

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LNG TAŞIMACILIĞI RİSK ANALİZİ
VE
EMNİYET YÖNETİM MODELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burkay R. ALAN**

**Anabilim Dalı: Deniz Ulaştırma Mühendisliği
Programı: Deniz Ulaştırma Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Y.Doç.Dr. Zuhale ER

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Dünyanın ileri gelen ülkeleri arasında yer alacak bir gelişmişlik ve gönenç düzeyini yakalamak üzere; serbest, şeffaf ve istikrarlı piyasa koşulları içinde ulusal kaynaklarına öncelik vermeyi, bu kaynakların aranmasında ve istenen kaliteyle, güvenli ve ekonomik olarak üretiminde ileri teknolojileri kullanmayı ve geliştirmeyi; gereksinim duyduğu enerjiyi, güvenli, güvenilir, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı teknolojilerle üretmeyi, iletmeyi, depolamayı ve kullanmayı; uluslararası enerji pazarında yarışabilecek enerji teknolojileri geliştirebilmeyi ve uluslararası enerji yatırımlarında etkin rol alabilmeyi, vizyonuna koymuş bir Türkiye için;

2030 yılına kadar yapılan bir projeksiyonda; en fazla tüketilen enerji kaynağı olma özelliğini koruyacağı değerlendirilen petrolün yanı sıra; en büyük talep artışının olması beklenen fosil kaynak olan doğal gaz ayrı bir önem arz etmektedir.

Türkiye için koyduğu vizyona erişebilmek ancak çağın ilerisine bakan bir yönetim anlayışı ile mümkün olacaktır. Bu anlayış her an değişen, sürprizlere açık, karmaşık yapıların yönetim modeli olan Risk Tabanlı bir yönetim sistemi olabilir.

Bu çalışma ile yukarıda vurgulanan bu iki hususun kesiştiği bir noktaya bakılmaya çalışılmış ve bir Deniz Ulaştırma Sistemi olarak tanımlanabilecek LNG Taşımacılığı'nın Risk Analizi ve buna bağlı olarak ortaya konabilecek tamamlayıcı bir Emniyet Yönetim Modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın yürütülmesinde her zaman ilgi ve destek gördüğüm tez danışmanım sayın Y.Doç.Dr.Zuhal ER'e , ufuk açıcı bilgi ve tecrübesini esirgemeyen sayın Doç.Dr. İ.Deha ER'e, sabır ve hoşgörülerinden dolayı kıymetli eşim ve biricik kızıma teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2008

Burkay R. ALAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. DÜNYA VE TÜRKİYE'DE DOĞAL GAZ	4
2.1 Genel	4
2.2 Dünya Enerji Tüketiminde Doğal Gazın Yeri	5
2.3 Türkiye Enerji Perspektifinde Doğal Gazın Yeri	11
3. LNG TAŞIMACILIĞINA İLİŞKİN DÜZENLEMELER, STANDARTLAR VE DENİZ GÜVENLİĞİ İLE İLGİLİ KURALLAR	15
3.1 Genel	15
3.2 Düzenlemeler, Standartlar Ve Deniz Güvenliği İle İlgili Kurallar	15
3.2.1 Gemilerin zorunlulukları;	16
3.2.2 Gemi İşleten Kuruluşların Zorunlulukları ;	16
3.2.3 Limanlardaki Zorunluluklar;	16
3.2.4 Klas Kuruluşlarının Gemi Dizayn Standartları	16
3.2.4.1 Lloyd's Register	17
3.2.4.2 Det Norske Veritas	17
3.2.4.3 American Bureau of Shipping	18
3.3 LNG Gemilerinin Sertifikasyonu	18
4. RİSK VE RİSK TABANLI YÖNETİM SİSTEMİ	20
4.1 Genel	20
4.2 Risk Kavramları	20
4.3 Risk Değerleme ve Risk Yönetim Mekanizması	22
5. RİSK YÖNETİMİ YAKLAŞIMININ LNG TAŞIMACILIĞINA UYGULANMASI	27
5.1 Risk Değerleme (Risk Assessment)	27
5.2 Risk Yönetiminin Emniyet Hedeflerinin Belirlenmesi	27
5.3 Risk Analizi	29
5.3.1 Risk analiz planı	29
5.3.2 Risk analiz tekniklerinin seçimi	29
5.3.3 Risk analizi teknikleri	32

5.3.3.1	Tehlike ve işletilebilirlik (hazard & operability) analizi tekniği	33
5.3.3.2	Olursa ne olur? (what-if) analizi	34
5.3.3.3	Kontrol listesi (checklist) analizi	34
5.3.3.4	Yapılandırılmış olursa ne olur? (structured what-if) analizi	34
5.3.3.5	Olay ağaçları	34
5.3.3.6	Hata ağaçları	36
5.3.4	Risk analiz takımının teşkili	36
5.3.5	Risk kabul edilebilirlik kriterlerinin belirlenmesi	38
5.3.6	Tehlike analizi	39
5.3.6.1	LNG sızıntısına sebep olabilecek tehlikelerin analizi	40
5.3.6.2	Neden LNG taşıyan gemi kazaları diğerlerine oranla daha azdır?	41
5.3.6.3	LNG sızıntısına sebep olabilecek muhtemel tehlikeler neler olabilir?	43
5.3.7	LNG sızıntısının sebep olabileceği zararlı sonuçlar nelerdir?	43
5.3.7.1	İnsan Sağlığı Üzerinde Doğabilecek Zararlı Sonuçlar	43
5.3.7.2	Yanıcılık	44
5.3.7.3	Soğuktan kaynaklanan yapısal hasarlar	46
5.3.7.4	LNG kaynaklı ateştopu (fireball)	46
5.3.7.5	LNG-hava karışımının basınçla birlikte patlaması (explosion)	47
5.3.7.6	Hızlı hal değiştirme (rapid phase transitions)	47
5.4	Risk değerlendirmesi	48
5.4.1	Yaygınlık (severity) kategorileri matrisi	49
5.4.2	Sıklık (frequency) kategorileri matrisi	50
5.4.3	Risk sınıflandırma matrisi	50
5.4.4	Risk matrisi	51
5.4.5	Olabilirlik matrisi	51
5.4.6	Risk değerlendirme matrisi	52
6.	RISK ANALİZİ METODU OLARAK BAYESIAN BELIEF NETWORK (BBN) METODU'NUN KULLANILMASI ÖNERİSİ	53
6.1	BBN	53
6.2	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG) Taşımacılığında Yükleme/Boşaltma Esnasında Sızıntı Riskinin Araştırılması örnek çalışmasında BBN modeli ile Risk Analizi	54
6.3	Bayes Teoremi	57
6.4	Risk Analizi	61
7.	LNG TAŞIMACILIĞI EMNİYET YÖNETİM MODELİ	65
7.1	Genel	65
7.2	LNG Taşımacılığında Risk Önleyici ve Risk Azaltıcı Tedbirler	66
7.3	Ulusal ve Uluslararası Düzenlemeler	68
7.3.1	IMO Düzenlemeleri	68

7.3.2	Bayrak Devleti Düzenlemeleri	68
7.3.3	Liman Devleti Düzenlemeleri	69
7.3.4	Sektör Kuruluşları	69
7.4	LNG Sızıntı Riskinin Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler	69
7.4.1	Dizayn Tedbirleri	69
7.4.1.1	Çift cidarlı gövde yapısı	70
7.4.1.2	LNG taşıma sistemlerinin diğer sistemlerden ayrılması	70
7.4.1.3	Periyodik kontrol ve incelemeler için yük taşıma sistemlerine geçiş	70
7.4.1.4	IGC Kapsamında zorunlu kılınan diğer düzenlemeler	71
7.4.2	LNG Terminal Operasyonları esnasında	72
7.4.3	Operasyonel Tedbirler	72
7.4.3.1	Eğitim	72
7.4.3.2	Talimatlar	73
7.4.3.3	Denetlemeler	73
7.4.4	Kasti Eylemler Neticesinde Oluşabilecek LNG Sızıntısı Riskini Önleyebilecek Tedbirler	73
7.4.4.1	Güvenlik seviyeleri	74
7.4.4.2	Gemi güvenlik planları	74
7.4.4.3	Gemi güvenlik alarm sistemi	74
7.4.4.4	Otomatik tanımlama sistemi	74
7.4.4.5	Liman güvenlik planları	75
7.4.4.6	Güvenlik bildirgesi	75
7.4.4.7	Terminal güvenlik planları	75
7.5	Emniyet Sistemi Model Önerisi	76
7.6	Riskin Önlenmesi ve Azaltılması Açısından Yaklaşım Modeli	76
7.6.1	Adım I Durumun Tespiti	78
7.6.2	Adım II Olası Tehlikelerin Belirlenmesi	79
7.6.3	Adım III Risk Yönetimi Hedeflerinin ve Zararlı Sonuçların Seviyelerinin Belirlenmesi	79
7.6.4	Adım IV Mevcut Koruyucu Tedbirlerin ve Risk Yönetimi Sistem Elemanlarının Belirlenmesi	79
7.6.5	Adım V Risklerin Analizi ve Değerlemesi	80
7.6.6	Adım VI Risk Önleyici ve Risk Azaltıcı Tedbirler	80
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
	KAYNAKLAR	83
	ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal gaz
IMO	: Dünya Denizcilik Örgütü
MSC	: Deniz Emniyet Komitesi
MEPC	: Deniz Çevresinin Korunması Komitesi
SOLAS	: Denizde Can Güvenliği Sözleşmesi
MARPOL	: Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi
IGC	: Yük Olarak Sıvılaştırılmış Gaz Taşıyan Gemilerin İnşası ve Ekipmanları için Uluslararası Kuralları
SLC	: Kargo Gemisi İnşa Güvenlik Sertifikası
SLE	: Kargo Gemisi Güvenlik Ekipmanları Sertifikası ve Belgeleri
SLR	: Kargo Gemisi Telsiz Güvenliği Sertifikası
IEA	: Uluslararası Eneji Ajansı
EIA	: Enerji Bilgi İdaresi
ABS	: Amerikan Deniz Taşımacılığı Dairesi
ILLC	: Uluslararası Yükleme Hattı Sertifikası
IOPPC	: Uluslararası Petrol Kirliliğini Önleme Sertifikası ve Ekleri
ISPPC	: Uluslararası Deniz Kirliliğini Önleme Sertifikası
IAPPC	: Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme Sertifikası
ITC	: Uluslararası Tonaj Sertifikası
ISPS	: Uluslararası Gemi ve Liman Güvenliği
ISM	: Uluslararası Güvenlik Yönetimi
IAS	: Uluslararası Antifoiling Sistemi
LFL	: En Düşük Yanabilirlik Limiti
UFL	: En Yüksek Yanabilirlik Limiti
IACS	: Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği
SIGTTO	: Uluslar arası Gaz Tankeri ve Terminali İşletmecileri Birliği
STCW	: Gemiadamlarının Eğitimi, Sertifikalandırılması ve Vardiyası
FTA	: Hata Ağacı Analizi
ETA	: Olay Ağacı Analizi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Rezervleri	11
Tablo 5.1: LNG Taşımacılığında Alınabilecek Emniyet Tedbirleri ve Muhtemel Etkileri Örneği	28
Tablo 5.2: Risk Analizi Tekniklerinin Karşılaştırması	31
Tablo 5.3: Risk Analizi Teknikleri ve Genellikle Kullanıldıkları Sahalar.....	32
Tablo 5.4: LNG Kazaları.....	40
Tablo 5.5: Yaklaşık Termal Radyasyon Hasar Seviyeleri	46
Tablo 5.6: Risk Matrisi Örneği	49
Tablo 5.7: Yaygınlık Kategorileri Matris Örneği	50
Tablo 5.8: Sıklık Kategorileri Matrisi Örneği.....	50
Tablo 5.9: Risk Sınıflandırma Kategorileri Matrisi Örneği	51
Tablo 5.10: Risk Matrisi örneği	51
Tablo 5.11: Olabilirlik Matrisi Örneği	52
Tablo 5.12: Risk Değerleme Matrisi Örneği.....	52
Tablo 7.1: Hedef Tablosu.....	76
Tablo 7.2: Mekanizma Tablosu.....	77
Tablo 7.3: Zararlı Sonuç Tablosu.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Gerçekleşen ve Beklenen Dünya Enerji Tüketimi (1980-2030)	5
Şekil 2.2: Dünya Birincil Enerji Kaynakları ve Tüketimi	6
Şekil 2.3: Dünya Birincil Enerji Tüketimi (Milyon TPE)	6
Şekil 2.4: Dünya Birincil Enerji Tüketimi (%).....	7
Şekil 2.5: Kullanılan Yakıt Tiplerine Göre Dünya Enerji Tüketimi (1980-2030)	7
Şekil 2.6 : Dünya Birincil Enerji Tüketimi (Milyon TPE)	8
Şekil 2.7 : Doğal Gaz Tüketiminde İlk Altı Ülke	9
Şekil 2.8 : Dünya Doğal Gaz Rezervleri ve Üretimdeki Rezerv Oranı	10
Şekil 2.9 :Dünya Doğal Gaz Üretiminde İlk Altı Ülke	10
Şekil 2.10:Türkiye'nin LNG ithalatı.....	13
Şekil 2.11: LNG Taşımacılık Maliyetinin Boru Hatları ile Mukayesesi	13
Şekil 2.12: Dünya Doğal Gaz Taşımacılığının Yıllara Göre Durumu.....	14
Şekil 4.1: Risk Yönetim Mekanizması	24
Şekil 4.2: IMO Risk Değerleme ve Yönetim Akış Şeması	25
Şekil 5.1: LNG Sızıntısı Olay Ağacı Örneği	35
Şekil 5.2 : Aşırı Dolum Hata Ağacı.....	37
Şekil 5.3: Metanın Yanma Mesafesi.....	45
Şekil 6.1: BBN ile LNG Taşımacılığı Sistem Ağacı Örneği	56
Şekil 6.2: Sızıntı Kazalarının Toplam Kazalara Oranı	62
Şekil 6.3: Sızıntı Kazası Sebeplerinin Oranları	62
Şekil 7.1: LNG Zinciri	67

LNG TAŞIMACILIĞI RİSK ANALİZİ VE EMNİYET YÖNETİM MODELİ

ÖZET

Bu çalışmada LNG Taşımacılığı'nın Risk Analizini yapmak ve bir Emniyet Yönetim Modeli önerisinde bulunmak, bu model önerisi ile emniyet standartlarını yükselterek uluslararası arenada rekabet gücünü arttırmak amaçlanmıştır.

Çalışmada LNG'nin özellikleri ve nasıl taşındığı açıklandıktan sonra bir Deniz Ulaştırma Sistemi olarak tanımlanan LNG taşımacılığının denizlerde taşımacılığın temel kuralı olan can, mal ve çevre emniyeti açısından ortaya koyduğu muhtemel tehlikeler sıralanmıştır.

Risk ve Risk Tabanlı Yönetim Sistemi kavramlarının tanımları verilerek detayları açıklanmıştır. Risk Değerleme yaklaşımının sistematığı LNG sızıntısı ile sonuçlanmış olayların örnekleri ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Risk Değerleme sistematığının genel yapısı içerisinde yer alan Tehlike Analizi, Risk Analizi, Risk Değerlendirme ve Risk Yönetimi sadece kavram olarak değil aynı zamanda LNG Taşımacılığı'nın Risk Tabanlı Yönetimi nasıl tesis edilebilir sorusuna da cevap aranarak incelenmiştir.

LNG Taşımacılığı bir Deniz Ulaştırma Sistemi olarak tanımlanmış ve Bayesian Belief Network (BBN) ile LNG Taşımacılığı'nda sızıntı riskinin analizi, Bayes denklemleri ile olasılık hesabı yapılarak BBN metodunun LNG Taşımacılığı'nda bir risk analizi metodu olarak kullanılabileceği önerisi getirilmiştir.

Çalışma Risk Önleyici ve Risk Azaltıcı stratejiler gözönünde bulundurularak mevcut emniyet yönetimi düzenlemelerini tamamlayıcı olarak sunulan LNG Taşımacılığı Emniyet Modeli önerisi ile sonuçlanmıştır.

Takiben yapılacak çalışmaların; LNG ile ilgili güncel veri tabanlarının incelenmesi neticesinde elde edilecek bulgularla, Türkiye'nin LNG gemisi ihtiyacı, Türkiye'de LNG gemisi inşaatı, Türkiye LNG terminallerinin Risk Tabanlı Emniyet Yönetimi gibi konulara yönelenebileceği değerlendirilmektedir.

RISK ANALYSIS OF LNG TRANSPORTATION AND SAFETY MANAGEMENT MODEL

SUMMARY

This study aims to conduct Risk Analysis methods on LNG Spillage during LNG Transportation and suggests a Risk Based Safety Management model to raise the competitive power in the international arena by raising the standards on safety.

In the study LNG specifications and carriage of LNG has been explained. LNG Transportation has been defined in the view of the Maritime Transportation System and the hazards of LNG Transportation concerning on life, property and environment has been identified with Hazard Identification technique.

The definitions and details of Risk and Risk Based Management Systems has been given in further chapters. The Risk Assessment approach has been explained and detailed with the examples of LNG spillage incidents.

According to the Risk Assessment approach; Hazard Analysis, Risk Analysis, Risk Evaluation and Risk Management terms has been explained with the scope of Risk Based Safety Management of LNG Transportation.

Also LNG transportation has been defined as a Maritime Transportation System and for analysing the risks of this system the Bayesian Belief Network (BBN) method has been offered with conducting probability calculation via by the Bayes' Equations. The study has been concluded by the suggestion on a supplementary Safety Management Model in LNG Transportation according to the Risk Prevention and Mitigation strategies.

It is suggested that the further studies can be focused on the risk based safety management of the LNG terminals in Turkey, LNG carrier's construction in Turkey or the demand of LNG carriers in Turkey according to the findings which will be obtained through the analysis of the up-to-date LNG related data bases.

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve şehirleşme ile birlikte, küreselleşme sonucu artan ticaret ve üretim imkanlarına bağlı olarak, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep giderek artmaktadır [1].

Bugün yaşadığımız üçüncü milenyumda ;

- 1,6 milyar insanın enerjiden tamamen mahrum olduğu,
- Enerji savaşları, enerji diplomasisi gibi kavramların günlük konuşma dilimize girdiği,
- Dünya, “bir damla petrolün bir damla kandan değerli olacağı” iddiasının veya söyleminin artık gerçekleştiğine şahit olurken, bu sürecin “bir damla suyun bir damla kandan değerli” olacağı günlere doğru dönüşmesinden de endişe edilmeye başlandığı bir çok platformda dile getirilmektedir [2].

Fosil kaynaklar bugün olduğu gibi gelecekte de dünya enerji talebinde önemini sürdürmeye devam etmesi; 2002 yılında toplam enerji talebinde yüzde 80 olan fosil kaynakları payının, 2030 yılında yüzde 82 olması beklenmektedir. Bu dönem içinde petrol en fazla tüketilen enerji kaynağı olma özelliğini koruyacaktır. Fosil kaynaklar içerisinde en büyük talep artışının ise doğal gaz kullanımında olması beklenmektedir[3].

21. yüzyılda ülkelerin ana hedefi, sürdürülebilir kalkınmanın temel yapı taşı olan enerjiyi; Güvenilir, Emniyetli, Ulaşılabilir, Kesintisiz, Ekonomik, Çevreci, Kaliteli, temin etmek olmuştur [4].

Petrol başta olmak üzere toplam enerji kaynaklarının temininde net ithalatçı durumunda bulunan sanayileşmiş ülkelerde ve bunun yanında modern enerji hizmetlerinden faydalanmak isteyen gelişmekte olan ülkelerde enerji güvenliği birinci öncelikli konu haline gelmiştir.

Dünya ekonomisi ile hızlı bir entegrasyon sürecinde olan ülkemiz; altyapısını tamamlama, kalkınma hedeflerini gerçekleştirme, toplumsal refahı artırma, sanayi sektörünü uluslararası alanda rekabet edebilecek bir düzeye çıkarma çabası içindedir.

Bu durum, enerji talebimizde hızlı bir artışı da beraberinde getirmektedir. Enerjinin ekonomik büyümeyi gerçekleştirecek ve sosyal gelişme hamlelerini destekleyecek şekilde; zamanında, yeterli, güvenilir, rekabet edilebilir fiyatlardan, çevresel etkileri de göz önünde tutularak sağlanması tüm dünyada olduğu gibi ülkemizin de öncelikli hedefidir.

Bu bağlamda:

- Enerji arz güvenliğini ve güvenilirliğinin sağlanması,
- Stratejik petrol ve doğal gaz depolama kapasitesinin artırılması,
- Kaynak ve ülke çeşitlendirilmesi,
- Yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanımı ve geliştirilmesine öncelik verilmesi,
- Farklı teknolojilerin kullanımı ve geliştirilmesi ve yerli üretimin artırılması,
- Yatırım ihtiyacının büyüklüğü ve çevresel etkiler dikkate alınarak enerjinin üretiminden tüketimine kadar tüm safhalarında verimliliğin artırılması,
- Yakıt esnekliğinin artırılması (üretimde alternatif enerji kaynağı kullanımına olanak sağlanması),
- Ülkemizin jeostratejik konumundan yararlanarak Enerji koridoru olma potansiyelinden en iyi şekilde yararlanılması ile Orta Doğu ve Hazar petrol ve doğal gazının dünya piyasasına ulaştırılması sürecine her aşamada katılım sağlanması (Rezervden pay, nakil, rafinaj, pazarlama, LNG),
- Enerji sektörünün, işleyen bir piyasa olarak şeffaflığı ve rekabeti esas alacak şekilde yapılandırılması,
- Bölgesel işbirliği projelerine katılım ve entegrasyonun sağlanması,
- Her aşamada çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması,

Türkiye Büyük Millet Meclisi kararı ile yayınlanan Dokuzuncu Kalkınma Planı'nın (2007-2013) önemle vurguladığı hususlardır.

Bu hususlardan hareketle bu çalışmanın amaçları:

- Dünyada ve ülkemizde doğal gaz talebini incelemek,
- Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)'ın özellik ve etkilerini açıklamak,
- LNG'nin nasıl taşındığını incelemek,
- Bir Deniz Ulaştırma Sistemi olarak LNG taşımacılığı sistemini organizasyonel faktörleri açısından incelemek,
- Risk tabanlı bir yönetim anlayışının temelleri olan Risk, Risk Analizi, Risk Değerlendirme, Risk Değerleme ve Risk Yönetimi kavramlarını açıklamak,
- LNG taşımacılığı Risk Analizi'nin Bayesian Belief Network ve Hata Ağaçları metodlarını kullanarak yapılabileceğinin önerisini sunmak,
- LNG taşımacılığında riski önleyici emniyet tedbirlerini ve risk azaltıcı tedbirleri ortaya koyarak LNG Taşımacılığı Risk Tabanlı Emniyet Yönetim Modelini oluşturmak şeklinde belirlenmiştir.

2. DÜNYA VE TÜRKİYE’DE DOĞAL GAZ

2.1 Genel

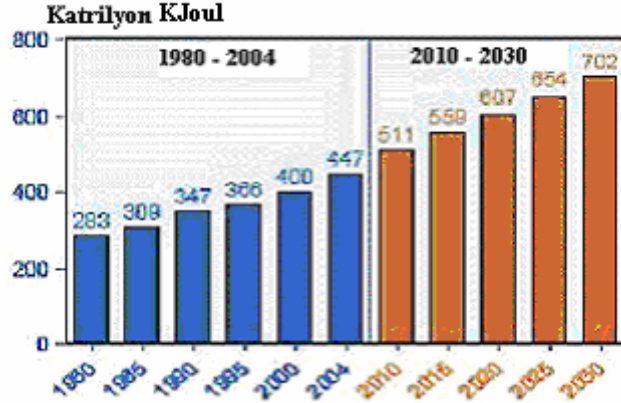
Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve şehirleşme ile birlikte, küreselleşme sonucu artan ticaret ve üretim imkanlarına bağlı olarak, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Dünyada 2030 yılına kadar nüfusun 2 milyar kişi artması ve OECD dışında da trafikteki araç sayısının 550 milyona yükselmesi beklenmektedir. Dünyada 2030 yılına kadar enerji talebinin, büyük kısmı gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanmak üzere, bugüne göre ortalama yüzde 60 daha fazla olması beklenmektedir [1].

Bununla birlikte, Avrupa Birliği ülkelerinde petrol talebinin genel tüketim içindeki ağırlığını koruması ve doğal gaz kullanımında önemli bir artış olması öngörülmektedir. 2002 yılında Avrupa Birliği’nin doğal gaz talebinin yüzde 49’u ithalatla karşılanmaktadır. 2030 yılında bu oranın yüzde 81’e yükselmesi beklenmektedir [1].

Elektrik üretimindeki kaynak dağılımlarına ilişkin öngörüler dikkate alındığında, Avrupa Birliği ve dünyada doğal gaz ve yenilenebilir kaynakların payında önemli bir artış olması beklenmektedir. Bununla birlikte, dünyada elektrik üretimindeki kömür kullanımının da önemini koruyacağı ve talebin, Çin ve Hindistan başta olmak üzere, gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanacağı öngörülmektedir. Dünyadaki petrol ve doğal gaz rezervlerinin yaklaşık yüzde 75’i, Ortadoğu, Hazar Bölgesi ile Avrupa ve Rusya Federasyonu’nda bulunmaktadır. Dünyadaki toplam talebin yaklaşık yüzde 52’si OECD ülkelerinden kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, dünya doğal gaz ticaretinde de kaynak ülkeler ve kullanıcı ülkeler bakımından bir yoğunlaşma dikkat çekicidir. 2030 yılına kadar bölgeler arası ticaretin üç kattan fazla artması, dünya ticaretindeki bu artışın önemli bir kısmının LNG ticaretindeki artışa bağlı olacağı öngörülmektedir. Halen bölgeler arası ticaretin yüzde 30’una sahip olan LNG payının, 2030 yılında yüzde 50’nin üzerine çıkması beklenmektedir [1].

2.2 Dünya Enerji Tüketiminde Doğal Gazın Yeri

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre 1980 ve 2004 yıllarında gerçekleşen Dünya Enerji Tüketimi ile 2030 yılına kadar beklenen Dünya Enerji Tüketimine ilişkin projeksiyon Şekil 2.1’de sunulmuştur [5].



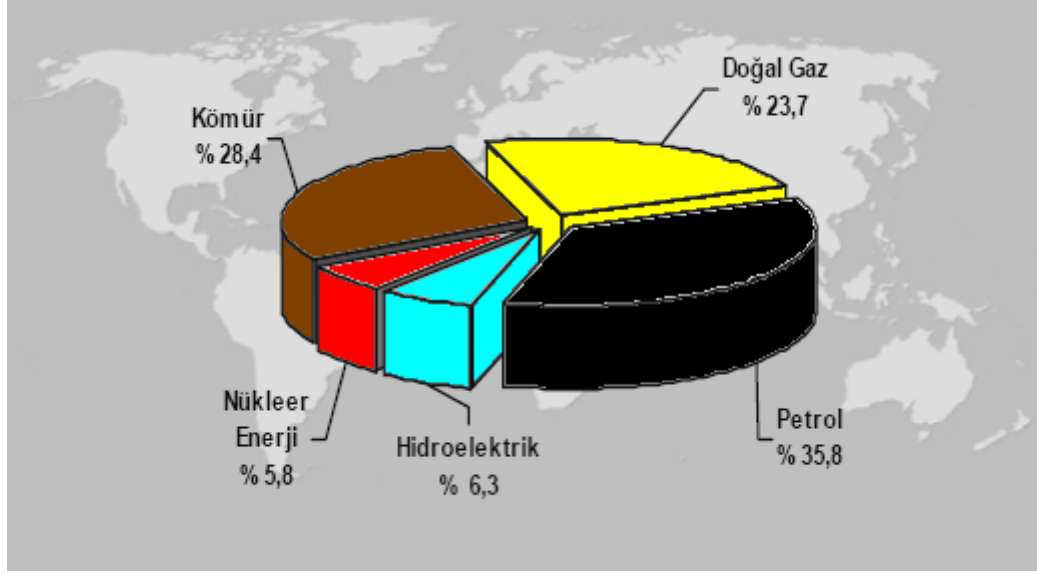
Şekil 2.1: Gerçekleşen ve Beklenen Dünya Enerji Tüketimi (1980-2030)

Uluslararası Enerji Ajansı’na göre 2030 yılında dünya enerji tüketiminin 2000 yılına göre %75 artarak 400 Katrilyon kjoul’dan 702 Katrilyon kjoul’a çıkacağı değerlendirilmektedir. Önümüzdeki 20 yılda gelişmekte olan Asya, Güney ve Orta Amerika Ülkelerindeki hızlı büyüme de dikkate alındığında kesintisiz enerji talebinin %4 artacağı öngörülmektedir [5].

Dünyada 2006 yılı itibariyle birincil enerji kaynakları olarak nitelenen

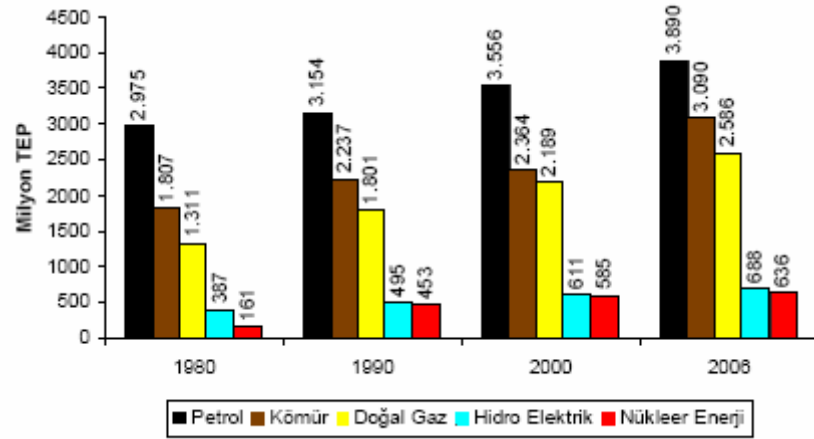
- Petrol,
- Kömür,
- Doğal gaz,
- Hidroelektrik ve
- Nükleer

enerji’nin tüketimi Şekil 2.2’de gösterilmiştir [4].



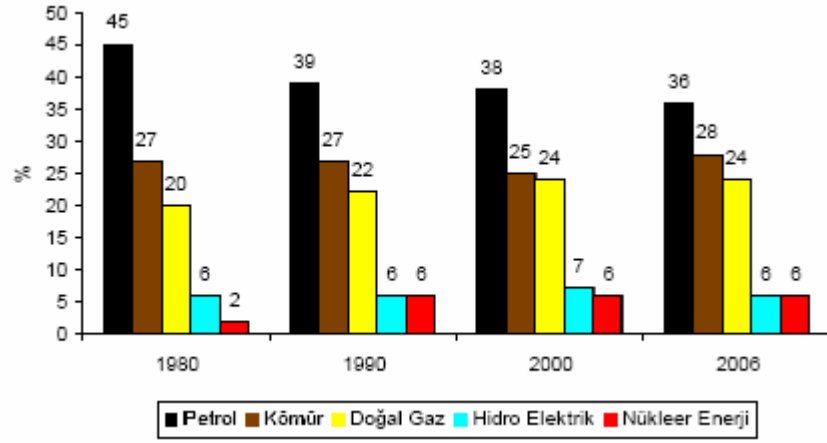
Şekil 2.2: Dünya Birincil Enerji Kaynakları ve Tüketimi

Dünya birincil enerji kaynaklarının tüketimini Milyon TEP bazında yansıtan değerler Şekil 2.3 gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Dünya Birincil Enerji Tüketimi (Milyon TPE)

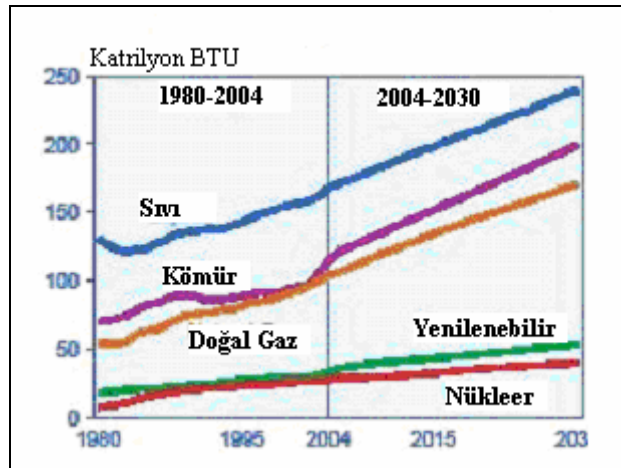
Şekil 2.4, Dünya enerji tüketimi içerisinde yine 2006 yılı itibariyle birincil kaynakların tüketim oranlarını yansıtmaktadır.



Şekil 2.4: Dünya Birincil Enerji Tüketimi (%)

Şekil 2.3 ve 2.4 incelendiğinde dünya enerji tüketimi beklendiği şekilde arttığı görülmektedir. Ancak bu tüketimde birincil enerji kaynaklarından çevre ve insan sağlığına olan etkileri açısından temiz enerji kaynağı olarak nitelenen doğal gaz ve suyun, kirli enerji kaynağı olarak nitelenen petrol ve kömüre nazaran daha fazla artan bir oranda tüketildiği görülmektedir.

Bu artış 1980-2004 yılları arasında gerçekleşen ve 2030 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen dünya enerji tüketimindeki artışı, kullanılan yakıt tiplerindeki tüketim artışı ile karşılaştıran Şekil 2.5'te daha açık görülmektedir [5,6].

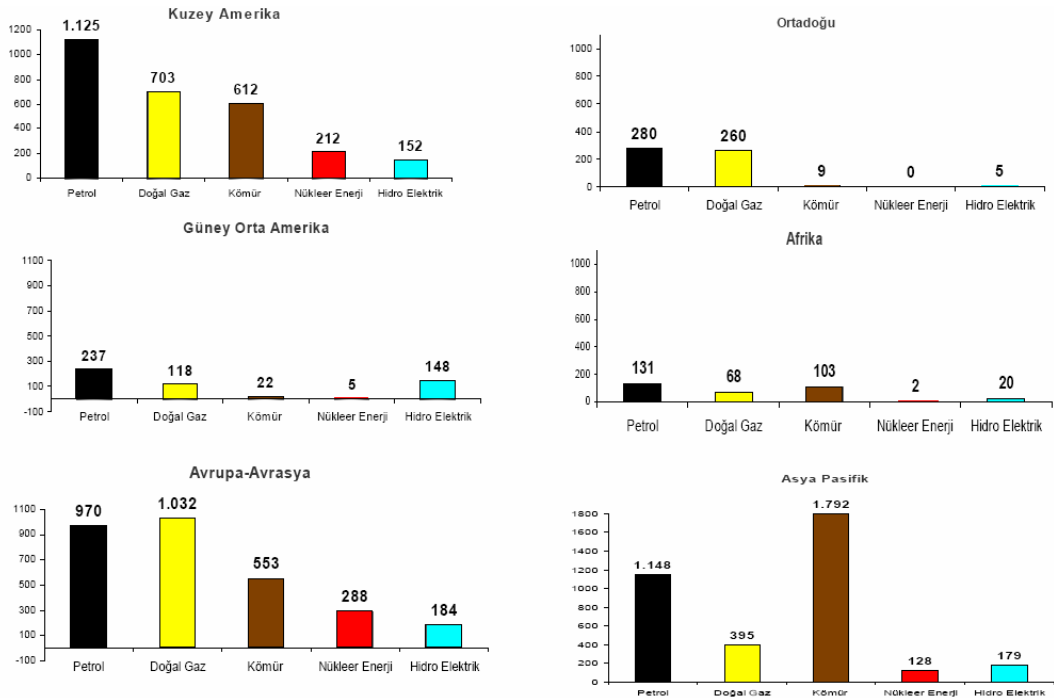


Şekil 2.5: Kullanılan Yakıt Tiplerine Göre Dünya Enerji Tüketimi (1980-2030)

2030 yılına kadar yapılan bu projeksiyona göre [6] ;

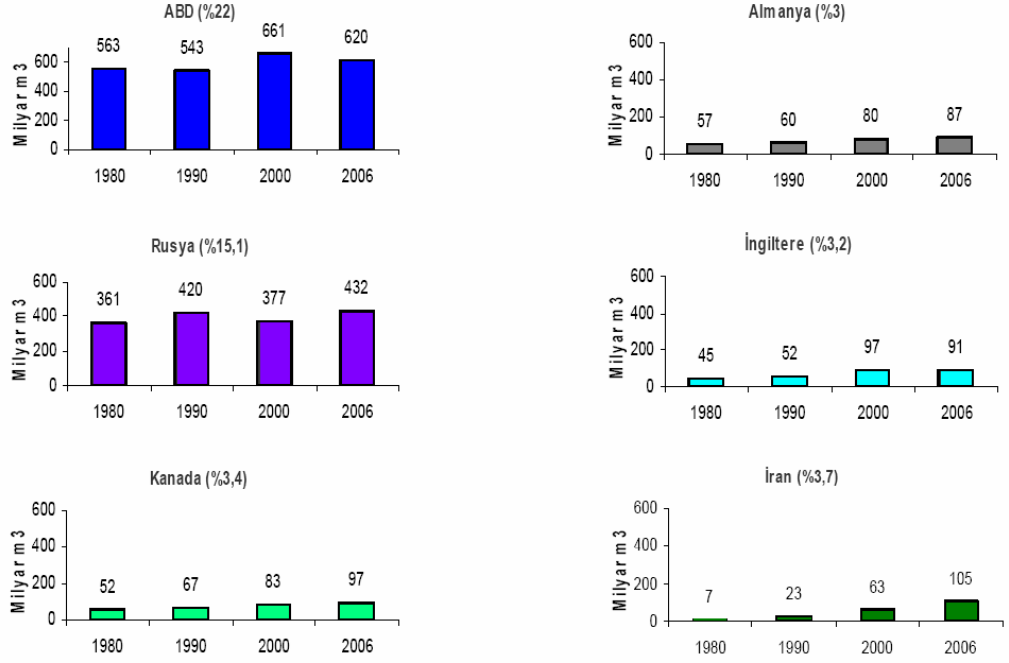
- Petrolün birincil enerji kaynağı yakıtlar arasında toplam enerji tüketimindeki yaklaşık %40'lık payı ile ön sıradaki yerini koruyacağı, 2000 yılı itibariyle günde 75 milyon varil olarak gerçekleşen tüketiminin 2030 yılı itibariyle yaklaşık %2.2 oranında bir artışla günde 119 milyon varile kadar artması beklenmektedir.
- Doğal gazın ise birincil enerji kaynakları arasında tüketimi en hızlı artan kaynak olarak yaklaşık sürdürülebilir %3.2 oranında bir artışla (2000 yılında 84 Katrilyon kjoule iken 2030 yılında yaklaşık 162 Katrilyon kjoule olacak şekilde), kömürdeki tüketim artışının yaklaşık 2 katı bir oranda artış hızı göstermesi öngörülmektedir.

Dünya birincil enerji tüketimi 2006 yılı sonundaki verilere göre toplam 10.8 milyar TPE olarak gerçekleşmiştir. Bu tüketimin dünya coğrafi bölgelerine göre dağılımı Şekil 2.6'da verilmiştir [4].



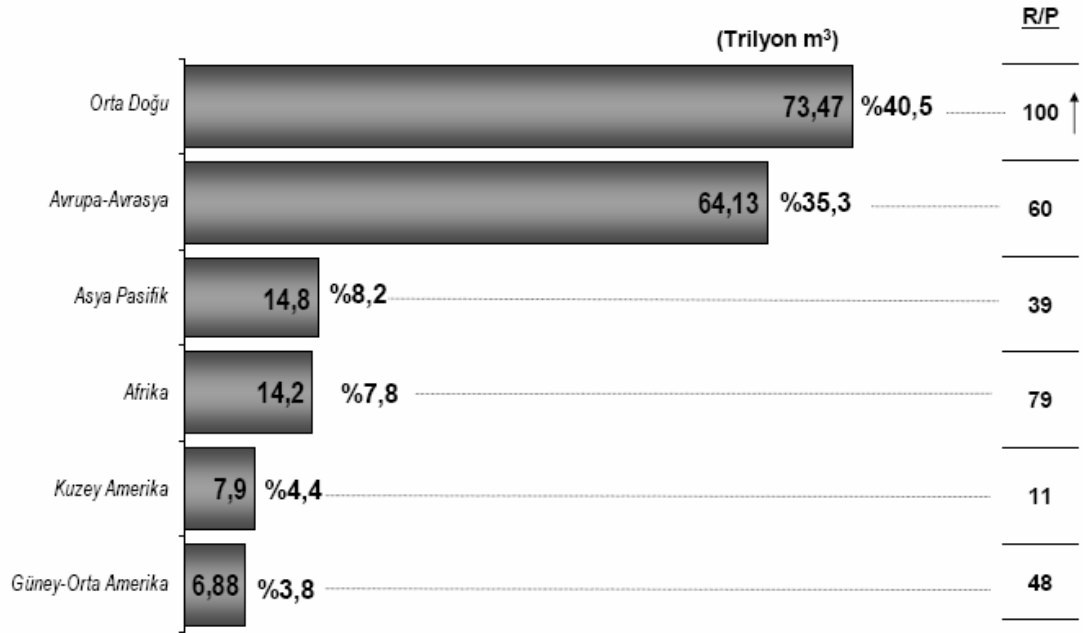
Şekil 2.6 : Dünya Birincil Enerji Tüketimi (Milyon TPE)

Dünya doğal gaz tüketimi yine 2006 yılı sonundaki verilere göre toplam 8.9 trilyon m³'tür. Şekil 2.7 dünya doğal gaz tüketiminde ilk altı sırada yer alan ülkeleri göstermektedir [4].



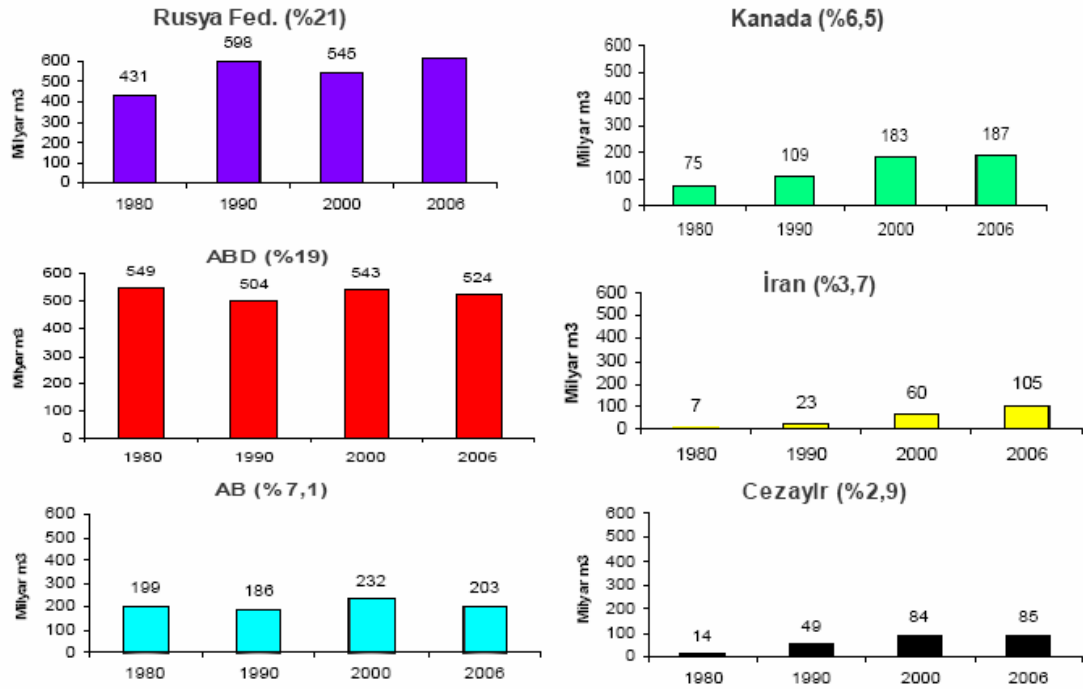
Şekil 2.7 : Doğal Gaz Tüketiminde İlk Altı Ülke

2006 yılı sonu itibariyle ispatlanmış dünya doğal gaz rezervinin 181 Trilyon m³ olduğu söylenmektedir. Dünya rezervlerinin 2006 yılı verilerine göre bölgelere göre dağılımı ve üretimdeki rezervlerin oranı Şekil 2.8'de verilmiştir [4].



Şekil 2.8 : Dünya Doğal Gaz Rezervleri ve Üretimdeki Rezerv Oranı

Son 20 yılda doğal gaz üretimindeki %75 'lik artışa bağlı olarak üretime katılan rezerv oranı (R/P) da artmıştır. 2006 yılı sonu itibariyle ispatlanmış doğal gaz rezervlerinin kalan ömrü 63,3 yıl olarak belirtilmektedir. Dünya doğal gaz üretiminde 2006 yılı sonu itibariyle ilk altı ülke Şekil 2.9'da görülmektedir [7].



Şekil 2.9 :Dünya Doğal Gaz Üretiminde İlk Altı Ülke

2.3 Türkiye Enerji Perspektifinde Doğal Gazın Yeri

Türkiye enerji kaynakları açısından zengin sayılamayacak bir ülkedir. Toplam kömür rezervi ile jeotermal ve hidrolik enerji potansiyeli toplamı, bu alanda dünya kaynaklarının % 1'i ne karşılık gelmektedir. Petrol ve doğal gaz rezervleri ise son derece kısıtlıdır[8].

Türkiye birincil enerji kaynakları rezervlerini gösteren değerler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Rezervleri

Kaynaklar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taşkömürü	Milyon Ton 550(*)	425	368	1343
Linyit	Milyon Ton			
Elbistan	3357			3357
Diğer	3982	626	410	5018
Toplam	7339	626	410	8375
Asfaltit	Milyon Ton 43	29	7	79
Bitümler	Milyon Ton 555	1086		1641
Hidrolik	GWh/Yıl 127381 MW/Yıl 36260			127381 36260
Ham Petrol	Milyon Ton 42,8			42,8
Doğal gaz	Milyar m3 8			8
Nükleer Kaynaklar	Ton			
Tabii Uranyum	9129			9129
Toryum	380000			380000
Jeotermal)	MW/Yıl			
Elektrik	98		412	510
Termal	3348		28152	31500
Güneş	MTEP			
Elektrik*				
Isı				87

(*)Teknik Potansiyel 24,9 mtep'dir.

Türkiye birincil enerji üretimi ağırlıklı olarak kömür ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (hidrolik, biyokütle, rüzgar, güneş ve jeotermal) sağlanmakla birlikte, tüketim, bu kaynakların yanı sıra petrol ve son yıllarda artan oranlarda doğal gazdan karşılanmaktadır[8].

Doğal gaz tüketimi ise, özellikle 1990'lı yılların ortasından itibaren yapılan doğal gaz ithalatı anlaşmaları ile birlikte hızla artmıştır. 2004 yılında 22,4 milyar m³ ile toplam birincil enerji arzının % 23'ünü doğal gaz oluşturmuş; toplam doğal gaz arzının % 59'u ise elektrik üretimi amacıyla kullanılmıştır [1].

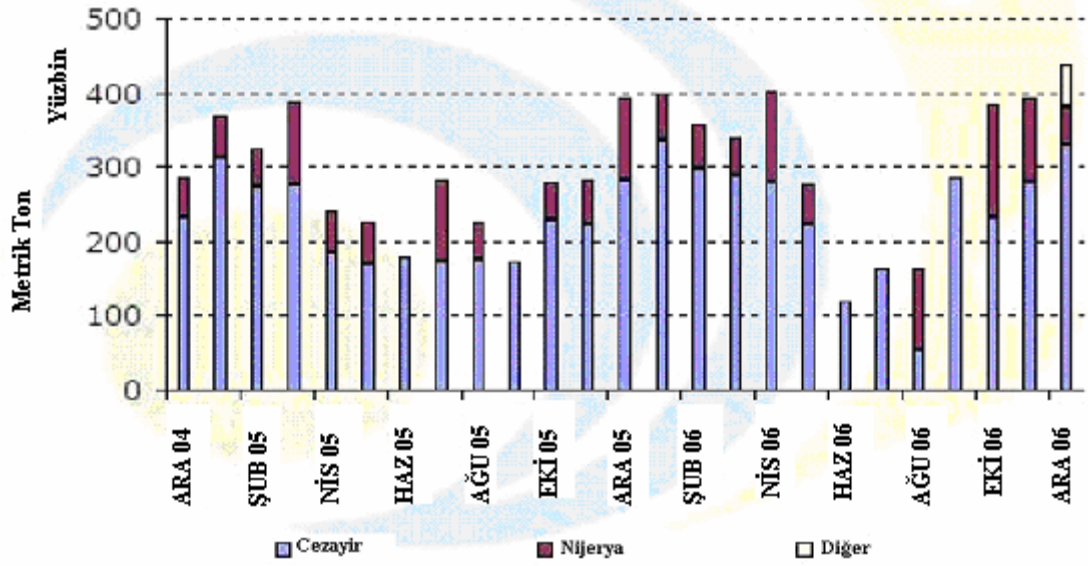
1987 yılında 500 milyon metreküp ile başlayan gaz ithalatı, 2004 yılında yaklaşık 22 milyar metreküp'e ulaşmıştır. Türkiye'de üretilen 708 milyon metreküp doğal gaz, 2004 yılındaki tüketimin sadece % 3,2'sini karşılamaktadır. Talebin geri kalan kısmı boru hatları vasıtasıyla veya sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olarak ithal edilmektedir [8].

Doğal gaz kullanımının yaygınlaştırılmasına paralel olarak doğal gazdaki mevsimsel, günlük ve saatlik talep değişikliklerini düzenlemek, böylece gaz arz güvenliğine katkıda bulunmak amacıyla 2002 yılından bu yana doğal gaz depolama tesisleri projeleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından sürdürülmektedir. Bu kapsamda, Kuzey Marmara'da, Silivri Doğal Gaz Depolama Tesisi inşaatı TPAO ile yapılan 21.01.1999 tarihli "Doğal Gaz Depolama ve Yeniden Üretim Hizmetleri Anlaşması" çerçevesinde TPAO tarafından 2007 yılında tamamlanmıştır. 2007 yılı Nisan ayından itibaren TPAO'ya ait Kuzey Marmara ve Değirmenköy sahalarından BOTAŞ tarafından depolama amaçlı yararlanılmaya başlanmıştır [9].

Depolama tesisi ile 1,6 milyar metreküp gaz depolanması mümkün olacaktır. Ayrıca, Tuz Gölü Doğal Gaz Yeraltı Depolama Projesi'nin gerçekleştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. 2008 yılında depolama tesisi yeraltı ve yerüstü kısımlarının yapım ihalesi planlıdır. İki aşamada gerçekleştirilecek projede toplam 12 adet depo oluşturulacaktır. Birinci aşamada yaklaşık 500 milyon metreküp çalışma gazı kapasitesine sahip 6 adet deponun 2013 yılında tamamlanması planlanmaktadır. İkinci aşamanın 2016 yılında tamamlanmasıyla 12 adet depoda yaklaşık 1 milyar metreküp çalışma gazı kapasitesine ulaşılması beklenmektedir. Tesis tam kapasiteye ulaştığında günlük 40 milyon metreküp gaz çekebilecektir [9].

2006 yılında Türkiye doğal gaz ithalatı; 25,34 milyar m³'ü boru hatlarıyla; 1,12 milyar m³'ü Nijerya ve 4,60 milyar m³'ü Cezayir'den deniz yoluyla taşınan 5,72 milyar m³ LNG ile toplam 31,06 milyar m³'e ulaşmıştır [7].

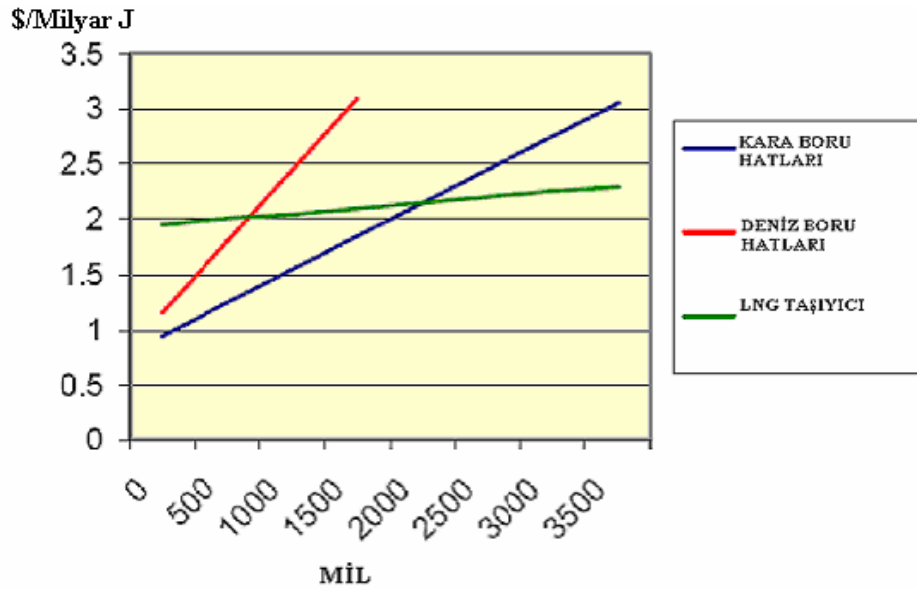
Türkiye'nin LNG ithalatını gösteren veriler Şekil 2.10'de verilmiştir.



Şekil 2.10: Türkiye'nin LNG ithalatı

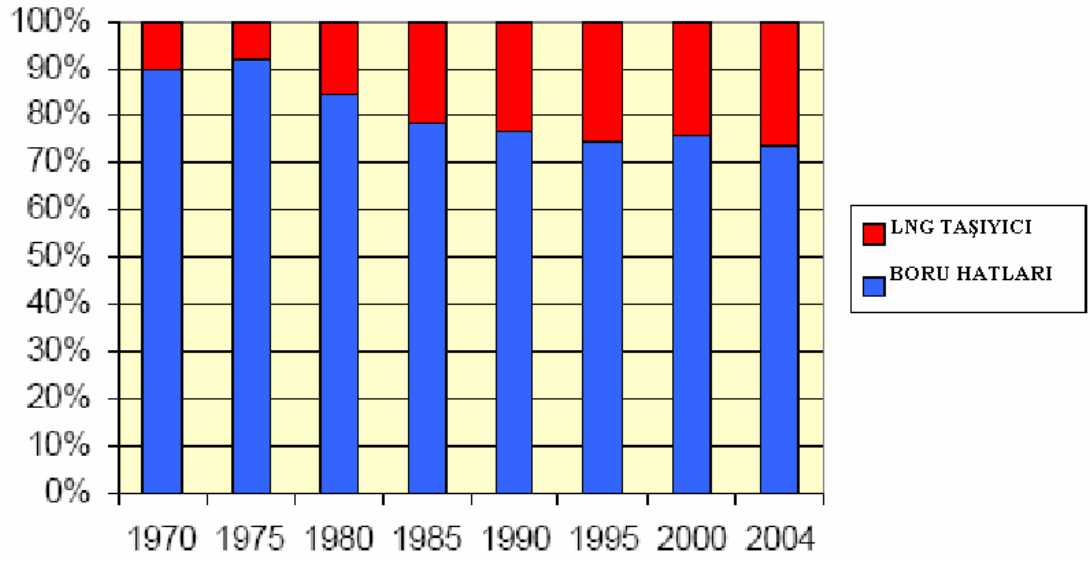
LNG taşımacılığı 4 500 km (yaklaşık 2 250 mil) mesafeden itibaren boru hattına göre finansal olarak daha efektiftir. Bunun nedeni, LNG gemi taşımacılığında maliyetlerin mesafeyle çok düşük değişiklik olmasıdır.

LNG taşımacılığı ile boru hatlarının maliyetini mukayese eden veriler Şekil 2.11'de verilmiştir [10].



Şekil 2.11: LNG Taşımacılık Maliyetinin Boru Hatları ile Mukayesesi

Dünya doğal gaz taşımacılığında LNG taşıyıcılar ve boru hatlarının yıllara göre değişen durumunu gösteren veriler şekil 2.12'de verilmiştir[10].



Şekil 2.12: Dünya Doğal Gaz Taşımacılığının Yıllara Göre Durumu

2006 yılı sonu itibariyle gerçekleşen 748,14 Milyar m³'lük dünya doğal gaz ticaretinin 537,06 Milyar m³'ü boru hatlarıyla, 211,08 Milyar m³'ü LNG taşımacılığıyla yapılmıştır[7].

3. LNG TAŞIMACILIĞINA İLİŞKİN DÜZENLEMELER, STANDARTLAR VE DENİZ GÜVENLİĞİ İLE İLGİLİ KURALLAR

3.1 Genel

Bu bölümde LNG gemilerinin ve işletmelerinin güvenliği ile ilgili mevcut temel düzenleme, standart ve kuralların kısa bir özeti yapılmıştır.

3.2 Düzenlemeler, Standartlar Ve Deniz Güvenliği İle İlgili Kurallar

Gemi işletmeciliği dünyada belki de en uluslararası endüstridir. Denizde güvenliği temin etmenin en iyi yolu bütün gemi işletmeciliği yapan ülkelerin kabul ettiği uluslararası düzenlemelerin geliştirilmesidir. IMO bir Birleşmiş Milletler kuruluşu olup, gemi işletmeciliğinin güvenliğini ve emniyetini sağlamak maksadıyla uluslararası anlaşmalar (konvansiyon adı verilir) yapmak ve yapılan anlaşmaları yenilemekten sorumludur. IMO üyesi 163 ülke vardır ve bu ülkeler IMO'nun yayınlamış olduğu konvansiyon ve düzenlemeleri uygulamaktan sorumludur.

IMO 40 konvansiyon ve protokol yayınlamıştır. Bunların arasında son düzenlemeleri 2005 yılında yapılan Yük Olarak Sınıflandırılmış Gaz Taşıyan Gemilerin İnşası ve Donatılmasına Dair Uluslararası Kurallar (IGC Code) [11] ve Denizde Tehlikeli Yük Uluslararası Kuralları bulunmaktadır. LNG gemilerinin ve işletmelerinin güvenliği ile ilgili olarak 2003 yılında, 1974 Denizde Can Güvenliği Uluslararası Konvansiyonu'nun (SOLAS) eki olarak Uluslararası Gemi ve Liman Güvenliği (ISPS) Kuralları yayınlanmıştır [12].

ISPS Code gemilerin ve limanların terörist saldırılara karşı korunması maksadıyla geliştirilmiş ilk uluslararası standartlarını oluşturmaktadır. Temmuz 2004 tarihinde girdiğinde, tüm ülkeler liman ve gemi güvenlik planlarını oluşturmaya başlamışlardır. Kurallar bütün gemi ve terminal sahiplerine belli başlı zorunluluklar getirmiştir. Bu zorunluluklar aşağıda olduğu gibidir [13];

3.2.1 Gemilerin zorunlulukları;

- Otomatik Tanımlama Sisteminin (AIS) bulunma zorunluluğu,
- IMO gemi tanımlama numarasının görünür yere asılması,
- Bir gemi güvenlik ikaz sisteminin olması,
- Bir gemi güvenlik subayının görevlendirilmesi, ve
- Bir gemi güvenlik planının oluşturulması ve uygulanması.

3.2.2 Gemi İşleten Kuruluşların Zorunlulukları ;

- Bir şirket güvenlik subayının tayin edilmesi,
- Bir gemi güvenlik ihtiyaçlarının belirlenmesi,
- Güvenlik tatbikatları ve eğitimlerinin yapıldığının kontrolünü yapmak,
- Uygun kaynaklar oluşturmak.

3.2.3 Limanlardaki Zorunluluklar;

- Liman tesislerinin güvenlik ihtiyaçlarının belirlenmesi,
- Liman güvenlik planının geliştirilmesi, ve
- Bir liman tesisleri güvenlik subayı tefrik edilmesi.

3.2.4 Klas Kuruluşlarının Gemi Dizayn Standartları

Klas kuruluşları bağımsız teknik organizasyonlardır. Gemilerin dizayn, inşa ve periyodik bakım standartlarını belirler ve bu konularda uluslararası kuralların ve ticari dokümanların oluşturulmasına ve sigorta işlemlerinde temel teşkil etmesine yardımcı olurlar. Bir geminin sınıflandırılması, o geminin yapısal ve mekanik aksam olarak yolcu ve yük taşıyabileceği konusunda satıcılara, gemi sahiplerine ya da diğer ilgili kişilere resmi bir belge sağlamaktadır. Klas kuruluşları tarafından verilen belgeler, belgenin verildiği tarihte geçerlidir ve genellikle belli bir süresi vardır. Verilen raporların belli aralıklarla tekrarlanması gerekmektedir. Klas kuruluşları arasında koordinasyonu sağlayan Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği (IACS-The

International Association of Classification Societies) aynı zamanda klas kuruluşlarına teknik destek de sağlamaktadır. Dünya ticaret filosunun %90'ı IACS üyesi on kuruluş ve iki ortak üye tarafından klaslanmaktadır. IACS üyesi kuruluşlar ve eğer varsa klasladıkları LNG gemisi sayısı aşağıda olduğu gibidir;

- American Bureau of Shipping (24)
- Bureau Veritas (20)
- China Classification Society
- Det Norske Veritas (17)
- Germanischer Lloyd
- Korean Register of Shipping (8)
- Lloyd's Register (50)
- Nippon Kaiji Kyokai (33)
- Registro Italiano Navale
- Russian Maritime Register of Shipping

IACS'a ortak üye olan kuruluşlar ise "Croatian Register of Shipping" ve "Indian Register of Shipping" kuruluşlarıdır. Bu klas kuruluşlarından üç tanesi LNG gemi işletmeciliği açısından öne çıkmaktadır. Bunlar;

3.2.4.1 Lloyd's Register

Lloyd's Register, mevcut klas kuruluşlarının en eskisi olmakla beraber LNG gemileri açısında lider klas kuruluşlarında biridir. Dünya genelinde hizmet veren LNG gemi filosunun %37'si Lloyd's Register tarafından klaslanmış olup halen yeni inşa edilmekte olan LNG gemilerinin ise %60'ı Lloyd's Register'ın klas standartları ile inşa edilmektedir [14].

3.2.4.2 Det Norske Veritas

Det Norske Veritas (DNV) kuruluşunun ana amacı üyelerinin risklerini azaltarak, kalite, güvenlik ve çevre performanslarını arttırıcı önlemleri olmalarını sağlamaktır. DNV Uluslararası Gemi Sertifikası yayınlayan ilk klas kuruluşu olmuştur.

(1 Temmuz 2004'ten itibaren, bütün gemiler yeni ISPS Code gereği bu sertifikayı almak zorundadır). Bu sertifikayı DNV 1 Temmuz 2003 yılında vermeye başlamıştır.

3.2.4.3 American Bureau of Shipping

American Bureau of Shipping (ABS) denizdeki ve karadaki petrol ve gaz endüstrisi için risk değerlendirmeleri için uygulamalar yapmaktadır. ABS'in aynı zamanda da LNG terminalleri için de çalışmaları vardır[10,26]

3.3 LNG Gemilerinin Sertifikasyonu

Gemilerin taşınması zorunlu sertifika ve dokümanlara ilaveten LNG gemilerinde bulunması gereken sertifikaların başlıcaları şöyle sıralanabilir [15]:

- Klas Sertifikaları [16]
- SLC (Kargo Gemisi İnşa Güvenlik Sertifikası - Cargo Ship Safety Construction Certificate) [17]
- SLE (Kargo Gemisi Güvenlik Ekipmanları Sertifikası ve Belgeleri - Cargo Ship Safety Equipment Certificate and Including Record) [17]
- SLR (Kargo Gemisi Telsiz Güvenliği Sertifikası - Cargo Ship Safety Radio Certificate) [17]
- ILLC (Uluslararası Yükleme Hattı Sertifikası - International Load Line Certificate) [18]
- IOPPC (Uluslararası Petrol Kirliliğini Önleme Sertifikası ve Ekleri - International Oil Pollution Prevention Certificate and Supplement) [19]
- ISPPC (Uluslararası Deniz Kirliliğini Önleme Sertifikası - International Sewage Pollution Prevention Certificate) [19]
- IAPPC (Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme Sertifikası - International Air Pollution Prevention Certificate) [19]
- ITC (Uluslararası tonaj Sertifikası - International Tonnage Certificate) [20]

- IGC (Yük Olarak Sıvılaştırılmış Gaz Taşıyıcıları İçin Uluslararası Uygunluk Sertifikası – International Certificate of Fitness for Carriage of Liquefied Gases in Bulk) [11]
- IAS (Uluslararası Antifoiling Sistemi – International Anti-fouling System) [21]

4. RİSK VE RİSK TABANLI YÖNETİM SİSTEMİ

4.1 Genel

Günümüzde Birleşmiş Milletlerin (UN) deniz emniyetinin geliştirilmesinden ve bununla doğrudan bağlantılı olarak denizcilik endüstrisinde kalite ve emniyetin artırılmasından sorumlu olarak çalışan organı Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'dür.

1948 yılında denizde emniyet ve deniz çevresinin korunması amacıyla kurulan örgüt bugün Dünya Deniz Ulaştırma Sistemi içerisinde yürütülen faaliyetleri yayınladığı kurallar ve rehber kararlar vasıtasıyla düzenlenmektedir. IMO'nun öncelikli hedeflerinden biri deniz emniyetinin artırılması, gemilerden kaynaklı çevre kirliliğinin önlenmesi ve kontrolü konusunda uluslararası standartların ve kuralların uygulanmasını sağlamaktır [22].

4.2 Risk Kavramları

IMO'nun denizde emniyet ile ilgili ortaya koyduğu temel doküman Uluslararası Denizde Emniyet Konvansiyonu (SOLAS)'dur [17]. Denizde emniyete ilişkin düzenlemelerin kararları Deniz Emniyet Komitesi (MSC)'nde, deniz çevresinin korunmasına ilişkin kararlar ise Deniz Çevresinin Korunması Komitesi (MEPC)'nde alınmaktadır. Bu kapsamda IMO tarafından risk; zararlı sonuçları olan bir olayın yaygınlığı (şiddeti, etki derecesi) ve sıklığının bir kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır [23].

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \quad (4.1)$$

Tehlike; insan, çevre ve varlıklar üzerinde zarar yaratma potansiyeline sahip durum olarak tanımlanabilir. Tehlikeli olay ise insan, çevre ve varlıklar üzerinde zarara sebep olabilecek potansiyele sahip bir materyalin veya enerjinin serbest kalması olarak ifade edilebilir.

IMO tarafından verilen risk tanımında geçen zararlı sonuçlar (consequences) modern risk yönetimi kavramlarından biri olup; can, mal ve çevre emniyetine olumsuz etki eden istenmeyen olaylar şeklinde ifade edilirken; sıklık (frequency) ise arzu edilmeyen olayların birim zaman içerisinde meydana gelme sayısı olarak tanımlanmaktadır [24].

Buradan hareketle, riskin iki önemli faktör ile ilişkili olduğu görülmektedir:

- Tehlikeli bir olaydan kimin hangi nedenlerden ne kadar zarar görebileceği,
- Ne sıklıkla tehlikeli olayların gerçekleşebileceği.

Buna ilaveten genel olarak karşılaşılmaması muhtemel hasar ve kayıplar olarak bilinen risk kavramı ; yaygın olarak kullanılan bir denklem şeklinde de; tehlikeli bir olayın olma olasılığı, mevcut sistemin buna karşı koyma durumu ve bu olayın zararlı sonuçlarının çarpımı olarak da ifade edilmektedir.[25]

$$\text{Risk} = P_t(\text{tehlike}) \times P_s(\text{sistem arızası/hatası}) \times \text{Zararlı sonuçlar} \quad (4.2)$$

P_t = kazara ve ya kasten tehdit eden olayın olma olasılığı,

P_s = önleyici ve / ve ya etki azaltıcı tedbirlerin yeterli olmaması olasılığı,

Zararlı Sonuçlar = can, mal ve çevre emniyeti açısından istenmeyen olaylar (ölüm, yaralanma, zehirlenme, yükün kaybı, deniz kirliliği, hava kirliliği v.b)

Denklem (4.1) ve (4.2) birlikte ele alındığında risk; tehlikeli bir olayın önleyici tedbirlere rağmen gerçekleşebilme ve etki azaltıcı tedbirlere rağmen zararlı sonuçlar doğurabilme olasılığı ile ortaya çıkması muhtemel sonuçların can, mal ve çevre açısından yaratacağı hasarın şiddetinin bir fonksiyonu olarak yorumlanabilir.

Daha önce bahsedilen standart ve kuralların temel amacı denizde can, mal ve çevre güvenliğini sağlamak olduğuna göre; Deniz Ulaştırma Sistemi'ne ilişkin yapılacak incelemeler, çalışmalar ve modellemeler amaçları açısından şu üç ana alana odaklanmalıdır:

- Can emniyeti,
- Mal emniyeti,
- Çevrenin korunması.

Buradan hareketle; LNG'nin taşınması, yüklenmesi, boşaltılması ve depolanması işlemleri insan sağlığı, çevre ve sahip olunan varlıklar üzerinde yaratabileceği zararlı sonuçlar açısından önemli bir risk taşır.

Bir olayın riski; Modern Risk Yönetimi yaklaşımlarının hemen hepsinde aşağıda sıralanan dört temel unsurun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır [25].

- Olayın olma olasılığı (probability) (LNG sızıntısı olasılığı gibi.)
- Bu olayın sonucunda meydana gelmesi muhtemel tehlikeler (hazards) (LNG sızıntısına bağlı oluşabilecek bir yangının yaratacağı Termal radyasyon gibi.)
- Olayın yaratacağı zararlı durumlar (consequences) (Yangının vereceği termal hasar gibi.)
- Bu olayı önleyecek ve ya tehlikeleri dolayısı ile zararları en aza indirecek sistemin etkinliği. (prevention and mitigation) (Emniyet ve Güvenlik sistemi gibi.)

Risk Analizi; mevcut verileri sistematik bir biçimde kullanarak tehlikeleri belirlemek ve bunların sonuçlarının bireyler, kitleler, çevre ve sahip olunan varlıklar üzerinde yarattığı zarar görme riskini/olasılığını tahmin etmektir.

Risk Değerleme; tahmin edilen riskin kabul edilebilirliğini gözden geçirerek tolere edilebilirliğini değerlendirmektir.

Risk Yönetimi; belirsizliklerin tanımlanması, analizi ve etkilerinin değerlendirilmesi neticesinde risk azaltıcı tedbirlere ve uygulamalara karar vermektir [24].

4.3 Risk Değerleme ve Risk Yönetim Mekanizması

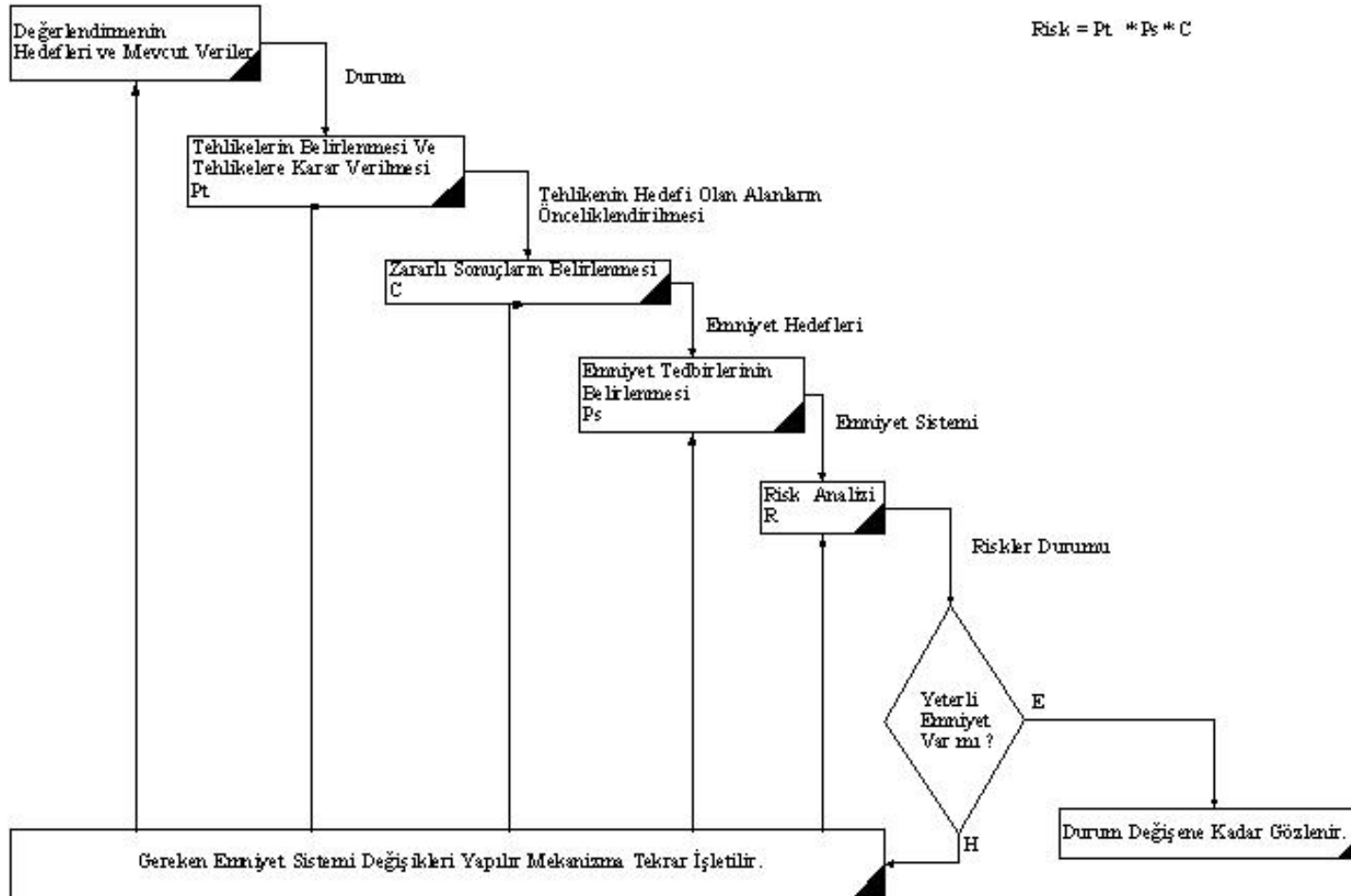
Bir LNG sızıntısının riskini değerlendirirken muhtemel tehlikeler (can, mal, çevre üzerinde zararlı sonuçları olacak olaylar) ve bunların zararlı sonuçları, bu olayların olma olasılığı ile bu olayların olmasını engelleyecek ve ya zararlarını azaltacak fiziksel ya da operasyonel tedbirlerle birlikte düşünülmelidir. Bir başka ifade ile emniyet ekipmanları, operasyonel düzenlemeler ve gereklilikler ile risk yönetim planı LNG sızıntısı riskini azaltmak için, hem LNG sızıntısına sebep olabilecek olayın olma olasılığını hem de olduğu takdirde meydana gelebilecek zararları azaltmak üzere beraber çalışırlar.

Gemi emniyet tedbirlerinin, operasyonel emniyet ve güvenlik stratejilerinin etkinliğini değerlemek oldukça güç olduğu için bu konuda yapılan bir çok çalışmada beklenen zararlı sonuçların hesaplanmasında gemi güvenilirliği ve olayın olma olasılığı çoğunlukla bir (1) olarak kabul edilebilir.Yani olay mutlaka olmaktadır ve gemi bu duruma hep hazırdır şeklinde düşünülür [25].

Bu durum operasyonel kararları ve sistem dizaynlarını olmaması gereken bir şekilde bir şekilde düşük olasılıklı ve yüksek düzeyde belirsizliğin bulunduğu, en kötü durum senaryolarına yönlendirir.

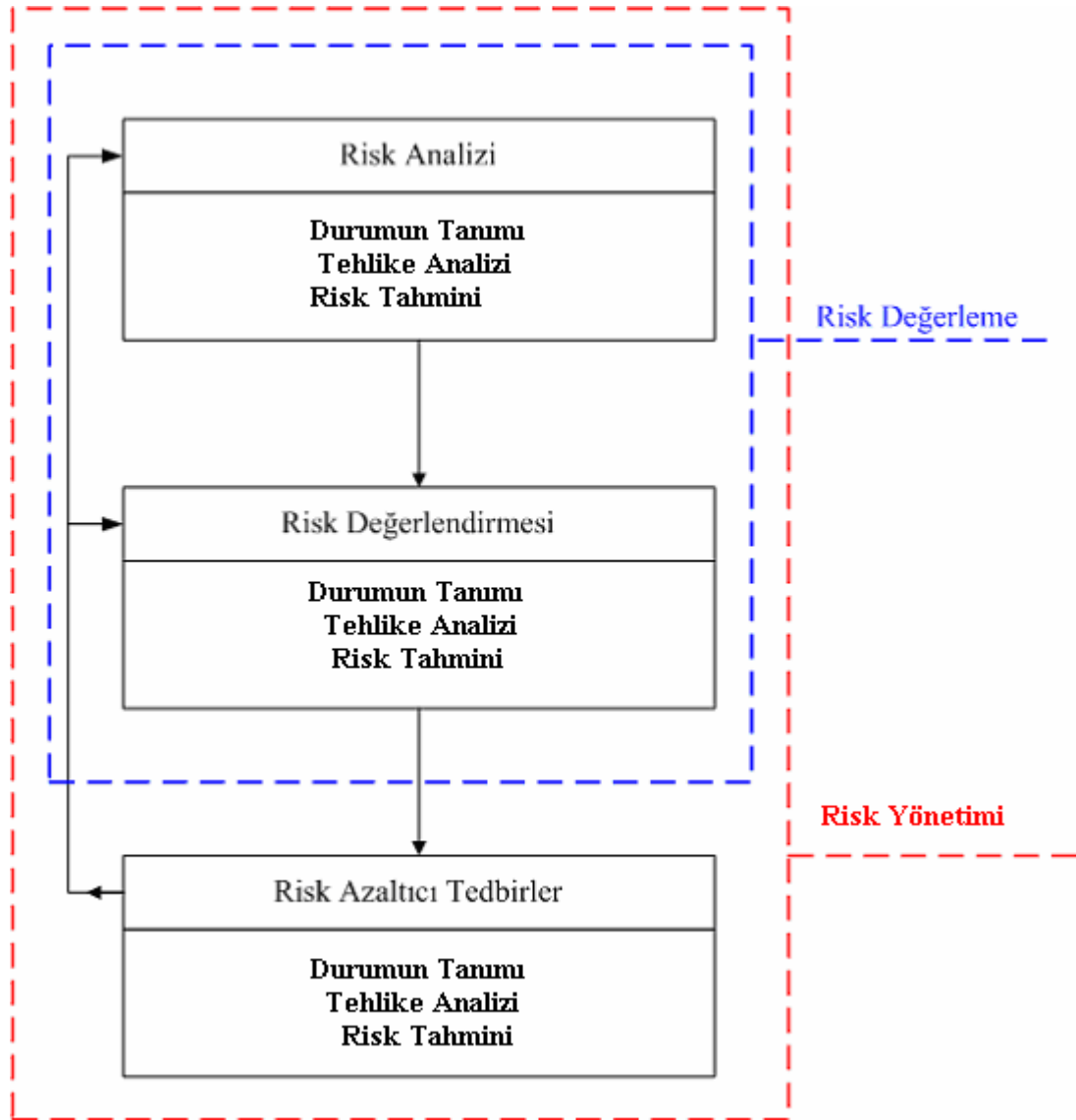
İşte bu yüzden düşük olasılıklı ve fakat can ve mal açısından zararlı sonuçları çok geniş olabilecek, tehlikeli olayların riskini azaltmak için geliştirilecek risk yönetim sistemlerinde performans tabanlı bir sistem yaklaşımı sıklıkla kullanılmaktadır.

Performans tabanlı risk yönetim sistemi ve risk değerlendirme yaklaşımı şekil 4.1 ile gösterilmiştir. Her LNG gemisinin tipine, taşımacılığın yapıldığı rotalara, yükleme ve boşaltma terminallerinin yerlerine ve özelliklerine bağlı olarak yapılacak risk analizi, karşılaşılması muhtemel risklerin yönetimine destek sağlayabilecektir.



Şekil 4.1: Risk Yönetim Mekanizması

Bahse konu mekanizma IMO tarafından önerilen ve Şekil 4.2 de verilen Risk Değerleme ve Yönetim Akış Şemasına da uygundur [24].



Şekil 4.2: IMO Risk Değerleme ve Yönetim Akış Şeması [24]

Risk Değerleme ve Yönetim mekanizması şunları içerir:

- LNG sızıntısına sebep olabilecek olayın olasılığını değerlendirmek,
- Muhtemel olayın LNG taşıma tanklarına ya da diğer sistemlere verebileceği hasarı değerlendirmek,
- Muhtemel LNG sızıntısının şekli, LNG özelliklerini, geminin dizayn ve yapı karakteristiklerini ve çevresel koşulları(rüzgar,deniz durumu,akıntı v.b)

göz önünde bulundurarak; LNG sızıntısının miktarını ve etki menzilini tahmin etmek,

- Çevresel ve fiziksel koşulları değerlendirerek muhtemel LNG sızıntısının yaratacağı potansiyel zararları tahmin etmek,
- Risk yönetiminin emniyet hedeflerine uygun önleyici ve zararların tesirlerini azaltıcı tedbirleri belirlemek [25].

Şekil 4.1 de ifade edildiği üzere eğer değerlendirilen riskler, sonuçta ortaya çıkan maliyetler ve işletme planlarına olan etki çok büyükse bütün mekanizma sistem performansını yükseltecek alternatif yaklaşımlar bulmak üzere tekrarlanır.

Emniyet tedbirleri, bir dizi risk yönetim seçeneğini içerebilir:

- Geminin korunmasında alınabilecek yeni tedbirler,
- Mevcut operasyonel emniyet ve güvenlik prosedürlerinin yenilenmesi,
- Acil durum planlarının geliştirilmesi,
- Destekleyici hizmet sağlayıcıların değiştirilmesi gibi.

Bu yeni tedbirlere göre riskler risk yönetiminin ortaya koymuş olduğu emniyet hedeflerine ulaşıp ulaşılmadığına karar vermek üzere tekrar değerlendirilir. Eğer ulaşılmadığına karar veriliyorsa, tüm emniyet ve güvenlik sisteminin bu hedeflere ulaştığına kanaat getirilinceye kadar ilave değişiklikler ve yeni değerlendirmelere devam edilir.

Emniyet tedbirlerinin risk yönetiminin emniyet hedeflerine yeter kadar ulaştığına karar verildiğinde ise bu sefer bir kazanç-maliyet değerlendirmesi yapılmalıdır. Ancak burada unutulmaması gereken tüm tedbirlere rağmen her zaman kabul edilebilir bir miktarda riskin var olduğu gerçeğidir. Aynen bugün SOLAS kapsamında ortaya konan bütün emniyet tedbirlerine ve zorunlu kılınan emniyet teçhizatlarına rağmen denize adam düştü olayına, çatma yada çatışmalara rastlandığı gibi.

5. RİSK YÖNETİMİ YAKLAŞIMININ LNG TAŞIMACILIĞINA UYGULANMASI

5.1 Risk Değerleme (Risk Assessment)

Risk Değerlemede ilk adım değerlemesi yapılacak sisteme yönelik emniyet hedeflerinin ortaya konmasıdır. Bu adım oldukça önem arz eder. Çünkü tespit edilecek hedefler risk metodolojisinin belirlenmesinde ve elde edilecek fayda ile doğru orantılı bir gayretin ortaya konmasında belirleyici rol oynar. İyi belirlenmiş ve yazılı hale getirilmiş hedefler anlamlı bir analiz ve değerlendirme yapılabilmesi için zorunluluktur [25].

Bu aşamada gözönünde bulundurulması gereken konular şunlar olabilir:

- Analiz edilecek sistemin özellikleri,
- Bu değerlemenin niçin yapıldığı, (emniyeti sağlamak, inşaa maliyetini düşürmek, bakım giderlerini azaltmak v.s)
- Eğer varsa karşılaştırma yapılabilecek diğer sistemler,(petrol taşımacılığı v.b)
- Ulusal ve uluslar arası düzenlemelerle getirilmiş standartlar,sınırlamalar,
- Bu standart ve sınırlamaların kaynağı olan gerekliliklerin tanımları,
- Değerlendirme sınırlarının belirlenmesi.

5.2 Risk Yönetiminin Emniyet Hedeflerinin Belirlenmesi

Tablo 5.1 bir dizi seçilmiş LNG taşımacılığı emniyet tedbirlerini ve bunların uygulanması halinde taşımacılığın etkinliğine, maliyetine, operasyonel işlemlerine, geride kalan risk haline etkilerini ortaya koyan bir örnektir.

Tablo 5.1: LNG Taşımacılığında Alınabilecek Emniyet Tedbirleri ve Muhtemel Etkileri Örneği

EMNİYET TEDBİRİ	AZALTILAN RİSK	KALAN RİSK	ZARARLI SONUÇTAKİ İYİLEŞTİRME	EMNİYET TEDBİRİNİN MALİYETİ	OPERASYONEL ETKİLERİ
Daha küçük LNG gemisi kullanmak	Muhtemel yangınlar daha küçük çaplı olacaktır.	Artan sefer hacmi nedeniyle kaza riski artar	Hasar çapı küçülür halk sağlığı ve varlıklar üzerine etkisi azalır.	Taşıma maliyetleri artar, topyekun enerji maliyeti artar.	Aratan sefer hacmi nedeniyle ilave liman/liman imkanları ihtiyacı
LNG yükleme/boşaltması esnasında gemiyi boşaltmak	Muhtemel sızıntı sonucunda personele zarar gelmeyecektir.	Muhtemel bir yangında gemi hasar görecektir.	Muhtemel bir yangında personel yaralanması ya da kaybı olmaz	Acil durum servislerine ödenen maliyet artar.	Atıl iş gücü
Boru hatları ile taşıma yapmak	Can ve mal emniyetine zarar verebilecek tehlikeler azalacaktır.	Boru hattı sızıntılarının can , mal ve çevre üzerine zararlı etkileri	Büyük çaplı hasarlar ve ya topyekun mal (gemi+kargo) kaybı olmaz.	Ana maliyet artar, topyekun enerji maliyeti artar.	Boru hatlarının güvenliği konusu ortaya çıkar.

Tablo 5.1 den de anlaşılacağı üzere LNG taşımacılığında emniyet tedbirleri ortaya koyulurken içinde bulunulan durumun özellikleri belirleyicidir. Riskin düşürüleceği seviye ya da başka bir ifade ile insan sağlığı, varlıklar ve çevrenin korunması tedbirlerini ortaya koyan bir risk yönetimi mevcut coğrafyadan başlayarak dünya enerji talebinin derecesine kadar uzanan bir çok faktörden etkilenir.

Bu yüzden risk yönetiminin emniyet hedefleri LNG taşımacılığının tüm taraflarının ortak çalışması ile belirlenmelidir. Bu taraflar halk temsilcileri, halk sağlığı kuruluşları, seçilmiş yetkililer, atanmış yetkililer, sektör çalışanları temsilcileri, liman ve taşımacılık hizmetleri emniyet ve güvenlik yetkilileri, düzenleyici kuruluşlar, ekipman üretici kuruluşlar, deniz taşımacılık şirketleri v.b şeklinde sayılabilecek çok geniş bir kitleyi içine alır.

5.3 Risk Analizi

Risk değerlemenin diğer adımı mevcut veriler ışığında sistemin mevcut durumunu sistematik ve analitik bir metodoloji ile analiz ederek muhtemel tehlikeleri belirlemek ve bunların sonuçlarının bireyler, kitleler, çevre ve sahip olunan varlıklar üzerinde yarattığı zarar görme riskini/olasılığını tahmin etmektir [26].

Bu aşamada sırasıyla;

- Kabul edilebilir risk kriterlerini de kapsayan bir risk değerleme planı ortaya konur,
- Risk Analizi yapılır,
- Analiz sonuçları değerlendirilir,
- Elde edilen sonuçlar raporlanır.

5.3.1 Risk analiz planı

Analizi yapılacak sistemin risk değerlemesinin kabul edilebilir mantıklı bir sonuca varabilmesi seçilen ve uygulanan planla doğrudan ilişkilidir [26]. Bir risk planında olması gereken asgari zorunluluklar şöyle sıralanabilir:

- Risk Analiz tekniğinin seçimi,
- Riskin kabul edilebilirlik kriterleri,
- Değerlendirme ve gözden geçirme kriterleri.

5.3.2 Risk analiz tekniklerinin seçimi

Risk Analiz tekniklerini seçerken önerilen teknik ile riskin kabul edilebilirlik kriterlerine karar vermeyi sağlayacak sonuçlar elde edilebilmelidir [26]. Bu sonuçlar:

- Olması muhtemel istenmeyen olaylar,
- Bu olayların muhtemel ortaya çıkma yolları,(hata/arıza durumları ve sıralı sebepleri)
- İstenmeyen olayların ortaya çıkma sıklığını azaltacak yollar,

- Daha ileri analize ihtiyaç duyan ya da değerlendirme gözden geçirme kriterlerine girdi sağlayacak sahaların tespiti, olmalıdır.

Risk analiz tekniği seçilirken gözönünde bulundurulması gereken diğer bir husus elde mevcut kaynak verilerin varlığı ve tipidir. Bu husus değerlendirilirken;

- Sisteme ilişkin içinde bulunulan zamana kadar geçen sürede elde edilmiş istatistiki veriler,
- İstatistiklerin kalitesi zamana ve gelişen teknolojik duruma bağlı olarak geçerlilikleri, incelenmelidir.

Bazı teknikler çok karmaşık istenmeyen olayların analizine uygun olmayabilir. Analiz edilecek istenmeyen olayların karmaşıklığı ve büyüklüğü ait oldukları sistemin organizasyonel faktörlerinin , sistem içinde yer alan alt sistem, cihaz ve ekipmanlar ile kullanıcılarının tip ve özelliklerinin çeşitliliğine bağlıdır. Tıpkı bir deniz ulaştırma sistemi olan LNG taşımacılığı gibi.

Bazen bazı teknikler bir takım sistemlerin örneğin Deniz Ulaştırma Sistemleri'nin analizinde çok uygundur ve özellikle tavsiye edilir [26].

Bu maksatla kullanılabilecek bilgiler Tablo 5.2'de sunulmuştur.

Bugüne kadar yaşanmış kazalara yönelik eldeki veri ve tecrübeler beklenen zararlı sonuçları doğurması kuvvetle olası bir riskin ya da buna sebep olan bir sistem hatası/arızasının varlığını işaret ediyorsa bu duruma en uygun tekniklerden birinin seçimi kolaylaşır.

Tablo 5.2: Risk Analizi Tekniklerinin Karşılaştırması

Risk Analizi Teknikleri	Sonuçlar Açısından				Kullanıldığı Sistem	Gayret Derecesi Karmaşıklık	Analiz Timinde Tecrübe İhtiyacı
	Nicel Kaza Tanımlaması	Nitel Risk Tanımlaması	Nisbi Kaza Önceliklendirmesi	Tavsiye			
Değişkenlik	•	•	•	•	Hepsi, ancak özellikle dizayn ve işletmesinde değişiklik yapılmış sistemlerde	Düşük ve Orta	Düşük ve Orta
Olursa Ne Olur	•			•	Hepsi	Orta	Düşük ve Orta
Hata Modu ve Etkileri	•	•	•	•	Hepsi, ancak özellikle mekanik ve elektrik sistemlerde	Orta ve Yüksek	Orta
Tehlike ve Çalışabilirlik	•			•	Özellikle sıvı ve ısıtma işlemi içeren sistemlerin yükleme ve boşaltma operasyonlarındaki sıralı prosedür incelemesinde	Orta ve Yüksek	Orta
Olay Ağacı	•	•	•	•	Hepsi	Orta ve Yüksek	Orta ve Yüksek
Hata Ağacı	•	•	•	•	Hepsi	Orta ve Yüksek	Orta ve Yüksek

5.3.3 Risk analizi teknikleri

Tablo 5.3 Risk Analizi tekniklerini ve kullanıldığı sahaları özetleyen bilgileri içermektedir.

Tablo 5.3: Risk Analizi Teknikleri ve Genellikle Kullanıldıkları Sahalar

Risk Analiz Tekniği	Tekniğin Özeti	Genellikle Kullanıldığı Saha
Değişkenlik Analizi (Change Analysis)	Olası risklerin etkilerine ve yürütülmekte olan risk yönetim stratejilerine, değişen durumlar kapsamında mantıksal bir bakıştır. (Sistem çalışma biçimi değiştiğinde, sistem politikalarında bir değişiklik olduğunda, yeni ve farklı bir operasyon tekniği uygulandığında v.b)	Normal işleyişin dışında risk yaratacağı değerlendirilen bir değişiklik olduğunda (Farklı liman ve su yollarında icra edilen DUS faaliyetleri gibi) Kök sebeplere odaklanmış öngörü maksatlı bir tekniktir.
Olursa ne olur? Analizi (What-If Analysis)	Kazaya sebebiyet verebilecek ve sistem performansını olumsuz etkileyen düzensizlikler olduğunda ve bunlara karşı alınan emniyet tedbirleri işletildiğinde ya da işletilemediğinde ne oluru sorgulayan bir problem çözme tekniğidir.	Her türlü sistem ve işlem için kullanılabilir. Daha hassas teknikler kullanılmadığı her zaman uygundur.Çoğu zaman Kontrol Listesi Analizi ile birlikte kullanılır.
Hata/arıza Modu ve Etkileri Analizi (Failure Modes and Effects Analysis FMEA)	Alt sistemlerin her bir elemanının arızasının sistem performansını nasıl etkileyeceğini, emniyet tedbirlerinin işletilmesini sorgular.	Mekanik ve elektrik sistemlerin taranmasında kullanılır.(Sevk sistemi,dümen sistemi, yangın boğma sistemi v.s).Planlı bakım sistemi ve cihaz kontrol listeleri oluştururken faydalıdır.
Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (Hazard and Operability Analysis HAZOP)	Dizayn değerleri dışına çıkan sistem bölümlerini tespit etmeye ve sistem emniyet elemanlarının yerinde düzgün çalıştığını görmeye yönelik bir analiz tekniğidir.	Sürekli çalışan sistemlerde özellikle sıvı işleyen ısıl sistemlerde emniyet tehlikelerini ve çalışabilirlik problemlerini bulmaya odaklanır.

5.3.3.1 Tehlike ve işletilebilirlik (hazard & operability) analizi tekniği

Bu teknikte sistemin farklı organizasyonel alanlarına odaklanmış (gemi, transfer terminali v.b) alan uzmanları bağımsız bir liderin başkanlığında çalışırlar. Tüm alt sistemlerin işletme talimatları çerçevesinde gelişebilecek hatalarını sistem değişkenleri olarak değerlendirerek, bunların muhtemel zararlı sonuçları doğurabilecek sebepler olup olmadığını, sistemin mevcut emniyet tedbirlerini ve bunlara ilave tavsiyeleri de içerecek şekilde değerlendiriler.

Bu tekniğin güçlü ve zayıf yanları şöyle sıralanabilir [26].

Güçlü yanları:

- Yaygın bir biçimde kullanıldığından anlaşılması ve anlatılması kolaydır,
- Sistem içinde çalışan tecrübeli personeli analiz takımının bir parçası olarak kullanır,
- Tüm organizasyonel alt sistemler değerlendirildiğinde sistematik ve kapsamlı bir sonuç verir,
- Mevcut emniyet sistemlerini ve bunlara ilave tavsiyeleri içerir,
- Takım yaklaşımı LNG taşımacılığı gibi bir çok organizasyonel faktörleri ve farklı disiplinleri ilgilendiren açık deniz endüstrisi alanlarında değerlendirme yaparken tecrübe ihtiyacını karşılar.

Zayıf yanları:

- Değerlendirmenin başarısı takım liderinin ve alan uzmanlarının bilgi birikimi ve tecrübesi ile doğrudan ilişkilidir.
- İşletme tehlikelerine daha çok odaklanır diğer tehlike tipleri (deprem, terörist faaliyetler v.b) için geliştirilmeye ihtiyaç gösterir,
- İşletme talimatlarının yokluğu ya da eksikliğinde değerlendirme zayıflar,
- Değerlendirme sonucunun raporlanması çok uzun süre alır.

5.3.3.2 Olursa ne olur? (what-if) analizi

Beyin fırtınasına dayanan, sistemin yapısal sorgulanması neticesinde elde edilen sonuçların bir listesini ve tavsiyeleri içerir. Basit hata/arıza analizlerinde tek başına kullanılmakla beraber genellikle diğer tekniklerle beraber kullanılır. [24]

5.3.3.3 Kontrol listesi (checklist) analizi

Gemi klaslamada denetleyicilerin (sörveyör) kullandığı kontrol listesinin bir benzeridir. İşletme, emniyet ve çevre risklerini içeren belirli bir alt sisteme ya da senaryoya dayalı bir analizdir. Oldukça basit hazırlanır ancak geçmiş tecrübeler ve istatistiklere yer vermediğinden beyin fırtınasına imkan tanımaz. [24]

5.3.3.4 Yapılandırılmış olursa ne olur? (structured what-if) analizi

Tehlike ve İşletilebilirlik (Hazard & Operability) Analizi Tekniği'nin daha basit, Eğer Olursa (What-if) tekniğinin daha detaylı bir yapıya (formata) dönüştürüldüğü bir tekniktir. Beyin fırtınasını temel alır. Değerlendirme yapan takım elemanları muhakkak alan uzmanlarıdır. Bu yüzden takım liderinin ve alan uzmanlarının tecrübe ve bilgi birikimi sonuca doğrudan etkilidir. Yeterli bir kontrol listesi oluşturarak herhangi bir tehlikeyi atlamamak için bir ön hazırlık zamanına ihtiyaç vardır.

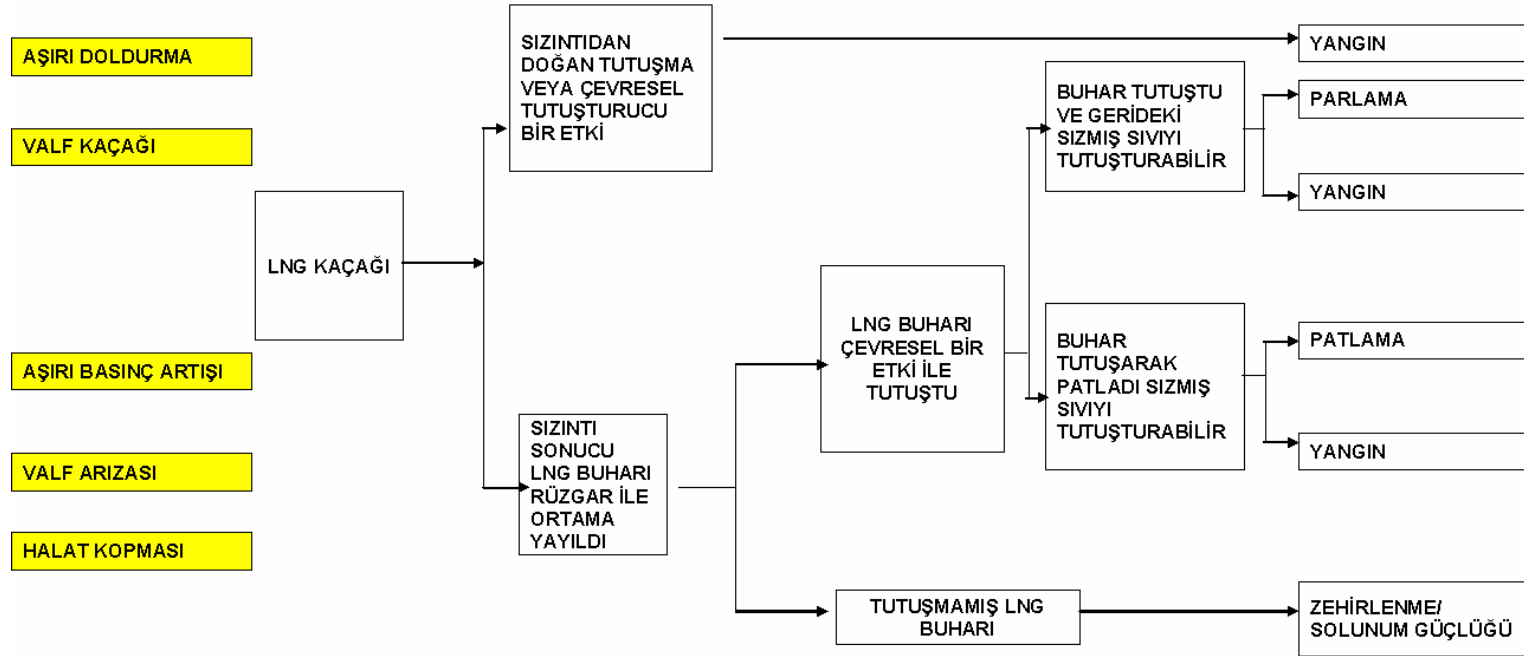
5.3.3.5 Olay ağaçları

Zararlı sonuçları doğurma riskini incelemek istediğimiz bir olayın, başlamasına neden olabilecek muhtemel diğer olaylarla bunların başlatıcılarını grafik bir modelle ortaya koyan karar ağaçlarıdır [24]. Böyle bir analiz;

- Başlatıcı bir olaydan sonra bir çok farklı probleme sebep olabilecek olaylar kombinasyonun görülebilmesini,
- Başlatıcı olayların ve neden oldukları diğer zincir olayların hangi sıklıkta olduğunu, bunların olabilirliklerini tahmin etmeyi kolaylaştırır.

Olay ağacı analizleri her sıralı olay için geliştirilebildiği gibi çoğunlukla emniyet tedbirlerinin başlamalarına karşı önlem olarak yerleştirildiği muhtemel başlatıcıların bulunduğu olaylar zincirini çözümlemekte kullanılırlar. Geçmiş kaza analizlerinde yapılan inceleme neticesinde hazırlanan LNG sızıntısı Olay Ağacı örneği Şekil 5.1 de verilmiştir.

SEBEP(CAUSE)	OLAY (INCIDENT)	KAZA (ACCIDENT)	ZARARLI SONUÇ (CONSEQUENCES)
--------------	-----------------	-----------------	------------------------------



Şekil 5.1: LNG Sızıntısı Olay Ağacı Örneği

5.3.3.6 Hata ağaçları

Hata Ağaçları sistem arızaları, insan hataları ve harici etkenler arasında Boolean Mantığı adı verilen “ve”, “veya” ilişkisini grafiksel olarak ortaya koyarak bunların birlikte oluşmalarının muhtemel başlatıcı olaylardan herhangi birine sebebiyet vermesi durumunun detaylı analizidir. [26]

Böyle bir analiz olay ağacına benzer bir şekilde;

- Başlatıcı bir olaya sebep olabilecek bir çok farklı sistem arızası, insan hatası ve harici etkenlerin kombinasyonun görülebilmesini,
- Başlatıcı olaylara neden olan bu olayların hangi sıklıkta olduğunu, bunların olabilirliklerini tahmin etmeyi kolaylaştırır.

Yine geçmiş kaza analizlerinde yapılan inceleme neticesinde hazırlanan Aşırı Doldurma Hata Ağacı örneği Şekil 5.2’de verilmiştir.

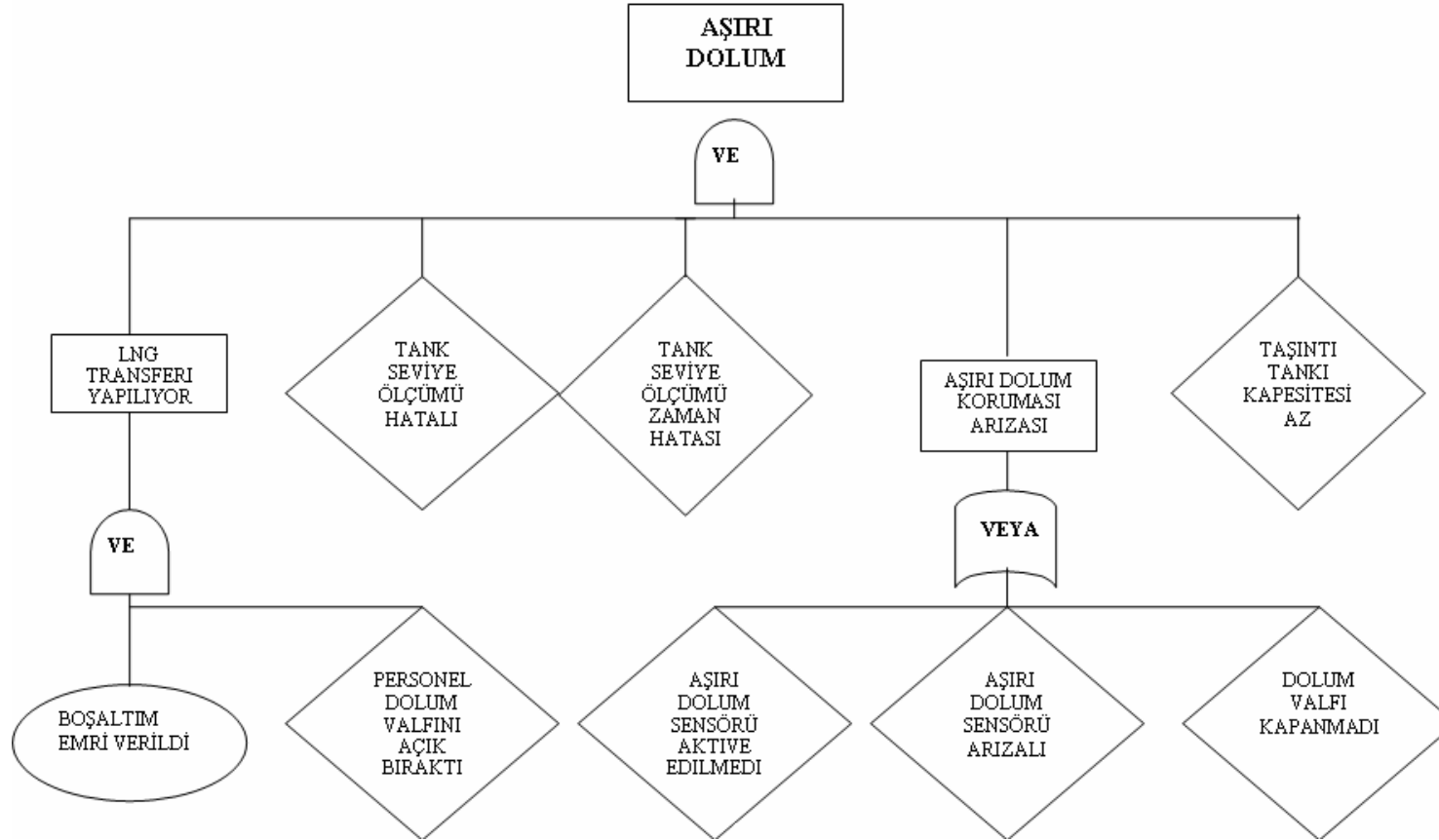
5.3.4 Risk analiz takımının teşkili

Risk değerlemenin diğer önemli aşaması uygun risk analiz timinin teşkidir. Bir risk analiz timi teşkil edilirken gözönünde bulundurulması gereken kriterler şöyle sıralanabilir[26]:

• Takım lideri

Risk analizini organize etmekten ve işletmekten sorumludur. Tim liderinin karakteristik özellikleri:

- Sistemden bağımsız mümkünse sistem dışından alt alan uzmanı olmayan biri olmalıdır,
- Organizasyon ve münazara teknikleri konusunda bilgi sahibi olmalıdır,
- Birbirinden farklı gruplarla iletişim kurabilme yeteneğine sahip olmalıdır.
- Grup enerjisini konuya odaklayabilmeli fikir birliğini sağlayabilmelidir,
- Dürüst, etik değerlere sadık ve güvenilir olmalıdır,
- Risk analizi teknikleri konusunda bilgi sahibi olmalıdır.



Şekil 5.2 : Aşırı Dolum Hata Ağacı

- **Takım sekreteri**

Risk analizi toplantı kayıtlarını tutmaktan ve raporlamaktan sorumludur. Tim sekreterinin karakteristik özellikleri:

- Detaycı,
- Organize edici,
- Teknik terminolojiye hakim,
- Toplantı sonuçlarını değerlendirip özetleyebilen,
- Yazma becerisi yüksek,
- Risk analizi tekniklerini anlayabilen bir kişi olmalıdır.

- **Takım üyeleri**

Tim üyeleri tehlikelerin belirlenmesinden, sebeplerin sıralanmasından, zararlı sonuçların tahmin edilmesinden, emniyet mekanizmalarının belirlenmesinden, sistemin zaaf gözüken taraflarına yönelik tavsiyeleri vermekten sorumlu alan uzmanı tecrübe sahibi kişilerdir. Uygun derecede bilgi sahibi, yeterli tecrübeye sahip alan uzmanlarından oluşan bir tim risk analizinin ve dolayısıyla risk değerlemenin doğruluğunu artırır. Tim üyelerinde bulunması gereken diğer özellikler:

- Düşüncelerini korkusuzca ve içtenlikle ifade edebilmeli,
- Tecrübelerini kullanabilmeli,
- Değerlendirilmeye alınan olaya yoğunlaşarak konuyla ilgisiz diğer detaylara sapmamalı,
- Dinlemesini bilmeli,
- Diğer tim üyelerinin düşüncelerine saygılı olmalı.

5.3.5 Risk kabul edilebilirlik kriterlerinin belirlenmesi

Bu kriterler üzerinde çalışılan sisteme ve belirlenen emniyet hedeflerine göre şekillenirler. Bu kriterler birer karar ya da kural değildir. Yapılan analizlerin

neticesinde riskin tolere edilip edilemeyeceği kararına giden değerlendirme sürecinin bir parçasıdır.

5.3.6 Tehlike analizi

Bu tip bir analiz, risk değerlemenin ilk aşaması olmalıdır [26]. Emniyete ilişkin bir analiz yapabilmek için öncelikle; emniyet yönetiminin içinde bulunduğu durum ve ilgili tarafların ortak çalışmasıyla belirlenen hedefler daima gözönünde bulundurulur.

Takiben can, mal ve çevre emniyeti açısından tehlikeli sonuçlara sebebiyet vermesi muhtemel tehlikeler gerek kaza gerekse kasti sebebler gözönünde bulundurulmak suretiyle incelenerek sıralanır.

IMO' ya göre tehlike “insan hayatını ve sağlığına, sahip olunan varlıklara ve çevreye yönelik muhtemel tehditlerdir”[23]. Buna göre tehlike analizi şu amaçlara yönelik olarak yapılmalıdır[24]. Zararlı sonuçları doğurması muhtemel bütün tehlikeli senaryoları belirlemek ve bu senaryoları risk seviyelerine göre önceliklendirmek.

Bu amaçlara ulaşabilmek için bahsedilen yaratıcı ve analitik tekniklerin birlikte kullanılması gerekir.

Gerek yaratıcı gerekse analitik teknikler kullanılırken dikkat edilmesi gereken önemli bir husus; tehlikeli senaryoları üretecek, bunlar arasından olması daha kuvvetle muhtemel senaryoları seçecek ve diğerlerini eleyecek, elde kalan senaryoları tespit edilecek risk seviyelerine göre önceliklendirecek, geçmiş dönemde meydana gelmiş olayların istatistiki verileri ile donatılmış alan uzmanı tecrübe sahibi kişilerden oluşmuş bir grubun varlığıdır.

Tehlike Analizi çoğunlukla uzman görüşlerine dayanan bir analizdir. Bu analizde kullanılabilecek birçok teknikten hangisinin kullanılacağı uzman gruba ve grup liderinin kararına bağlı olarak değişir. Sistem parçalara ayrılarak değerlendirme yapılacağından standart tek bir teknik ya da birden fazla tekniğin birlikte kullanılması olasıdır. Burada önem arz eden nokta hangi teknik yada teknikler kullanılırsa kullanılsın Tehlike Analizi yaratıcı, önalıcı ve mümkün olduğunca değerlendirilmemiş alan bırakmayacak şekilde kapsamlı olmalıdır.

Tehlikelerin belirlenmesinde kullanılan yaratıcı teknikler temel olarak beyin fırtınası metodolojisine dayanan ve geçmiş dönemde meydana gelmiş tehlikeleri içeren istatistiklerin yanısıra hayal gücünün de kullanıldığı tekniklerdir.

5.3.6.1 LNG sızıntısına sebep olabilecek tehlikelerin analizi

Bugün LNG taşımacılığını oldukça tehlikeli gören hatta yerleşim yerleri yakınlarında bir LNG gemisinin patlaması neticesinde ortaya çıkabilecek bir facia senaryosuna sürekli işaret eden yaygın bir inanış vardır. Bu inanış bir çok kişinin kafasında LNG gemilerinin yüzen birer atom bombası olduğu kanısının doğmasına sebep olmuştur.

Halen LNG gemilerinin sahip olduğu modern ve gelişmiş teknolojiye dayalı dizayn özellikleri mevcut LNG taşımacılığı emniyet yönetimi uygulamaları LNG kazalarını dikkat çekici bir seviyede azaltmıştır. Bu yüzden LNG taşımacılığı tarihinde LNG sızıntısı ile sonuçlanan çok az olay vardır. Bu olayların hiçbirisi gemiler LNG taşıdıkları için olmamıştır [10,25,26].

LNG taşıyan gemilerin seyir yapmaya başladığı1960'lı yılların sonundan başlayarak 2006 yılına kadar dünya sularında kayıtlara geçmiş mevcut toplam 30 kaza vardır.Bu kazalardan sadece 10 tanesi LNG sızıntısı ile sonuçlanmıştır. Bu 10 kazanın hiçbirisi hayat kaybı, gemi kaybı ya da bir çevre felaketiyle sonuçlanmamıştır. Bu kazalar Tablo 5.4 'de belirtilmiştir [10,26].

Tablo 5.4: LNG Kazaları

Yıl	Gemi Adı	Durum	Olay	Personeler Etki Derecesi	Gemideki HasarDurumu	LNG Sızıntısı
1965	Jules Verne (Cinderella)	Yükleme	Aşırı Dolum	Yok	Yük Tankı ve Güvertede Çatlak	Evet
1965	Methane Princess	Prop Ayırma	Valf Kaçağı	Yok	Güvertede Çatlak	Evet
1971	Eso Brega (LNGPalmaria)	Boşaltma	Basınç Artışı	Yok	Yük Tankında Hasar	Evet
1974	Massachusetts (barge)	Yükleme	Valf Kaçağı	Yok	Güvertede Çatlak	Evet
1974	Methane Progress	Limanda	Dibe Oturma	Yok	Yok	Hayır
1977	LNG Delta	Denizde	Valve failure	Yok	Yok	Evet
1977	LNG Aquarius	Yükleme	Aşırı Dolum	Yok	Yok	Evet
1979	Mostefa Boulaid	Boşaltma	Valf Kaçağı	Yok	Güvertede Çatlak	Evet
1979	Pollenger (Hoegh Galleon)	Boşaltma	Valf Kaçağı	Yok	Güvertede Çatlak	Evet

Yıl	Gemi Adı	Durum	Olay	Personele Etki Derecesi	Gemideki Hasar Durumu	LNG Sızıntısı
1979	El Paso Paul Keyser	Denizde	Topuk Atlama	Yok	Karinada Hasar	Hayır
1980	LNG Libra	Denizde	Şaft Kayması	Yok	Şaftta Hasar	Hayır
1980	LNG Taurus	Limanda	Oturma	Yok	Karina Hasarı	Hayır
1985	Gadinia (Bebatik)	Limanda	Şaft Arızası	Yok	Yok	Hayır
1985	Isabella	Boşaltma	Valf Arızası	Yok	Güvertede Çatlak	Evet
1989	Tellier	Yükleme	Halat Kopması	Yok	Karina Hasarı	Evet
1990	Bachir Chihani	Denizde	Metal Yorgunluğu	Yok	Güverte sacında çatlak	Hayır
1996	LNG Portovenere	Denizde	Yangın Donanımı Arızası	6 dead	Yok	Hayır
2002	Norman Lady	Denizde	Denizaltı ile çatışma	Yok	Az Karina Hasarı	Hayır
2003	Century	Denizde	Makine Arızası	Yok	Yok	Hayır
2003	Hoegh Galleon	Denizde	Makine Arızası	Yok	Yok	Hayır
2004	Tenaga Lima	Denizde	Şaft Yatak Arızası	Yok	Ufak Çaplı Onarım	Hayır
2004	British Trader	Denizde	Elektrik Konvertöründe Yangın	Yok	Ufak Çaplı Onarım	Hayır
2005	Laieta	Denizde	Makine Arızası	Yok	Ufak Çaplı Onarım	Hayır
2005	LNG Edo	Denizde	Dişli Grubu Arızası	Yok	Parça Değişimi	Hayır
2005	Methane Kari Elin	Denizde	Yük Tankında Kaçak	Yok	Büyük Onarım	Hayır
2006	Catalunya Spirit	Denizde	Devre Yalıtımında Hasar	Yok	Büyük Onarım	Hayır

5.3.6.2 Neden LNG taşıyan gemi kazaları diğerlerine oranla daha azdır?

- LNG gemilerinin dizaynı başından itibaren klas kuruluşları ile koordineli yürütülmektedir,
- LNG gemilerinin inşası (özellikle yük barındıran ve yükleme/boşaltmada kullanılan ekipmanlar) bu konuda uzmanlaşmış, kalite kontrol ve denetimi

çok üst seviyede olan oldukça az sayıda tersanede yapılmaktadır. Halen yaklaşık 220 adet LNG gemisi mevcut olup 134 adet LNG gemisi çeşitli tersanelerde halen inşaa aşamasındadır[27].

- LNG taşıyan gemilerin fiyatı çok yüksek olmasına rağmen genellikle uzun dönemli taşıma sözleşmelerine sahiptirler. Bu yüzden gemi sahipleri ve işletmecileri ile gemi personeli diğer gemilere nazaran çok daha dikkatli ve yüksek standartlı bir bakım faaliyeti yürütmektedirler.
- LNG taşıyan gemilerde çalışan gemi adamları çalışma performansları ve sicilleri açısından seçkin personelden oluşmaktadır.
- LNG taşıyan gemilerde, taşınan yükün ana maddesi metan korozif bir madde olmamasına rağmen, dahili yüzeylerde korozyonu en az seviyeye indirecek tedbirler alınmıştır.

Buraya kadar sayılan sebeplerden dolayı LNG taşıyan gemiler kendilerine özgü dizaynları, inşaa süreçleri ve işletilmelerindeki özel tedbirler ile 40 yılı aşkın bir süredir diğer gemi tiplerine oranla deniz kazaları açısından çok daha emniyetli bir geçmişe sahiptirler[25].

Bu konudaki veri azlığı nedeniyle bir LNG sızıntısının yayılma hızı, tesir çapı, temasla ya da termal olarak yaratacağı tehlikeleri ortaya koymak için bir çok teknik ile oluşturulmuş modellemeler kullanılmıştır [28,29,30]

LNG sızıntısının yayılma çapını etkileyen bir takım faktörler

Bu çalışmalar neticesinde alınmış dikkat çekici bazı sonuçlar ilerleyen bölümde belirtilmiştir.:

- LNG transfer borularında yada LNG gemisi taşıyıcı tanklarındaki mevcut sıcaklık ve basınç,
- Hangi bileşimdeki bir LNG'nin taşındığı,
- Sızıntıya sebebiyet veren çatlak yada deliğin büyüklüğü,
- Boru hatlarının ya da taşıyıcı gemi servis sistemlerinin yerleşimi,
- Sızıntı tespiti için alınan önlemler.

LNG sızıntısının yayılma hızının sızıntının sıvı formda olması halinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir[28].

5.3.6.3 LNG sızıntısına sebep olabilecek muhtemel tehlikeler neler olabilir?

- Yük tanklarında ya da yük taşıma ekipmanlarında yapısal kırılma ya da çatlama olabilir.
- Balast tanklarında çatlaklar oluşabilir.
- Çatma, karaya oturma sebebiyle oluşan hasarlar neticesinde yük taşıma ekipmanlarında kırılma ya da çatlaklar oluşabilir.
- Gemi personelinin yükleme/boşaltma işlemlerindeki hatasından sızıntı oluşabilir.
- Gemide bir başka sebepten yangın çıkabilir ve bunun yük taşıma sistemine hasar vermesi neticesinde LNG sızıntısı oluşabilir.
- Yükleme/boşaltma terminalinde iken deprem olabilir ve yük taşıma ekipmanlarında kırılma ya da çatlaklar oluşabilir.
- Terörizm, sabotaj gibi kasti eylemler ile oluşan hasarlar sızıntıya sebep verebilir.

5.3.7 LNG sızıntısının sebep olabileceği zararlı sonuçlar nelerdir?

LNG taşınırken ya da yüklenip/boşaltılırken karşılaşılabilecek bir LNG sızıntısının neticesinde oluşması muhtemel olaylar oldukça geniş bir yelpazeye yayılır. Bunlar içerisinde temel olarak nitelenebilecek zararlı sonuçlar şunlardır:

5.3.7.1 İnsan Sağlığı Üzerinde Doğabilecek Zararlı Sonuçlar

- Oksijensiz Kalma (Boğulma)

Çok düşük sıcaklıklara kadar soğutulan sıvı haldeki doğal gaz bir tank kırığı ya da çatlağından sızarak buharlaşmaya başlar. Ortamdaki buhar/gaz karışımı konsantrasyonu ortamdaki oksijen miktarını insan ihtiyacının altındaki seviyeye düşürecek kadar yükseldiğinde oksijensiz kalma olayına rastlanır.

- Zehirlenme

LNG bileşiminin temel maddesi metan çok az miktarda zehirleyicidir. Zehirlenme deriye temasla, mevcut bir yaradan emilmek suretiyle ya da solumayla gerçekleşebilir. Zararlı etkileri kaşıntı, burun ve göz akıntısı, baş ağrısı, bulantı şeklinde görülebilir.

- Baygınlık

Bazı kişiler etilen oksit gibi bir gazı soluduğunda gazın anestezi etkisi ile bayılabilirler. Bayılan kişinin herhangi bir aktivitede bulunması beklenemez.

- Soğuk Yanıklar

LNG nin yük taşıma tankından veya yükleme sevk elemanlarından önemli miktarda sızması halinde çok düşük sıcaklıktaki bu sıvı ve buharı yakın çevrede operasyonda görevli gemiadamları ya da acil durumda görev alan diğer insanlar üzerinde olumsuz tesirler yaratabilecektir. Sıvı haldeki soğuk LNG gözlerde, solunması halinde ciğerlerde ve deri ile temasında soğuk yanıklara sebep olabilir.

5.3.7.2 Yanıcılık

Gazın yanması tutuşturucu bir etken vasıtasıyla atmosferdeki oksijen ile reaksiyona giren gazın ısı, karbondioksit ve su buharına dönüşmesidir. Böyle bir durumun oluşması için hava içindeki yanıcı gaz oranının belirli bir yüzdeye erişmesi gerekir. Bu oran iki şekilde ifade edilir.

- Alt yanıcılık limiti: Yanmanın başlaması için gereken hava içindeki en düşük yanıcı gaz oranıdır. (Lower Flammability Limit-LFL)
- Üst yanıcılık limiti: Yanmanın kesinlikle gerçekleşeceği hava içindeki en fazla yanıcı gaz oranıdır. (Upper Flammability Limit-UFL)

LNG bünyesinde yer alan bazı gazlara ait bahse konu limit oranlar şöyledir.

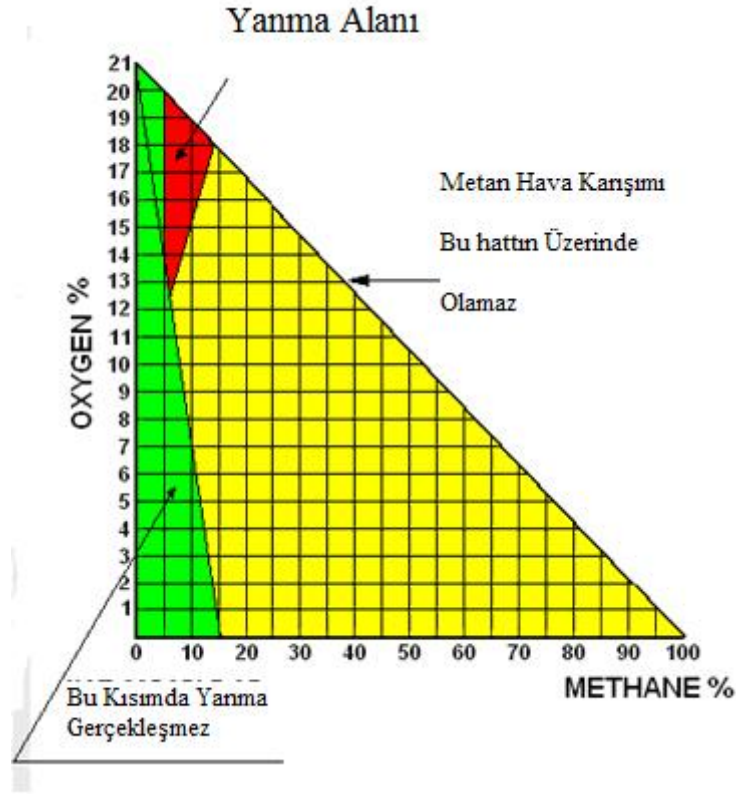
Methane 5.3% -14%

Propane 2.1% – 9.5%

Ethylene 3.0% – 34.0%

Ethylene oxide 3.0% – 100%

Bu oranlar havadaki oksijen oranının 21% olarak kabul edildiği bir durum için geçerlidir. Eğer oksijen oranı daha az ise bu oranlarda değişecektir. Şekil 5.3 atmosferdeki tüm oksijen oranları (%0-21) için metanın yanma mesafesini göstermektedir [26].



Şekil 5.3: Metanın Yanma Mesafesi

LNG nin yanması sonucu termal radyasyon ve basınç hasarları oluşabilir. Isıdan kaynaklanan termal hasarlar birim yüzeye tesir eden ısı enerjisi ile değerlendirilir. Yangın neticesinde ortaya çıkacak termal radyasyon hasarı Tablo 5.5’de gösterilmiştir [15].

Tablo 5.5: Yaklaşık Termal Radyasyon Hasar Seviyeleri

TERMAL AKI (kW/m²)	HASAR DERECEŚİ *Termal Enerjinin 10 dakika süre ile tesir ettiđi düşünölmüştür.
35-37.5	Çelik tanklar, servis elemanları ve makineler üzerinde kalıcı hasar yaratır.
25	Alev olmaksızın tahtayı tutuştur.
18-20	Plastik kablolar erir.
12.5-15	Alevle birlikte tahtayı tutuşturabilecek minimum enerji. Plastik kablo kılavuzları erir.
5	Acil durum müdahalelerinde uygun koruyucu giysilerle kısa bir süre müsaade edilebilecek seviye.

Bu yüzden yaygın olarak 5 kW/m² termal akı seviyesi insanların yangın korunma emniyet seviyesi olarak kullanılmaktadır. 35 kW/m² lik termal akı seviyesinden itibaren gemi yapı elemanları, cihazlar ve makineler zarar görebilir[25].

5.3.7.3 Soğuktan kaynaklanan yapısal hasarlar

Sıvı haldeki soğuk doğal gazın taşınmasında doğrudan temas halindeki metaller aşırı kırılabilir soğuk bir bardağı sıcak bir sıvının doldurulmasında yaşanabilecek kırılma olayı gemi yük taşıyıcı metal aksam üzerinde de görölebilir. Ayrıca özellikle bağlantı kaynaklarında yapısal bütönlüğü bozan hasarlar meydana getirebilir. Oluşan çatlaklar nedeniyle gemi yapısı ya da diğler taşıyıcı tanklar da bundan zarar görebilir.

5.3.7.4 LNG kaynaklı ateştopu (fireball)

Yangınlarda hasar verici basıncı yaratan iki tip yanma vardır.

- Parlama (Deflagration): Henüz yanmamış hava-gaz karışımının ses-altı (subsonic) hızda tutuşmasıdır.
- Patlama (Detonation): Henüz yanmamış hava-gaz karışımının ses-üstü (supersonic) hızda tutuşmasıdır.

Doğal gaz gibi reaktivitesi düşük yakıtlar oldukça düşük hızda tutuşurlar ve normal koşullarda aşırı basınç yaratmazlar. Gaz buharı bulutunun tutuşması sonrasında yanan buharın tekrar sızıntısının kaynağına dönmesi söz konusu olabilir. Bu olaya ateştopu adı verilir. Olay doğası gereği yüksek bir basınç yaratmaz ve gemi yapısına zarar verebilecek muhtemel basınç etkisi yaratması güçtür [25].

5.3.7.5 LNG-hava karışımının basınçla birlikte patlaması (explosion)

Bazı durumlar yüksek bir basınç oluşturacak şekilde yanma süratinin oldukça artmasına sebep olabilir. Gemi kompartmanları arasında sıkışmış gaz ve hava karışımı tutuşturucu bir kaynak ile karşılaşırsa çok süratli bir yanma gerçekleşebilir. Özellikle kapalı alanlarda gerçekleşebilecek bir sızıntının sonucunda çıkması muhtemel bu tip olay muhtemel bir aşırı basınç zararı ile sonuçlanabilir. Bununla beraber zararlı sonuçlar sızıntının olduğu bölge ile sınırlıdır ve tüm gemi yapısını etkileyecek bir hasar beklenmez.

HMIRS (Hazardous Materials Incident Reporting System) ve MINMOD (Marine Investigations Module, diğer bilinen adıyla, Marine Casualty and Pollution Database) veritabanları esas alınarak yapılan bir çalışmada; LNG sızıntısının tespit edildiği olay sayısı MINMOD veritabanında 96, HMIRS veritabanında ise 22 olarak tespit edilmiştir. Aradaki farkın HMIRS veritabanının daha çok kara ve demiryolu ile yapılan taşımacılığa yoğunlaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Yapılan analizde tespit edilen olaylardan HMIRS veritabanına göre hiçbirisinde LNG tutuşması ve patlama görülmediği, MINMOD veritabanına göre ise yalnızca bir olayda LNG tutuştuğu ancak patlamadığı raporlanarak LNG'nin ortalama tutuşma ve patlama olasılıkları sıfır olarak hesaplanmıştır.[31]

Bu çalışma neticesi de; yukarıda varılan sonucu destekleyecek şekilde, LNG taşımacılığı teknolojisinin bu endüstrinin diğer kollarına nazaran gelmiş olduğu yüksek emniyet seviyesini ortaya koymaktadır.

5.3.7.6 Hızlı hal değiştirme (rapid phase transitions)

LNG gibi aşırı soğutulmuş sıvı hale getirilmiş bir gaz aniden su gibi daha sıcak bir sıvı ile karşılaştığında süratle tekrar gaz haline dönüşerek parlama sıcaklığına erişebilir ve bölgesel aşırı basınç zararları görülebilir. Bu hızlı hal değiştirmenin neticesinde açığa çıkacak enerji kilogramlarca patlayıcının etkisine eşdeğer olabilir.

Bununla beraber zararlı sonuçlar sızıntının olduğu bölge ile sınırlıdır ve tüm gemi yapısını etkileyecek bir hasar beklenmez.

BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosions) olayı olarak adlandırılan bu olay, LNG gemilerinin dizayn karakteristikleri ve risk önleyici tedbirlerden kaçırma (relief) sistemi ile dolayısıyla LNG'nin denizden taşınmasında rastlanmış böyle bir olay yoktur [29].

5.4 Risk değerlendirmesi

Buraya kadar belirtilen hedefler doğrultusunda, tecrübe sahibi alan uzmanlarından oluşan risk analiz timi tarafından ortaya konulan tehlikeler ve yaratabilecekleri zararlı sonuçların oluşturduğu riskler, bu aşamada karşılaşılma sıklıkları ya da yarattıkları sonuçların ne derecede geniş bir sahada etkili olduklarına (yaygınlık) göre değerlendirilir. Sonuçta riskin kabul edilir ya da kabul edilemez olduğuna karar verilir.

Her bir risk yarattıkları zararlı sonuçlar (consequencies) ve meydana gelme sıklıklarına (frequency) göre kategorilere ayrılarak birer kabul edilebilirlik derecesi alırlar. Bu kriterleri belirlemede Risk Matrisleri kullanılır. Temel bir matris örneği Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6: Risk Matrisi Örneği

SIKLIK DERECESİ					
SIK RASTLANIR				YÜKSEK RİSK	
GENELLİKLE RASTLANIR					
AZRASTLANIR					
ÇOK AZ RASTLANIR	ALÇAK RİSK				
	AZ ZARAR	BELİRGİN ZARAR	KRİTİK ZARAR	BÜYÜK ZARAR	ZARAR DERECESİ

Risk Değerlendirme ile ilgili literatürde birçok matris örneği mevcuttur [24]. Bunlardan en sık kullanılanlara örnekler şöyle sıralanabilir:

5.4.1 Yaygınlık (severity) kategorileri matrisi

Yaygınlık Kategori Matrisi'ne bir örnek Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7: Yaygınlık Kategorileri Matrisi Örneği

KATEGORİ	TANIM
BÜYÜK	Çok sayıda hayat kaybı
KRİTİK	Çok az hayat kaybı, yaygın yaralanma ve ya hastalık
KÜÇÜK	Çok az sayıda yaralanma, yaygın hafif yaralanma ve hastalık
İHMAL EDİLEBİLİR	Çok az sayıda hafif yaralanma ve rahatsızlık.

5.4.2 Sıklık (frequency) kategorileri matrisi

Sıklık Kategori Matrisi'ne bir örnek Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Sıklık Kategorileri Matrisi Örneği

KAZA SIKLIĞI	GEÇMİŞ TÜM OLAYLARA BAKILDIĞINDA OLMA DURUMU
ÇOK SIK	Sürekli tekrarlanan sıklıkta olur.
SIK	Sıklıkla olabilir.
ARASIRA	Zaman zaman olabilir.
ÇOK NADİR	Bazen olabilir.
MÜMKÜN DEĞİL	Olması istisnai bir durum.
SIRA DIŞI	Olması oldukça istisnai bir durum.

5.4.3 Risk sınıflandırma matrisi

Risk Sınıflandırma Matrisi'ne bir örnek Tablo 5.9'de verilmiştir.

Tablo 5.9: Risk Sınıflandırma Kategorileri Matrisi Örneği

SINIF	AÇIKLAMA
A	Kabul edilemez
B	İstenmez.Ancak risk azaltıcı tedbirler alındığında kabul edilebilir.
C	Risk analiz timi uygun görürse kabul edilebilir.
D	Emniyet Hedeflerine aykırı olmadıkça kabul edilebilir.

5.4.4 Risk matrisi

Risk Matrisi'ne bir örnek Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10 : Risk Matrisi örneği

	BÜYÜK	KRİTİK	KÜÇÜK	İHMAL EDİLEBİLİR
ÇOK SIK	A	A	A	B
SIK	A	A	B	C
ARASIRA	A	B	C	C
ÇOK NADİR	B	C	C	D
MÜMKÜNDEĞİL	C	C	D	D
SIRA DIŞI	C	D	D	D

5.4.5 Olabilirlik matrisi

Olabilirlik Matrisi'ne bir örnek Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11: Olabilirlik Matrisi Örneği

SEVİYE	TANIM	AÇIKLAMA
A	ÇOK SIK	Sık sık olabilir
B	SIK	Sistemin geçmişinde birçok kez olmuş
C	ARASIRA	Sistemin geçmişinde bazen olmuş
D	ÇOK NADİR	Sistemin geçmişinde nadir fakat olmuş
E	MÜMKÜN DEĞİL	Rastlanmamış olmayacağı düşünülüyor

5.4.6 Risk değerlendirme matrisi

Risk değerlendirme Matrisi'ne bir örnek Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.12: Risk Değerleme Matrisi Örneği

OLABİLİRLİK SEVİYESİ	ZARAR SEVİYESİ			
	(I) BÜYÜK	(II) KRİTİK	(III) KÜÇÜK	(IV) İHMAL
A	1	3	7	13
B	2	5	9	16
C	4	6	11	18
D	8	10	14	19
E	12	15	17	20
RİSK SIRALANDIRMASI		ÖNERİLEN KRİTER		
1-5		Kabul Edilemez		
6-9		İstenmez (Analiz Timi Onayı Gerekir)		
10-17		Gözden geçirilerek kabul edilebilir		
18-20		Kabul Edilebilir		

6. RİSK ANALİZİ METODU OLARAK BAYESIAN BELIEF NETWORK (BBN) METODU'NUN KULLANILMASI ÖNERİSİ

6.1 BBN

İnsan ve organizasyon kaynaklı faktörlere dayanan risk temelli bir emniyet yönetimi modellemesi amacıyla yapılan literatür taramasında, BBN (Bayesian Belief Network) metodunun Risk Analizinde kullanıldığı bir modelleme Yüksek Süratli Suüstü Vasıtaları (High Speed Craft-HSC)'nın Çatışma Riskinin Analizi örneği ile 2006 yılında yapıldığı ve konuya ilişkin makalenin 2007 yılında yayınlandığı görülmüştür[32].

Deniz taşımacılığı sektöründe yapılan bu çalışmada; BBN yöntemiyle oluşturulan Deniz Taşımacılığı Sistemi (MTS) içerisinde yüksek hızlı teknelerin çatışma riskine insan faktörünün etkisi analiz edilmiştir. Çalışmada IMO'nun güvenlik değerlendirme esasları dikkate alınarak, açık denizlerdeki çatışmalar BBN, Hata Ağacı(FTA) yöntemleri kullanılarak, sektördeki elemanların ve kuralların etkileşimleri içinde incelendiği tespit edilmiştir.

Risk analizinde BBN metodunun kullanılması konsundaki detaylı incelemede, BBN'in bir çok değişkenin karmaşık ilişkilerine dayalı gerçek sistemlerin analizinde olasılık tabanlı bir yaklaşım sunduğu görülmüştür. Nükleer tesislerin emniyet performans değerlemesi [33], bütünleşik yangın önleme ve yangından korunma sistemlerinin değerlemesi [34], öngörü ve belirsizlik analizleri [35] gibi risk analizi kapsamına giren bir çok konuda yapılan çalışmada kullanıldığı raporlanmıştır.

Denizcilik sektöründe bir çok kez kullanıldığı görülen BBN modeli ayrıca; IMO Deniz Güvenliği Komitesi (MSC)'ne Japon üyesi tarafından 7 Şubat 2006 tarihinde resmen Emniyet Değerleme (FSA) metodu olarak kullanılması tavsiye edilmiştir.(MSC/81/18-1) [36]

6.2 Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG) Taşımacılığında Yükleme/Boşaltma Esnasında Sızıntı Riskinin Araştırılması örnek çalışmasında BBN modeli ile Risk Analizi

Bu çalışmada Denizcilik sektöründe örnek olay incelemesi yaklaşımına dayanan ve diğer bir çok sektörde de kullanılan Bayesian Belief Network (BBN) yöntemiyle, denizcilik sektöründeki tüm aktörlerin (tersaneler, işletmeciler, limanlar vs.) etkisi (organizasyonel yapı) ve karşılıklı etkileşimleri hesaba katılarak Deniz Ulaştırma Sistemi (MTS) model ağaç örneği geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bu ağaçtan yola çıkarak Bayesian Belief yöntemleri kullanılarak LNG gemilerinde, yükleme/boşaltma esnasında LNG sızıntısı ile sonuçlanan kazalar incelenmiştir. Bu yaklaşım içinde LNG sızıntısına neden olan olayların olasılıkları ve organizasyonel faktörler BBN yöntemiyle irdelenmiştir. Olayların birbirlerine etkisi ve koşullu olasılıkları çeşitli laboratuvarların olmuş kazalar üzerindeki çalışmalarının neticelerine ve uzmanların değerlendirmelerine dayanarak değişebilecektir. Çalışma LNG sızıntısının risk analizini BBN ve Hata Ağacı (FTA) yöntemlerini kullanarak, bütünsel bir yaklaşım içinde yapılabileceğini önermektedir.

BBN alan uzmanlarının görüşlerine dayanan verilerden hareketle karmaşık sistem ya da işlemlerde sebep sonuç ilişkilerini göstermek için kullanılır. Risk Analizi metodlarından olan Hata Ağacı Analizleri (FTA)'nin Bayes olasılık hesabına dayalı gelişmiş bir modelini ortaya koyar.

Önerilen Model karmaşık sosyo-teknik bir yapıya sahip organizasyonların (Doğal Gaz Taşımacılığı, Yüksek Suratlı Vasıtalarla yük ve yolcu taşımacılığı gibi) yapısında mevcut, bilinen (spesifik) İnsani ve Organizasyonel Faktörler'den yola çıkıp zararlı sonuçlar doğurabilecek durumların meydana gelme olasılığını daha iyi hesaplayarak yapısal değerlendirmeler yapabilme imkanı sunmaktadır.

BBN incelenmekte olan sisteme ait zararlı sonuçları ortaya çıkarabilecek tehlikeli durumların ortaya konduğu Hata Ağacı Analizlerini alarak sistemin organizasyonel faktörlerinin yetenekleri ve mevcut performansının bir sonucu olarak ortaya çıkması muhtemel Temel Olayların (Basic Events) oluşma olasılığını hesaplamada kullanılır.

Sistemin organizasyonel faktörlerinin yetenekleri ve mevcut performansından etkilenmekte olan bir Temel Olayın (Basic Events) oluşma olasılığı Bayes Olasılık Teoremi ile hesaplanmaktadır.

Bir temel olayın meydana gelmesine sebep verebilecek organizasyonel yapı değişkenleri oluşturulan Hata Ağacı ve BBN organizasyon ilişki şeması ile ortaya konur.

LNG Taşımacılığı bir Deniz Ulaştırma Sistemi olduğuna göre sistemin organizasyonel yapı değişkenlerine göre BBN metodu ile hazırlanmış yapı ağacı rneği şekil 6.1 verilmiştir.

Müşterek Olasılık (Joint probability) her iki olayın birlikte olma olasılığıdır. A ve B olaylarının birlikte olma olasılığı;

$P(A \cap B)$ ya da $P(A,B)$ şeklinde ifade edilir.

Koşullu Olasılık (Conditional probability) B olayının zaten meydana geldiğini kabul edip A olayının olma olasılığıdır.

$P(A|B)$ şeklinde ifade edilir.

Koşullu olasılık, Nihai olasılık (Posterior Probability) olarak da adlandırılır.

Bu tanımlardan hareketle;

Olasılık teoremine göre A ve B olaylarının müşterek olasılığı

$$P(A,B) = P(A) * P(B) \quad (1)$$

Şeklinde ifade edilir.

B olayı zaten var olduğuna göre A'nın olma olasılığı bu kurama göre;

$$P(AB) = p(A) * p(B | A) \quad (2)$$

$$P(AB) = p(B) * p(A | B) \quad (3)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Elde edilen bu denklemleri eşitlendiğinde;

$$P(A) P(B | A) = P(B) P(A | B) \quad (4)$$

eşitliği oluşur.

Sonuç olarak Bayes Teoremi'nin temel denklemi elde edilir.

$$P(A | B) = (P(A) * P(B | A)) / P(B) \quad (5)$$

Bu denklem ile ;

B olayı olduğunda A olayının meydana gelme olasılığı hesaplanır.

- Bir C olayına bağlı olarak A ve B olaylarının olma olasılığı hesaplanmak istediğinde durum ne olacaktır?

$$[P(A,B|C)] = ?$$

Bayes ‘in (1) numaralı denkleminde hareketle;

$$P(A,B | C) = P(A| C) * P(B| A,C) \quad (6)$$

$$P(A,B | C) = P(B| C) * P(A| B,C) \quad (7)$$

Sonucu elde edilir.

Bu sonuçtan hareketle; verilen B ve C olaylarına istinaden A olayının olma koşullu/nihai (conditional/posterior) olasılığı hesaplanabilir mi?

(6) ve (7) numaralı denklemler eşitlenerek;

$$P(A| B,C) = (P(A|C) * P(B | A,C)) / P(B|C) \quad (8)$$

bu problemi çözen bir diğer Bayes Denklemine ulaşılır.

Bayes Teoremi nihai olasılığın önsel olasılık ve olabilirliğin (likelihood) çarpımı ile orantılı olduğunu söyler [38].

Nihai Olasılık = Önsel Olasılık x Olabilirlik / Normalleştirme Katsayısı

Tanımdaki “orantılı” ifadesi; koşul verilerin değişen tüm değerleri için elde edilen nihai olasılıkların toplamının 1’e eşit olması demektir. Bunu sağlamak için kullanılan terim normalleştirme katsayısıdır. Başka bir deyişle o anki durum için elde bulunan veri olarak tanımlanmış olan kanıt (evidence) dır.

Bu durumu Bayes Teoreminin (5) numaralı basit denkleminde gerçeklersek;

$$P(A |B) = (P(A) * P(B |A)) / P(B)$$

$P(A |B)$ Nihai olasılık; A olayının B olayının görülmesi durumunda oluşmasının koşullu olasılığı,

$P(A)$ Önsel olasılık; A olayının olması olasılığı,

$P(B |A)$ Olabilirlik; A olayının olması durumunda B olayının gözlemlenmesi olasılığı,

Olasılık bilinen parametrelerden yola çıkarak bilinmeyen sonuçları öngörmek olarak tanımlanırsa; olabilirlik bilinen sonuçlara dayanan bilinmeyen parametreleri tahmin etmektir.

$P(B)$ Kanıt ise B olayının olması olasılığıdır.

Yine bir başka ifade ile;

$$P(H | D) = P(D|H) P(H) / P(D) \quad (9)$$

H doğruluğunu sınıadığımız hipotezimiz, D ise o an için elde mevcut veri olsun

$P(H)$ hipotezimizin doğru olma önsel olasılığını,

$P(H|D)$ mevcut veri elde edildiğinde hipotezin doğru olma nihai olasılığını;

$P(D|H)$ hipotezimizin doğru olması durumunda elde mevcut veriye ulaşma koşullu olasılığını, ki artık bu veri var olduğuna göre hipotezin doğru olabilirliğini (likelihood),

$P(D)$ verinin oluşma olasılığıdır ki bu durum için elde mevcut kanıt ya da $P(H|D)$ tüm mümkün diğer Hipotezler ile toplamı 1'i vermesi gerektiğinden

$P(D) = \sum_i P(D|H_i) P(H_i)$ şeklinde normalleştirme katsayısı olarak ifade edilir.

Şimdi Bayes Teoreminin çoklu koşullar için elde ettiğimiz denklemini ele alarak;

$$P(A|B,C) = (P(A|C) * P(B | A,C)) / P(B|C)$$

Geçmiş tecrübe ve gözlemlere, c ; ilave kanıtlara, E ; dayanarak H hipotezinin gerçekleşme olasılığını hesaplayalım.

Bu durumda;

$$P(H|E,c) = (P(H|c) * P(E | H,c)) / P(E|c) \quad (10)$$

Denklemleri kolaylıkla yazılabilir [37]. Denklemlerde eşitliğin solundaki terim , $P(H|E,c)$ geçmiş tecrübeler ve bunlara istinaden elde mevcut kanıta dayanarak H hipotezinin gerçekleşme nihai (posterior) olasılığını ifade eder.

Eşitliğin sağındaki ilk terim $P(H|c)$ geçmiş tecrübeler istinaden H hipotezinin gerçekleşme önsel (priori) olasılığıdır.

Diğer terim $P(E|H,c)$ H hipotezinin gerçekleştiği durumda geçmiş tecrübeler dayanarak kanıtın olabilirliğinin (likelihood) ifadesidir.

Son terim $P(E|c)$ H hipotezinden bağımsız olan normalleştirme katsayısıdır [37].

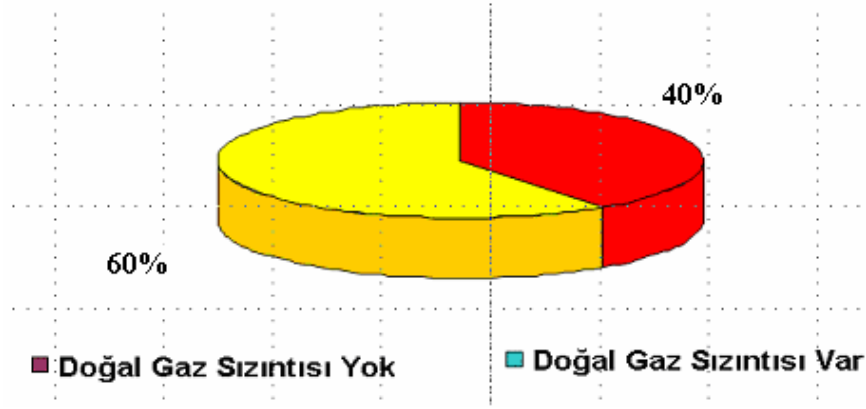
6.4 Risk Analizi

Bu çalışmada denizcilik sektöründe örnek olay incelemesi yaklaşımına dayanan ve diğer bir çok sektörde de kullanılan Bayesian Belief Network (BBN) yöntemiyle, denizcilik sektöründeki tüm aktörlerin (tersaneler, işletmeciler, limanlar vs.) etkisi (organizasyonel yapı) ve karşılıklı etkileşimleri hesaba katılarak, bir Deniz Ulaştırma Sistemi (MTS) olan LNG Taşımacılığında, LNG sızıntısı ile sonuçlanan kazalar Bayesian Belief yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Bu yaklaşım içinde LNG sızıntısına neden olan olasılıkların etkileşimleri ve organizasyonel faktörler BBN yöntemiyle irdelenmiştir .Olayların birbirlerine etkisi ve koşullu olasılıkları çeşitli labovatuvarların olmuş kazalar üzerindeki çalışmalarının neticelerine ve uzmanların değerlendirmelerine dayanarak değişebilecektir. Ve bu çalışmada LNG sızıntısının sebeblerini BBN ve Hata Ağacı Analizi(FTA) yöntemleri kullanılarak, bütün bir yaklaşım içinde risk analiziyle değerlendirilmesi önerilmektedir.

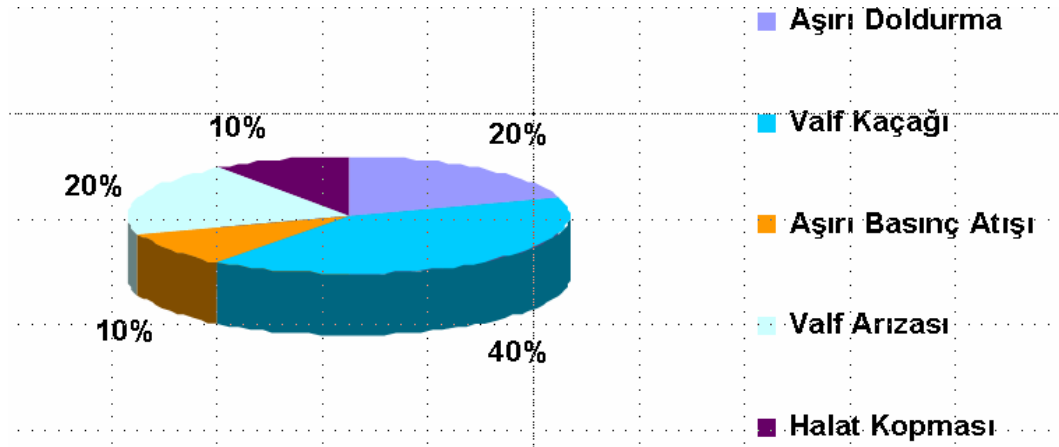
Bundan önce demizcilik sektöründe BBN ile yapılan bir çalışmada ise; BBN yöntemiyle oluşturulan Deniz Ulaştırma Sistemi (MTS) içerisinde risk analizi yapılarak insan faktorunun yüksek hız tekneleri üzerinde etkisi ölçülmüştü. Çalışmada IMO ‘nun güvenlik değerlendirme esasları dikkate alınarak, açık denizlerdeki çatışmalar BBN, Hata Ağacı yöntemleri kullanılarak tüm kurallar, sektördeki elemanların ve kuralların etkileşimleri içinde incelenmiştir.

Çalışmada 1965 – 2006 yılları arasında LNG Gemi kazalarını içeren bilgiler Tablo 5.4 ile sunulmuştur. Bahse konu tablo incelendiğinde; mevcut 30 kazanın sadece 10’unun Doğal Gaz sızıntısı ile sonuçlandığı tespit edilmiştir. Şekil 6.2’de Sızıntı kazalarının toplam kazalara oranı sunulmuştur.



Şekil 6.2: Sızıntı Kazalarının Toplam Kazalara Oranı

Doğal Gaz Sızıntısı ile sonuçlanan kazaların 5 temel sebep tespit edilmiştir. Bu sebepler; Aşırı Doldurma , Valf Kaçağı, Aşırı Basınç Artışı, Valf Arızası, Halat Kopması'dır. Şekil 6.3'de sızıntı kazası sebeplerinin oranları sunulmuştur.



Şekil 6.3: Sızıntı Kazası Sebeplerinin Oranları

Şimdi kaza olduğu biliniyor ve bu kaza bir sızıntı ise bu olayın yukarıdaki sebeplerden biri örneğin “Aşırı Doldurma” nedeniyle meydana gelmesi riskini/olasılığını hesaplayalım.

Temel olayın (B) meydana gelmesine sebep verebilecek organizasyonel yapı değişkenleri (A) oluşturulan Hata Ağacı ve BBN organizasyon ilişki şeması ile tahmin edilerek ortaya konur.

Her bir temel olayı (Bi) etkileyecek organizasyonel yapı değişkenlerinin her bir hali (Ai) yapılan tahminler içerisinde ortaya konan kombinasyonlardan birini ifade eder.

Hali hazırda elde edilmiş olan organizasyonel yapı değişkenlerine (A_i, aşırı dolum v.b) ilaveten teknik ve personel organizasyonel faktörler konusunda alınan Uzman Görüşleri (Risk Analiz Timi değerlendirmesi) çerçevesinde kazanın (C) olduğu varsayıldığı durumda temel olayın (B, sızıntı) olma olasılığı bulunmak istenseydi;

$$P(B|A,C) = P(B|C) * P(A|B,C) / P(A|C) \quad (11)$$

Şeklinde ifade edilebilirdi. Ancak elde mevcut verileri içeren tablo incelendiğinde her sızıntı bir kazadır. Ve bu kazalara sebep veren organizasyonel yapı değişkenleri (sebepler) her kazada mevcuttur. Buna rağmen organizasyonel yapı değişkenlerinin kaza ile sonuçlanmayan diğer durumlarına ait bir veri bulunmamaktadır. Öyleyse yukarıda belirtilen formül ile ifade edilen kaza varsa ve aşırı dolum olmuşsa bunun sızıntı ile sonuçlanması muhakkaktır ve olasılığı 1'dir.

Bu yüzden elde mevcut verilerle kaza olduğu biliniyor ve bu kaza bir sızıntı ise bu olayın yukarıdaki sebeplerden biri örneğin “Aşırı Doldurma” nedeniyle meydana gelmesi riski/olasılığı hesaplanmak istenmektedir.

Bu durum;

$$P(A|B,C) = P(A|C) * P(B|A,C) / P(B|C) \quad (12)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

P(A), Aşırı dolumun tekbaşına olma önsel olasılığını,

P(B), Sızıntının önsel olasılığını,

P(C), Kaza olasılığını gösterir.

P(A|B,C); Kaza olduğunda bu kaza sızıntı ise bunun aşırı dolumdan kaynaklanması olasılığıdır.

P(A|C); Kaza olduğunda aşırı dolumun olma koşullu olasılığıdır.

30 kazada 2 Aşırı dolum olayı vardır, öyle ise 2/30'dur.

P(B|A,C); Kaza olup, aşırı dolum olduğunda bunun sızıntıyla sonuçlanması olasılığıdır ki; aşırı dolumun sızıntı ile sonuçlanmayan diğer durumlarına ait bir veri grubu ya da uzman görüşü elde mevcut bulunmadığından sadece istatistiki tabloya bakarak bu durumun olasılığı 1 alınabilmektedir. İhtiyaç duyulan bu veriler elde edildiğinde o zaman bu olayın olabilirliği (likelihood) olarak hesaplanabilir.

P (B|C) Kaza olduğunda bunun sızıntı kazası olma koşullu olasılığıdır.

30 kazada 10 sızıntı olayı vardır, öyle ise 10/30'dur.

Sonuç ;

$$2/30 * 30/10 * 1 = 0.2$$

Kaza olduğu biliniyor ve bu kaza bir sızıntı ise bu olayın “Aşırı Doldurma” nedeniyle meydana gelmesi riski/olasılığı %20 dir.

BBN modelinin önemli bir olgusuda,sadece kesin bilgilere ve eskiden meydana gelmiş olaylara bağlı kalmamasıdır. Geçmiş olayların koşullu olasılıklar grafiklerle göstererek ve tam kesin olmayan kanıtları kullanarak inandırıcı sonuçlar çıkarabilir.

BBN kısaca eski veya şimdiki kesin olmayan, tartışılabilir, tamamlanmamış durumların değerlendirilmesi için çok yararlıdır.

Belirsizlik durumu bazen artabilir de mesela: Bir uzmanın kendi görüşlerinden emin olamaması, bir durumun içsel olarak kesinlik kazanamayışı, eldeki verilerin ve bilgilerin kesin olmaması denebilir.

Bu yüzden BBN neden ve sonuçların birbiri üzerine etkilerini ve olasılıklarını anlamlı bir şekilde grafik yöntemleriyle gösterir. Belirsiz durumlarda kullanılan çok yararlı bir neden sonuç analiz metodudur.

Risk Yönetiminde “Risk tabanlı bir karar sistemi kullanılmalı mı?” sorusundan ziyade asıl soru “Risk tabanlı bir karar sistemini nasıl kullanmalı?” olabilir. Önemli olan durumumuz en uygun analiz metodlarını kullanabilmektir.

Risk Analizi; verileri sistematik bir biçimde kullanarak tehlikeleri belirlemek ve bunların sonuçlarının bireyler, kitleler, çevre ve sahip olunan varlıklar üzerinde yaratabileceği zararlı sonuçlara sebep olması muhtemel olayların riskini/olasılığını tahmin etmek ise; Deniz Ulaştırma Sistemleri’nde Risk Analiz metodu olarak BBN ve Olay- Hata Ağacı metodlarının birlikte kullanıldığı uygulamaların da var olduğu bilindiğine göre; bir Deniz Ulaştırma Sistemi olarak LNG taşımacılığının risk analiz metodu olarak bu model önerilmektedir.

7. LNG TAŞIMACILIĞI EMNİYET YÖNETİM MODELİ

7.1 Genel

Risk tabanlı karar verme süreci:

- Belirlenen olması muhtemel bir veya daha fazla tehlikeli/istenmeyen olaya ait geçmiş bilgilerin toplanarak organize edilmesi (Hazard Identification),
- Bu olaylar konusunda alan uzmanı tecrübeli kişilerce duruma uygun metodlar kullanarak tehlikenin oluşma olasılıklarının belirlenmesi (Risk Analysis),
- Analiz neticesinde elde edilen risk verilerinin kabul edilebilirliğinin değerlendirilmesi (Risk Evaluation),
- Elde edilen değerlendirme sonuçlarına göre risklerin olabirlikleri, sıklıkları, olduklarında tesir edecekleri alanın yaygınlığı gözönüne alınarak sürecin tekrar işletilmesi suretiyle bir öncelik sıralaması ile değerlendirilmesi (Risk Assessment),

yapısal sırasıyla işler. Sonuçta karar vericilere daha çok şey bildikleri bir durumda karar verme olanağı sunar.

LNG taşımacılığında da önerilen risk tabanlı bir Emniyet Yönetimi'nin öncelikle sorması gereken sorular şunlar olabilir?

- LNG'nin muhtemel tehlikeleri nelerdir?
- LNG ne zaman tehlikeli olur?
- Muhtemel tehlikelere sebep olan olaylar ne kadar sıklıkla oluşur?
- Muhtemel zararlı sonuçların oluştuğu risk kabul edilebilir bir seviyede midir?

- Bu riskleri azaltmak ve zararlı sonuçların hasarını en aza indirmek için neler yapılmalıdır ve daha neler yapılabilir?

Bu bölüme kadar LNG'nin ve LNG buharının muhtemel tehlikeleri bir risk analizi çerçevesinde anlatıldı. Risk değerlendirme ve neticede değerlendirme sürecinden bahsedildi. Bu bölümde LNG taşımacılığı Emniyet Yönetim Sistemi Risk Yönetimi yaklaşımı ile incelenerek, dizayndan inşaya, işletmecilikten bakıma kadar tüm süreçlerinde alınmakta olan risk önleyici ve riski azaltıcı tedbirlerden kısaca bahsedilerek Emniyet Yönetim Sistemi Modelini tamamlayabileceği düşünülen öneriler sunulacaktır.

7.2 LNG Taşımacılığında Risk Önleyici ve Risk Azaltıcı Tedbirler

LNG sektörü de diğer bir çok endüstriyel faaliyet sahasındakilere benzer tehlikeleri ve emniyet gerekliliklerini içerir. Bu yüzden bu diğer sektörlerde de olduğu gibi önalcı bir sistem bütünlüğü içerisinde çalışanların, halkın ve doğal çevrenin muhtemel zararlardan korunması maksadıyla riski önleyici (risk prevention) ve risk azaltıcı (risk mitigation) tedbirlerin alınması gereklidir.

Riskin yönetilmesi bu tedbirler vasıtasıyla sağlanabilir. Riskin önlenmesi bir kazadan ya da kasti bir tehlikeden korunmaktır. Riskin azaltılması muhtemel bir kaza ya da kasti hareketle doğabilecek zararlı sonuçların yaratacağı hasarı en aza indirmektir[25].

Potansiyel bir denize LNG sızıntısının Riski aşağıda sıralan yaklaşımlarla azaltılabilir:

- Sızıntı olasılığını azaltarak,
- Zararlı sonuçları azaltarak,
- LNG taşımacılığı emniyet ekipmanlarını ve güvenliğini geliştirerek ve ya sızıntıyı önleyici ya da en aza indirici hareket tarzlarını izleyerek [15].

LNG üretim ve tüketim zincirinde LNG taşımacılığının yerini basitçe açıklayan bir gösterim Şekil 8.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1: LNG Zinciri

Bu zincirdeki faaliyetler şöyle sıralanabilir;

- Doğal gazın üretimi,
- Doğal gazın sıvılaştırılması ve LNG olarak taşınabilir hale getirilmesi,
- LNG taşımacılığı,
- Tekrar doğal gaza dönüştürülmesi,
- Boru hatları ile dağıtılması.

Doğal gazın depolanması emniyet ve güvenlik açılarından en hassas safha olarak göze çarpar. Doğal gaz bir kere sıvılaştırıldığında ya taşımacılık için depolanır ya da doğrudan taşıyıcı gemiye nakledilir. LNG taşıyıcı gemiler deniz geçişi için özel dizayn edilmiş tekne ve taşıyıcı sistemlere sahiptirler. LNG alan ve tekrar gazlaştıran terminaller boru hatlarına doğal gazı sevketmeden önceki işlemler için LNG’i tekrar depolarlar.

Görüldüğü üzere diğer sektörlerde de sık rastlanan tehlike ve emniyet gerekliliklerinin daha ötesinde LNG taşımacılığı kendine özgü emniyet gerekliliklerine sahip bir Deniz Ulaştırma Sistemi olarak ulusal ve uluslararası kural, kanun, düzenleme, standart ve kodlarla oluşturulmuş deniz taşımacılığı gereklerini de sağlamak zorundadır. Böyle olduğu içindir ki 40 yılı aşkın bir süredir çok az LNG sızıntı kazası olmuş ve bahse konu düzenlemelerle geliştirilmiş bir emniyet çemberi sayesinde, LNG gemisi ya da terminali çevresindeki komşu sahalarda ciddi can, mal ve çevre zararlarına rastlanmamıştır[26]. Şimdi sırasıyla bu emniyet çemberinin içerisinde kalabilmek için neler yapılması gerekliliğine bakalım.

7.3 Ulusal ve Uluslararası Düzenlemeler

Herşeyden önce LNG taşımacılığında diğer Deniz Ulaştırma Sistemleri'nin tamamında olduğu gibi bölüm 3.2.1'da sıralanan ulusal ve uluslararası kurallar ve düzenlemelere uyulmalıdır. Bunlar şu ana başlıklar altında toplanabilir:

- IMO kural ve düzenlemeleri,
- Bayrak Devleti düzenlemeleri,
- Liman Devleti kural ve düzenlemeleri,
- Klas kuruluşları kural ve düzenlemeleri.

Bu kural ve düzenlemelerin ardından LNG taşıyıcıların dizaynı, inşaa ve işletilmesinin kendine has özellikleri dikkate alınmalıdır. LNG taşıyıcı gemilerin soğuk sıvı taşıdıkları gözönünde bulundurulduğunda yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri, inşaa metodları, işletilmeleri LNG'i emniyetle taşıyabilecek kriterlere haiz olmalıdır.

7.3.1 IMO Düzenlemeleri

IMO'nun deniz taşımacılığının uluslararası çerçevesini çizdiği ve LNG taşıyıcıları hakkında gemi dizayn, inşaa, işletme, emniyet, güvenlik ve uygun personelle donatma konularında bağlayıcı olan konvansiyon ve kodların bir listesi bölüm 3'de verilmiştir.

Bunlardan LNG taşıyıcıların dizayn kriterlerinin belirlenmesinde uluslararası düzenlemelerden belki de en önemlisi Yük Olarak Sınıflandırılmış Gaz Taşıyıcıları İçin Uluslararası Uygunluk Sertifikası Kodu'dur (IGC)[11]. Bayrak devleti ve klas kuruluşlarının düzenlemeleri bundan yola çıkarak daha detaylı düzenlemelere gitmişlerdir[16].

7.3.2 Bayrak Devleti Düzenlemeleri

Bayrak devletleri kendi bayrağını taşıyacak gemilerin uluslararası yeterliklerin yanı sıra kendi ulusal gerekliliklerini yerine getirmesini sağlamaktan sorumludur. Bu sorumluluğunu gemi dizaynının kendisinin onayladığı klas kuruluşunun dizayn ve sörvey kurallarına uygunluğunun denetleyerek yerine getirir. Bayrak devletinin

emniyetli gemi işletmeciliği ve bakımı konusunda sürekli denetim sorumluluğu devam eder. Bu ise klas kuruluşlarının yaptığı ve sertifikalandırdığı periyodik denetimleri takip eden denetimlerle sağlanır. Bu denetimler aynı zamanda LNG gemisinin ulusal ve uluslararası yeterliklere sahip personelle donatıldığının ve bu personelin yeterli eğitimi almış ve uygun sertifikaya sahip olduğunun da bir kontrolüdür.

7.3.3 Liman Devleti Düzenlemeleri

Liman devletlerinin kendi liman, saha ve sorumluluk bölgelerinin özelliklerine bağlı olarak getirdikleri kanun ve kurallarla yaptıkları düzenlemelerdir. Bir liman devleti bu düzenlemeler kapsamında yaptığı emniyet, çevre kirliliği, operasyonel yeterlilikler, gemi yeterlikleri, personel yeterlikleri, güvenlik tedbirleri v.b denetimlerin neticesinde LNG gemisinin bir limana, sahaya ya da bölgeye girişini geciktirebilir, erteleyebilir ya da tamamen engelleyebilir.

7.3.4 Sektör Kuruluşları

Bölüm 3.2’de belirtilen ve gemi işletmecileri gibi sektörün parçası olan diğer kuruluşlar gemi emniyeti ve güvenliği açısından denetimler yaparlar. Bu denetimler sadece gemi emniyetinin sağlanmasına yardımcı olmaz aynı zamanda LNG taşımacılığı sektörün güvenilirliği ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunur.

Bu maksatla örneğin; Amerikan Deniz Taşımacılığı Dairesi (ABS), Uluslar arası Gaz Tankeri ve Terminali İşletmecileri Birliği (SIGTTO) ya da Sandia Laboratuvarları gibi kuruluşların çalışma ve raporları bu çalışmada da kullanılmıştır[25,26,39]

7.4 LNG Sızıntı Riskinin Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler

Dizayn aşamasında, deniz taşımacılığı operasyonları esnasında ve ilaveten terminallerde alınabilecek tedbirler takip eden başlıklarda belirtilmiştir.

7.4.1 Dizayn Tedbirleri

Dizayn açısından alınan tedbirler takip eden başlıklarda açıklanmıştır.

7.4.1.1 Çift cidarlı gövde yapısı

Harici bir hasarla örneğin karaya oturma, çatma, çarpma gibi sebeplerle meydana gelmesi muhtemel bir LNG sızıntısı riskini önlemek amacıyla bugün serviste bulunan ve servise girmesi planlanan tüm LNG gemileri çift cidarlı bir tekne yapısına sahiptir. IGC düzenlemesi ile bu standartlaştırılmıştır[11].

Yine bir LNG gemisinin karaya oturmasına , çatmasına, çarpmasına sebep vermesi muhtemel bir sevk ve dümen sisemi arızasını önleyebilmek için bir önceki kısımda bahsedilen tüm düzenleyici kuruluşların denetimlerinde sevk ve dümen sisteminin bakımı, çalışırılığı ve işletilmesi. öncelikli kontrol maddesidir. Aynı zamanda Tüm LNG gemileri limanlara, dar sulara ve terminal sahalarına her zaman tecrübeli kılavuz kaptanlar rehberliğinde girerler ve aborda ve avara işlemleri mutlaka çekici/itici vasıtalar yardımıyla gerçekleştirilir.

Böyle bir önlemler zinciri seyir sefer sistemlerinde meydana gelebilecek bir arıza ya da insan hatalarının sebep verebileceği karaya oturma, çatma, çarpma gibi bir olayın olabilirliğini azaltmaktadır.

7.4.1.2 LNG taşıma sistemlerinin diğer sistemlerden ayrılması

IGC yük taşıma sistemlerinin yerleşik bulunduğu kapalı mahallerin; gemi kontrol istasyonları, makine daireleri, kazanlar, yaşam mahalleri, malzeme ambarları, içme ve kullanma suyu depolama tankları gibi LNG gemisinin diğer operasyonel alanlarından ayrılmasını gerektirir[11].

Yine LNG buharının ve sıvı LNG'nin sevk borularının diğer maksatlı boru devrelerinden ayrı yerleştirilmesini zorunlu kılar. Böylece LNG sıvı yada buharının diğer devrelere karışması olasılığının ortadan kaldırılması amaçlanır.

7.4.1.3 Periyodik kontrol ve incelemeler için yük taşıma sistemlerine geçiş

IGC'e göre yük tanklarında ve yük taşıma sistemlerinde periyodik olarak yapılacak gözle kontrol ve inceleme için yeterli geçiş sahaları ve yolları bulunmalıdır. Bu düzenlemeyle herhangi bir küçük hasar ya da arıza emniyet açısından tehlike yaratacak kadar büyümeden önlenabilir.

7.4.1.4 IGC Kapsamında zorunlu kılınan diğer düzenlemeler

- Sızıntı tespit ediciler,
- Seviye tespit ediciler,
- Alçak sıcaklık sensörleri,
- Yüksek sıcaklık sensörleri,
- Alçak basınç sensörleri,
- Yüksek basınç sensörleri,
- Alçak ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı tank malzemesi ve tank yapısı,
- Alçak ve yüksek basınçlara dayanıklı tank malzemesi ve tank yapısı,
- Gemi gövdesini LNG'nin aşırı soğuşundan koruyacak ikincil bariyer,
- LNG tankları için ilaveten; kaynak testi, işçilik testi, kalite testi, hidropinomatik ve hidrostatik testler, sızıntı testi, kaynak bütünlük testi,
- LNG boru devrelerinde diğer devre testlerine ilaveten; kalınlık, basınç, gerilme, üretim ve birleştirme, kaynak, ısıtım işlem, hidrostatik ve sızıntı testleri,
- LNG acil durum emniyet valflerinde diğer valf testlerine ilaveten çalışabilirlik, yangın istasyonlarından, tank kubbelerinden, dolum/boşaltım istasyonlarından uzaktan kumanda testi,
- Aşırı basınçta devreye girecek kaçırma valfleri uygunluk ve çalışabilirlik testi,
- Emici ve basıncı tulumbalar çalışabilirlik testi,
- Soğutma, yangınla mücadele, personelin özel alanlarda korunması amacı ile kullanılacak ana yangın devresi, yangın istasyonları teçhizatı çalışabilirlik ve uygunluk testi,

Bu düzenlemeler LNG tanklarındaki herhangi bir olumsuzluk ya da insan hatasının sebebi ile oluşabilecek LNG sızıntısının engellenmesi amacıyla oluşturulmuştur[11].

Bu sistemler yine IGC Kod gereğince görülebilir ve işitilebilir gaz tespit alarmları ve seygar gas tespit edicilerin zorunlu kılınması ile güçlendirilmiştir.

7.4.2 LNG Terminal Operasyonları esnasında

LNG transferi esnasında gelişebilecek LNG sızıntısı veya bu sızıntıya sebep verebilecek ön olayları engelleyici tedbirlerin başlıcaları şöyle sıralanabilir:

- LNG buhar tespit ediciler,
- Yangın tespit ediciler,
- LNG acil devre kesicileri,
- Sahilde ve gemide uzaktan kumanda sistemleri,
- Geminin hareket izleyiciler,
- Aşırı yalpa durumunda devre ayırıcılar,
- LNG sızıntısında güverte ve terminal teçhizatını aşırı soğuktan koruyacak kaplama malzemesi.

7.4.3 Operasyonel Tedbirler

LNG sızıntı riskini engelleyecek ya da sızıntının tesirlerini azaltacak dizayn tedbirlerine ilaveten alınabilecek operasyonel tedbirler kapsamında uluslararası düzenlemelerde yer alan üç ana başlık şöyle sıralanabilir:

- Eğitim,
- Talimatlar,
- Denetlemeler.

7.4.3.1 Eğitim

LNG gemileri personelinin asgari eğitim gereklilikleri IMO'nun STCW Konvansiyonu ile belirlenmiştir[40]. Bu seviyedeki eğitimin alınması bayrak devleti ve gemi işletme kuruluşları tarafından sağlanarak kontrol edilebildiği gibi ilave ileri

seviye eğitimler bayrak devleti onay ve denetimine açık olarak gemi işletme kuruluşları tarafından sağlanabilir.

7.4.3.2 Talimatlar

500 grostondan büyük uluslararası gemiler IMO düzenlemeleri çerçevesinde SOLAS la zorunlu kılınan ISM gerekliliklerini yerine getirmelidir. Bu Emniyet Yönetim Sistemi yaklaşımı emniyet ve çevre konularında, işletme talimatlarının geliştirilmesi, eğitim yeterliklerinin sınanması, periyodik denetlemeler ve bunlara uygunluk konularında sorumluluklar veren bir yaklaşımdır. Bu sistem yaklaşımı acil durumlar meydana geldiğinde (LNG sızıntısı, yangın v.b) müdahale için hazır olmayı işaret eder.

7.4.3.3 Denetlemeler

Gemi denetlemeleri bir çok kurum ve kuruluş tarafından gerçekleştirilmektedir. Bayrak devleti ve klas kuruluşları denetlemeleri periyodik işleyen bir takvime göre denetleme ve sörvey yaparlar. Liman devleti uygulamaları o devletin limanına gidildiğinde geminin emniyet denetlemesi şeklinde yapılır. Bu denetlemelere ilaveten geminin kendisinin ve işletme kuruluşunun ISM programı çerçevesinde yapılan denetlemeleri sektörün diğer aktörlerinin emniyetli, güvenilir ve yatırımlarını riske sokmayacak bir sektör beklentisini karşılar[41].

7.4.4 Kasti Eylemler Neticesinde Oluşabilecek LNG Sızıntısı Riskini Önleyebilecek Tedbirler

Buraya kadar açıklanan LNG gemileri dizayn tedbirleri ve operasyonel tedbirler de kasti eylemler olarak nitelenebilecek sabotaj, terörist saldırı gibi eylemler sonucunda oluşabilecek bir LNG sızıntısı riskini önlemek için rol oynar.

Ancak bu riske karşı alınabilecek ilave Güvenlik Tedbirleri 11 Eylül olaylarından sonra IMO'nun SOLAS Bölüm XI-2'e getirdiği Uluslararası Gemi ve Liman Tesisleri Güvenliği Kodu (ISPS) ve 1 Temmuz 2004 tarihinde yürürlüğe giren zorunluluklar kapsamında da değerlendirilebilir[12].

Bu çalışmanın bölüm 3.2.1'inde sıralan zorunlu güvenlik tedbirleri şöyle özetlenebilir:

7.4.4.1 Güvenlik seviyeleri

Bayarak ve Liman devletleri güvenlik bilgilerini kendi gemilerine ve limanlarına belirlenmiş güvenlik seviyeleri formatında verirler. Belirlenmiş üç güvenlik seviyesi deniz ulaştırmasına yapılabilecek bir terörist faaaliyetin olabilirliğini ifade eder. Her bir seviye gemi, liman ve liman tesisleri güvenlik planlarında belirtilen sıralı tedbirlerin alınmasını sağlar.

7.4.4.2 Gemi güvenlik planları

Bayrak devleti düzenlemeleri SOLAS'a istinaden 500 grostondan büyük ve uluslararası seyreden (LNG gemileri gibi) her deniz vasıtası için işletmelerin aşağıdaki hususları içeren güvenlik planı hazırlamalarını zorunlu kılmaktadır[17].

- Personel, yolcu ve ziyaretçilerin gemiye giriş/çıkışları,
- Geminin girişi sınırlı bölgeleri,
- Yükün taşınması,
- Gemiye malzeme giriş/çıkışı,
- Sahibi olmayan malzemeye yapılacak işlemler,
- Gemi güvenliğinin izlenmesi,

Gemi güvenlik planı uygulamasının bayrak devleti ya da atadığı bir güvenlik kuruluşu tarafından gemide denetlenerek Uluslararası Gemi Güvenlik Sertifikası'nın düzenlenmesi zorunlu kılınmıştır.

7.4.4.3 Gemi güvenlik alarm sistemi

ISPS Kodu'na göre gemi personelinin gemide terörist tespit ettiğini ilgili makamlara bildirebilmesi için bir alarm sistemi zorunludur. Gemi Güvenlik Alarmı gemide çalmaz ilgili makamları bir güvenlik sorunu yaşandığı konusunda ikaz eder[12].

7.4.4.4 Otomatik tanımlama sistemi

Bulunduğu geminin adını, yerini, yükünü, seyir bilgilerini bir verici vasıtasıyla alıcısı olan diğer gemi ve istasyonlara bildirir. Çatışmaları azaltmayı ve liman devleti kontrollerini kolaylaştırmayı amaçlar. Liman güvenliğinin ön adımı olarak nitelenebilir.

7.4.4.5 Liman güvenlik planları

Uluslararası gemilere hizmet veren her liman ISPS Kod'u gereğince liman tesisleri güvenlik yetkilisi atamak ve liman tesisleri güvenlik planı hazırlamaktan sorumludur.

Bu planlar limana gelen gemilerin yükleme, boşaltma, yakıt alma, malzeme ve yolcu transferi gibi işlemlerde alınacak emniyet tedbirlerini içermektedir.

7.4.4.6 Güvenlik bildirgesi

Güvenlik gerekliliklerinin yerine getirildiğine dair gemi ve gireceği liman tesisleri tarafından gemi güvenlik subayı ve liman tesisleri güvenlik yetkilisi arasında koordine edilerek hazırlanan belgedir.

7.4.4.7 Terminal güvenlik planları

Özellikle A.B.D'nde LNG gemisi yanaşan her LNG terminali bir güvenlik planı hazırlamak zorundadır. Bu planda şu husular bulunur[26].

- Tesisin güvenlik idaresi ve organizasyonu,
- Personel eğitim durumu,
- Yapılan tatbikatlar,
- Kayıtlar ve dokümanlar,
- Güvenlik seviyesi değişimine reaksiyon derecesi,
- Gemi işlemlerine yönelik talimatlar,
- Haberleşme,
- Güvenlik sistemi ve ekipmanlarının çalışabilirliği ve bakımı,
- Tesise giriş/çıkış, girişi sınırlı sahalar, yük taşıma, malzeme transferi güvenlik tedbirleri,
- Güvenlik sorunu olduğu durumda yapılacaklar,
- Denetlemeler ve plana ait düzeltmeler.

Gemi güvenlik planlarında olduğu gibi tesis güvenlik planları da sorumlu idare tarafından onaylanmalıdır.

7.5 Emniyet Sistemi Model Önerisi

Buraya kadar sıkça vurgulandığı gibi LNG'nin kendine has özellikleri nedeniyle LNG taşımacılığında Risk Yönetimi yaklaşımını içeren bir Emniyet Sistemi daha etkili olabilir. Mevcut düzenlemeler tehlikelerin sürekli değişiklik arz ettiği ve süratle geliştiği bir ortamda bütünleşik bir emniyet ve güvenlik yapısı için, emniyet ve güvenlik ihtiyaçlarına öncelikli bir şekilde, daha esnek ve süratli uyum sağlayacak düzenleme ve talimatlarla güncellenebilir.

7.6 Riskin Önlenmesi ve Azaltılması Açısından Yaklaşım Modeli

Mevcut emniyet yapısını tamamlayabilecek, LNG sızıntısı gibi bir risk taşıyan ortamda potansiyel zararlı sonuçların büyük resmini de görmeyi sağlayacak, Hedef, Mekanizma ve Zararlı Sonuçlar modeli burada önerilmektedir[25]. Örneğin LNG sızıntısı neticesinde çıkan bir yangında (mekanizma) çevreye yayılan ısı enerjisi transferin yapıldığı yerin civarındaki bir evin (hedef) hasar görerek kullanılamaz hale gelmesine (zararlı sonuç) sebep olabilir.

Hedef; fiziksel nesneler ve alt sistemler olduğu gibi gemi adamları, sahil operatörleri ya da yakın çevredeki halk olarak düşünülebilir. Hedefler Tablo 8.1 ile gösterilmiştir.

Tablo 7.1: Hedef Tablosu

Yüzen Hedefler	Sudaki Sabit Hedefler	Sahildeki Hedefler
LNG Tankeri	Köprü	LNG depolama tesisi
Diğer Tankerler	Tünel	Komşu sanayiiler
Güvenlik eskortu	LNG terminali ve rıhtımı	Yaşam ve iş yerleri
Kurtarma Vasıtası	Dar kanallar	Yollar
Yat	Akar	Hava Alanları

Mekanizma; hata/arıza mekanizmaları kazayla ya da bilerek başlayabilir. Fiziksel, haberleşmeye dayalı, insan kaynaklı olarak kategorilendirilebilir. Mekanizmalar Tablo 8.2’de gösterilmiştir.

Tablo 7.2: Mekanizma Tablosu

Fiziksel	Haberleşme Kaynaklı	İnsan Kaynaklı
Çarpışma ve diğer olaylar	Gemi haberleşmesi	Sabotaj
Tank veya borularda çatlak	Gemi kontrol haberleşmesi	Casusluk
Yük patlaması	Liman haberleşmesi	Sızma
Doğrudan patlama	Operasyonel haberleşme	Tahrip
Yangın	Gemi-sahil haberleşmesi	Saşırtma
Soğuk sıvı hasarları	Acil durum haberleşmesi	Saklanma

Zararlı sonuç; bilerek ortaya çıkan mekanizmaların zararlı sonuçları zaman ve yer seçilerek yapıldığından kazara ortaya çıkan mekanizmaların zararlı sonuçlarından daha fazladır.

Tablo 7.3: Zararlı Sonuç Tablosu

Lokal	Zincirleme	Gecikmiş
Personelde ölüm yaralanma	Rehber vasıtada ölüm/yaralanma	Kurtarma vasıtasında ölüm/yaralanma
LNG gemisi hasarı/kaybı	Rehber vasitanın hasar/kaybı	Takip eden LNG taşımacılığının bozulması
Su yolunun kapanması	Diğer su yollarında operasyonun durması	Takip eden LNG taşımacılığının iptali
Çevre yapılar da yangın hasarı	Diğer yapı ve ekipmanların kullanılamaması	Terminalin iptali
Çevre halkta ölüm/yaralanma	Çevre halkta ölüm/yaralanma	Diğer yapı ve ekipmanların kullanılamaması
	Ekonomik kayıplar	Ekonomik ve enerji kaynağı kayıpları

Bütün elde edilen sonuçlar aşağıda ana değerlendirme kriterleri ve takiben adım adım geliştirilebilecek süreçleri açıklanan topyekün bir risk önleme ve azaltma dolayısıyla Risk Yönetim yapısının geliştirilmesine katkı sağlar.

Ana değerlendirme kriterleri şöyle sıralabilir:

- LNG taşımacılığının ve transferinin yapıldığı bölge, bölgenin koşulları ve LNG taşımacılığının bölge için önemi,
- Potansiyel tehlikeler ve hedefler; kaza riskleri, muhtemel kasti eylemler, LNG gemisi veya terminalin özellikleri,
- Risk yönetiminin hedefleri; zararlı sonuçlara tahammül derecesi (en fazla mal hasarı gibi), LNG taşımacılığının devamında görülen zorunluluk v.s.
- Korunma sistemlerinin yeterliliği; LNG tankeri emniyet ve güvenlik tedbirleri, terminal emniyet ve güvenlik tedbirleri, erken ihbar ve acil durum tedbirleri v.s.

Bu kriterlerin belirlenmesinden sonra verilecek kararlar aşağıdaki adımlara geçilebilir.

7.6.1 Adım I Durumun Tespiti

- LNG taşımacılığı yapılacak rotalarda ve yükleme/boşaltma terminali çevresindeki köprüler, tüneller, sabit cisimler, ticari kuruluşlar, yaşam ve çalışma yerleri, endüstriyel yapılar v.s ve bunlara olan uzaklıklar,
- LNG taşımacılığı yapılacak rotalarda ve yükleme/boşaltma terminali çevresinde mevcut su yollarının durumu,
- Bölgenin genel iklimi, sıcaklık, nem, rüzgar durumu ve istatistikleri,
- Med-cezir, akıntı durumu ve muhtemel LNG sızıntısına etkileri,
- Bölgenin sismik yapısı, transferde deprem durumu
- LNG tankerinin tipi ve özellikleri,
- Taşımacılığın sıklığı,
- İçinde bulunan zamanda LNG taşımanın önemi,

- LNG taşımacılığı yapılacak rotalarda ve terminal limanında trafik durumu.

7.6.2 Adım II Olası Tehlikelerin Belirlenmesi

- Kazalara yol açabilecek olayların değerlendirilmesi; rotalardaki gemi yoğunluğu, dar suların varlığı, hava koşulları, ihbar ve haberleşme sistemleri v.s
- Muhtemel kasti olayların değerlendirilmesi, güvenlik seviyeleri, geçmiş olaylar v.s
- Hedeflerin nispi değeri; LNG taşımacılığına etkileri, bölgeye etkileri, ekonomi ve enerji açısından önemi v.s

7.6.3 Adım III Risk Yönetimi Hedeflerinin ve Zararlı Sonuçların Seviyelerinin Belirlenmesi

- Taşımacılığın kesilmesine tahammül derecesi; muhtemel hasarın giderilmesi için gereken süre v.s
- Taşımacılığın kesilmesinin ekonomiye etkileri,
- Muhtemel sızıntıdan doğabilecek gemi/terminal hasar miktarının hesaplanması,
- Muhtemel sızıntıdan doğabilecek insan sağlığı ve çevreye hasarın hesaplanması,

7.6.4 Adım IV Mevcut Koruyucu Tedbirlerin ve Risk Yönetimi Sistem Elemanlarının Belirlenmesi

Bu adımda LNG tankeri, su yolları ve terminallerdeki tüm emniyet ve güvenlik tedbirleri gözönünde bulundurulur[11, 12, 14, 15, 17, 19, 21].

- Operasyonel risk önleyici ve risk azaltıcı tedbirler,
- LNG tankerinin emniyet ve güvenlik mekanizmaları,
- Acil destek elemanları; rehberleme, yangın, sağlık v.s
- Erken ihbar sistemleri,

- Mevcut yapı içerisindeki denetlemeler neticesinde alına sonuçlar,
- Hava, deniz v.s durumlarda taşımacılığın seyrini değiştirebilme durumu,
- LNG tankeri dizayn özellikleri,

7.6.5 Adım V Risklerin Analizi ve Değerlemesi

Önceki bölümlerde açıklanan teknik ve metodlara uygun olarak oluşturulan Olay Ağacı ve Hata Ağacı incelemesi ile risk olasılıkları hesaplanarak değerlendirmeye tabii tutulur.

Elde edilen neticeler can, mal ve çevre emniyeti açısından kabul edilebilir olarak değerlendiriliyorsa mevcut tedbirler yeterlidir ve taşımacılık halihazırdaki durumu ile devam edebilir. Ancak eğer mevcut tedbirlere rağmen hesaplanan riskler kabul edilemez seviyede ise ilgili alt sisteme ait tedbirler gözden geçirilmelidir.

7.6.6 Adım VI Risk Önleyici ve Risk Azaltıcı Tedbirler

Bu adımda mekanizma; eğer mevcut tedbirlere rağmen hesaplanan riskler Risk Yönetimi hedeflerine göre kabul edilemez seviyede ise ilgili alt sisteme ait tedbirleri gözden geçirmek üzere kendini tekrarlamaya başlar.

Mevcut tedbirlerin bir kombinasyonu aranabilir yada yeni tedbirler uygulamaya sokularak sonuçları aynı sistem bütünlüğü içinde sınanır.

Açıklanan bu metodoloji mevcut tedbirlerin yapısal düzenini bozmadan, önalcı, sorgulayıcı, iyileştirici, basit ve süreklilik arz eden bir yapıda olduğundan mevcut tedbirleri tamamlayıcı olarak kullanılabilir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada LNG Taşımacılığı'nın Risk Analizini yapmak ve bir Emniyet Yönetim Modeli incelenmesinde bulunmak amaçlanmıştır. Bu maksatla, öncelikle mevcut literatüre istinaden enerji sektöründe dünyadaki gelişmeler özetlenmiş, ülkemizdeki mevcut duruma ilişkin bilgiler verilmiş ardından dünyada ve ülkemizdeki artan doğal gaz talebi karşısında uzak mesafelere doğal gazın taşınması için halen kullanılan LNG taşımacılığı ele alınmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde LNG gemilerinin ve işletmelerinin güvenliği ile ilgili mevcut temel düzenleme, standart ve kuralların kısa bir özeti yapılmıştır. LNG'nin özellikleri ve nasıl taşındığı açıklandıktan sonra bir Deniz Ulaştırma Sistemi olarak tanımlanan LNG taşımacılığının denizlerde taşımacılığın temel kuralı olan can, mal ve çevre emniyeti açısından ortaya koyduğu muhtemel tehlikeler sıralanmıştır.

HMIRS (Hazardous Materials Incident Reporting System) ve MINMOD (Marine Investigations Module, diğer bilinen adıyla, Marine Casualty and Pollution Database) veritabanları esas alınarak yapılan bir çalışmada; LNG sızıntısının tespit edildiği olay sayısı MINMOD veritabanında 96, HMIRS veritabanında ise 22 olarak tespit edilmiştir. Aradaki farkın HMIRS veritabanının daha çok kara ve demiryolu ile yapılan taşımacılığa yoğunlaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir[31].

Yapılan analizde tespit edilen olaylardan HMIRS veritabanına göre hiçbirisinde LNG tutuşması ve patlama görülmediği, MINMOD veritabanına göre ise yalnızca bir olayda LNG tutuştuğu ancak patlamadığı raporlanarak LNG'nin ortalama tutuşma ve patlama olasılıkları sıfır olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Bu çalışma neticesi de; yukarıda varılan sonucu destekleyecek şekilde, LNG taşımacılığı teknolojisinin bu endüstrinin diğer kollarına nazaran gelmiş olduğu yüksek emniyet seviyesini ortaya koymaktadır.

LNG taşımacılığındaki muhtemel tehlikelerin risklerini belirleyebilmek için öncelikle Risk kavramı ve Risk Tabanlı Yönetim Sistemlerinin temelini oluşturan Risk Değerleme sistematigi açıklanmaya çalışılmıştır. Bu sistematigin genel yapısı

içerisinde yer alan Tehlike Analizi, Risk Analizi, Risk Değerlendirme, Risk Değerleme ve Risk Yönetimi sadece kavram olarak değil aynı zamanda LNG Taşımacılığı'nın Risk Tabanlı Yönetimi nasıl tesis edilebilir sorusuna da cevap aranarak incelenmiştir.

Bu inceleme kapsamında Risk Analizi metodları tek tek ele alınmış ve mukayeseli sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Daha önce süratli yolcu taşıma vasıtalarında (HSC) çatışma riskini Bayesian Belief Network (BBN) ile inceleyen bir çalışmadan yola çıkarak LNG Taşımacılığı'nda sızıntı riskinin bu methodla analiz edilip edilemeyeceği sorusuna cevap aranmıştır. Yapılan incelemede BBN'in Deniz Ulaştırma Sistemleri gibi karmaşık ve sistem organizasyonel faktörlerinin oldukça fazla sayıda olduğu sistemlerde klasik risk analizi metodlarından Olay ve Hata Ağaçları metodlarının geliştirilmiş bir versiyonu olarak yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

Öncelikle BBN metodolojisi incelenmiş ve metodun temelini oluşturan Bayes Olasılık Teoremi açıklanmıştır. Ardından BBN formatına uygun Deniz Ulaştırma Sistemi organizasyonel faktörlerinin birbirleriyle olan ilişkilerini ortaya koyan model ağaç örneği oluşturulmuştur. Geçmişte LNG gemilerinden kaynaklanmış sızıntı kazaları istatistiğinden faydalanılarak BBN metodolojisine ve Hata Ağacı Analizine (FTA) uygun, bir kaza olduğunda oluşabilecek LNG sızıntısının muhtemel sebeplerden olma olasılığı hesaplanmıştır. Sonuçta BBN metodunun LNG Taşımacılığı'nda bir risk analizi metodu olarak kullanılabileceği önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında ek olarak Risk Yönetiminin özünde var olan risk önleyici (risk prevention) ve risk azaltıcı (risk mitigation) tedbirler açısından LNG Taşımacılığı Emniyet Modeli mevcut emniyet yönetimi düzenlemelerini tamamlayıcı model olarak önerilmiştir.

Bu çalışmayla yukarıda bahsedilen konulara ilişkin olarak Türkçe literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

Takiben yapılacak çalışmaların; güncel veri tabanlarının incelenmesi neticesinde elde edilecek bulgularla, Türkiye'nin LNG gemisi ihtiyacı, Türkiye'de LNG gemisi inşaatı, Türkiye LNG terminallerinin Risk Tabanlı Emniyet Yönetimi gibi konulara yönelenebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **IX. Kalkınma Planı (2007-2013)**, 2006, Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı Yayın ve Basım Şube Müdürlüğü, Ankara
- [2] **Belen,Tuncay**, 2007, ENKUS 2007 Açış Konuşması, İTÜ Enerji Çalıştay ve Sergisi, Bildiriler ve Sunumlar, İTÜ Enerji Enstitüsü Yayınları, İTÜ Matbaası, İstanbul
- [3] **Selçuk, Nevin**, 2006, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji İhtiyacı Açısından İzleyeceği Politika Ne Olmalıdır?, *Türkiye'nin Enerji Stratejisi Ne Olmalıdır* , Harp Akademileri K.lığı Stratejik Araştırmalar Enstitüsü, İstanbul, 26-27 Ocak, III. Oturum
- [4] **Altıparmak, Murat**, 2007, TPAO Yurt İçi ve Yurt Dışı Petrol ve Doğalgaz Arama ve Üretim Faaliyetleri ve Hedefi, İTÜ Enerji Çalıştay ve Sergisi, Bildiriler ve Sunumlar, İTÜ Enerji Enstitüsü Yayınları, İTÜ Matbaası, İstanbul
- [5] **IEA**, 2007, Global Energy Trends, *World Energy Outlook*, International Energy Agency Administration www.iea.org/Textbase/about/copyright.asp, ISBN: 978-92-64-02730-5
- [6] **EIA**, 2007, Natural Gas, *International Energy Outlook 2007*, Energy Information Administration Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy, Washington DC, USA, May 2007, 39-47, www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html.
- [7] **BP**, 2007, Natural Gas, *Statistical Review of World Energy*, June 2007
- [8] **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi**, 2006, *Türkiye 10. Enerji Kongresi Sonuç Bildirgesi*, 27-30 Kasım 2006, İstanbul
- [9] **Güler, M. Hilmi**, 2008, 7/1779 Sayılı Yazılı Soru Önergesine Cevap, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 03 Mart 2008 tarih ve B.15.0.SGB.610-368 sayılı yazısı, Ankara
- [10] **ABS**, 2006, Gas Carrier Training Course Notes, updated in February 2006
- [11] **IGC Code**, 2005, Resolution MSC.103(73) - Adoption of Amendments to the International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code) - (Adopted on 5 December 2000),

- [12] **ISPS Code**, 2004 , International Code for the Security of Ships and of Port Facilities, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [13] **Aspen Enviromental Group**, 2005, International and National Efforts to Address The Safety and Security Risks of Importing Liquefied Natural Gas: A Compendium, Sacramento, CA, USA
- [14] **Lloyd's Register Guidance Information**, 2004, Guidance Notes for the Classification of Special Service Craft – Version 1.0 Design Details, July 2004, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [15] **MSC/Circular.1151**, 2004, Revised List of Certificates and Documents Required to be Carried on Board Ships - (17 December 2004) - Annex - Certificates and Documents Required to be Carried on Board Ships, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [16] **Lloyd's Register**, 2002, Lloyd's Register Rules and Regulations - Rules and Regulations for the Construction and Classification of Ships for the Carriage of Liquefied Gases in Bulk, July 2002, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [17] **SOLAS**, 1974, International Convention for the Safety of Life at Sea - Chapter I - General provisions - Part B - Surveys and certificates [Harmonised 1988 Protocol Requirements] - Regulation 12 - Issue or endorsement of certificates, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [18] **Load Lines**, 1966/1988, International Convention on Load Lines, 1966, as Amended by the Protocol of 1988 - Articles of the International Convention on Load Lines, 1966 - Article 16 - Issue of Certificates, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [19] **MARPOL**, 1973/1978, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships Amended by Resolution MEPC.111(50) Amended by Resolution MEPC.115(51) Amended by Resolution MEPC.116(51) - Annex I of MARPOL 73/78 Regulations for the Prevention of Pollution by Oil and Unified Interpretation of Annex I - Regulation 5 - Issue or Endorsement of Certificate, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [20] **International Convention on Tonnage Measurement of Ships**, 1969, Articles of the International Convention on Tonnage Measurement of Ships - Article 7 - Issue of Certificate, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [21] **AFS**, 2001, International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships, 2001 - Annex 1 - Controls on Anti-Fouling Systems, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [22] **IMO (Res. A.500(XII))**, 19 November 1981, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006

- [23] **IMO**, 2002, Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO Rule-Making Process, MSC Circ. 1023 and MEPC Circ. 392, 5 April 2002
- [24] **Kontovas C. A.** , 2005, Formal Safety Assessment Critical Review and Future Role, Diploma Thesis, School Of Naval Architecture And Marine Engineering National Technical University Of Athens, Greece
- [25] **Hightower M., Gritzo L.**, 2004, Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water, Sandia Report, California, U.S.A
- [26] **ABS**, 2003, Risk Evaluations For The Classification Of Marine-Related Facilities, New York, U.S.A, June
- [27] **Marine Log**, 2007, Environmental Technology , August 2007, pg 35-38
- [28] **Cleaver P., Johnson M.**, 2006, A summary of some experimental data on LNG safety, *Journal of Hazardous Materials* ,**140** (2007), 429–438
- [29] **Pitblado R.**,2006, Potential for BLEVE associated with marine LNG vessel fires, *Journal of Hazardous Materials* 140 (2007), 527–534
- [30] **Hissong D.W.**, 2006, Keys to modeling LNG spills on water, *Journal of Hazardous Materials*, **140** (2007), 465–477
- [31] **Ronza A.**, 2006, Using transportation accident databases to investigate ignition and explosion probabilities of flammable spills, *J. Hazard. Mater.* (2007), doi:[10.1016/j.jhazmat.2006.11.057](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.057)
- [32] **P. Trucco, E. Cagno, F. Ruggeri and O. Grande**, 2007, A Bayesian belief network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime, *Reliability Engineering and System Safety*, doi:[10.1016/j.ress.2007.03.035](https://doi.org/10.1016/j.ress.2007.03.035)
- [33] **Ha J. S., Seong P. H.**, 2003, A method for risk-informed safety significance categorization using the analytic hierarchy process and Bayesian belief networks, Department of Nuclear and Quantum Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 373-1, Guseong-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-701, South Korea.
- [34] **Gulvanessian H., Holicky M.**, 2001, Determination of actions due to fire: recent developments in Bayesian risk assessment of structures under fire, *Building Research Establishment*, Garston, Watford, UK, Klokner Institute, Prague, Czech Republic.
- [35] **Borsuk, M. E., Stowl C. A.**, 2003, Reckhow K. H., A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis, division of environmental science and policy, Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Duke University, P.O. Box 90328, Durham, NC 27708-0328, USA

- [36] **Formal Safety Assessment**, Consideration on utilization of Bayesian network at step 3 of FSA, Maritime Safety Committee, 81st session, 2006, MSC 81/18/1.
- [37] **B Net Builder**, 2004, Charles River Analytics, Inc., Cambridge
- [38] **Niedermayer, Daryle**, 2003, An Introduction to Bayesian Networks and Their Contemporary Applications, <http://www.niedermayer.ca/papers/bayesian/bayes.html>
- [39] **ABS Consulting**, 2004, Consequence Assessment Methods for Incidents Involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers
- [40] **STCW Code**, 1978, 1995 , Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping Code, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006
- [41] **ISM Code**, 2000, International Management Code and Revised Guidelines on Implementation of the ISM Code - Management for the safe operation of ships SOLAS Chapter IX, *Lloyd's Register Rulefinder*– Version 9.5, January 2006

ÖZGEÇMİŞ

06.09.1970 tarihinde Çankırı'da doğdu. İlk öğrenimini Manisa Ali Rıza Çevik İlkokulu'nda, orta öğrenimini Manisa Atatürk Ortaokulu'nda, lise öğrenimini Heybeliada Deniz Lisesi'nde tamamladı. 1990 yılında lisans öğrenimine başladığı Deniz Harp Okulu Elektrik/Elektronik Bölümü'nden 1992 yılında mezun oldu. Harekat Elektronik Görev Öncesi Kursu'nu takiben Elektronik Subaylığı'na atandı. 1995-1996 yıllarında Virginia Beach/Dam Neck-A.B.D'de G Sınıfı Firkateyn Komuta Kontrol Kursu gördü. Donanma bağlısı gemilerde Harekat Elektronik Subaylığı, Seyir Subaylığı ve Harekat Subaylığı görevlerinde bulundu. 2005 yılında Deniz Harp Okulu Komutanlığı Dekanlığı Mesleki Bilimler Böl. Başkanlığı Seyir Gemicilik Ana Bilim Dalı Başkanlığı Seyir Öğretim Elemanı olarak atandı. 2006 yılında Beykent Üniversitesi Yönetim Organizasyon Yüksek Lisans programını tamamladı. Halen Deniz Harp Okulu Seyir Öğretim Elemanı olarak görev yapmakta ve İ.T.Ü Denizcilik Fakültesi'nde Elektronik Seyir dersi vermektedir. Bayan Aygöl ALAN ile evli olup Simay adında bir kızı vardır. İngilizce bilmektedir.