partial Preference Analysis and Decision-Aid : The Fuzzy Outranking Relation Concept, Conflicting Objectives in Decisions, Bell, R.L. Keeney, and H. Raiffa (Eds.), pp. 40-75, Wiley, New York.

Ruoning, X., Xiaoyan, Z., 1992. Extensions of the Analytic Hierarchy Process in Fuzzy Environment. Fuzzy Sets and Systems, vol. 52, pp. 251-257.

Saaty, T. L., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. Journal of Mathematical Psychology, vol. 15, pp. 234-281.

Saaty, T. L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

Saaty, T. L., 1996. Decision Making with Dependence and Feedback The Analytic Network Process. RWS Publications, USA.

Saaty, T. L., 2000. Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Ellsworth Avenue, Pittsburgh.

Sakawa, M., 1993. Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization. Applied Information Technology, Plenum Press, New York.

Seyed-Hosseini, S.M., Safaei, N., Asgharpour, M.J., (2006). Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique, *Reliability Engineering and System Safety*.

Shieh, J., Wu, H.H., Huang, K.K., (2010). A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. *Knowledge Based Systems*, 23(3), 277-282.

Sii, H.S., Ruxton, T., Wang, J., (2001). A fuzzy-logic-based approach to qualitative safety modelling for marine systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 73(1), 19–34.

Siskos, J. L., Lochard, J., Lombard, J., 1984. A Multicriteria Decision Making Methodology Under Fuzziness: Application to the Evaluation of Radiological Protection in Nuclear Power Plants. *TIMS/Studies in the Management Sciences*, H. J. Zimmermann (Eds.), , vol. 20, pp. 261-283, Elsevier Science Publishers, North Holland.

Şen, Z., 2004. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Takeda, E., 1982. Interactive Identification of Fuzzy Outranking Relations in a Multicriteria Decision Problem. *Fuzzy Information and Decision Processes*, M.M. Gupta and E. Sanchez (Eds.), pp. 301-307, North Holland.

Triantaphyllou, E., 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. vol. 44, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Tsai, W. H. & Chou, W. C. (2009). Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 1444-1458.

Turkish Under Secretariat of Maritime Affairs. (2015). İstanbul, <http://www.denizcilik.gov.tr/denizkaza/yayin/yil.asp>.

Vanem, E., Puisa, R., Skjong, R., (2009). Standardized risk models for formal safety assessment of maritime transportation. *Proceedings of the ASME 2009 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2009*, Hawaii, USA.

Wang, J., 1997. A Fuzzy Outranking Method for Conceptual Design Evaluation, *International Journal of Production Research*, vol. 35, no.4, pp. 995-1010.

Wang, J. (2001). The current status and future aspects in formal ship safety assessment. *Safety Science*, 38, 19-30.

Wang, J. (2000). A subjective modelling tool applied to formal ship safety assessment. *Ocean Engineering*, 27, 1019–1035.

Wang, J. (2002). Offshore safety case approach and formal safety assessment of ships. *Journal of Safety Research*, 33, 81–115.

- Wang, J., Foinikis, P. (2001). Formal safety assessment of containerships. *Marine Policy*, 25:143-157.
- Wang, J., Sii, H.S., Yang, J.B., Pillay, A., Maistralis, E., Saajedi., (2004). Use of advances in technology in marine risk assessment. *Risk Analysis*, 24(4), 1011–33.
- Wang W., Lin Y.H., Lin C.H., Chung C.H., Lee M.T., (2012). DEMATEL-based model to improve the performance in a matrix organization, *Expert Systems with Applications*.
- Wang, Y-M., Parkan, C., 2005. Multiple Attribute Decision Making Based on Fuzzy Preference Information on Alternatives: Ranking and Weighting. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 153, pp. 331–346.
- Wu W., & Lee Y.T., (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method, *Expert Systems with Applications*, 32(2), 499-507.
- Xu, R., 2000. Fuzzy Least Squares Priority Method in the AHP. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 112, pp. 395-404.
- Xu, Z., Yager, R. R., 2008. Dynamic Intuitionistic Fuzzy Multi-Attribute Decision Making. *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 48(1), pp. 246–262.
- Xu, Z-S., Chen, J., 2007. An Interactive Method for Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making. *Information Sciences*, vol. 177(1), pp. 248–263.
- Yager, R. R. (1978). Fuzzy decision making including unequal objectives. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 87-95.
- Yager, R.R., (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18, 183-190.
- Yager, R. R., 1977. Multiple Objective Decision-Making Using Fuzzy Sets. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 9, pp. 375-382.
- Yager, R. R., 1978. Fuzzy Decision Making Including Unequal Objectives. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1, pp. 87-95.
- Yager, R. R., & Basson, D. (1975). Decision-making with fuzzy sets. *Decision Sciences*, 6, 590-600.
- Yang, Y.P., Shieh, H.M., Tzeng, G.H., (2013). A VIKOR technique based on DEMATEL and ANP for information security risk control assessment, 2013, *Information Sciences*.
- Yager, R.R., Kacprzyk, J., Beliakov, G. (Eds.), 2011. *Recent Developments in the Ordered Weighted Averaging Operators: Theory and Practice*, Springer, Berlin.
- Yeh, C.-H., Chang, Y.-H., 2009. Modeling Subjective Evaluation for Fuzzy Group Multicriteria Decision Making. *European Journal of Operational Research*, vol. 194, pp. 464-473.

Yeh, C. H., Deng, H., Chang, Y. H., 2000. Fuzzy Multicriteria Analysis for Performance Evaluation of Bus Companies. *European Journal of Operational Research*, vol. 126, pp. 459–473.

Yoon, K., Hwang, C.L., 1995. *Multiple Attribute Decision Making an Introduction*, Sage Publications, USA.

Xu, Z.S., Da, Q.L., (2003). An overview of operators for aggregating information. *International Journal of Intelligent Systems*, 18(9), 953-969.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338–353.

Zhang, D., Yan, X., Yang, Z., Wang, J., (2011). Application of formal safety assessment to navigational risk evaluation of Yangtze River. *Proceedings of the ASME 2011, 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2011-50186*, Rotterdam, the Netherlands.

Yager, R.R., (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making, *IEEE Trans. Systems Man Cybernet.* 18(1) 183-190.

Zimmermann, H. J., (1996). *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Kluwer: Massachusetts.

This image shows a full page of blank handwriting practice paper. It features approximately 30 evenly spaced horizontal black lines across the entire page, providing a guide for letter height and placement. The background is plain white, and there are no margins, text, or other markings present.

Handwriting practice lines consisting of 30 horizontal dashed lines.