

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LNG KARAYOLU TAŞIMACILIĞINDA ÇEVRESEL RİSK
DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Atakan ÖZTEKİN**

Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Programı : Çevre Bilimleri ve Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlhan TALINLI

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LNG KARAYOLU TAŞIMACILIĞINDA ÇEVRESEL RİSK
DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Atakan ÖZTEKİN
(501011853)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İlhan TALINLI (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cumali KINACI (İTÜ)
Prof. Dr. Orhan YENİGÜN (BÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmam sırasında bana yol gösteren, yönlendiren değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof.Dr.İlhan TALINLI'ya ve tez çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş.Gör.Emel TOPUZ'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmayı oluşturmamda LNG Dağıtım ve İkmal Sorumlusu pozisyonunda deneyim kazanmama bulundukları katkılar ile beni destekleyen AKPET GAZ A.Ş.'ye değerli Genel Müdürü Sayın Gökhan ÖZTÜRK' e , teknik konularda beni bilgilendiren Sayın İlhan TERZİOĞLU' na ve Sayın Vefa AHISKALI' ya desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin hazırlanış aşamasında ve hayatımın tümü boyunca beni destekleyen, beni teşvik eden, özveride bulunan, bana inanan aileme çok teşekkür ederim.

Ocak , 2010

Atakan ÖZTEKİN
Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xvi
ÖZET	xx
SUMMARY	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
2. ÇEVRESEL RİSK DEĞERLENDİRME	3
2.1 Çevre Yönetimi	3
2.1.1 Çevre yönetiminin tanımı	3
2.1.2 Çevre yönetim sistemi kavramının doğuşu	4
2.1.3 Çevre yönetiminin amacı	4
2.1.4 Çevre yönetim sistemi standartları	5
2.1.4.1 BS 7750 çevre yönetim sistemi	5
2.1.4.2 EMAS çevre yönetim sistemi	5
2.1.4.3. ISO 14001 çevre yönetim sistemi	6
2.1.4.4 Çevre etki değerlendirme (ÇED)	7
2.2 Risk Tanımı	8
2.2.1 Risk	8
2.2.1.1 İş hayatında olası riskler ve risk faktörleri	9
2.3 Risk Analizi	9
2.3.1 Risk değerlendirme metotları	9
2.3.2 Risk değerlendirmesi adımları	10
2.3.3 Risk değerlendirmesi yapmanın faydaları	13
2.4 Risk Matrisi	14
2.5 Çevresel Risk Değerlendirme Model Yaklaşımı	14
2.5.1 Çevresel risk değerlendirme sisteminin fonksiyonları	15
2.6 Risk Yönetimi İlkeleri	18
2.6.1 Tehlikeler için risk analizi ilkeleri	19
2.7 Avrupa Birliği Topluluğunda Kimyasal Madde Risk Değerlendirme Yaklaşımı ve Mevzuatları	24
2.7.1 REACH mevzuatı	24
2.7.1.1 REACH mevzuatı amacı	24
2.7.1.2 Mevzuatın kapsamı	25
2.7.1.3 REACH mevzuatına uyum	26
2.7.2 EPA tarafından sunulan risk değerlendirme yaklaşımları	27
2.8 Tehlikeli Maddeler ve Çevresel Risk Değerlendirmesi	27
2.8.1 Tehlikeli madde tanımı	27
2.8.2 Tehlike analizi	30

3. LNG ve DOĞAL GAZ	31
3.1 Doğalgaz	31
3.1.1 Sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) tarihi gelişimi	32
3.1.2 Dünya’da enerji kaynakları içerisinde doğal gazın yeri	37
3.2 LNG	38
3.2.1 LNG’ nin kimyasal özellikleri	38
3.2.1.1 Yanıcılık	39
3.2.1.2 LNG kaynaklı ateştopu (fireball)	39
3.2.1.3 Hızlı hal değiştirme (rapid phase transitions)	40
3.2.1.4 Toksikolojik bilgiler	40
3.2.2 LNG’nin tercih sebepleri	40
3.2.3 LNG depolanması	42
3.2.3.1 LNG tesislerinde ve depolamada kullanılan ekipmanlar	44
3.2.4 LNG taşınması	50
3.2.4.1 LNG ikmali	51
3.2.4.2 Tanker operatörleri talimatnamesi	52
3.2.4.3 LNG’nin taşınmasında uyulması gereken genel güvenlik kuralları	55
3.2.5 LNG mevzuat bilgisi	56
4. BULANIK MANTIK ve ANALİTİK HİYERARSİ PROSESİ (AHP)	59
4.1 Esnek Bilgi İşlem (SC) ve Bulanık Mantık	60
4.1.1 Bulanık mantık kullanım şekli ve alanları	61
4.1.1.1 Bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP)	64
4.1.2 İkili karşılaştırma alternatif matrisinin özellikleri	68
4.1.3 Bulanık küme teorisi ve bulanık küme	71
4.1.4 Genişletilmiş bulanık AHP yöntemi (Chang 1996)	81
5. RİSK YÖNETİMİ YAKLAŞIMININ LNG TAŞIMACILIĞIN UYGULANMASI	83
5.1 LNG Taşımacılığının Risk Analizi	83
5.1.1 LNG için risk analiz planı oluşturulması	84
5.2 Risk yönetiminin emniyet hedeflerinin belirlenmesi	84
5.3. LNG Taşımacılığı Emniyet Yönetim Modeli	85
5.3.1 Genel	85
5.4 LNG Taşımacılığında Risk Önleyici ve Risk Azaltıcı Tedbirler	86
5.5 LNG Tehlike Tanımı	87
5.5.1 Tehlikenin en aza indirilebilmesi için alınabilecek önlemler	87
5.5.2 Olay ağaçları hazırlanması	88
5.5.3 Hata ağaçları	89
5.5.4 LNG sızıntısına sebep olabilecek muhtemel tehlikeler	89
5.5.4.1 LNG sızıntısının sebep olabileceği zararlı sonuçlar	90
5.5.4.2 Soğuktan kaynaklanan yapısal hasarlar	91
5.5.4.3 Yanıcılık	91
5.5.4.4 LNG-hava karışımının basınçla birlikte patlaması (explosion)	92
5.5.4.5 Hızlı Hal Değiştirme (rapid phase transitions)	92
5.5.5 Hazırlık Adımı	92
5.5.5.1 Fİ ölçüm adımı	96
5.5.5.2 Fİ hiyerarşisindeki faktörlerin ölçümü	98
5.5.5.3 Faktörlerin ikili karşılaştırılması	120

5.5.5.4 Puanları SYBS haline dönüştürme.....	121
5.5.5.5. Faktör indeksi hesabı	122
5.5.5.6 Durulaştırma	123
5.5.6 Risk olasılığı ve risk şiddeti adımının hesaplanması.....	123
5.5.7 Bulanık sonuç çıkarma	123
6. UYGULAMA	127
6.1 LNG'nin Karayolu İle Taşınacağı İşletme için Çevresel Risk Değerlendirme.....	127
6.1.1 Hazırlık adımı	127
6.1.2 Fİ ölçüm adımı	129
6.1.3. Faktörlerin ikili karşılaştırılması.....	132
6.1.4. Faktör indekslerinin hesaplanması	139
6.1.5 Risk olasılığı ve risk şiddeti adımının hesaplanması	147
6.1.6 Bulanık sonuç çıkarma	148
SONUÇ VE ÖNERİLER	153
KAYNAKLAR	157

KISALTMALAR

PUKO	: Planla-Uygula-Kontrol et-Onar
ISO	: International Standard Organization
GATT	: General Agreement on Tariffs and Trade
BS	: British Standard
EMAS	: Environmental Management and Audit Scheme
AB	: Avrupa Birliği
HBD	: Hayat Boyu Değerlendirme
ÇYS	: Çevre Yönetim Sistemi
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirme
FMEA	: Failure Modes and Effects Analysis
HAZOP	: Hazard & Operability Studies
ECOT	: Ekolojik Zehirlilik
MKM	: Tehlikeli Maddeye Maruz Kalma Şekli
BS	: Değerlendirilen Bölgenin Sınırları
YFK	: Yaşam, Faaliyet ve Kullanım
CK	: Çevre Kaynakları
BT	: Yasama Tehlikeli Özellikleri
LC	: su yaşamında etkili zehirlilik değerleri
LD	: insan sağlığı için etkili zehirlilik değerleri
REACH	: Registration, Evaluation and Authorisation/Restriction of Chemicals
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
GBF	: Güvenlik Bilgi Formları
EPA	: Environmental Protection Agency
ERAGS	: Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund
LNG	: Liquefied Natural Gas
OECD	: Organization for Economic Co-operation and Development
CAMEL	: Compagnie Algerienne du Methane Liquide
FO	: Fuel Oil
LFL	: Lower Flammability Limit

UFL	: Upper Flammability Limit
THT	: Tetra Hidro Tiofen
AHP	: Analitik Hiyerarşı Prosesi
MIT	: Massachusetts Institute of technology
NN	: Yapay Sinir Ağları
GA	: Genetik Algoritmalar
PNL	: Kesinleştirilmiş Doğal Dil
CTP	: Gözleme Bağlı işlem Teorisi
ÇB	: Çok Yüksek
B	: Büyük
O	: Orta
D	: Düşük
ÇD	: Çok Düşük
ÇY	: Çok Yüksek
Y	: Çok Yüksek
İE	: İhmal Edilebilir
Ö	: Önemli
Ös	: Önemsiz
RO	: Risk Olasılığı
RŞ	: Risk Şiddeti
RB	: Risk Büyüklüğü
Fİ	: Faktör İndeksi
SYBS	: Standart Yamuk Bulanık Sayı

SEMBOL LİSTESİ

T_ö: Tehlikeli Maddenin Özellikleri

S: Çözünürlük

D: Yoğunluk

F: Parlayıcılık

C: Korozyon

RP: Reaktivlik ve Peroksitler

Tox: Zehirlilik

ht: İnsan Sağlığına Zehirlilik

Tt: Tehlikeli Maddelerin Tasinimi

Eö: Ekosistem Özellikleri

BS: Değerlendirilen Bölgenin Sınırları

Q: Miktar.kh.

α : İyimserlik indeksi

$\tilde{A}$: Üçgensel bulanık sayısı

a_{ij} : Karşılaştırılan seçeneklerin birbirine göre önemleri

$A_1, A_2, \dots, A_n$: Matris Kriterleri

$\lambda_{\max}$: en büyük öz deger

$v(A)$: Önermenin doğruluk değeri

$\mu_A(u)$: Doğruluk fonksiyonu

U : Evreninin Tipik Elemanı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Olası tehlikelere karşı oluşabilecek riskler.....	8
Çizelge 2.2: Risk analizi teknikleri ve genellikle kullanıldıkları sahalar.....	11
Çizelge 2.3: Risk analizi tekniklerinin karşılaştırılması.....	12
Çizelge 2.4: 1.Risk matrisi.....	14
Çizelge 2.5: 2.Risk matrisi.....	14
Çizelge 2.6: Parlama noktasına karşılık gelen parlayıcılık	17
Çizelge 3.1: Yıllara göre doğalgaz alımı.....	34
Çizelge 3.2: Yıllar itibariyle dünya doğal gaz üretimi (milyar m ³).....	35
Çizelge 3.3: Yıllar itibariyle dünya doğal gaz tüketimi.....	36
Çizelge 3.4: Dünya birincil enerji talebinin dağılımı.....	37
Çizelge 3.5: LNG tankeri boşaltma talimatı.....	53
Çizelge 3.6: LNG sistemlerinde uluslararası standartlara uygun emniyet mesafeleri	56
Çizelge 4.1: Önem skalası tanımları ve değerleri	68
Çizelge 4.2: Faktörler için ikili karşılaştırma matrisleri	69
Çizelge 4.3: Bulanık analitik hiyerarşik proses önem ölçeği.....	70
Çizelge 4.4: Tesadüflük göstergesi.....	71
Çizelge 5.1: Yangın sebebinden ortaya çıkacak termal radyasyon hasar derecesi	92
Çizelge 5.2: Fİ, RO, RŞ, RB ile ilgili açıklamalar	97
Çizelge 6.1: Taşıma faktörlerinden kaynaklanan riske ait en alt faktörler ve puanları.....	129
Çizelge 6.2: Çevresel faktörlerden kaynaklı riske ait en alt faktörler ve puanları	131
Çizelge 6.3: A1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi - bulanık puanla.....	132
Çizelge 6.4: A1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi -duru puanlar.....	133
Çizelge 6.5: X1 için V ve D1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	133
Çizelge 6.6: X1 için IV ve C5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	133
Çizelge 6.7: X1 için IV ve C3 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	134
Çizelge 6.8 : X1 için IV ve C2 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	134
Çizelge 6.9 : X1 için IV ve C1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	134
Çizelge 6.10: X1 için IV ve C8 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	134

Çizelge 6.11: X1 için IV ve C7 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	135
Çizelge 6.12: X1 için IV ve C6 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	135
Çizelge 6.13: X1 için IV ve C3 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	135
Çizelge 6.14: X1 için III ve B6 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	135
Çizelge 6.15: X1 için III ve B5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	136
Çizelge 6.16: X1 için III ve B4 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	136
Çizelge 6.17: X1 için III ve B3 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	136
Çizelge 6.18: X1 için III ve B2 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	137
Çizelge 6.19: X2 için II ve A4 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	137
Çizelge 6.20: X2 için II ve A5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	137
Çizelge 6.21: X2 için III ve B8 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	138
Çizelge 6.22: X2 için III ve B9 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	138
Çizelge 6.23: X2 için IV ve C9 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	138
Çizelge 6.24: X2 için IV ve C10 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	139
Çizelge 6.25: X2 için IV ve C11 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	139
Çizelge 6.26: X2 için V ve D5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi.....	139
Çizelge 6.27: Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin öncelik ağırlıkları.....	140
Çizelge 6.28: Çevresel faktörlerinden kaynaklanan risk için alt faktörlerin öncelik ağırlıkları.....	143
Çizelge 6.29: Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin $F\bar{I}^*$ hesabı.....	144
Çizelge 6.30: Çevresel faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin $F\bar{I}^*$ hesabı.....	146
Çizelge 6.31: LNG kullanacak bir işletmeye yapılacak karayolu taşımacılığı için $F\bar{I}^*$ Değeri.....	147
Çizelge 6.32: LNG karayolu taşımacılığı için RO ve RŞ puanları.....	147
Çizelge 6.33: LNG karayolu taşımacılığından kaynaklanan çevresel risk için $F\bar{I}^*$, RO ve RŞ bileşenlerini temsil eden RB çıkarım tablosu.....	150
Çizelge 6.34: LNG karayolu taşımacılığından kaynaklanan çevresel risk için $F\bar{I}^*$, RO ve RŞ sınıflarını temsil eden RB sınıfları.....	150

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Çevre yönetim sistemi kavramının doğuşu.....	4
Şekil 2.2: ISO 14001 çevre yönetim sistemi.....	7
Şekil 2.3: Çevre boyutlarının tanımlanması.....	7
Şekil 2.4: Risk analizinin oluşturulması.....	10
Sekil 3.1: 2004 yılı doğal gaz üretimi ve tüketimi karşılaştırılması.....	36
Sekil 3.2: 2004 yılı itibariyle dünya doğal gaz tüketimi miktarları dağılımı.....	37
Sekil 3.3: Dünya doğal gaz talebinin sektörel dağılımı.....	41
Sekil 3.4: LNG akış diyagramı.....	43
Şekil 3.5: Kreyojenik tank.....	46
Şekil 3.6: Evaporatör uygulamaları.....	46
Şekil 3.7: Kokulandırıcı.....	47
Şekil 3.8: Gaz kaçağı algılama sistemi.....	48
Şekil 3.9: Sıcaklık sensörü.....	48
Şekil 3.10: Deprem sensörü.....	49
Şekil 3.11: Acil durum kesme ve emniyet vanaları.....	50
Şekil 3.12: Multi regülatör.....	50
Şekil 3.13: Tanker UN 1972.....	51
Şekil 3.14: LNG taşımacılık operasyon zinciri.....	51
Şekil 3.15: Tankerler.....	52
Şekil 4.1: Basit bir AHP yapısı.....	72
Şekil 4.2: Dilsel (Yaş) değişkeninin hiyerarşik yapısı.....	73
Şekil 4.3: Genç değişkenin uygunluk fonksiyonu.....	74
Sekil 4.4: Üçgen, yamuk, gauss ve S tipi üyelik fonksiyonları.....	75
Şekil 5.1: LNG operasyon zinciri.....	86
Şekil 5.2: LNG sızıntısı olay ağacı.....	88
Şekil 5.3: Hata ağacı.....	89
Şekil 5.4: LNG karayolu taşımacılığı için çevresel risk değerlendirme yaklaşımı.....	94

Şekil 5.5: Fİ hiyerarşisinin genel yapısı.....	99
Şekil 5.6: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin II. seviyesi.....	100
Şekil 5.7: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin III. seviyesi.....	101
Şekil 5.8: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için II, A1 için I. seviyesi.....	102
Şekil 5.9: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için II, A2 için I. seviyesi.....	102
Şekil 5.10: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için II ,A3 için I. seviyesi.....	103
Şekil 5.11: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III ,A1 için II, B1 için I. seviyesi.....	103
Şekil 5.12: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III , A1 için II, B2 için I.seviyesi.....	104
Şekil 5.13: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III ,A2 için II, B3 için I. seviyesi.....	105
Şekil 5.14: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III , A2 için II, B4 için I. seviyesi.....	106
Şekil 5.15: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III ,A3 için II, B5 için I. seviyesi.....	107
Şekil 5.16: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III , A3 için II., B6 için I.seviyesi.....	107
Şekil 5.17: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B1 için II,C1 için I. seviyesi.....	108
Şekil 5.18: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B1 için II,C2 için I. seviyesi.....	109
Şekil 5.19: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B2 için II,C3 için I. seviyesi.....	109
Şekil 5.20: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B2 için II,C4 için I. seviyesi.....	110
Şekil 5.21: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B2 için II,C5 için I. seviyesi.....	111

Şekil 5.22: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A2 için III, B4 için II,C6 için I. seviyesi.....	111
Şekil 5.23: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A3 için III, B5 için II,C7 için I. seviyesi	112
Şekil 5.24: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A3 için III, B5 için II,C8 için I. seviyesi	113
Şekil 5.25: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için V, A1 için IV, B1 için III,CI için II,D1 için 1. seviyesi.....	114
Şekil 5.26: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin III. seviyesi	115
Şekil 5.27: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için II, A4 için I. seviyesi	115
Şekil 5.28: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için II, A5 için I. seviyesi.....	116
Şekil 5.29: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için III, A5 için II, B7 için I.seviyesi....	117
Şekil 5.30: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için III, A5 için II, B8 için I. seviyesi ...	117
Şekil 5.31: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için III, A5 için II, B9 için I. seviyesi.....	118
Şekil 5.32: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için IV, A5 için III, B7 için II,C9 için I.seviyesi.....	118
Şekil 5.33: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için IV, A5 için III, B7 için II,C10 için I.seviyesi.....	119
Şekil 5.34: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için IV, A5 için III, B7 için II,C11 için I.Seviyesi.....	120
Şekil 5.35: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için V, A5 için IV, B7 için III, C11 için II, D5 için I. seviyesi.....	120
Şekil 5.36: SYBS değerinin üyelik fonksiyonu.....	121
Şekil 6.1: LNG karayolu taşımacılığından kaynaklanan çevresel risk için Fİ*, RO ve RŞ sınıflarının ve üyelik derecelerinin belirlenmesi.....	149
Şekil 6.2: LNG karayolu taşımacılığı kaynaklanan çevresel risk için RB*çıkarmı....	151

LNG KARAYOLU TAŞIMACILIĞINDA ÇEVRESEL RİSK DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Tehlikeli madde taşımacılığı, içerdiği tehlikeler nedeniyle bir büyük metropolde yaşayan halk üzerinde belirli bir risk oluşturmaktadır. Ne kadar önlem alınsa da tehlikeli madde taşınması esnasında engellenemeyen kazalar olmakta ve bu kazalarda binlerce, hatta on binlerce insan olumsuz etkilenebilmektedir. Çalışmada LNG'nin özellikleri ve nasıl taşındığı açıklandıktan sonra LNG taşımacılığının karayolu taşımacılığın temel kuralı olan can, mal ve çevre emniyeti açısından ortaya koyduğu muhtemel tehlikeler sıralanmıştır.

LNG taşımacılığının risk analizini yapmak ve bir emniyet yönetim modeli önerisinde bulunmak, bu model önerisi ile emniyet standartlarını yükselterek uluslararası arenada rekabet gücünü arttırmak amaçlanmıştır.

LNG'nin hazırlanması, dağıtılması ve kullanılması incelendi. Risk ve Risk Tabanlı Yönetim Sistemi kavramlarının tanımları verilerek detayları açıklanmıştır. Risk Değerleme yaklaşımının sistematığı LNG taşımacılığı ile ortaya çıkabilecek tehlikeli sonuçlar 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. Çevre yönetim sistemlerinin ihtiyaçları, risk değerlendirme sürecinin adımları ve tehlikeli maddelerin özellikleri incelendikten sonra bu amaç doğrultusunda kullanılabilecek en uygun yöntemlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi ve bulanık mantık modelleri olduğu tespit edilmiştir. Bulanık kural tabanlı modelleme ise belirsizlik içeren ve veri eksikliği olan durumlar için uzman görüşlerinin dilsel değişkenlerini girdi verisi olarak kullanmayı sağlamıştır.

Çalışma risk Önleyici ve risk azaltıcı stratejiler göz önünde bulundurularak mevcut emniyet yönetimi düzenlemelerini tamamlayıcı olarak sunulan LNG Taşımacılığı Emniyet Modeli önerisi ile sonuçlanmıştır.

AN ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT APPROACH FOR LNG ON ROAD TRANSPORTATION

SUMMARY

Hazardous materials (hazmat) transportation, due to its nature, exposes certain risks to the population that resides in a large metropolitan city. Occasional accidents do happen and these may have negative impact on thousands of people. These accidents are usually low-probability events, but due to the possibility of high consequences, they attract a lot of public attention. In the study LNG specifications and carriage of LNG has been explained. LNG Transportation has been defined in the view of the road transportation and the hazards of LNG transportation concerning on life, property and environment has been identified with hazard identification technique.

This study aims to conduct risk analysis methods 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.

Treatment, transport, storage, regasification, distribution and utilisation of LNG are examined. The definitions and details of risk and risk based management systems has been given in further chapters. The risk assessment approach explained and detailed on dangerous consult of LNG transportation. Analytical hierarchical process and fuzzy logic models were selected as the best appropriate methods for development of approach after exploring the needs of environmental management systems, main framework of environmental risk assessment procedure and the characteristics of hazardous materials. Fuzzy logic rule based modeling allow assessor to use linguistic variables as input data in approach in case of uncertainty and lack of data.

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.

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.

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Doğal gaz, endüstrileşmiş ve kalkınma yolundaki pek çok ülkede uygulamaya konulan çeşitlendirme politikalarında hak ettiği yerini alarak hızla yaygınlaşmış ve avantajlarını çok kısa bir sürede ispatlamıştır.

Sanayi sektörünün en önemli girdisi niteliğinde olan enerji, ülkelerin kalkınma düzeyini belirlemektedir. Öyle ki, günümüzde kişi başına enerji tüketimi kalkınmışlığın ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar enerji kaynakları arasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Fosil yakıt denilince akla ilk gelen enerji kaynakları petrol, doğal gaz ve kömürdür. Günümüzde, tüketimindeki hızlı artışla dikkati çeken doğal gazın, 1973 Yom Kippur Savaşı ve 1979 İran Devrimi ile ortaya çıkan iki petrol krizinden sonra, dünya enerji sektöründeki payı giderek artmış ve ayrıca diğer fosil yakıtlardan daha az kirlilik emisyonuna sahip olması özelliği nedeniyle de, özellikle ülkeler tarafından yürütülen çevre politikaları kapsamında, doğal gaz dünyanın önemli enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir [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 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 çalışmanın kapsamı, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) için özellikle karayolu taşımacılığından kaynaklanan çevresel etki değerlendirilmesine, çevre yönetim sistematiğine esas olan çevresel risk değerlendirme prosesine yararlı olabilecek risk büyüklükleri, risk büyüklükleri, risk faktörleri ve bunlardan elde edilebilecek katkı payları gibi verileri üretmek amaçlanmıştır.

Bu kapsam çerçevesinde doğal gazın boru hattı ile ulaştırılamadığı yerlerdeki sanayi kuruluşlarına ve otellere doğal gazı sıvı formu ile yani LNG olarak ulaştırılması sırasında karayolu taşımacılığında ve tüketilen noktalarda ortaya çıkabilecek çevresel risk faktörlerinin analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak ve bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirilmesini sağlamak, sonuçları ortaya koymak ve bu faktörleri minimize etmek açısından öneriler getirmek amaçlanmıştır.

2. ÇEVRESEL RİSK DEĞERLENDİRME

2.1 Çevre Yönetimi

Çevre yönetimi kavramı açıklanırken, çevre yönetiminin ne anlama geldiği, çevre yönetim sistemi kavramının nasıl doğduğu , çevre yönetimi ile ne amaçlandığı, çevre yönetim sistemi standartlarının ne olduğu, nasıl ortaya çıktığı konuları birlikte ele alınmalıdır.

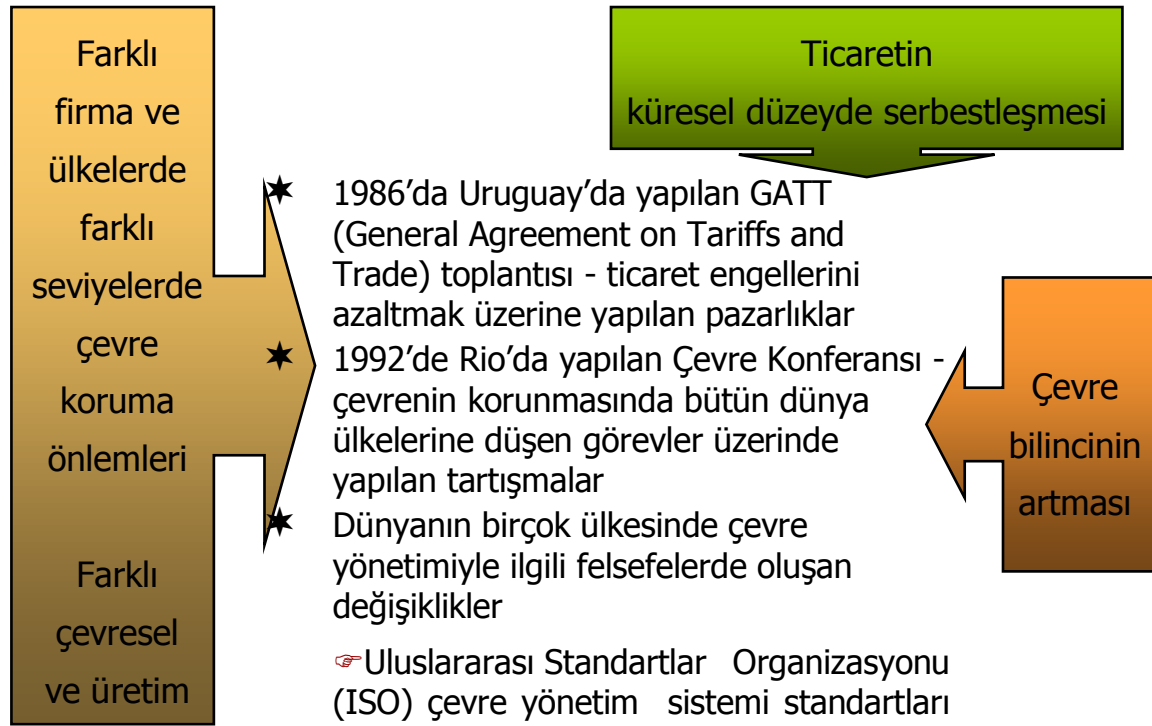
2.1.1 Çevre yönetiminin tanımı

İşletmelerin çevreye verdikleri veya verebilecekleri zararların sistematik bir şekilde azaltılması ve mümkün ise ortadan kaldırılabilmesi için geliştirilen yönetim sistemine Çevre Yönetim Sistemi adı verilir. Çevre yönetimi, insanın etraf üzerindeki etkisini asgari düzeye indirmek, doğal dengenin kendini yenilemesine imkân tanıyabilmek ve doğal dengenin bozulmasını önleyebilmek sebebiyle sorunları ortaya çıkarmak, toplumun etraf bilincini arttırıp çevrenin korunmasına, geliştirilmesine katkıda bulunmasını sağlamaktır. Bu amaçla çıkartılan kanun, yönetmelik ve kararlara sıkı bir biçimde uyulmasını sağlamak amacıyla örgütsel binalar oluşturulmuştur. Çevre yönetimi milli ve milletler arası alanda amaçlarının gerçekleştirilmesi sebebiyle bu örgütsel yapılar oluşturulmuştur. Çevre yönetim sistemi, bir organizasyonun çevre boyutlarını ele almak için oluşturulan sistematik bir yaklaşımdır. Türü ya da boyutu ne olursa olsun bir organizasyonun faaliyetlerinin, ürünlerinin ya da hizmetlerinin çevre üzerindeki etkilerini kontrol etmeyi sağlayan bir araçtır [5].

Çevre yönetim sistemi, bir organizasyonun çevresel gerekliliklerini yerine getirebilmesi için faaliyetlerini; planlama, uygulama, kontrol etme ve düzeltme (PUKO) döngüsünü esas alarak gerçekleştirdiği sürekli bir döngüdür. İşletmenin sistematik olarak incelenmesi ve olumsuzlukların düzeltilmesi, çevre performanslarının iyileşmesini sağlamaktadır. Çevre yönetim sistemlerinin çoğu, (ISO 14001 dahil) PUKO döngüsü esas alınarak oluşturulmuştur. Bu model sürekli gelişme kavramını gerçekleştirmeyi sağlamaktadır [6].

Çevre yönetimi konusu, ilk önce uyulması gereken kurallar şeklinde mecburi bir yönetim biçimi şeklinde ortaya çıkmıştır. Emir ve denetim birlikte uyma zorunluluğu sağlayan uygulamalar birlikte başlamış, gönüllü bir şekilde uygulanan ve devamlı gelişme gösteren bir yapıya geçmiştir. Özellikle sanayileşmenin çevreye vereceği tahribatı en aza indirmek açısından çevre yönetim sistemini geliştirmiş ve başarılı bir şekilde uygulamaya geçirmiş olan sanayi kuruluşları, organize sanayi bölgeleri oldukça önem taşımaktadır.

2.1.2 Çevre yönetim sistemi kavramının doğuşu



Şekil 2.1 : Çevre yönetim sistemi kavramının doğuşu

2.1.3 Çevre yönetiminin amacı

Çevre yönetimi, çevre kirlenmesine yönelik insan etkinliklerinin gözlemlenmesi, planlanması ve yönetilmesi ile birlikte ilgilenir. Çevre yönetimi eşdeğer zamanda ekonomiyle birlikte ilgilenir. Çevre ve ekonomi arasında dengeli ve devamlı bir ilişki bulunur. Çevre yönetimi de dengeli kalkınmayı sağlamaya çalışır. Çevre yönetimi çevreye önleyici bir yaklaşımla yaklaşır. Bu yaklaşımın amacı etraf sorunları ortaya çıktıktan sonraki etkileri ortadan kaldırmaktan ziyade etraf sorunları ortaya çıkmadan önce bu sorunları engellemektir. Çevre yönetimi sağlıklı ve dengeli bir çevrenin oluşmasını amaç edinir. Bu çevrenin oluşturulması için de doğal kaynakların korur.

Bu sistemin çalışmasını sağlayacak örgütsel binalar oluşturur. Çevre yönetiminin öncelikli alt yapısal gereklerinden birisi genel, tutarlı, günce ve süreklilik gösteren bir bilgi tabanının oluşturulması ve lazım bilgilerin üretilmesidir [6].

İnsanların yer kürenin doğal kaynaklarına olan talebini, doğanın talebi karşılama kapasitesi ile sürdürülebilir şekilde dengelemeyi amaçlamaktadır. Çevre yönetim sistemleri, işletmenin çevre performansını yönetmeyi ve iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Buna göre çevre yönetiminin amacı şu şekilde özetlenebilir [7].

- Risklerin yönetimini ve çevre kanunlarına ve yönetmeliklerine uyumu sağlamak
- Etkin uygulamaları ile finansal kazanç getirebilmek
- Çalışanların, müşterilerin ve daha birçok paydanın itibarını ve saygısını kazanmayı sağlamak

Çevre yönetiminin amacı insanların yaşamlarını sürdürebilecekleri sağlıklı ve dengeli bir çevrenin oluşturulması ve korunmasıdır. Bu amaçla etraf kirliliği ortadan kaldırılmaya çalışılır. Vatandaşlar uyarılır.

Doğal kaynaklar korunur, iyileştirilir ve geliştirilir. Çevre birlikte ortaya çıkabilecek etraf sorunları birlikte alakadar araştırmalar yapılır. Bunlarla ilgilenecek ve bu araştırmaları yönetecek kurum ve kuruluşlar kurulur.

Çevre yönetiminin amaçlarına ulaşabilmesi sebebiyle vatandaşlarında bu amaçla devinim etmeleri ve davranışlarını, alışkanlıklarını, etik değerlerini bu yönde değiştirmeleri gerekir. Çevre yönetiminin başarılı olabilmesi bütün şeyden önce halkın bu amaçla devinim etmesine bağlıdır.

2.1.4 Çevre yönetim sistemi standartları

2.1.4.1 BS 7750 çevre yönetim sistemi

İngiliz Standardı BS 7750 ÇYS' ye yönelik yayınlanan ilk standarttır (1992). BS 7750'yi esas alan ISO 14001, ISO 14000 serisi kapsamında 1996 yılında yayınlanmış, böylece BS 7750 yürürlükten kalkmıştır.

2.1.4.2 EMAS çevre yönetim sistemi

AB Eko-Yönetim ve Denetim Programı, AB ülkeleri için 1993 yılında geliştirilmiştir ve aynı şekilde BS 7750 standardına dayanmaktadır.

EMAS, 2001 yılında revize edilmiş bu çerçevede ISO 14001'in EMAS'ın bir parçası olduğu kabul edilmiştir. EMAS ve ISO 14001 standardı aynı temele dayanan gönüllü standartlardır.

Dünya genelinde geçerliliği olan ve daha yaygın olarak kullanılan standart ISO 14001'dir. EMAS'ın şartları, daha sıkı ve detaylıdır. EMAS'ın geliştirilmesinde Almanya'nın önemli bir payı vardır. Almanya'daki yüksek çevresel standartların EMAS'a yansıtıldığı görülmektedir.

İki standart arasındaki tercih AB ülkelerinde dahi tartışma konusu yaratmaktadır. 1995 – 2004 döneminde AB-15'teki sertifika durumuna bakıldığında, ISO 14001'in çok daha baskın olduğu görülmektedir. Örnek olarak; 2000 yılında EMAS'lı firma sayısı 3427 iken, ISO 14001'li firma sayısı 9413 olmuş; 2004 yılına gelindiğinde EMAS'lı firma sayısı 3048'e düşerken, ISO 14001 sertifikalı firma sayısı 33108'e çıkmıştır.

2.1.4.3 ISO 14001 çevre yönetim sistemi (1996)

Kuruluşların, çevreye verdikleri etkileri sürekli olarak azaltabilmelerine veya kontrol altında tutabilmelerini sağlayan bir yönetim sistemidir.

ISO 14000 Serisi Standartları

ISO 14020 Çevre İle İlgili Etiketlemenin Temel Prensipleri

ISO 14021 Çevre İle İlgili Etiketleme - Çevre İle İlgili İddiaların Özbeyanı - Terimler ve Tarifler.

ISO 14040 Hayat Boyu Değerlendirme (HBD) – Genel Prensipler ve Uygulamalar.

ISO 14060 Mamullerin Çevre Veçhelerinin Mamul Standartlarına Dahil Edilmesiyle İlgili Kılavuz.

ISO 14001 Yönetiminin Sorumluluğu,

Yönetim, kirliliği önleyeceğine dair taahhüdünü ortaya koymalı ve bunu tüm taraflara (iç müşteri, dış müşteri, paydaşlar) duyurmalıdır.

Yönetim, ÇYS 'yi kurmak ve geliştirmek üzere diğer pozisyonlardan bağımsız bir yönetim temsilcisi seçmeli ve gerekli kaynakları ayırmalıdır.

Yönetim, organizasyonun her seviyesince anlaşılmış çevreyi koruyacağına dair hedefler belirlemelidir.

Yönetim, organizasyonun çeşitli kademelerinde gerçekleştirme adımlarını izlemek üzere Çevre Yönetim Programları oluşturmali, çevresel performansı izlemelidir [8].

ISO 14001 ÇEVRE YÖNETİM SİSTEMİ



Şekil 2.2 : ISO 14001 çevre yönetim sistemi

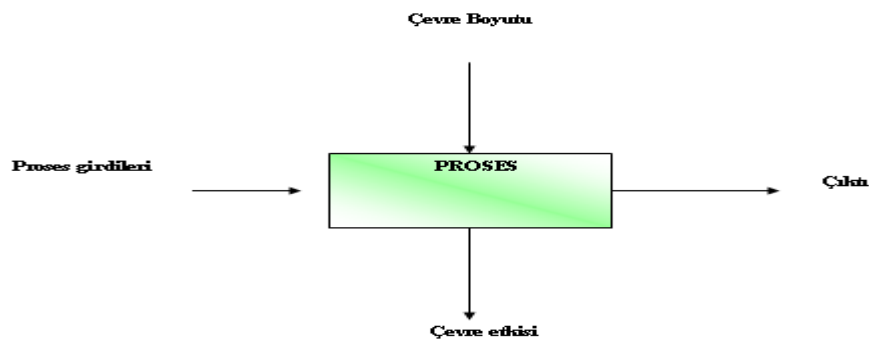
2.1.4.4 Çevre etki değerlendirme (ÇED)

Herhangi bir projeyi ya da faaliyeti gerçekleştirmenin neden olacak çevresel etkileri kestirmek için kullanılan teknik araştırma sistemleridir. İlgili faaliyetten kaynaklanabilecek çevre üzerindeki etkilerin sonuçlarını belirlemek için oluşturulan analitik bir prosedürdür. Bu aracın geliştirilmesinin amacı, insan faaliyetlerinin yararını en büyüklerken olumsuz etkileri en aza indirmek ya da önlemektir [8].

Çevre Boyutlarının Belirlenmesi

İşletme faaliyetlerin çevre ile etkileşime girdiği süreçleri belirleyerek, çevre etkilerini kontrol altına almak üzere değerlendirme yapılmalıdır.

Çevre Boyutlarının Tanımlanması



Şekil 2.3 : Çevre boyutlarının tanımlanması

2.2 Risk Tanımı

Risk, bir tehlikenin ortaya çıkma olasılığı ve bu tehlikenin ortaya çıktığı anda sebep olacağı etkinin ciddiyeti arasındaki bağıdır.

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet}$$

2.2.1 Risk

Gelecekte oluşabilecek potansiyel sorunlara, tehdit ve tehlikelere işaret eder. Risk genellikle tam ve net olarak bilinemez ya da öngörülemez (belirsizlik), zamana bağlı olarak değişir. Sonuç üzerinde olumsuz etkileri vardır.

Risk ve tehlike aynı şeyler değildir. Tehlike; Çalışma çevresinin, bulunduğu ortama, çalışanlara, zarar verme potansiyelidir. Risk; tehlikenin sonucudur, İyi bir yönetimin yönetilebildiği olgudur.

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 [9].

Risk Değerlendirme; 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 [10].

Riskin temel bileşenleri ise, oluşma olasılığı ve oluşması durumunda, sonucu ne ölçüde etkileyeceğidir. Ancak riskin yalnızca olumsuz etkileri olan bir kavram olduğunu düşünmek büyük yanlışlık olur.

Çizelge 2.1 : Olası tehlikelere karşı oluşabilecek riskler

	TEHLİKE	RİSK
1	Gürültü	İşitme kaybı, Sağır olma olasılığı
2	Yanıcı, “Tehlikeli” madde, Benzin, LPG,LNG, Tiner	Yangın Riski, Patlamalar ve Felaket olasılığı
3	İş yerinde Pres Makinesi	Parmakların kesilip, sakat kalma olasılığı

2.2.1.1 İş hayatında olası riskler ve risk faktörleri

- Kullanılan maddeler, malzemeler, tehlikeli maddeler, kimyasal maddeler,
- Yürütülen operasyon ve çeşitli prosesler,
- Her türlü makine, donanım, araç ve gereçler
- İş yeri veya çevresinde bulunan kişiler, oluşturulan organizasyonlar
- Ruhsal durumlar, fiziksel nedenler,
- Çevre koşulları, (aşırı ses, kötü ışık, titreşim, kirlilik)

2.3 Risk Analizi

İş sağlığı ve güvenliği alanında ihtiyaç duyulan hızlı ve yenilikçi çözümler, işletme odaklı iki mekanizma ile hayata geçirilmiştir. Risk değerlendirmesi ve yönetim sistemleri, birbirlerini tamamlayarak, sürekli değişim halindeki çalışma ortamlarının daha sağlıklı ve güvenli bir hale getirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Taşımak için yumurtaları hepsini aynı sepete koymak bir risktir. Yumurtalar taşınırken “kırılma riski” vardır. O halde burada “kırılma riskini” özel ambalajlar ile önlersek ve/veya tüm yumurtaları aynı sepete koymazsak, kırılma riskini giderebiliriz [8].

2.3.1 Risk değerlendirme metotları

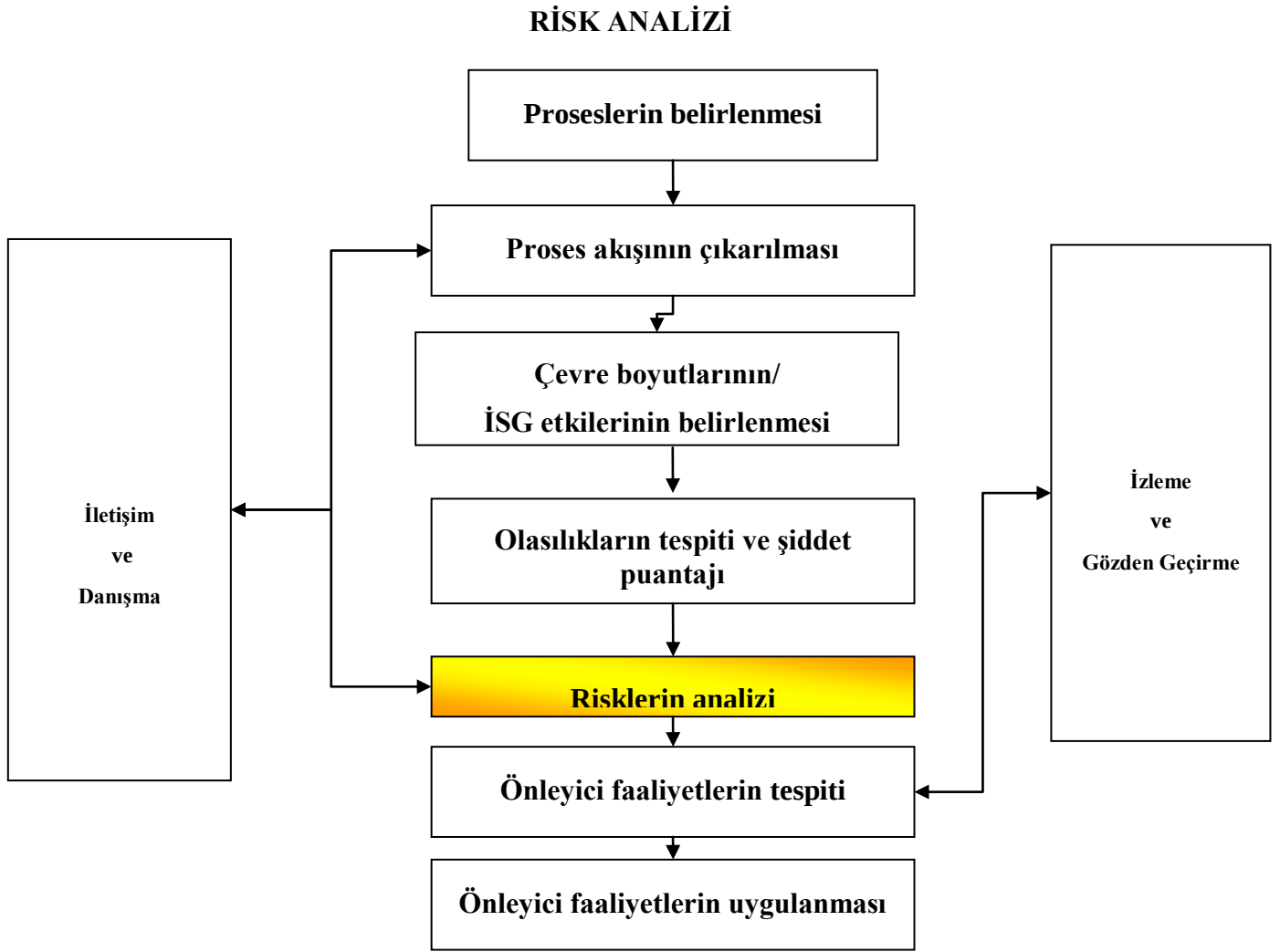
Risk değerlendirme metotları çok sayıdadır, işin sektörün önemine göre değerlendirme metotları seçilir, isteyen istediği metodu kullanabilir.

1. Nitel (Qualitative, Kalitatif) Niteliksel Risk Değerlendirmesi Metodu, (Sözel mantıkla risk değerlendirme)

2. Nicel (Quantitative, Kantitatif) Niceliksel Risk Değerlendirmesi Metodu, (Nümerik mantıkla risk değerlendirme)

En yaygın kullanılan metotlar aşağıda belirtilmiştir;

- Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis)
- Risk Değerlendirme Karar Matrisi (Risk Assessment Decision Matrix 3x3)
- Risk Değerlendirme Karar Matrisi (Risk Assessment Decision Matrix 5x5)
- Tehlike ve İşletilebilme Çalışma Metodolojisi (Hazard & Operability Studies, HAZOP)
- Eğer olursa...Ne olur? (What--- If) Analysis,



Şekil 2.4 : Risk analizinin oluşturulması

- FMEA. Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode Effects Analysis,)
- İş Güvenlik Analizi (Work Safety Analysis)
- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis)
- Güvenlik Bariyer Analizi (Safety Barrier Analysis)
- Kontrol Listeleri (Check Lists)
- Kinney Metodu Çok Yönlü Puanlama $ROS = \max 1000$
- $RiSK = \text{ŞANS} \times \text{Frekans} \times \text{ŞİDDET}$

2.3.2 Risk değerlendirme adımları

- Tehlikeleri belirle, riskleri yok et, risklerle kaynağında savaşma

- Riskleri değerlendirin, (riskler rabul edilebilir mi, edilemez mi ?)
- Kontrol tedbirlerine karar ver,
- Kontrol tedbirlerini tamamla,
- İzle ve önleyici faaliyetleri tekrar et,
- Koruma düzeyinde ilerleme sağlama

Çizelge 2.2 : 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 olur sorulayan 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 ısı sistemlerinde emniyet tehlikelerini ve çalışabilirlik problemlerini bulmaya odaklanır.

Çizelge 2.3 : Risk analizi tekniklerinin karşılaştırılması

Risk Analizi Teknikleri	Sonuçlar Açısından				Kullanıldığı Sistem	Gayret Derecesi Karmaşıklık	Analiz Timinde Tecrübe İhtiyacı
	Nitel 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
Hava Modu ve Etkileri	.	.	.	.	Hepsi, ancak özellikle mekanik ve elektrik sistemlerde	Orta ve Yüksek	Orta
Tehlike ve Çalışabilirlik	.	.	.	.	Özellikle sıvı ve ısı işlem 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

Risk = Olasılık x Şiddet

Risk = Gerçekleşme Sıklığı x Hasarın Boyutu

Risk Büyüklüğü= *Risk Faktörü + Mevcut Kontroller + Yasal Yükümlülükler + Önceki Kazalar + Risk Altındaki Personel Sayısı [8].

*Risk Faktörü = Zararın Olma Olasılığı x Zararın Şiddeti x Risk Büyüklük Katsayısı

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 [11].

Risk = Pt (tehlike) x Ps (sistem arızası/hatası) x Zararlı sonuçlar.

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

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

Zararlı Sonuçlar = can, mal ve çevre emniyeti açısından istenmeyen olay 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.

2.3.3 Risk değerlendirmesi yapmanın faydaları

Risk Değerlendirmesi faaliyetleri, işverene aşağıdaki konularda fayda sağlar.

- Tehlikelerin tanınması,
- Risklerin önceden belirlenmesi,
- Çalışanlar için güvenli ortam tesisi,
- Kazaların önlenmesi ile kayıpların azaltılması,
- Kalite ve verim artışı sağlanması,
- Uluslar arası saygınlık, kurumsal imaj,
- Proaktif yaklaşım (ön hazırlıklı) uygulama ve acil durumlara hazır olma,
- Sorumlulukların belirlenmesi ve görev paylaşımı.

İşyerlerinde risk değerlendirme çalışmaları;

- İşe başlama aşamasında,
- İşyerinde bir değişiklik olması durumunda (proseste, üretim hattında, makinede)
- İş kazası, meslek hastalığı veya bir olay sonrasında,
- Düzenli aralıklarla yapılmalıdır.

Risk değerlendirme faaliyetleri, kimler tarafından yapılabilir ?

- Birey tarafından veya

Ekip (takım) halinde yapılabilir. Ancak orta ve büyük işyerleri için İSG takımı üyelerinin katılımı ile, takım halinde yapılması daha uygun olmaktadır.

Ekip halinde gerçekleştirilen risk değerlendirme faaliyetleri aşağıdaki faydaları sağlar.

- Sinerji yaratır.
- Gerekli bilgi çalışanlar tarafından temin edilebilir.
- Sonuçta herkesin payı vardır.

- Farklı departmanlardan kişiler, farklılık kazandırabilir,
- Katılanlara “takım ruhu” kazandırır.
- Sonuçlara yöneticilerle beraber, çalışanlar da sahip çıkar [11].

2.4 Risk Matrisi

Çizelge 2.4 : 1.Risk matrisi

Olasılık	Ortaya çıkma olasılığı / frekans derecelendirme
-----	-----
ÇOK KÜÇÜK	Yılda bir
KÜÇÜK	Üç ayda bir
ORTA	Ayda bir
YÜKSEK	Haftada bir
ÇOK YÜKSEK	Her gün

Çizelge 2.5 : 2.Risk matrisi

SONUÇ	DERECELENDİRME
-----	-----
ÇOK HAFİF	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
HAFİF	İş günü kaybı yok, ilk yardım gerektiren
ORTA	Hafif yaralanma, tedavi gerekir
CİDDİ	Ölüm, Ciddi yaralanma, meslek hastalığı
ÇOK CİDDİ	Birden çok ölüm, sürekli iş göremezlik

2.5 Çevresel Risk Değerlendirme Model Yaklaşımı

Tehlikeli maddeler genellikle çevredeki dağılım ve yayılımları öncesi yine çevrede, ya bir endüstriyel alanda ya da bir diğer üretim veya hizmet sektöründe üretilmekte ve depolanmaktadır. Bu faaliyetin birincil adımı ürünün pazar yerine taşınması ile gerçekleşmektedir. Dolayısıyla çevresel risklerin ilki tasınım şekilleri ile oluşmaktadır. Taşınımdan sonra kullanım şekilleri ile oluşan riskler ve her iki şekilde

de ortaya çıkan kazalar, çevresel risklerin tahmin edilmesinde çeşitli modellerle ortaya koyulmuşlardır.

Bu modellerde genellikle tasınım ve kaza modu ile yapılan değerlendirmeler tehlikeli maddenin özellikleri yönünde ve onları derecelemeye yönelik olmuştur. Çok büyük sayıdaki tehlikeli maddeler sınıflandırılmış, gruplandırılmış ancak önlem alma ve müdahale etme anlamındaki acil eylem planları için bilgi oluşturmaktan öteye gidilememiştir [12].

Model, çevresel riskleri maruz kaldığı tehlikeli madde açısından değerlendirmekte ve ÇED bağlamındaki değerlendirmeleri kolaylaştıracak bir sistem oluşturmaktadır. Modelin ana yaklaşımı, sayısı on binleri bulan tehlikeli maddelerin özelliklerini ve sınıflamasını yadsımadan çevresel özellikleri bir dereceleme sistemine oturtarak riskleri sayısal değerlerle ortaya koymaktır. Model sonuçlarıyla, göreceli olarak bir çevrenin maruz kalacağı tehlikeli madde ile ilgili risklere yönetim açısından yaptırım getirmek amaçlanmıştır [12].

2.5.1 Çevresel risk değerlendirme sisteminin fonksiyonları

Önerilen sistemde, tehlikeli maddelerle oluşan çevresel riskler;

- T_ö:Tehlikeli Maddenin Özellikleri
- S: Çözünürlük
- D: Yoğunluk
- F: Parlayıcılık
- C: Korozyon
- RP: Reaktivite ve Peroksitler
- Tox: Zehirlilik
- ECOT: Ekolojik Zehirlilik
- ht: İnsan Sağlığına Zehirlilik
- MKM: Tehlikeli Maddeye Maruz Kalma Şekli
- Tt: Tehlikeli Maddelerin Taşınımı
- K: Tehlikeli Madde Kazaları
- Q: Miktar
- Eö: Ekosistem Özellikleri
- BS: Değerlendirilen Bölgenin Sınırları

- YFK: Yasam, Faaliyet ve Kullanım
 - Yerleşim
 - Endüstriyel
 - Tarımsal
 - Ulaşım
 - Turizm ve Rekreasyon
 - Stratejik
- CK: Cevre Kaynakları
 - Su ve Su Havzaları
 - Orman Alanları
 - Karasal Ekosistemler
 - Flora-Fauna
 - İnsan Popülasyonu Yoğunluğunun birer fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Bu durumda, risk değerlendirmesi [12].

Tehlikeli madde özellikleri: (Tö)

1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler ve Tehlikeleri (FK s p)
2. Yasama Tehlikeli Özellikleri (BT)

Buna göre tehlikeli maddelerin özellikleri aşağıda verilen bağıntı ile tanımlanmıştır.

$T = (BT + FK)$ FK: Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Fiziksel ve kimyasal özellikler olarak aşağıdaki fonksiyonların kümülatif değeri olarak düşünülmüştür. Buna göre; **$FK_{sp} = S + D + F + C + PR + Tox$** olur.

Çözünürlük: S

Tehlikeli Maddeler için maddenin çözünürlüğü, suda genellikle %10'luk bir çözeltiyi hızla oluşturmaları ile tanımlanmaktadır. O halde;

Kati maddeler için suda	> %10 çözelti oluşumu durumunda	1
	< %10 çözelti oluşumu durumunda	2
Sıvılar için madde/su	= 0.05 ise	1
	< 0.05 ise	2
	> 0.05 ise	3
	<< 0.05 ve ekzotermik reaksiyonlarda	4

gazlar ihmal edilmiştir [12].

Yoğunluk : D

Yoğunluğun özellik olarak önemi su ile olan oranı yani spesifik gravitesidir.

Sıvılar için sp. G. < 1 ise 2

Sp. G > 1 ise 1

Sıvılar için bu değerlendirme, su ile sıvının ekzotermik bir reaksiyon vermediği ve çözünürlüğün çok olduğu durumları kapsamaz. Örneğin Sülfürik Asit. Aynı şekilde gazlar için maddenin buhar yoğunluğunun havanınkine oranı önem taşır.

Buna göre

Gazlar için Buhar Yog. > 1.29 ise 2

Gazlar için Buhar Yog. < 1.29 ise 1

Havada higroskopik olarak su ile birlesen ve yoğunluğu ≥ 1.29 'a ulasan maddeler için 50 puan değerlendirmesi yapılır. (örneğin NH_3 gazı)

Parlayıcılık : F

Çizelge 2.6 : Parlama noktasına karşılık gelen parlayıcılık

(*)	f.
Parlama Noktası < 60 °C	4
60 – 90	3
90 – 120	2
> 120	1

(*) ASTM standart D-3278'de verilen test yöntemi ile tayin edilmelidir.

(**) Patlayıcı maddeler için parlayıcılık üst limiti esas puan olarak alınır. Örneğin, dinamit kati olmasına karşın 4 puan ile değerlendirilmelidir.

n = 1 gaz için

n = 0.75 sıvı için

n = 0.50 katı için

Zehirlilik: Tox

Tox = (ECOT + ht) k k = 1 Kanserojen ise

k = 2 Kanserojen değilse

Burada ECOT, ekolojik zehirliliği yani ekosistem canlıları üzerindeki zehirli etkiyi, ht ise, insan sağlığı üzerindeki zehirliliği temsil etmektedir. Zehirlilik, ekolojik zehirlilik ve insana zehirlilik sınıflarına göre değerlendirilmiştir. Ekolojik zehirlilik için su yaşamında etkili zehirlilik değerleri (LC) esas alınmış, insan sağlığı için LD değerleri kullanılmıştır [12].

2.6 Risk Yönetimi İlkeleri

Gerek risk analizlerinin yapılmasında gerekse İş Kanunumuz ve ilgili yönetmeliklerin hayata geçirilmesinde en önemli görevi yerine getirecek olan iş sağlığı ve güvenliği, bizim tabirimizle SEÇ dediğimiz sağlık, emniyet, çevre uzmanlarının rolünü ve görevini burada ön plana çıkarmak gerekmektedir. İş sağlığı ve emniyeti ve çevre uzmanlığı, insan davranışını ve psikolojisini inceleyerek, hatalardan ders çıkararak, reaktif dediğimiz düşünce içinde sürekli öğrenen, kendini geliştiren ve proaktif yöntemlerle insanın yatırımlarının ve çevrenin zarar görmesini önlemeye çalışan bir bilim dalıdır diyoruz. Dolayısıyla, bu bilim dalıyla uğraşan gerçek bir uzmanı, basit sınavlarla, testlerle veya verilecek birkaç sertifikayla tespit etmek mümkün değil.

Geliştirilmiş teknoloji, iyileştirilmiş çalışma yeri koşulları, eğitimi ve mümkün olduğunca donanımlı ve yetkin personele rağmen kazaların meydana gelmeye devam etmesi, uzmanları bu konu üzerinde çok ciddi araştırmalara yöneltmiştir. Özellikle 1990 yılı civarında yürütülen çalışmalar neticesinde şu sonuçlar ortaya çıkmıştır. Kaza oluşumunun hemen öncesinde daha önceki tekniklerde de tespit edildiği üzere, insanların hatalı davranışları bulunsa da daha arkada sırasıyla bunları tetikleyen önkoşullar ve önkoşulları besleyen sistem hataları mevcuttur. Bu demektir ki, hatalı davranışlarıyla kazalara neden olan insanlar, kontrol edemedikleri veya farkına varamadıkları veya ansızın oluşan önkoşullar nedeniyle bu hatalı davranışları yapmaktadırlar ve doğal olarak da sistem hataları da söz konusu önkoşulları ortaya çıkarmaktadır; yani, sorun organizasyoneldir ve temel tespitler aşağıdaki gibidir.

Bir yönetim ve kontrol sistemi yoktur veya üst yönetimin sağlık, emniyet, çevre faaliyetlerinde bilgisi, bilinci veya katılımı yoktur veya düşüktür. Yönetim, çalışanlarına iyi örnek olamamaktadır. Temel sağlık, emniyet, politika ve hedefleri tüm organizasyon tarafından bilinmemektedir veya benimsenmemiştir. Görev tanımı vardır, ancak iş yükü ve görev gereksinimleri tam ve doğru olarak tespit

edilememiştir. Yetki ve sorumluluklar ya gereği gibi dağıtılamamış veya gereği gibi kullanılamamıştır. Organizasyonel hedefler kişisel hedeflere gerçekçi olarak yansıtılamamıştır. Aynı şirketin farklı departman veya işkolları arasında gereği gibi uyum, iletişim ve koordinasyon bulunmamaktadır. Söz konusu birimler farklı standart kullanmaktadır [8]. Risk analizi yapılmamıştır. Çalışanlar, işyerindeki tehlikeleri bilmelerine rağmen, tehlikenin boyutunu ve üzerlerindeki etkilerini, dolayısıyla, bunların zararlı etkilerinden kendilerini koruyacak proaktif yöntemleri bilememektedir. Düzenli bir gözden geçirme ve kontrol mekanizmaları yoktur.

2.6.1 Tehlikeler için risk analizi ilkeleri

Tehlikeli madde taşımacılığı, çalışma kapsamında spesifik olarak incelendiğinde LNG, içerdiği tehlike potansiyeli nedeniyle bir taşımacılık güzergahı üzerindeki büyük metropollerde ve güzergah üzerindeki yerleşim yerlerinde yaşayan halk üzerinde belirli bir risk oluşturmaktadır. Ne kadar önlem alınsa da tehlikeli madde, LNG taşınması esnasında engellenemeyen kazalar olmakta ve bu kazalarda binlerce, hatta on binlerce insan olumsuz etkilenebilmektedir. Söz konusu kazalar düşük olasılıklı ama sonuçları ağır olabilecek türde kazalar olduğundan kamuoyunun dikkatini fazlasıyla çekebilmektedir. Bu tür kazaların gerçekleşme olasılığını en aza indirmek veya gerçekleştiğinde potansiyel sonuçlarını en az düzeye çekebilmek için literatürde çeşitli risk ölçüm yöntemleri ve bu yöntemler aracılığı ile en az risk ile taşıma yapmak için güzergah belirlenmesine yardımcı olacak sistemler geliştirilmiştir.

LNG taşımacılık faaliyetleri içinde yer alan tehlikeleri ve bunların tehditler vasıtasıyla ulaşabileceği kaza sonuçlarını mutlaka bilmemiz gerekmektedir. Ancak bu şekilde tehlikelerin risk seviyelerini tespit edebilmekteyiz. Tehlikelerimizi ne kadar biliyoruz, hepsinden haberdar mıyız? Bunlara her gün ne kadar maruz kalıyoruz ? İşte risk analizleri, sadece tehlikeleri bilmemizde yardımcı olmayıp, aynı zamanda risk seviyelerini ve bunları nasıl kontrol edebileceğimiz konularında da bize ışık tutmaktadır ve en önemlisi, tehlikelerin kazaya dönüşmesine neden olan tehditleri belirlememize ve proaktif önlemler almamıza imkân vermektedir. O nedenledir ki, eğer işletmeler, çalışanlarını, müşterilerini, yatırımlarını, çevreyi ve itibarlarını korumak amacıyla ise, mutlaka risk analizlerini doğru metot ve kriterler uygulayarak yapmalıdırlar [13].

Bu aşamada öncelikle atılması gereken temel dört adım, dört temel soruyu sorarak tehlikeyi, boyutlarını, nereye kadar gidebileceğini, nasıl kontrol edebileceğimizi, bütün bunlara rağmen kazalar ortaya çıkarsa nasıl iyileştirebileceğimizi bize pratik olarak getirmektedir.

Bu temel sorularla başladıktan sonra, tehlikenin etkileri ve meydana gelen kazaların sıklığı göz önüne alınarak bir matris üzerinde risk seviyesi belirlenir. Kaza dediğimiz, sonuç değil, kontrolün kaybedildiği nokta veya andır. Kazanın olduğu anda sadece tehlike kontrol dışı kalmıştır. Örneğin, tehlikeli madde taşıyan bir tankerden sızma olduğunda veya tankeri kullanan şoför uykusuzluk sebebi ile aracın kontrolünü kaybettiğinde risk oluşmuştur ve ilk olası sonuca doğru gitmektedir. Bunun sonucunda, yani kaza sonlandığında belki bir yangın çıkacak veya tankeri kullanan kişi hayatını kaybedebilecektir. O halde, tehlikeler ve tehlikelerin içinde bulunduğu faaliyetler bir tarafta, kaza, yani kontrolün kaybedildiği an ortak noktada ve sonuçlar en sağda olmak üzere üç farklı aşamayı oluşturmaktadır.

İşte risk analizleriyle temel olarak yapılmaya çalışılan ürünün sızmasına veya tanker kullanan şoförün kaza yapmasına neden olabilecek tüm tehditlerin öncelikle belirlenmesi ve belirlenen bu tehditlerin proaktif önlemlerle kontrol altına alınabilmesi ve de önlemlerin hayata geçirilebilmesidir. Bu aşamada bir başka önemli soru da hangi noktaya kadar önlemler alınmaya devam edilmelidir? Ne ölçüde önlemler yeterlidir, ne kadar zaman eğitim ve para harcanmalıdır? Önlemler ve onlar için kullanılan kaynaklar hangi aşamada hâlâ yetersizdir veya hangi aşamadan sonra israfa kaçmaya başlamıştır? Bu soruların cevabı risk kabul kriterinde yatar. Böyle bir kritere sahip olmadan etkin kontrol sağlanamayacağı, risklerin yönetilemeyeceği çok açıktır. Dolayısıyla da risk analiz çalışmaları amacına ulaşamayacaktır ya önlemler yetersiz kalacak ya da abartılı ve aşırı önlemler alınmaya çalışılacaktır. Unutmamak gerekir ki, maliyet ve kaynakların kontrolü işletmelerin yaşayabilmelerinde temel hususlardandır [13].

Operasyonel güvenilirlik ve risk değerlendirmesi çalışmaları tamamlandığında, risk analizleri bir parçası olarak tespit edilen eksiklikler ve bunlara yönelik iyileştirme çalışmaları ortaya çıkarılmalıdır. Böyle bir eksikler veya yapılacaklar listesi önleyici ve düzeltici aksiyon planları adı altında hayata geçirilmelidir. Yürütülmüş araştırmalar açıkça göstermiştir ki, ülkemizde ve bazı Avrupa ülkelerinde dahi risk

analizleri tam ve doğru şekilde yapılamamıştır. Bunun başlıca nedenleri aşağıdaki gibidir.

Birincisi, detaylı bir tehlikeler listesi hazırlanamamış, dolayısıyla, o işletmedeki veya o operasyondaki tüm tehlikeler gereği gibi değerlendirilememiştir. Tehlikelerin açığa çıkmasına ve kazaya dönüşmesine neden olan tehdit kavramı ya bilinmediğinden ya da tam olarak anlaşılmadığından yapılan çalışmalar amacına ulaşamamıştır. Yani buraya döndüğümüzde, tehlikenin tehdit vasıtasıyla kazaya ulaştığını görmekteyiz. Oysa ki, tehdit kavramının bilinmesi ve mevcut tehlikelerin kazaya dönüşmesine imkân verecek olan tehditlerin belirlenmesi, risk analizi çalışmalarının en önemli ve olmazsa olmaz koşulu ve risk yönetiminin kalbidir.

Yapılan çalışmalarda sunulan önlem tiplerinin bilinmediği gözlenmiştir. Örnek olarak, proaktif önlemler sadece tehditlerin kontrolünde kullanılırlar, yani kazanın oluşmaması için vardır; ancak, her şeye rağmen kazanın oluşması durumunda zarar ve ziyanı azaltacak, gerekli iyileştirmeleri bir an önce devreye sokacak önlemler ise reaktif önlemler veya çözümler olarak adlandırılırlar. O nedenle, proaktif ve reaktif önlemler, farklı amaçlara hizmet eden, farklı süreçlerin elemanlarıdır ve risk analizi çalışmalarının ikinci önemli kavramıdır. Bir örnek vermek gerekirse, tehlikeli madde taşımacılığı, taşınan maddenin tehlikelilik özellikleri nedeniyle LNG taşımacılığını bir operasyon olarak ele aldığımızda, taşımacılık karşımıza bir tehlike olarak çıkmaktadır. Dolayısıyla, taşımacılıkta ister istemez tehlikeli bir operasyon olmaktadır. Kaza, yani kontrolümüzü kaybettiğimiz an veya olmasını istemediğimiz şey bu diyagrama göre kaza yapmaktır. Kaza yapmayı istemiyoruz; kaza yaptığımız zaman olası sonuçların en son gidebileceği yer ölümdür. Dolayısıyla, tehlikeli madde, LNG taşımacılığı ölümlerle sonuçlanabiliyor; ancak, ne olur da biz kaza yaparız sorusunda tehditlerimizi iyi belirlememiz lazım.

Örneğin, bozuk, mıcırly, asfaltsız bir yol olursa bu bir tehdittir, araç kayabilir, devrilebilir. Lastik dış derinlikleri yeterli olmayan bir tanker kullanıyorsak, bu bizim fren mesafemizin uzamasına, yol tutuşumuz azalmasına neden olabilir, bu başka bir tehdittir. Sağlık sorunumuz, konsantrasyon problemimiz varsa bu ayrı bir tehdittir. LNG taşıyan bir tanker kullanan bir sürücünün kullanmasını istediğimiz bir emniyet kemerini düşündüğümüzde bir önlem alıyoruz, proaktif midir reaktif midir diye düşündüğümüzde, istisnalar haricinde emniyet kemeri ve hemen hemen tüm emniyet

ekipmanları birer reaktif önlemlerdir, kazayı önlemez, sonucu değiştirmeyi amaçlar [13].

Dolayısıyla, emniyet kemerlerine, kişisel koruma ekipmanlarına çok fazla güvenmemek gerekiyor; ana amacımız, proaktif yaklaşımda kazaların olmaması. Risk kabul kriteri tespit edilmediğinden kontrol önlemlerinden beklenen kalite ve etkinlik tam anlamıyla temin edilememiştir. Dolayısıyla, tehlikenin kazaya dönüşme yolu açık kalmıştır.

Bir başka eksiklik, çalışmaların sonucunda düzeltici eylem planları ya gereği gibi hazırlanamamış veya gereği gibi hayata geçirilememiştir. Tedavi uygulamadan, yani ilaç kullanmadan hastalık iyileşemeyeceği gibi, düzeltici eylem planları da veya önleyici eylem planları da hayata geçirilmeden sadece risk analizi çalışmalarıyla tehlikeler kontrol altına alınamaz, kazaların olması önlenemez.

Sonuncu madde, zaman içinde meydana gelen değişiklikler veya değişen koşullar yapılan risk analizi çalışmalarına bu zaman zarfında işlenememiştir. Verdiğimiz örneği, size özetlemeye çalıştığım konuyu çok çarpıcı başka bir örnekle daha tazelemek istiyorum. Ateş ve barut, yan yana gelmemesi veya birbiriyle temas etmemesi gereken iki maddedir; her ikisi de tehlikeli maddedir, yani bizzat tehlikenin kendisidir. Bu iki maddenin kontrol dışı birleşmesi kazadır. İstemediğimiz olay budur. Kaza olmuşsa, bu iki madde birleşmişse, demek ki, bizim kontrol sistemimiz zafiyete uğramış ve çökmüş demektir. Bu kaza sonucunda, yani bu iki maddenin birleşmesi sonucunda meydana gelebilecek patlama, yangın, yaralanmalar veya ölümler farklı birer sonuçtur ve o anki koşullara göre gelişir. Ateş ve barutun bir şekilde bir araya gelmesine neden olan tüm unsurlar veya bu ortamı sağlayan her koşul bir tehdittir. Tehlikeyi belirlemek yetmiyor, asıl önemli olan şu ana kadar gördüğüm risk analizi çalışmalarında gereği gibi belirtilmemiş olan veya hiç bahsedilmemiş olan tehditlerdir. Tehditlerimizi görmeden kazaları önlemenin risk analizi yapmanın imkânı yoktur. Tehditlerin kontrolüne yönelik kullanılan önlemler proaktif önlemlerdir, yani yönetim sistemleri gibi, çalışma izinleri gibi, sağlık kontrolleri gibi; bütün bu çalışmalarımız proaktif olarak düşündüğümüz tedbirler, önlemler içinde yer alıyor. Sonucu değiştirmeye, yani kaza sonrasındaki sonucu değiştirmeye, zararı azaltmaya, yangını söndürmeye, yaralıyı kurtarmaya yönelik tüm önlemler ise reaktiftir ve bunlar risk analizinin tüm ana önemli parçalarını oluşturmaktadır.

Araçlar, ana tedarik noktasından nihai tüketicilere kadar taşıma yapmaktadır ve tehlikeli bir meta taşımaktadır. Dolayısıyla, geçtikleri, gittikleri yollardaki yolun özelliklerini bilmeleri de çok önemli, o zaman, siz, organizasyon olarak, güzergâhların birer birer risk değerlendirmelerini yaparsınız. Yüksek riskli yolları en başa koyup, o tip güzergâhlardaki nokta riskleri tespit edersiniz ve alınması gereken, sürücü tarafından dikkat edilmesi gereken hususları belirlersiniz, onlarla paylaşırsınız. Emniyetli pasaport sistemi uygulamaları yaparsınız; yani, sizin belli kriterleriniz olur, bu kriterleri yerine getirmeyen sürücüleriniz tehlikeli madde taşıyamazlar. Müteahhitleriniz, belirli şartları yerine getirmediği için iş izin sistemlerini, emniyetli taşımacılıkla ilgili kuralları ve planlara uyum göstereceklerini ispat etmedikçe, sizinle beraber çalışamazlar. Bunların bir akreditasyon süreci vardır. Geçmişleriyle birlikte geleceğe yönelik rabitaları değerlendirilip sizinle ancak o şekilde iş yapabilirler.

Bir de müşteri tüketim noktalarına tek tek gidip her bir müşteri tank sahası bazında sıkı bir risk denetimi yapabilirsiniz. Tanklarınızın kaç yaşında olduğuna, zemin koşullarına bakarsınız, örneğin yakında bir dere yatağı var mıdır yok mudur gibi değerlendirmelerde bulunursunuz ve müşteri noktalarında 20 yaşına gelen tankları değiştirirsiniz. Böyle bir program sahibi olursunuz. Eğitimle ilgili birçok dokümanımız, uyarıcı plakalarımız ve levhalarımız var. Hem de acil durumda ne yapılması gerektiğini yönlendiren bilgilendirme gereçleri. Birtakım şartlara göre değişen posterle çalışan kesimin dikkatine birtakım tehlikeleri sunma, onlarla birlikte tıpkı yeni çıkan iş güvenliği yönetmeliğinin çalışanları da risk değerlendirme sürecine katmak gerekir. Yani çalışanlarımızı biz bir masa etrafına koyup, önce tespit ettiğimiz riskleri, onların bakış açısı süzgecinden de geçirmek isteriz. Emniyetli dolum yapmak için birtakım şartları yerine getirmek zorundayız; yani, tanker dolumlarını yaparken tanker sürücülerimize tanker topraklamasını tesis etmeden boşaltım işlemine başlamamalarını anlatmamız gereklidir. Bunu, gerek levhalarla, yani çalışma kılavuzlarını istasyonda bulundurarak, gerekse de istasyonun altyapısı olan topraklama değerlerini makine mühendisleri odasının denetiminde topraklama değerlerinin ölçümünü yapıp periyodik aralıklarla yerine getirmek gerekir. Türkiye'deki 1500 civarındaki müşteri tank sahasının mutlaka en az % 35-40 arası eski teknolojiler kullanılarak, bir şekilde zamanında kullanmak üzere tesis edilmişler. Bunlar gaz dedektörleri; bir gaz sızıntısı olduğu takdirde bütün sistemin elektriğini

kesecek, elektronik otomatik kesici sistemler olmak üzere detaylandırılabilir. Mahallin, lokasyonun bulunduğu özellik dolayısıyla risklere göre farklı başka ilave önlemleri de alırsınız. Bütün bu işleri yaparken çalışma kurullarının olması lazım. Yani enerjiyi devre dışı bırakma gibi kurallarımızın olması ve bunları öğretmemiz ve nihai kullanıcılara anlatmamız lazımdır [13].

Emniyetli sürüş tekniklerini, son derece tehlikeli maddeler taşıyan sürücülerinize vermek durumundasınız. Kayma-devrilme, defansif sürüş eğitimleri tehlikeli madde taşımacılığında önemlidir. Bütün bunları yaptığınız takdirde riskleriniz, başta gördüğünüz yerlerinden kımıldarlar ve kontrol edilebilir yerlere gelmeye başlar.

2.7 Avrupa Birliği Topluluğunda Kimyasal Madde Risk Değerlendirme

Yaklaşımı ve Mevzuatları

2.7.1 REACH mevzuatı

Avrupa Komisyonu 2000’li yılların başından itibaren kimyasallar alanında çeşitli amaçlara hizmet edecek kapsamlı bir politika hazırlığına başlamış ve 2006 yılı sonu itibariyle 1907/2006/EC sayılı Tüzüğü kabul ederek REACH (Registration, Evaluation and Authorisation/Restriction of Chemicals - Kimyasalların Kaydı, Değerlendirmesi ve İzni) adı altında yeni kimyasallar politikasını 1 Haziran 2007 tarihi itibariyle uygulamaya koymuştur. Söz konusu mevzuat, AB’de son 20 yılda gerçekleştirilen en kapsamlı mevzuat değişikliği olarak bilinmektedir.

2.7.1.1 REACH mevzuatı amacı

Söz konusu mevzuatın temel amaçları, insan ve çevre sağlığı gözetilerek, kimya sanayinin son yıllarda kaybettiği rekabet gücünün arttırılması, yenilikçiliğin ve Ar-Ge çalışmalarının teşvik edilmesi, tehlikeli maddeleri de kapsayan çeşitli kimyasalların kullanımının neden olacağı muhtemel risklerin değerlendirilmesi, iç pazarın bütünlüğünün korunması, uygulamada şeffaflığın arttırılması ve elde edilen bilgilerin paylaşımının sağlanması suretiyle maliyetlerin azaltılması olarak belirlenmiştir.

Öte yandan, kimyasallar alanında AB’nin son dönemde özellikle ABD ve Japonya’nın gerisinde kaldığı dikkate alınırsa, REACH Sistemi ile Birliğin rekabet gücünün azalışı ve bunun sonucunda ortaya çıkan pazar kaybının da bertaraf edilmesinin amaçlandığı görülmektedir.

REACH Tüzüğü'nün önemli bir işlevi de, daha önce üye ülkelerin kamusal otoritelerine bırakılmış olan kimyasalların güvenilirliği ve zararlı etkilerinin önlenmesine ilişkin yükümlülüklerin endüstriye transferidir.

REACH mevzuatı ile son 25 yıldır süregelen “mevcut” (Toplulukta 1981'den önce piyasaya sürülen sayıları 100.000'nin üzerinde olan kimyasallar) ve “yeni” (piyasaya 1981 sonrası çıkan yaklaşık 4000 civarındaki) kimyasallar ayrımıyla güvenlik ve risk değerlendirmesi açısından ortaya çıkan farklı uygulamanın tek bir düzenlemeye kavuşturulması, risk analizleri açısından önemli veri eksikliği bulunan “mevcut” kimyasalların da bu analiz ve risk değerlendirme çalışmalarına tabi tutulması hedeflenmektedir.

2.7.1.2 Mevzuatın kapsamı

REACH Tüzüğü, yılda 1 ton veya daha fazla miktarda AB pazarında üretilen veya AB pazarına dışarıdan tedarik edilen kimyasalların aşağıda detaylı şekilde yer verilen prosedürlere tabi olmalarını sağlamaktadır.

Genel olarak, ayrı ayrı kimyasal maddeler, bir karışım içindeki veya eşya içerisindeki bütün maddelere uygulanır. Bazı maddeler özel olarak REACH kapsamı dışında bırakılmıştır.

- Radyoaktif maddeler
- Gümrük kontrolü altındaki maddeler
- Maddelerin taşınımı
- İzole Edilmemiş Ara Ürünler
- Atıklar
- Doğal olarak oluşmuş bazı az-zararlı maddeler
- Askeri amaçlı kullanılan kimyasallar

Bazı maddeler için de topluluk o maddelere özgü yasalar kapsamında önlemler aldığından söz konusu maddeler REACH prosedürleri kapsamı dışında tutulmuştur.

- Beşeri ve veteriner ilaçları
- Gıda ve gıda katkı maddeleri
- Bitki koruma ürünleri ve biyosidaller

2.7.1.3 REACH mevzuatına uyum

Ülkemiz ile AB arasında Gümrük Birliği çerçevesinde teknik mevzuat uyumunu tesis eden 2/97 sayılı Ortaklık Konseyi Kararı eklerinde yer alan kimyasallar mevzuatını teşkil eden çeşitli Yönetmelik ve Direktifler, REACH Sistemi ile aşamalı bir şekilde yürürlükten kaldırılmış bulunmaktadır.

REACH Mevzuatı açısından Ülkemizde Yetkili Mercii olarak belirlenen Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB) tarafından 2004-2006 yılları arasında AB finansmanı ile yürütölen TEACH Projesi ile REACH Mevzuatı'nın yürürlükten kaldırmış olduğu eski AB kimyasallar mevzuatı çalışılmış olup, söz konusu mevzuat 26 Aralık 2008 tarihi itibarıyla ölkemizde yürürlüğe girmiş bulunmaktadır. Uyumlaştırılan mevzuat aşğıdaki gibidir:

1. Tehlikeli Maddelerin ve Müstahzarların Sınıflandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik: Bu Yönetmelik ile 67/548/EEC ve 1999/45/EC sayılı AB Direktiflerine uyum sağlanması öngörölmüş olup, mevcut AB Direktifleri REACH Tüzüğü başta olmak üzere kimyasallara ilişkin pek çok AB Direktifi ve Tüzüğünün atıfta bulunduğu temel bir mevzuat niteliğindedir.
2. Tehlikeli Maddeler ve Müstahzarlara İlişkin Güvenlik Bilgi Formlarının Hazırlanması ve Dağıtılması Hakkında Yönetmelik: Bu Yönetmelik, REACH Tüzüğü ile ilga edilen 91/155/EC sayılı Güvenlik Bilgi Formları (GBF) Hakkında AB Direktifine uyum amaçlı olarak hazırlanmıştır. Yönetmelik ile tehlikeli maddeler ve müstahzarlar için öngörölen detaylı bir özel bilgi sisteminin tanımlanması ve düzenlenmesi hedeflenmektedir.
3. Kimyasalların Envanteri ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik: Bu Yönetmelik, REACH Tüzüğü ile ilga edilen 793/93/EC sayılı Direktifine kısmi uyum amaçlı olarak hazırlanmıştır.
4. Bazı Tehlikeli Maddelerin, Müstahzarların ve Eşyaların Üretimine, Piyasaya Arzına ve Kullanımına İlişkin Kısıtlamalar Hakkında Yönetmelik: Bu Yönetmelik, REACH Tüzüğü ile ilga edilen 76/769/EC sayılı AB Direktifine uyum amacıyla hazırlanmıştır.

REACH Mevzuatına uyum konusu, aynı zamanda Çevre Faslı başlığı altında da ele alınmaktadır [8,9].

2.7.2 EPA tarafından sunulan risk değerlendirme yaklaşımları

EPA ‘Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund’ (ERAGS), kirlenmiş bölgeler için 8 adımlı bir risk değerlendirme süreci tanımlamaktadır. Buna göre, ilk 2 adım izleme seviyesinde bir ekolojik risk değerlendirme olarak nitelendirilmektedir. Birinci adımda problem tanımlanır ve zehirlilik değerlendirilir. Bölge ile ilgili bilgi toplanır. Mevcut tehlikeli maddelerin hangi seviyelerde olumsuz etkilere neden olacağı araştırılır. İkinci adımda maruz kalma tahmini yapılır ve risk hesaplanır. Bitki, hayvan ve insanların maruz kalacağı madde miktarı belirlenir. Risk, çevrede tahmin edilen konsantrasyonun zarara neden olan konsantrasyona oranlanması ile bulunan tehlike oranı ile sayısallaştırılır [13,14].

2.8 Tehlikeli Maddeler ve Çevresel Risk Değerlendirmesi

2.8.1 Tehlikeli madde tanımı

Yapıları gereği, içeriği itibariyle veya bulundukları durum itibariyle tasıma esnasında halka ve çevreye en önemlisi insan sağlığı ve yaşamına, çevreye, hayvanlara ve hayati önem taşıyan her nesneye ve canlıya zarar verebilecek maddeler tehlikeli madde olarak tanımlanmaktadır.

Tehlikeli madde, insana, çevreye ve mala zarar verme yetisine sahip madde ya da malzeme olarak tanımlanmaktadır. Birleşmiş Milletler, tehlikeli maddeleri fiziksel, kimyasal ve nükleer özelliklerine göre dokuz sınıfa ayırmaktadır: patlayıcılar, sıkıştırılmış gazlar, parlayıcı ve yanıcı likitler, parlayıcı ve yanıcı katılar, oksitleticiler, zehirli maddeler, radyoaktif maddeler, aşındırıcı likitler ve tehlikeli madde atığı benzeri muhtelif tehlikeli maddeler.

Tehlikeli maddelerin çevresel risk değerlendirmelerine ve çevre yönetim sistemlerinde yararlı olabilecek bir kontrol mekanizmasının ana hatlarına pek rastlanılmadığı gibi çevre yönetim bilimi bakış açısıyla bir kategorizasyon veya sınıflandırma yaklaşımı da getirilmemiştir. Çevresel etki ve risk değerlendirmesi yöntemlerinde esas olan, çevrenin yani ekosistemin etkilenme risklerinin analiz ve tahmini ile bunların minimize edilmesidir.

Dünya üzerinde çevresel etkileri, kronikleşmiş uzantıları ortaya çıktığı ve su anda kontrol edilmesi mümkün olmadığı için üretimi yasaklanmış birçok maddenin varlığı

bilindiğinden, halen kullanımdaki diğer maddeler için de bir kontrol mekanizması geliştirmek gerekmektedir. Bu mekanizmanın ana hatları;

- Tehlikeli maddenin tanımının yapılması
- Tehlikeli maddenin özelliklerinin belirlenmesi
- Tehlikeli maddelerin sınıflandırılması
- Tehlike potansiyellerinin belirlenmesi
- Risklerin tahmini
- Önlem yöntemlerinin belirlenmesi
- Tehlikeli madde kullanım, dağılım ve tasınım modlarının belirlenmesi
- Kaza ve sonuçlarının tahmini
- Müdahale imkanlarının planlanması
- Acil eylem planlarının geliştirilmesi
- Maruz kalmış çevresel boyutun iyileştirilmesi olarak ortaya çıkmaktadır.

Tehlikeli maddelerin büyük ölçüde kazalarla oluşan tahribatlarında ilk müdahale ve acil eylem planlarının doğal olarak çevrenin birincil canlısı olan insan üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Oysa, tüm organik bağlantıları ile çevresel boyutun yani ekolojik tüm öğelerin etkilenmesi değerlendirilmelidir. Bu nedenle diğer tüm çevresel faaliyetlerde olduğu gibi esas etki faktörü tehlikeli madde olarak ele alınıp çevresel bir risk değerlendirmesi planlanmalıdır. Örneğin; bir endüstriyel faaliyet için çevre etki değerlendirme yaklaşımı nasıl yapılıyor ise tehlikeli madde riskinin ve kazalarla oluşan olayların akut veya kronik etkileri aynı değerlendirme kapsamında yapılabilmelidir. Burada amaç, çevre etki değerlendirmesi ve çevresel risk değerlendirmesi yaklaşımlarından yararlanarak mevcut durumda geçerli olan tehlikeli madde yönetim biçimlerine çevresel bir boyut ve yeni bir yaklaşım getirmeye çalışmak olmalıdır. Tehlikeli maddeler ile ilgili çevresel risk değerlendirmesi yapılırken temel değerlendirme bağlantısı bölgesel bir ekosistem olduğundan bu bölgeye ait etkilenebilecek tüm faktörlerin envanteri çıkarılmış ve tüm standartları belirlenmiş olmalıdır. Bu envanterde nüfus, yerleşim, sosyal yaşam, endüstrileşme, jeolojik yapı, iklim, flora-fauna, endemik türler gibi çevresel faktörler

yer almalıdır. Çünkü, bir tehlikeli madde bu bölgede üretiliyor, yayılıyor, kullanılıyor veya sadece taşınıyor olabilir. Bundan dolayı o maddeye ait bilgi eldeki adımı çevresel bölge envanteri ile bağlantılıdır. Bu durumda çevresel bölge envanteri ile tehlikeli madde arasındaki bağlantı kadar o maddeye ait risklerin tahmini de çevresel bölge bilgileri ile doğrudan ilişkilidir. Bir tehlikeli maddeyi değerlendirirken farklı ekolojiler için farklı riskler tahmin edilebilir. Bununla beraber böyle bir değerlendirme aşamasında bir maddenin tehlikesinin veya potansiyel riskinin kaçınılmaz olduğu ve hiçbir koruma yöntemine uymadığı kanıtlanmış ise bu maddeye doğrudan üretim yasaklaması getirilmiş olması doğaldır.

Tehlikeli maddelerle oluşan riskler, üç temel yoldan çevresel etki ile ortaya çıkarlar. Bunlar, kaza, kullanım-maruz kalma ve besin zinciri-yayılım şekilleridir.

Taşıma problemleri yöneylem araştırmasında yoğun ilgi gören bir uygulama alanıdır. Birçok taşıma probleminde maliyet anahtar rol oynamakta ve maliyetin azalması hedeflenmektedir. Yani taşınan madde, en az maliyetle kaynağından hedefine ulaştırılmak istenmektedir. Bunun için de genellikle taşıyıcılar en kısa yolu veren güzergâhı seçmektedirler. Ancak, tehlikeli madde taşıma probleminde tek amaç düşük maliyet olmamalı, başta insanlar olmak üzere, çevreye ve ekonomik varlıklara verilebilecek potansiyel zararların da göz önüne alınarak taşıma yapılması söz konusu olmalıdır. Bunun için de, tehlikeli madde taşıma problemi özelinde amacımız en az maliyetli güzergâhlara ek olarak riski en azlayacak taşıma güzergâhlarını da bulmak olmalıdır. Buradan yola çıkarak, tehlikeli madde taşıma problemlerinin, risk faktöründen kaynaklı olarak ve çok amaçlı en iyileme mantığı ile diğer taşıma problemlerinden ayrıldığı söylenebilir.

Kazalar genellikle tehlikeli maddenin taşınım modlarına bağlıdır. Bu taşınım modları ise karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu ve boru hatları olarak ele alınmaktadır. Bunun dışında depolama faaliyetleri de taşınım ve kullanım arasında bir mod oluşturmaktadır. Tehlikeli maddelerde risk değerlendirmesi sırasında akut etkileri nedeni ile en çok ele alınan şekil, kazalar ile oluşan olaylar için yapılmaktadır. Oysa kullanım-maruz kalma ve besin zinciri-yayılım ile çevrede uzun süreli bir etkileşim için yönetim düşünceleri ve müdahale bilgileri için daima çok geç kalınmaktadır. Bu nedenle, her üç mod ile ortaya çıkan olaylar ve risklerin ilk müdahale ve acil önlem planlarında her üç mod için de aynı koruma ve önlem alma şekilleri planlanmış olmalıdır.

Bu olaylarda riskleri minimize etmek ve müdahale imkanı yaratabilmenin dört temel adımı vardır;

- Önleme
- Hazırlıklı olma
- İlk müdahale
- İyileştirme

Bu dört ana eylem, bir ekosistem veya bölge için çevre koruma yöntemleri ile benzer şekilde bağlantılı olmalıdır.

2.8.2 Tehlike analizi

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 ya da teknikler kullanılırsa kullanılsın Tehlike Analizi yaratıcı, önalıcı ve mümkün olduğunca değerlendirilmemiş alan bırakmayacak şekilde kapsamlı olmalıdır [6].

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

3. LNG VE DOĞALGAZ

3.1 Doğalgaz

Fosil yakıtlar sınıfına giren kömür , petrol ve doğal gaz, yerin binlerce metre derinliklerindeki birikintiler arasında (sedimentation) kalan organik maddelerin milyonlarca yıl süren bozunumları sonucunda oluşmuşlardır. Basınç ve sıcaklık, fosilleşmiş hayvan ve bitki artıklarını havasız ortamda, bilinen biçimlere dönüştürmüştür.

Doğalgaz, içerisinde büyük oranda metan gazı (LNG de metan gazı oranı % 90) bulunduran petrol gazlarının karışımından oluşmaktadır. Hidro-Karbon (H-C) bileşikleri yerin derinliklerinde oluşum koşullarında basınç, sıcaklık, durum ve karışımlarına bağlı olarak gaz, sıvı, sıvı-gaz fazlarında bulunabilirler. Hafif (H-C) hidro-karbonlar olan metan (CH_4), etan (C_2H_6) , propan (C_3H_8) , butan (C_4H_{10}) gibi gazlar genellikle rezervuar koşullarında petrolle dokunum halinde ya da ondan bağımsız olarak veya petrolün içinde erimiş halde bulunurlar.

Doğal gaz birincil enerji kaynaklarından olup organik teoriye göre milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan atıklarından oluşmuştur. Yeryüzü kabukları arasına gömülen bu artıklar, basınç ve ısı etkisiyle, kimyasal değişikliklere uğrayarak doğal gazı meydana getirmiştir. Genelde doğal gaza sıradağ yamaçlarında petrol yatakları ile birlikte veya serbest olarak rastlanmaktadır. Bugün üretilen doğal gazın yaklaşık %40 kadarı petrol ile aynı yataklardan kalan %60 ise petrolün bulunmadığı yataklardan sağlanmaktadır.

Dünyada ispatlanmış (güvenilir) doğal gaz rezerv miktarı 1989 yılı itibarı ile yaklaşık 116 trilyon metreküp değerindedir. Bu miktarın % 37'si Doğu Avrupa, %37'si Asya, %7'si Kuzey Amerika, %7'si Afrika, %6'sı Güney Amerika, %5'i Batı Avrupa ve %2 si Okyanusya'dadır [1].

1988 yılında ülkeler arasında alınıp satılan doğal gaz miktarı 265 milyar metreküp olup bunun % 22,1 kadarı sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olarak taşınmıştır. Bununla birlikte Avrupa Birliği ülkelerinde petrol talebinin genel tüketim içindeki ağırlığını

koruması ve doğal gaz kullanımında önemli bir artış olması öngörülmektedir. 2002 yılında Avrupa Birliğinin doğal gaz talebinin yüzde 49'u ithalatla karşılanmaktadır. 2030 yılında bu oranın yüzde 81'e yükselmesi beklenmektedir.

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 Federasyonunda 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 [1].

3.1.1 Sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) tarihi gelişimi

Doğal gazın sıvılaştırılması ilk defa 1910 yılında A.B.D. nin Virginia Eyaletinde gerçekleştirildi (Lom, 1974). Amaç, ticari olarak doğal gazdan etan ve propanın sıvı halde ayrıştırılmasıydı. Doğal gaz kombine sıkıştırma ve soğutma işlemleri kullanılarak sıvılaştırıldı ve elde edilen etan ve propan yerel olarak satıldı. Cabot 1914 yılında doğal gazın sıvılaştırılması, depolanması ve taşınması ile ilgili olarak patent başvurusunda bulundu.

1917 yılında 1.225.574 nolu patenti yüksek basınçlı soğutma ve yoğunlaşma işlemleri için aldı. Aynı yıl doğal gazdan helium elde etme fabrikası Texas ta Linde firması ve ABD Maden Araştırma Dairesi tarafından birlikte kuruldu. İkinci olarak 1929 yılında Amarillo yakınlarında kurulan LNG sistemi halen düzenli olarak çalışmaya devam etmektedir. 1920 yılında, ABD de nehir yolu ile LNG taşınmasını sağlamak için özel izole edilmiş konteynerlerin tasarım ve konstruksiyon konusunda birçok patent başvurusu yapıldı ve bunlar kabul edildi. 1937 yılında İngiltere de Egerton doğal gazın sıvılaştırılmasının geliştirilmesi ile depolanması işlemlerini özellikle ekonomik peak-sharing system için kentsel bölgelerde tüketici pazarlarına gazın dağıtılmasını

önerdi. Bu sistem bugün British Gas Council ve ABD ve diğer ülkeler tarafından en ekonomik metot olarak kullanılmaktadır [15].

1937 yılında LNG depolama ve taşınımı ile ilk patent Twomey'e verildi. Bundan üç sene sonra Hope Doğal Gaz Şirketi Cornwell'de yaklaşık 8000 m³/gün kapasiteli bir pilot LNG fabrikasını kurdu. Burada kaskad (cascade) sıvılaştırma metodu kullanıldı. Bu metodda etan, amonyak ve metan soğutma çevrimleri kullanılıyordu. Metan için 34 bar basınç seviyesinden başlayan bir genleşme prosesi takip edilerek atmosfer basıncında sıvılaşması sağlanıyordu. Sıvılaştırma maliyeti yaklaşık 0,5 cent/m³ tahmin edildi. Tesisin buharlaşma kısmındaki ısı eşanjörleri düşük basınçtaki buharla beslendiğinde tesis maliyeti 0,8 cent/m³ olarak tahmin edildi.

Doğu Ohio Gaz Firması Cleveland'da 1941 yılında daha geniş bir LNG tesisini \$ 1.25 milyon maliyetle kurdu. 113000 m³/gün kapasiteli tesisin amacı, yaz periyodu boyunca meydana gelen fazlalık, doğal gazı sıvılaştırıp depolayarak kış periyodunda peak talebi karşılamaktır. [16] LNG depolama kapasitesi 6800 m³ olup bu miktar 4.25 milyon m³ doğal gaz hacmine eşittir. Depolama tankları 3 adet olup 17,4 m çaplı küre şeklindedir. Çevresi 915 mm mantar tabakası ile izole edilmiştir. Üç yıl sonra 13,1 m yükseklikte ve 21.4 m çapında silindirik bir tank daha inşa edilmiş ve bu tank ta 915 mm kalınlığında asbest veya amyant ile izole edilmiştir. 8 ay sonra bu tank beklenmedik şekilde çökmüş ve LNG tesisi tutuşmuş, nihayetinde meydana gelen patlama sonucu 128 kişi ölmüştür.

Zarar \$ 7 milyondur. Çökme nedeni olarak uygun olmayan çelik (%3,5 Ni çeliği) kullanımı gösterilmiştir. Bu tesis tekrar kurulmamıştır. 1947 yılında, Dallas Dreşer Industries Ltd.(Texas) Rusya da Moskova bölgesi için 127000 m³ sıvılaştırma ve depolama kapasiteli LNG tesisinin tasarım ve inşasını yaptı. Tesis Moskova da geniş bir depolama tankı olarak kullanıldı. 1940-1950 yılları arasında ABD de birçok sıvılaştırma ve depolama projesi geliştirildi. [17] 1955 yılında, Constock Int. Methane Ltd. LNG nin okyanusta taşınması ile ilgili birçok proje ve tasarım çalışmalarını yürüttü. İki yıl sonra British Gas Council şirketi Constock Int. Methane Ltd. şirketi ile anlaşma yaparak Büyük Britanya da tüketilen gazın %10 kadarını ABD den ithal etti. Lake Charles yakınlarında ABD şirketi LNG ve depolama tesislerini kurdu. İngiliz şirketi ise Convery adalarından ithal edilen LNG nin boşaltılma ve depolaması için tesisleri kurdu. Yeni bir firma olan British Methane Ltd. dünyada ilk kez okyanusta sıvı metanı kargo gemisiyle taşıyacak "Methana

Pioneer" i kurdu. Methane Pioneer okyanusta 6 başarılı LNG naklini gerçekleştirdi. 1960'lı yıllarda Arzew (Cezayir) de CAMEL (Compagnie Algerienne du Methane Liquide) adlı şirket tarafından Afrikanın en büyük kapasiteli LNG tesisi (4.230.000 m³/gün) kuruldu [16].

Çizelge 3.1 : Yıllara göre doğal gaz alımı

YIL	RUSYA	İRAN	MAVİ AKIM	CEZAYİR	NİJER	TPAO	AZER	SPOT LNG	TOP. mil.cm ³
1988		1136				42			1178
1989		2986				116			3102
1990		3246				111			3357
1991		4031				66			4097
1992		4430				31			4461
1993		4952				23			4975
1994		4957		418		2			5377
1995		5560		1058				240	6858
1996		5524		2436				80	8040
1997		6574		3300					9874
1998		6539		3051		150		644	10384
1999		8693		3256	77	299		331	12656
2000		10079		3962	780	154			14975
2001	10931	115		3985	1337				16368
2002	11631	670		4078	1274				17653
2003	11422	3520	1252	3867	1126				21187
2004	11106	3558	3238	3237	1034				22173
2005	12857	4322	4969	3786	1013	138			27085
2006	12246	5691	7403	2073	503	58	1279		27974
2007	13799	6158	9346				2214		29303
2008	6999	1866	5348						14213

Özellikleri, 18,6 MW elektrik üretme santrali, 96000 m³ hacimde ısı eşanjörleri, 7,5 m³/s debisinde soğutma deniz suyu ve toplam 140 km uzunluğunda boru hattına sahiptir. 1964 ten itibaren LNG, İngiliz Methane Princeş ve Methane Progres ile Fransız Jules Werne adlı taşıyıcılar ile Cezayir den İngiltere ve Fransa ya taşındı. 1970 li yılların başında Eşe Petroleum Company ile ana firma Eion Company dünyanın ileri gelen taşıma şirketleri arasında yerlerini aldılar. Dünyanın en büyük LNG tüketicisi olan ABD ile Fransa, İtalya ve İspanya 1971 sonundan beri Libya dan LNG ithal etmektedir. Metan tanker kapasitesi 120000 m³ olup yaklaşık yılda 1 milyar m³ LNG Cezayir'den ABD nin doğu kıyılarına taşınmıştır. Bu değer ısıtıl kapasite olarak 1 milyon ton sıvı benzin taşınmasına eşdeğerdir.

Çizelge 3.2 : Yıllar itibariyle dünya doğal gaz üretimi (milyar m³)

Dünya Doğal Gaz Üretimi (milyar m³)											
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Kuzey Amerika	716,7	719,6	733,3	740,6	754,8	756,2	769,6	787,9	767,4	768,7	762,8
Güney ve Orta Amerika	67,4	73,2	81,4	82,5	88,5	90	97,9	102,6	104,4	115	129,1
Avrupa ve Avrasya	907,7	904,2	945,4	899,1	915,5	934,9	959,5	967,7	989,4	1024,3	1051,5
Orta Doğu	134,8	148,9	158	175,4	184	193,8	206,8	224,8	244,7	259,9	279,9
Afrika	75,3	83,3	88,9	99,4	104,8	116,9	126,6	126,8	130,9	141,5	145,1
Asya Pasifik	199,4	212,4	228,4	241,8	241,6	260	272,9	281,1	294,2	307,7	323,2
Dünya Toplamı	2101,3	2141,7	2235,5	2238,9	2289	2351,7	2433,2	2490,9	2531,1	2617,1	2691,6

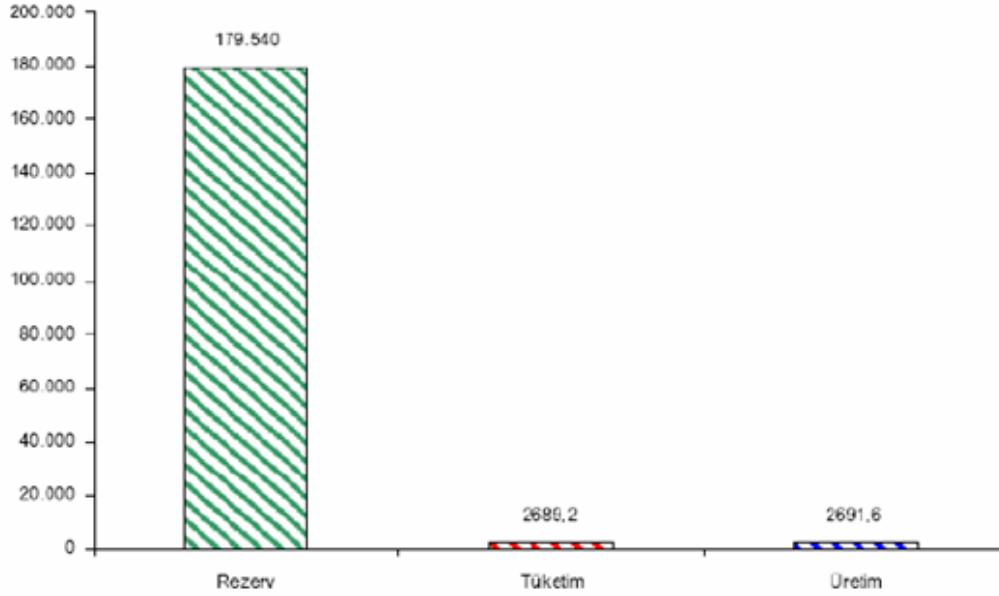
Kaynak: BP

Aşırı talep durumunda sıvılaştırılmış gaz ABD, Japonya ve Avrupa ülkelerine 1975 yılı sonlarına kadar Cezayir, Libya ve Brunei den ithal edilirken bu gün bu ihraç eden ülkelere Katar, Ebu Dabi, İran, Venezuela, Avustralya, BDT Baltık/Sibirya, Nijerya ve Endonezya gibi ülkeler katılmıştır.

Metan taşıyıcılar zincirin bir halkası olarak düşünülmelidir. Besleme terminalinde doğal gaz kaynakları, sıvılaştırma tesisi ve depolama imkânı ile yeniden gazlaştırma ve gaz depolama imkânlarını ihtiva eder. Depolamada LNG tanklarının konstruksiyon ve tasarımında gelişen yeni teknikler, kesinlikle gelecekte LNG nin deniz yolu ile taşınması kadar karayolu ile de taşınmasını cazip kılacaktır.

Böylece teknik ve ekonomik olarak doğal gazı boru hatları ile taşınmanın uygun olmadığı yerlere doğal gazın nakliyesi uygun hale gelmiş olur. LNG diğer

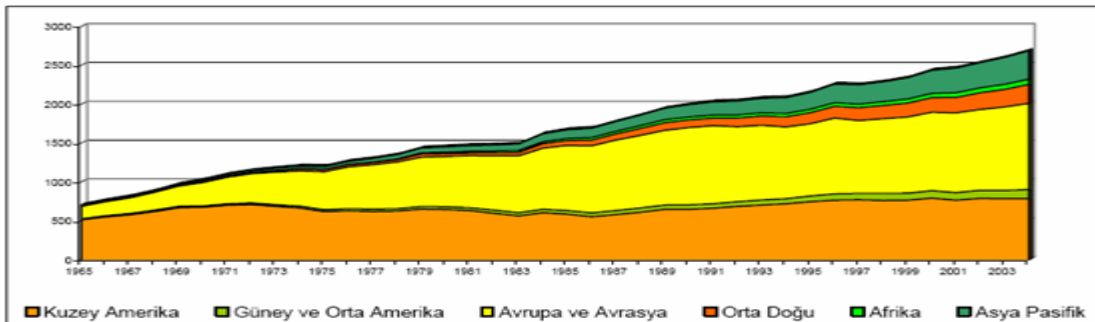
alternatifleri olan LPG, Fuel Oil ve %1 Kükürtlü FO gibi yakıtlardan hem daha ekonomik hem de daha çevrecidir. Giderek artan petrol fiyatları karşısında LNG diğer yakıtlara karşı maliyet avantajını sürekli arttırmaktadır.



Sekil 3.1 : 2004 yılı doğal gaz üretimi ve tüketimi karşılaştırılması (milyar m³)

Dünya doğal gaz tüketimi 1965-2004 yılları arasında ortalama % 3,5'luk artış göstermiştir. Aynı dönemdeki bölgesel artışlara bakıldığında, Kuzey Amerika % 1,2, Güney ve Orta Amerika % 5,6, Avrupa ve Avrasya % 5,2, Orta Doğu % 8,7, Afrika % 12,2 ve Asya Pasifik'in % 11,5 ortalama artış oranına sahip olduğu görülmektedir. Dünya doğal gaz tüketimi 2004 yılında, geçmiş on yıl içindeki ortalama % 2,5'luk artış ile karşılaştırıldığında % 3,3 artış göstermiştir. Dünya'nın en büyük pazarı olan ABD'deki tüketim, yüksek fiyatlar ve endüstriyel yeniden yapılanma koşulları altında durgunlaşmıştır. ABD dışında doğal gaz tüketimi, özellikle Rusya, Çin ve Orta Doğu'daki tüketim artışıyla, % 4 oranında artış göstermiştir.

Çizelge 3.3 : Yıllar itibariyle dünya doğal gaz tüketimi



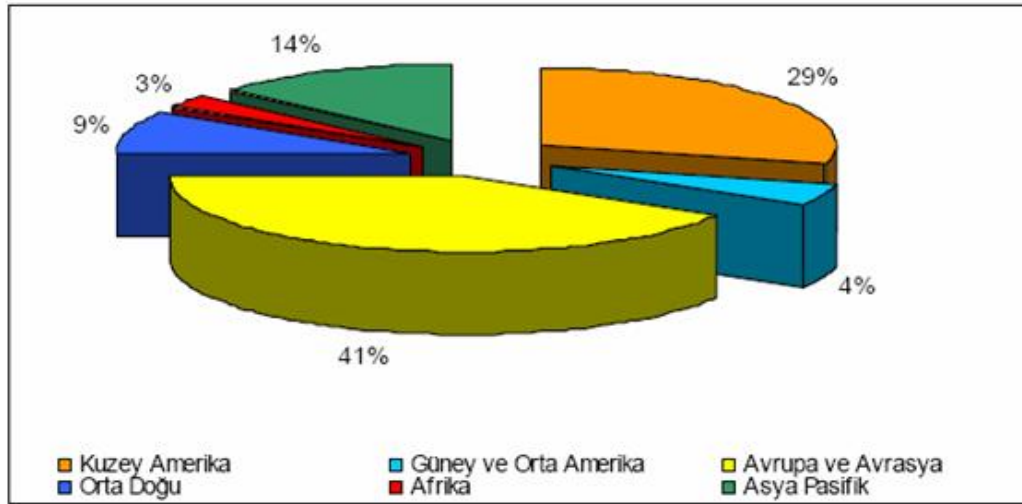
Kaynak:BP

Doğal gaz tüketiminin en yoğun olduğu bölge 1980'e kadar Kuzey Amerika iken 1980'den sonra Avrupa ve Avrasya olmuştur. 1965-1980 yılları arasında Avrupa ve Avrasya ortalama % 36'lık bir paya sahipken, aynı dönemde Kuzey Amerika % 60'lık bir paya sahiptir.

2004 yılı doğal gaz tüketimleri bölgesel bazda incelendiğinde Avrupa ve Avrasya'nın 1108,5 milyar m³ (Dünya doğal gaz tüketiminin % 41'i) ile en yüksek tüketim miktarına sahip olduğu görülmektedir. Avrupa ve Avrasya'yı 784,5 milyar m³ (Dünya doğal gaz tüketiminin % 29'u) ile Kuzey Amerika izlemektedir.

3.1.2 Dünya'da enerji kaynakları içerisinde doğal gazın yeri

Dünya doğal gaz tüketiminin gelecekte, diğer birincil enerji kaynaklarından daha büyük bir artış göstermesi beklenmektedir. Gerek çevresel faktörler gerekse bir çok sektörde doğal gazın kullanımının artması, dünya enerji talebinin karşılanmasında doğal gazın önemi artan bir rol üstleneceği anlamına gelmektedir.



Kaynak: World Energy Outlook 2004, IEA'den elde edilen verilerle oluşturulmuştur.

Sekil 3.2 : 2004 yılı itibarıyla dünya doğal gaz tüketimi miktarları dağılımı

Çizelge 3.4 : Dünya birincil enerji talebinin dağılımı

	(milyon TEP)					
	1971	2002	2010	2020	2030	2002-2030*
Kömür	1.407	2.389	2.763	3.193	3.601	1,5%
Petrol	2.413	3.676	4.308	5.074	5.766	2,0%
Doğal Gaz	892	2.190	2.703	3.451	4.130	2,3%
Nükleer Enerji	29	692	778	776	764	0,4%
Diğer	795	1.398	1.641	1.911	2.226	1,7%
Toplam	5.536	10.345	12.193	14.405	16.487	1,7%

* Ortalama Yıllık Büyüme Oranı

Kaynak: World Energy Outlook 2004, International Energy Agency

3.2 LNG

LNG (sıvılaştırılmış doğalgaz), doğalgazın yerüstünde atmosferik basınçta -162°C de soğutulması ile elde edilmiş olup, kokusuz, renksiz ve zehirli olmayan sıvı fazda bir yakıttır. Sıvı fazda taşınır ve depolanır, gaz fazında tüketime sunulmaktadır. Sıcaklığın yükselmemesi için Cryogenic ve çift cidarlı özel kaplarda depolanır ve nakledilir. Doğal gazın hacmi, gaz fazından sıvı faza geçerken 600 kat küçülür. Bu sayede yüksek miktardaki doğal gaz, düşük basınçlar altında hacmi 600 kez küçültülerek sıvı halde saklanabilmektedir. Bu durum, doğalgazın boru hatları ile taşınmasının teknik ve ekonomik anlamda mümkün olmadığı yerlere, gemi ve kamyon tankerler ile nakliyesini uygun hale getirmektedir. Doğalgazın sıvılaştırılması aşamasında, doğalgazın bünyesinde bulunan ağır hidrokarbonlardan arındırılması, LNG'nin doğalgaza kıyasla daha temiz ve daha yüksek enerji değerine sahip olmasını sağlamaktadır. Doğal gazın sıvılaştırılarak ticaretinin yapılabilmesi için ihraç eden ülkenin sıvılaştırma ve ihraç terminallerine, ithal eden ülkenin ise depolama, yeniden gazlaştırma ve LNG ithal terminaline ihtiyaçları vardır.

LNG'nin sıvı fazının özgül ağırlığı 0,46'dır. Yani ağırlığı suyununkiye göre yaklaşık yarısıdır. Geometrik hacmi 1 m^3 (1.000 lt) olan bir kaba doldurulan LNG nin ağırlığı 460 kg'dır. LNG renksizdir, kokusuzdur, zehirli değildir, korozif özelliği yoktur. LNG'nin gaz halinin hava içindeki karışım oranı %5 ile %15 arasında yanıcı ve parlayıcıdır. LNG, esas olarak %90 civarında bir oranda metandan (CH_4) oluşur. Metan haricinde etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}) ağırlıklı olmak üzere diğer hidrokarbonları da ihtiva eden bir yakıt türü olan LNG, sıvılaştırma prosesi esnasında içindeki oksijen, karbondioksit, kükürt bileşenleri ve sudan arındırıldığı için boru hattı doğal gaza göre daha saf ve yüksek verimli bir yakıttır.

3.2.1 LNG' nin kimyasal özellikleri

Kaynama Noktası	-162°C
Sıvı Faz Yoğunluğu	0,42-0,46 kg/lt
Gaz Faz Yoğunluğu	0,76 kg/lt
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	580°C
Maksimum Alev Sıcaklığı	1954°C
Üst Isıl Değer	9825 kg/Sm ³
Parlama Limiti (Hava ile karışım oranı)	%5 - %15

Buharlaşma Basıncı (21 °C)	240 bar
İletim ve Depolama Basıncı	0 – 5 bar

Kararlılık ve Reaktivite

Kararlı.

Sabit bir gazdır.

Tehlikeli polimerizasyon oluşturmaz.

Oksitleyici maddeler ve asitlerle temas etmemelidir.

3.2.1.1 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 gerçekteşeceği 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 30% - 100 %

Bu oranlar havadaki oksijen oranının 21 % olarak kabul edildiğı bir durum için geçerlidir. Eğer oksijen oranı daha az ise bu oranlarda değışecektir.

LNG nin yanması sonucu termal radyasyon ve basınç hasarları oluşabilir. Isıdan kaynaklanan termal hasarlar birim yüzeye tesir eden ısı enerjisi ile değeriendirilir.

3.2.1.2 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. Gaz buharı bulutunun tutuşması sonrasında yanan buharın tekrar sızıntısının kaynağına dönmesi söz konusu olabilir. Bu olaya ateş topu adı verilir. Olay doğası gereği yüksek bir basınç40 yaratmaz ve gemi yapısına zarar verebilecek muhtemel basınç etkisi yaratması güçtür [11].

3.2.1.3 Hızlı hal değiştirme (rapid phase transitions)

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

3.2.1.4 Toksikolojik bilgiler

- Metan dolayısıyla LNG zehirsiz bir gazdır.
- Havada %20,9 oksijen bulunur, bu oran %18'in altına düştüğünde potansiyel boğucudur.

3.2.2 LNG'nin tercih sebepleri

LNG yüksek yanma verimi, temiz ve ekolojik yakıt özelliği, ekonomikliği ve güvenli / pratik kullanımı ile alternatif bir yakıttır

Günümüz şartlarında boru hattı doğalgaz kullanımının mümkün olmadığı yüksek tüketim kapasiteli işletmeler için çevre dostu ve ekonomik bir enerji kaynağıdır.

LNG, havadan hafif olması sebebiyle uçarak yok olabilir. Herhangi bir kaçak durumunda alternatif yakıtların aksine zeminde ve çukur yerlerde birikme yapmadığından herhangi bir kirlilik oluşturmaz. Fakat ortamın iyi havalandırılmış olması gerekir.

LNG'li sistemlerde yanma hassas olarak kontrol edilebildiği için yakıt kaybı çok azdır.

Gaz oluşundan dolayı hava ile çok iyi karıştığından yanma verimi yüksektir.

Ön yakıt hazırlama masrafı yoktur.

Verimli bir yakıt olması sebebiyle hem ekonomiktir, hem de enerji tasarrufu sağlar.

Sıvılaştırılmış doğalgazda yanma için hava gereksinimi en azdır. Bu oran kömürde %20-30, fuel-oilde %10-20, LNG’de ise %5-10’dur.

Katı ve sıvı yakıtlar yanma ürünü olarak kükürt içerdiğinden, baca gazlarının suyun yoğunlaşma noktasına kadar soğutulması ve böylece suyun gizli ısısından faydalanılması imkânı yoktur. Ekonomizer ilave edilerek sıvılaştırılmış doğalgazın baca sıcaklığı 56°C’ye kadar indirilebilir.

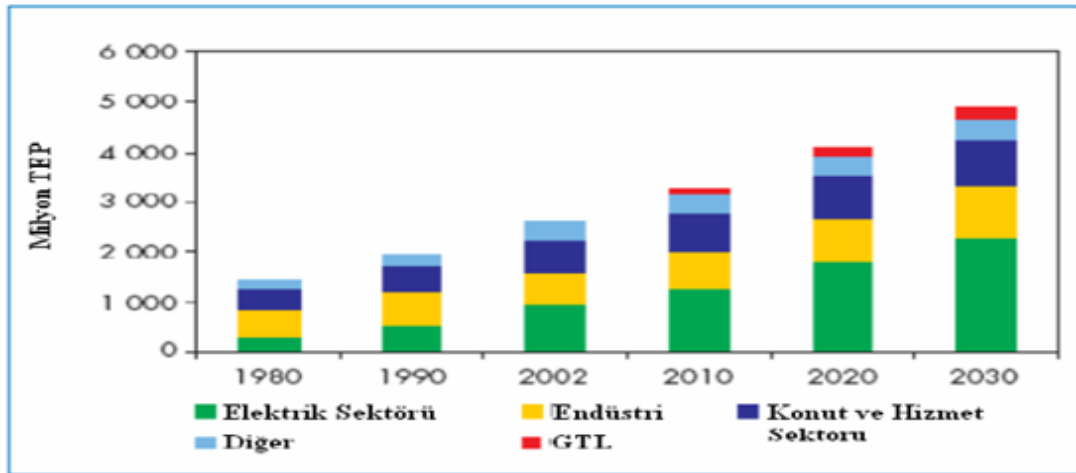
Kurum, is gibi atık ürünleri olmadığı için ısı transfer yüzeyleri temiz kalır.

Tesis çok az bakım ve denetleme gerektirir.

Uygun şartlar altında depolandığı sürece patlama veya yanma riski yoktur, oksijen olmayan depoda patlama veya yanma olmaz. LNG açık havaya salındığı takdirde gazlaşır ve havadaki oksijen muhtevası yüzünden yanabilir.

Temiz olması ve içerisinde kükürt bulunmamasından dolayı birçok sanayi sektöründe doğrudan kullanılabilmesi, hem sistem veriminin hem de ürünün kalitesinin artmasını sağlar. Ham petrole alternatif bir yakıt olarak dış kaynaklı enerji çeşitliliği açısından stratejik bir avantaj sağlar.

Kullanım alanları çok çeşitlilik göstermekle birlikte düzenleme yapacak olursak: elektrik, sıcak su, buhar, sıcak hava, kızgın yağ, metal işleme tesisleri, otellerde ısıtma amaçlı, seramik ve cam sanayi, pişirme ve kurutma fırınları, tekstil sanayi, gıda sanayi, tersaneler ve gemi imalat sanayi olarak listeleyebiliriz.



Kaynak: World Energy Outlook 2004, International Energy Agency

Sekil 3.3 : Dünya doğal gaz talebinin sektörel dağılımı

Kullanımı giderek artan doğal gaz ısınma sanayi yanında önümüzdeki dönemde enerji üretiminde de ağırlığını iyice hissettirecektir. Bu sebepten, arzı artırma ve çeşitlendirme çabaları da sürmektedir. Cezayir'in yanı sıra Nijerya'dan da LNG ithaline başlanmıştır. Arz miktarını artırmak için Marmara Ereğlisinde kurulan 5 milyar metreküp kapasiteli LNG tesislerine ilave olarak İskenderun körfezi ve İzmir Aliğa da yeni LNG tesisleri kurulması için fizibilite çalışmaları sürdürülmektedir. Böylece doğal gaz tüketimindeki süreklilik güvence altına alınmış olacaktır.

Ayrıca, bir yandan doğal gaz sisteminden yararlanacak doğal gaz kullanıcılarına kesintisiz doğal gaz sağlanabilmesi diğer yandan yıl içerisinde talepteki zamana bağlı dalgalanmalarda oluşabilecek pik taleplerin karşılanabilmesi amacıyla yer altı depolama imkânlarının araştırılmasına devam edilmektedir.

3.2.3 LNG depolanması

Doğal gaz tüketicisi ülkeler doğal gazın temininde tek bir kaynağa bağlı kalmamak ve belli aylarda meydana gelebilecek talep fazlalığına cevap verebilmek için doğal gazı depolamak ve gerektiğinde kullanmak zorundadırlar. Doğal gaz ya atmosfer basıncında -162°C sıcaklıkta ya da basınç altında daha yüksek sıcaklıklarda depolanabilir.

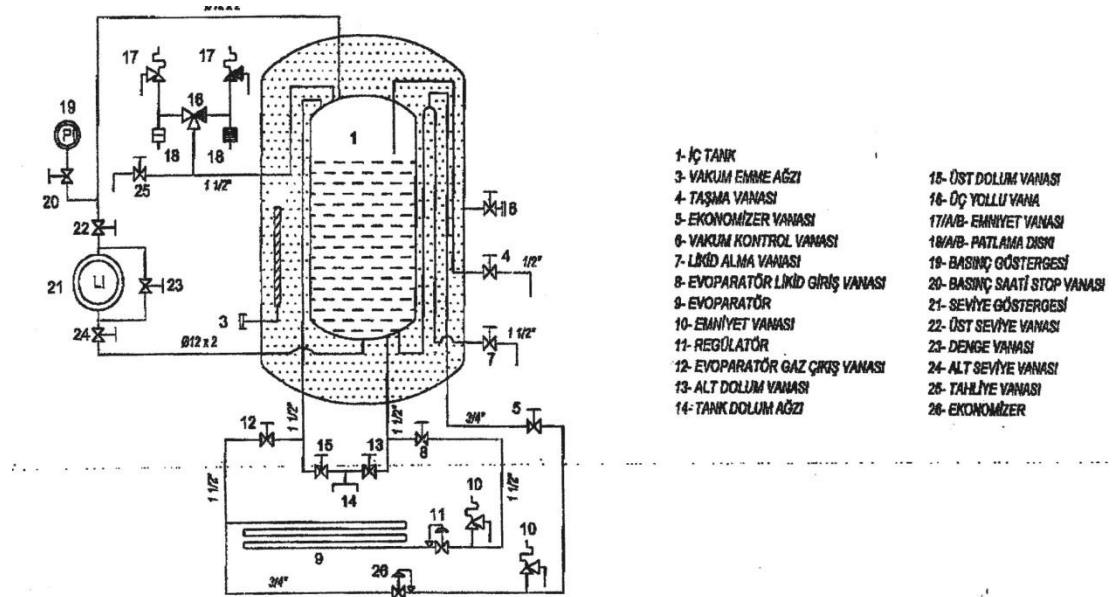
LNG depolarına hem sıvılaştırma terminallerinde hem de ithal terminallerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Depolama tankları genel olarak; çift duvarlı metalik tanklar veya çift duvarlı beton tanklar olarak yapılmaktadır. Metalik tankların yapımı daha ucuzdur ancak beton duvarlı tanklar emniyet açısından daha güvenlidir. Özellikle yerleşim merkezleri ve hava alanları yakınlarında beton duvarlı tanklar tercih edilmelidir.

Depo içerisinde buharlaşacak doğal gaz miktarını LNG tankı ile çevresi arasındaki ısı alışverişi tayin eder. Ortalama buharlaşma miktarı tankın depolama kapasitesine bağlı olarak değişir. İyi bir tank izolasyonunda 15.000 m^3 e kadar LNG depolama kapasiteli bir tank için hacimsel olarak % 0.08 $\text{m}^3/\text{gün}$, 50.000 m^3 e kadar LNG depolama kapasiteleri için % 0.05 $\text{m}^3/\text{gün}$ ve $150.000-180.000\text{ m}^3$ e kadar depolama kapasitesine sahip tanklar için % 0.03 $\text{m}^3/\text{gün}$ buharlaşma miktarları aşılmamalıdır.

Anlaşılabacağı gibi buharlaşan doğal gaz miktarı depolama kapasitesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Tank ile çevre arasındaki ısı kayıplarının başlangıçtan itibaren sürekli rejim haline gelmesi için geçen süre oldukça büyüktür.

Kreyojenik, Yunanca "Kryos" kelimesinden gelmekte olup çok soğuk anlamına gelir. Sıvılaştırılmış endüstriyel ve medikal gazların depolama ve taşıma şartlarını belirler. LNG gazının sıcaklığı normal şartlar altında -160 °C civarındadır. İletim ve depolama basınçları 0 ila 5 bar arasındadır.

Gerek LNG Tanker tankları, gerekse sabit müşteri tankları kreyojenik olmalıdır. Kreyojenik Tanklar iç içe iki kaptan oluşmaktadır. İçteki paslanmaz tank, LNG depolamakta kullanılır. Dıştaki çelik tank izolasyon kabıdır. İki tank arasında izolasyon olarak vakumlanmış perlit bulunur. Tankların tamamında emniyet sistemleri olmalıdır. LNG, doğal gaz basınç düşürme istasyonuna 3 ila 4 bar arasında gönderilir. Tankın basınçlandırılması tank buharlaştırıcıları tarafından yapılır. Basınç, regülatör ve ekonomizer marifetiyle kontrol edilir



Sekil 3.4 : LNG akış diyagramı

Buharlaştırıcılar LNG'yi sıvı fazdan gaz fazına dönüştürmek için kullanılır. Buharlaştırıcılar, LNG'yi ortam ısını kullanarak gazlaştırıp tüketilmeye hazır hale getirirler. Geniş ısı transfer yüzeyleri sayesinde yüksek ısı değıştirme kabiliyetleri vardır. Tamamen alüminyumdan üretilmişlerdir. Hareketli parçaları olmadığından, bakım gerektirmezler.

2002 yılından bu yana doğal gaz depolama tesisleri projeleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından sürdürölmektedir. 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. 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 aşamada 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]

Doğal gaz dâhili tesisatları EPDK teknik mevzuatına uygun olarak yapılmalıdır. Buharlaştırıcıların çıkışından itibaren, işletme içi yakma ünitelerine kadar olan 2. Kademe Basınç Düşürme İstasyonunu da dâhil LNG kullanımı ile ilgili tüm doğal gaz dahili tesisatı, EPDK'dan sertifika almış bir yapım firması tarafından EPDK, BOTAŞ veya bölgesinde yetkili Şehir Dağıtım Şirketi'nin standartlarına uygun olarak yine EPDK'dan sertifika almış bir müşavir firma kontrol ve denetiminde yapılmış olmalıdır.

3.2.3.1 LNG tesislerinde ve depolamada kullanılan ekipmanlar

LNG'nin Sıvı halden gaz halinde kullanıma sunulması için gerekli olan Sistemler Temel olarak 2 ana unsur ve 3 adet yardımcı unsurdan oluşur;

Ana Unsurlar;

- 1) Depolama Tankları
- 2) Atmosferik Evaporatörler

Yardımcı Unsurlar;

- 1) Kokulandırma Sistemi
- 2) Ara Bağlantı Boru Hatları ve Vanalar
- 3) Emniyet Sistemleri

Ana Unsurlar

1) Depolama tankları

LNG depolanması için kullanılan silindirik, perlit+vakum izolasyonlu tanklar, müşteri ihtiyaçlarına göre dikey ya da yatay olarak, firmalar tarafından AD2000 ve EN13458 standardına uygun olarak imal ettirilmektedir. Firmaların LNG tankları 97/23/CEE sabit basınçlı kaplar direktifi doğrultusunda CE işareti taşımaktadır. Yine tank üzerindeki vana v.b. ekipmanlar da tamamen ithal kreyojenik özelliklere sahip olup CE işaretlidir.

İç Tank :

- Tasarım Kodu: EN 13458-2 ve AD 2000
- Tasarım Sıcaklığı: -196 °C / + 50 °C
- Malzeme: Paslanmaz Çelik SA 240 Tip 304L
- Maksimum çalışma basıncı: 5 barg
- Tasarım basıncı: 6 barg
- Test Basıncı: 10.1 barg

Dış tank:

- Tasarım Kodu: EN 13458-2 ve AD 2000
- Tasarım Sıcaklığı: -10 °C / + 50 °C
- Malzeme: Karbon çelik EN 10025-2 S235JR veya eşdeğeri
- Tasarım basıncı: -1 barg

Bazı firmalar standart olarak, 20 m³, 30 m³, 40 m³ ve 50 m³ dik LNG tank seçeneklerinin yanı sıra müşteri ihtiyacına göre farklı kapasite ve tipte (dik/yatay) tankları da teklif edebilmektedir.

Tanklara LNG Yükleme yapılmadan önce Azot gazı ile iç tankın sıcaklığı – 190 °C'lere kadar soğutulmakta ve – 162 °C 'deki LNG basılmaktadır. Bu transfer esnasında pompa kullanılmamakta olup; İç tankın basıncı düşürülüp transfer tanklerinin basıncı yükseltilerek basınç farklılığı ile transfer gerçekleşmektedir. Tank ile LNG taşıma tankeri arasındaki mesafe mümkün olduğunca kısa tutulması gerekmekte olup , 1,5 – 2 metredir. Ana tankın bulunduğu alan, paratonerin kapsama alanında olması gerekmektedir. Topraklamasının mutlaka yapılması gerekmektedir.

Ayrıca LNG Toptan Satış Lisansı Firmasının vereceği proje dahilinde tank ve evaporatörün yerleştirileceği betonarme platform projeleri için gerekli yerleşim, ayak montaj plakaları , ankraj ölçüleri, ve yerleşim kesiti projelerine mutlaka uyulmalıdır [16].



Şekil 3.5 : Kreyojenik tank



Şekil 3.6 : Evaporatör uygulamaları

2) Atmosferik evaporatörler

Atmosferik Evaporatörler LNG yi sıvı fazdan gaz fazına dönüştürmek için kullanılır.

Buharlaştırıcılar (Evaporatörler), LNG' yi ortam ısını kullanarak gazlaştırıp tüketilmeye hazır hale getirirler. Geniş ısı transfer yüzeyleri sayesinde yüksek ısı değiştirme kabiliyetleri vardır. Tamamen alüminyumdan üretilmişlerdir. Hareketli parçaları olmadığından, bakım gerektirmezler. Evaporatör çıkışı doğalgaz basıncı 2,5 – 3,5 bar arasındadır. Evaporatörlerin çıkış çapları mümkün olduğunda büyük tutulmalıdır. (Örn. DN 65). Evaporatörler, LNG – 162 °C 'de girdiğinden dolayı sürekli karlanma ve buzlanmaya maruz kalacaktır. Son peteklere kadar karlanma ve buzlanma olursa LNG kaçma ihtimali göz ardı edilmemelidir. Evaporatörler mutlaka topraklanmalı ve ayak montaj plakalarına sabitlenmelidir.

Yardımcı Unsurlar

1) Kokulandırma sistemi

LNG kokusuz bir yakıttır. Ancak kullanım noktalarındaki kaçaqlara karşı kokulandırılması gerekmektedir. LNG tankı içindeki çok düşük sıcaklıklar nedeniyle herhangi bir kokulandırıcı kimyasal maddenin LNG içine katılması mümkün değildir.

Bu nedenle LNG sıvı halden gaz hale geçtikten sonra THT (Tetra Hidro Tiofen) denilen özel bir kimyasal madde ile kokulandırılır. Gaz bir taraftan girerek kimyasalın içinden geçerken kokusunu alarak diğer taraftan çıkar. Tamamen paslanmaz çelik malzemeden imal edilmektedir. Seviye göstergesi vasıtasıyla kimyasal maddenin stok durumu gözlenmektedir. Ayrıca çıkışta bulunan vanalar vasıtasıyla kokulandırma derecesi ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.7 : Kokulandırıcı

2) Ara bağlantı boru hatları ve vanalar

Tankı önümüze aldığımız zaman dolum ağzı/çenesinin sağ kısım sıvı hattı ile irtibatlı olup; Sol kısım gaz hattı ile irtibatlıdır. Dış tank ile iç tankın arasından iç tankın üst tarafına bağlantı yapılmıştır. Her vana arasına emniyet ventili bağlanması ve vent borusu ile irtibatlanması gerekmektedir. Sıvı hatta tankın basıncını arttırmak için ayrıca evaporatör , tank basınç kontrol regülatörü ve ekonomagzer olması gerekmektedir. Tankın sağ tarafından çıkan gaz kullanım kontrol vanasından alınarak evaporatöre paslanmaz boru ile irtibatlandırılarak sıvı halden atmosferik evaporatörden geçerek gaz haline dönüşmesi sağlanmış olur.

3) Emniyet sistemleri

a) Gaz kaçağı algılama sistemi :

LNG tank sahasında ve özellikle tank vana gurubunda oluşabilecek herhangi bir gaz kaçağını algılayacak kaçak sensörü vana mahali üzerine yerleştirilmelidir. Kumanda panosu aracılığıyla alarm verecek olan gaz kaçağı algılama sistemi, yine NFPA-59A standardı gereği sistemde kurulması gereken vazgeçilmez bir emniyet ve güvenlik ögesidir.



Şekil 3.8 : Gaz kaçağı algılama sistemi

b) Gaz sıcaklığı takip ve kontrol sistemi :

NFPA-59A'ya göre LNG tank sahasında bulunan buharlaştırıcıların çıkışında yer alan bir PT100 sıcaklık transmiiteri aracılığıyla, likit halden gaz haline geçen doğalgazın sıcaklığı sürekli olarak takip ve kontrol edilmelidir. Gaz sıcaklığının -10°C 'a düşmesi durumunda sistem önce alarm vermekte, sıcaklığın -18°C 'a düşmesi durumunda ise doğalgaz dış ve iç tesisatta yer alan ekipmanların zarar görmemesi için tank çıkışındaki likit vanaları otomatik olarak kapatılmaktadır. Hava sıcaklığının -20°C 'ın altına düşme ihtimali olan müşteri tesislerinde, ex-proof (patlama korumalı) doğalgaz ısıtıcıları kullanılarak gaz sıcaklığı uygun seviyeye çıkarılır.



Şekil 3.9 : Sıcaklık sensörü

c) Deprem izleme sistemi :

LNG tesisi kumanda panosu içinde yer alan bir deprem sensörü ile müşteri ile müşteri lokasyonunda olabilecek herhangi bir yer sarsıntısının büyüklüğüne bağlı

olarak sistem alarm vermekte ve ardından depremin büyüklüğünün artması halinde LNG tank çıkışındaki likit vanaları kapatılmaktadır.



Şekil 3.10 : Deprem Sensörü

d) LNG tesisi ana kumanda panosu ve paralel ikaz panosu :

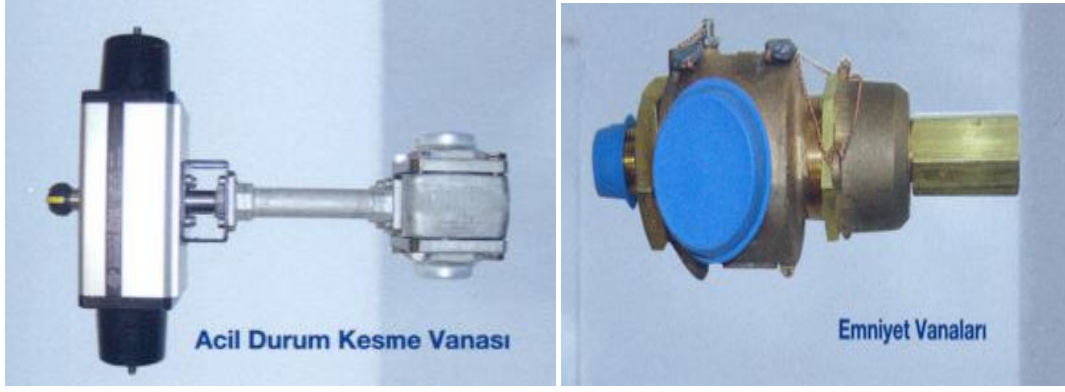
Sıcaklık, gaz kaçağı algılama, deprem izleme sistemlerinden gelen ikazları sesli ve ışıklı alarma çeviren ve tank çıkışındaki likit vanalarının otomatik olarak kapanmasını sağlayan LNG Tesisi Ana Kumanda panosudur. Ayrıca pano üzerinden de vanalar manuel olarak açılıp kapatılabilir ya da acil stop butonu aracılığıyla vanalar kapatılıp alarm verilebilir. Bu panonun üzerindeki ikazların aynısını bulunduran paralel ikaz panosu müşterinin talebi doğrultusunda güvenlik binası v.b. bir noktaya konulabilir.

e) Kazan dairesi gaz kaçağı alarm sistemi :

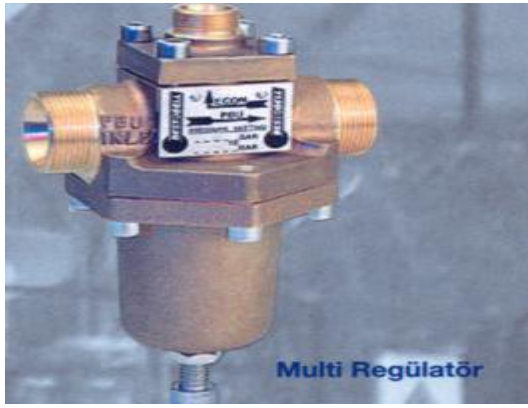
Doğalgazın kullanım noktasındaki (kazan dairesi, mutfak v.b.) kaçaklarını algılayıp, kullanıcıları sesli ve ışıklı olarak uyaran sistemdir.

f) Basınç düşürme istasyonları

Evaporatörden çıkan Gaz halinde ve ortalama 3 bar olarak çıkan gazın basıncının , tesisdeki tüketim noktalarında Doğalgaz kullanacak tüketicilerin yakma basınçlarına indirgenmesi gerekmektedir. Bu nedenle basınç düşürme istasyonları mühendislik hesapları neticesinde belli basınçlara indirilecek şekilde dizayn edilmektedir. Burada ana giriş vanasının tam geçişli ve filtrenin PN 16 çelik olması gerektiği gözden uzak tutulmamalıdır.



Şekil 3.11 : Acil durum kesme ve emniyet vanaları



Şekil 3.12 : Multi regülatör

Tüm tanklar; dolum ve boşaltma, seviye, basınç, emniyet ve tahliye bağlantı vanaları ile regülatörler ve ekonomizer gibi uluslararası standartlarda sertifikalı armatürler ile donatılmalıdır.

Acil Durum Kesme Vanası: Yangın ve deprem gibi acil durumlarda, uzaktan müdahale ile sıvı akışını kesen vanadır.

Emniyet Vanaları: Tank içindeki basıncın 5.1 barın üzerine çıkması durumunsa açılmak suretiyle tank içindeki gazın tahliye edilmesini sağlamaktadır.

3.2.4 LNG taşınması

Ortalama 40 m³ ile 50 m³ arası hacimde tankerlerde 16 ila 19 ton taşıma olanağı bulunmaktadır. Aşağıda AKPET GAZ A.Ş. işletmesinden alınan taşımacılık bilgisi örnek olarak sunulmuştur.

- UN Numarası UN 1972
- Tehlikeli Mallar Sınıfı 2.1

- Uygun Sevk İsmi Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG - Liquified Natural Gas)
- HAZCHEM Kodu 2YE

İlave Bilgi: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG), vakum ve perlit malzemesi ile yalıtılmış, özel kriyojenik tanklar içinde depolanır ve nakledilir.

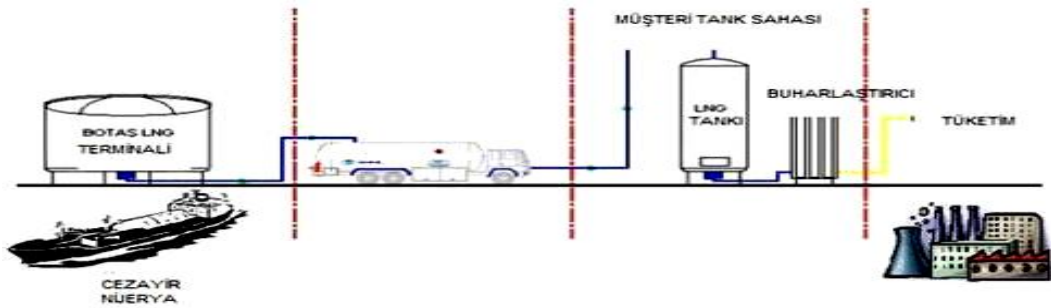


Şekil 3.13 : Tanker UN 1972

İdeal tank uygulamaları: $2 \text{ m}^3 - 60 \text{ m}^3$ arasındır. Bu konudaki uygulama dikey tank imalatı yönündedir.

Buharlaştırıcı uygulamaları: $350 \text{ m}^3/\text{h} - 2000 \text{ m}^3/\text{h}$ arasındır. Buharlaştırma için gerekli ısıyı havadan almaktadır. Enerji harcaması maliyeti yoktur.

3.2.4.1 LNG ikmali



Şekil 3.14 : LNG taşımacılık operasyon zinciri

Bu zincirdeki faaliyetler şöyle sıralanabilir;

- LNG'nin deniz yolu ile taşınması,

- LNG'nin ana tedarik noktasında depolanması,
- LNG'nin tedarik noktasından müşteri sahasına taşımacılığı,
- LNG'nin müşteri tankına ikmal edilmesi,
- LNG'nin müşteri tankından sonra evaporatörler ile gazlaştırılması ve kullanımı



Şekil 3.15 : Tankerler

3.2.4.2 Tanker operatörleri talimatnamesi

Tanker operatörleri karayollarında güvenli taşıma kuralları yönetmelikleri gereğini uygulamak durumundadır. Bununla ilgili tesisin ilgili sorumluları tarafından tanker operatörlerine talimatname sunulmaktadır. Cezai yaptırımları da içeren bu talimatnameler tehlikeli madde taşınmasında dikkate alınacak hususları önemle tanker operatörlerine bildirir.

Aşağıda örnek bir işletmenin tanker operatörlerine hitaben hazırlanmış 'Tanker Operatörleri Talimatnamesi' bulunmaktadır:

1. Tanker operatörü aracının muayenesini, trafik sigortasını, tehlikeli madde taşıma sigortasını kontrol edecektir. Tanker operatörü bu hususlardan herhangi birisi sebebiyle maruz kaldığı trafik cezalarından şahsen sorumlu tutulacak ve ceza tutarı maaşından kesilecektir.
2. Araçta oluşan hasarlar, trafik ekipleri tarafından hazırlanacak tutanaklarla belgelenecek, belgelenen bu hasarların masrafları kasko tarafından karşılanacaktır. Ekipler tarafından tutanağı hazırlanmayan kazalar sebebiyle oluşan masraflar tanker operatörünün maaşından kesilecektir.

3. Tesis filo sorumluları tarafından, daha önceden bildirilmemiş aksaklıkların (yangın söndürme cihazlarının boş olması, basamakların, tamponların, aynaların hasarlı olması vs) belirlenmesi durumunda, sorumlu tanker operatörü cezai yaptırıma maruz kalacaktır.

4. Tesis, müşteri sorumluları ya da denetçiler tarafından belirlenen ve kesinleşen trafik kurallarına, dolum-boşaltım talimatlarına uygunsuz davranışlar sonucunda tanker operatörleri cezai yaptırıma maruz kalacaktır.

Eğitimler sırasında belirtilen emniyet kemeri kullanımı, gündüz far kullanımı, 30-50-60 km/h hız sınırı, sigara, alkol ve uyuşturucu kullanılmaması, cep telefonu kullanılmaması, kıyafet ve kişisel bakım, araca yolcu, eşya alınmaması ve kişisel koruyucu donanım kullanımı konularına riayet edilmemesi durumlarının tespiti durumunda tanker operatörleri cezai yaptırıma maruz kalacaktır ya da iş akdi fesh edilecektir.

Çizelge 3.5 : LNG tankeri boşaltma talimatı

	LNG TANKERİ BOŞALTMA TALİMATI
1	Aracın önü çıkış istikametine gelecek şekilde tank dolum sahasına yanaşın (mümkün olan tesislerde)
2	Aracı stop edin ve takozları yerleştirin
3	Boşaltma işlemi öncesi çevre güvenliğini alarak, tanker boşaltma mahallini araç trafiğine kapatın ve boşaltma yapıldığını gösteren ikaz levhalarını tankerin önüne ve arkasına yerleştirin. Kişisel koruyucu ekipmanlarınızı (eldiven, gözlük, baret, anti statik ayakkabı) kullanın
4	Tank sahasında gaz kaçağı kontrolü yapın (göz ve gaz detektörü ile)
5	Topraklama pensesini tanker üzerinde bulunan topraklama noktasına bağlayın
6	LNG tanker hortumunu yuvasından çıkararak, kör tapalarını sökün ve tankerin dolum ağzına bağlayın. Hortumun diğer ucunu müşteri tankindeki dolum ağzına bağlayın
7	Kıvılcım çıkartmayan sarı pirinç çekiç kullanarak hortum ağzı vidalı bağlantılarını sıkıştırın
8	Müşteri tankindeki gaz hattı vanalarını açın
9	Hortumu soğutmak için tahliye vanasını açarak içerisindeki havayı tahliye edin

Çizelge 3.5 : LNG tankeri boşaltma talimatı (devam)

10	Vanayı kapatıp gaz detektörü ile hortum bağlantılarında gaz detektörü ile hortum bağlantılarında kaçak kontrolü yapın
11	Kaçak var ise hortum bağlantılarını tekrar söküp bağlayın ve sıkıştırın
12	Gaz detektörü ile tekrar kontrol yapın
13	Kaçak giderilemiyorsa kesinlikle dolum yapmayınız ve durumu ilgiliye bildiriniz
14	Gaz kaçağı olmadığına emin olmanız durumunda doluma başlayın
15	Müşteri tankındaki basınç, tanker basıncından yüksek ise tank gaz fazı vanasını kısık şekilde açarak müşterinin gaz fazını tankerin likit hattına al
16	Basınç eşitlenince tanker likit hattını kapat
17	Tankerdeki evaporatör vanalarını açın. Ardından tank basıncının yükselmesini bekleyin
18	Hortumun soğuk kalması için tanker üzerindeki tahliye vanasından gaz tahliyesi yap
19	Basınç yükseldiğinde hortumu soğutmak için tahliye yaptığımız vanayı kapat
20	Basıncın 5 bar'ın üzerine çıkmasına kesinlikle izin vermeyin
21	LNG tanker basıncı müşteri tankı basıncından yaklaşık 2 bar fazla olduğunda (5 barın üzerine çıkmaması kaydıyla) önce tanker likit hattını yavaş yavaş açarak hortuma likit LNG verin
22	Gözle ve gaz detektörü ile kaçak kontrolü yapın
23	Kaçak var ise önce tankerin likit hattını kapat
24	Ardından tahliye vanasını kullanarak tahliye edin
25	Tahliye sırasında tankerin arkasında yer alan tahliye borusu altında kimsenin olmadığından emin olun
26	Boşaltma sırasında LNG tankeri ve müşteri tankı kontrol edin basınçlarını sürekli olarak kontrol edin
27	Tanker ve müşteri tankı arasındaki basınç farkının azalması ve boşaltım işleminin yavaşlaması durumunda boşaltmayı durdurup tankerin basınçlanmasını bekleyin

Çizelge 3.5 : LNG tankeri boşaltma talimatı (devam)

28	Müşteri tankı ve LNG tankeri arasında istenilen basınç farkı oluşmazsa müşteri tankındaki fazla basınç yaratan gaz fazını manüel tahliye vanasını kontrollü olarak açarak tahliyeyi sağlar ve müşteri tankı basıncını düşürebilirsiniz
29	Tankerdeki LNG seviyesinin sıfırlanması ve akışın durmasının ardından tanker likit hattını ve müşteri tankındaki üst dolum vanalarını kapatın
30	Tanker tahliye vanasını açarak hortumda kalan gazı kontrollü olarak tahliye edin ve hortum bağlantılarını söküp kör tapalarını takın
31	Tanker dolabındaki ve müşteri tankındaki ilgili vanaların kapalı ve kör kapaklarının takılı durumda olduğuna emin olun
32	İkaz bubalarını kamyonun arkasından ve önünden alarak dolaba koyun ve dolap kapağını kapatın
33	Takozları alın ve yerlerine yerleştirin
34	Müşteri mahallini emniyetli bir şekilde terk edin

3.2.4.3 LNG'nin taşınmasında uyulması gereken genel güvenlik kuralları

- 1) Egzoz boruları, yakıt donanımlarına ve tanka veya aralarında mümkün olduğu kadar çok uzaklık kalacak şekilde aracın önüne ve altına yerleştirilmelidir veya araçta tehlikeye sebep vermeyecek tedbirler alınmalıdır.
- 2) Egzoz çıkışı, tank, tank ekleri, şasi ve tampon gibi parçaların karşısına gelmemelidir.
- 3) LNG taşıyan araçlar tesis içinde kaldığı süre içerisinde egzoz borusu ucuna takılmak üzere için kıvılcım (alev) tutucu bulundurulmalıdır.
- 4) Araçlarda, en az 2 adet TS 862'ye uygun en az 6kg.'lık kuru kimyevi tozlu kullanım süresi dolmamış yangın söndürücü bulunmalıdır (Periyodik kontrolleri yapılmış olmalıdır).
- 5) Araç üzerinde, en az arka ve iki yanda olmak üzere en az 10 cm büyüklüğünde harflerle;

➤ “SİGARA İÇİLMEZ”

➤ “ATEŞLE YAKLAŞILMAZ” yazıları bulunmalıdır.

- 6) Araç üzerinde(arka ve iki yanda) en az 10cm büyüklüğünde harflerle ”TEHLİKELİ VE YANICI MADDE” yazısı bulunmalıdır.
- 7) Araçlar sadece kendinden beslenen elektrikli ışık kaynakları ile aydınlatılmalıdır.
- 8) Elektrik tesisatı uygun şekilde yalıtılmalı ve fiziksel hasarlara karşı korunmalıdır.
- 9) Aydınlatma devrelerinde aşırı akıma karşı uygun koruma elemanları (sigorta veya otomatik kesici şalter vb.) bulunmalıdır. Ayrıca fiziksel hasarlara karşı korunmalıdır.
- 10) Isıtma amacıyla, araçtaki mevcut ısıtma sisteminin dışında bir ısıtıcı kullanılmamalıdır.
- 11) Aracın ve üzerindeki ekipmanların periyodik bakımları yapılmalıdır.
- 12) Onarım ve bakımı gereken araçlar ile LNG taşınamaz.

Çizelge 3.6 : LNG sistemlerinde uluslararası standartlara uygun emniyet mesafeleri

	16 / 22 / 32 m ³		53 m ³	63 m ³	95 m ³	106 m ³
	Yatay	Dikey	Dikey	Dikey	Yatay	Yatay
A	15 m	7,8 m	8,7 m	9,3 m	11 m	8 m
B	8 m	11,8 m	12,7 m	13,3 m	20 m	22 m
C	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m
D	-	3,5 m	4,4 m	5 m	-	-
E	3,05 m	-	-	-	7 m	5,6 m
L	-	1,5 m	1,5 m	1,5 m	-	-

3.2.5 LNG mevzuat bilgisi

Kimyasal Formülü : Metan CH₄

Sınıfı F : Boğucu Gazlar

Risk Durumu R13 : Çok kolay alevlenebilir sıvılaştırılmış gaz

Güvenlik Önlemleri : S9 tankı çok iyi havalandırılan ortamda muhafaza ediniz.

: S16 Tutuşturucu kaynaklardan uzak tutun, sigara içmeyin.

: S33 Statik elektrik boşalmalarına karşı önlem alın.

Uluslararası boyutta kabul gören standart:

- NFPA 59 A - Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG) Üretim, Depolama ve Kontrol Altında Tutma Standartıdır.

Türkiye'de yürürlükte olan ve hükümlerine uyulması zorunlu standartlar:

- TS EN 1160 - Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) Tesis ve Donanımı - LNG'nin Genel Özellikleri.
- TS EN 1532 - Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) için Tesisat ve Donanım - Gemi - Liman Arası Yükleme / Boşaltma.
- TS EN 12065 - Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) tesis ve donanımları - Sıvılaştırılmış Doğalgaz Yangınlarında Kullanılan Yangın Söndürme Tozları ile Orta ve Yüksek Genleşmeli Köpük Üretimi İçin Tasarımlanan Köpük Konsantrlerinin Uygunluk Deneyi
- TS EN12308 - LNG için Tesis ve Donanım - LNG Boru Sistemlerindeki Bulanık mantıklı Bağlantılarda Kullanılmak Üzere Tasarlanmış Contaların Uygunluk Deneyi.
- TS EN 12838 - Tesisat ve Donanımlar - Sıvılaştırılmış Doğalgaz İçin - LNG numune Alma Sistemlerinin Uygunluk Deneyi.

TS EN 12567 - Endüstriyel Vanalar - LNG için Yalıtım Vanaları - Uygunluk ve Doğrulama Deneyleri İçin Yalıtım Vanaları

4. BULANIK MANTIK VE ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

İnsanlık tarihi boyunca insanlar, olaylar karşısında hep bir karar verme durumuyla karşı karşıya kalmışlardır. Bu durum bazen kişisel kararlar olarak, bazen kurumsal kararlar olarak, bazen de toplumsal vb. kararlar olarak ortaya çıkmaktadır

Karar verme, eldeki tüm bilgilerin dikkate alınarak durumun kavranması, alternatif eylem biçimleri ile getirecekleri sonuçların gözden geçirilmesi ve uygun eylemin seçilerek uygulanması olarak tanımlanabilir. Karar vermeyi Güner “seçenekler arasından seçim yapmak” [18] şeklinde, Alkan “mevcut verileri değerlendirerek durumu kavrama ve alternatif seçeneklerin getireceği sonuçları gözden en uygun seçimi yapmak” [19] şeklinde, Yetim “bir seçenek” [20] olarak tanımlamışlardır.

Bir karar verme probleminde somut veriler olduğunda karar vermenin daha kolay olacağı, ama soyut verilerin arttığı durumlarda ise karar vermenin zorlaşacağı bilinmektedir. Ayrıca karar vermede eğer tek bir kriter varsa alternatif olarak buna rahatlıkla karar verilebilir. Fakat karar problemindeki kriter sayısı birden çok ise bu durumda karar verme de zorlaşmaktadır. Karar verme problemlerinde değişken (kriter) sayısı çok olduğu durumlarda bu problemlere çözüm bulabilmek amacıyla çeşitli bilimsel metotlar ortaya konmuştur. Bu çözüm metotlarına çok kriterli karar verme metotları adı verilmekte ve duruma göre değişik yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Karar verme süreci, çeşitli amaç veya amaçlara ulaşmak için, mevcut yollar, araçlar ve imkânlar arasında seçim yapmakla ilgili olarak karar vericilerde gerçekleşen tüm zihinsel, bedensel ve duygusal süreçleri içerir. Karar verme süreci, öncelikli olarak problemin tanımlanmasıyla başlar. Problemin tanımlanması, karar kriterlerinin, karar alternatiflerinin ve sonuç üzerinde etkili olabilecek tüm doğa olaylarının listelenmesiyle gerçekleşir. Problemin tam ve doğru olarak tanımlanması, kullanılabilen karar verme yöntem ve araçlarının belirlenmesinde önemli rol oynar. Kriterlerin araştırılması, önem derecelerinin ve önceliklerinin belirlenmesi, her alternatifin her bir olay için elde edeceği sonuçların araştırılması karar verme

sürecinin en yorucu aşamalarından biridir. Yöneticiler, karar verme sürecinde yardımcı olarak çoğunlukla sayısal yöntemlerden faydalanmaktadır. Karar vericiler, karar doğasının durumuna göre, bazen çeşitli alternatifler arasından seçim yaparken birbirinden farklı amaçları gerçekleştiren seçeneği, bazen de birbiriyle çelişen amaçları gerçekleştiren alternatifler arasından en uygun olanı seçmek durumunda kalır.

Günümüzde, birçok karar bünyesinde birden fazla niceliksel veya niteliksel kriter ya da amaç barındırabilmektedir. Bu nedenle, birçok karar verici bu tür problemlerin çözümünde genellikle çok kriterli karar verme yaklaşımlarının önerdiği yöntemleri uygulamaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri, genel anlamda birçok alternatif arasından en iyi olanı seçmek üzere, nitelikli bir değerlendirme gerçekleştirmeyi, bu değerlendirme sonucunda alternatifler arasında bir sıralama sunmayı ve bu sıralama dâhilinde en iyi olanı seçmeyi önermektedir. Karar vericiler hangi şartlar ve boyutlar kapsamında karar verirlerse versinler, bir belirsizlik ortamı içinde bu işlevlerini yerine getirmek zorundadırlar. Verilen kararların doğruyu yansıtması, ancak mevcut belirsizliğin karar verme sürecine dâhil edilmesiyle gerçekleşebilmektedir.

4.1 Esnek Bilgi İşlem (SC) ve Bulanık Mantık

İngilizce "Fuzzy" kelimesinin sözlük anlamı "bulanık, hayal meyal"dır. Bulanıklık bilimsel olarak belirsizlik olarak tanımlanmış ve bu belirsizlikleri ifade edebilmek amacıyla bulanık mantık geliştirilmiştir. Klasik mantık ta bir şey ya doğrudur ya da yanlıştır. Yani ikili bir mantık vardır. Bulanık mantık ta ise doğru ile yanlışın arasında birçok durum bulunmaktadır. Belirsizlik ve karmaşıklığın arttığı bir dünyada, insanlar bu belirsizlik ve karmaşıklığa çözüm bulmak amacıyla bilgisayarları geliştirmişler. Mantık la programlamanın temel fikri, programlamayı ve hesaplamaya, problemin mantık sal tanımlaması ile yer değiştirip, cevabi otomatik ispat mekanizması ile çıkarmaktır.

1965 yılında Azerbaycan asilli olan Prof. L.A. Zadeh tarafından ortaya konulan ve hızla gelişerek modern denetim alanında birçok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir dal olan bulanık ilk küme teorisidir. Daha sonra, bu kavram kullanılarak, bulanık mantık ve yaklaşım muhakemesi kavramları geliştirilmiştir [21]. Böylece, klasik karar verme sürecinde kullanılan klasik mantığın 0 – 1 önermelerine karşılık, bulanık mantığın üç veya daha fazla sayıda önerme

oluşturması ile karar verme sürecinin doğada oluşan belirsizlikleri de içine alarak zenginleşmesi sağlanmıştır.

Çok değerli mantık, olasılık kuramı, yapay zekâ ve yapay sinir ağları alanları üzerine oturtulmuş olup, olayların oluşum olasılığından çok, oluşum derecesi ile ilgilenen bir kavramı tanımlar. Bulanık Mantık net olmayan, şüpheli, kesin olmayan, kaba veya eksik bilgi girdisinden kesin bir sonuca ulaşmak için basit bir yol sağlar. Bulanık Mantık`in problem kontrolü için yaklaşımı bir kişinin nasıl karar verebileceği olgusunu, sadece daha hızlı olarak taklit etmektir. Zadeh, bu güçlükler karşısında bize yeni bir yöntemi önermektedir. Kendisi ikili mantığa, kesin sistemlere, nümerik yöntemlere ve kesin yazılıma dayalı hesaplama yöntemleri yerine bulanık mantık kullanılması ile kesin çözümü olmayan güçlüklerin aşılabileceğini savunmaktadır.

Günlük yaşantımızda karşılaştığımız sistemler, genellikle karmaşık ve doğrusal olmayan bir yapıya sahiptirler. Dolayısıyla; bu tür sistemlerin davranışlarını anlayabilmek ve gelecekteki davranışları için öngöründe bulunabilmek için kullandığımız, analitik tekniklere dayalı yöntemler, çoğu zaman yetersiz kalabilmekte ve bir matematiksel modelin kurulması sırasında, daha başlangıç aşamasında bile çok büyük güçlüklerle karşılaşabilmektedir.

4.1.1 Bulanık mantık kullanım şekli ve alanları

Bulanık mantık, iki değerli mantıktan farklı olarak insanin günlük hayatta karşısına çıkan belirsiz durumlar karşısında akıllı kararlar verebilmesi sağlayan muhakemeyi modellemeye çalışır [23]. Temelde insan düşünüş tarzını örnek alır. Oldukça kapsamlı ve ayrıntılı bir matematiksel temeli varsa da, ana özellikleri şu şekilde açıklanabilir. Geleneksel mantıkta bir kelimeyi oluşturan elemanlar, kesin elemanlar olup, bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir (var ya da yok, 0 veya 1). Bu tür kümeler kesin kümeler denir. Eğer 40 yaşı orta yas olarak kabul edecek olursak, geleneksel kümelendirmede, 30 yaşın altındaki kişiler "genç", 30 -50 arası "orta", 50 yaşın üstüde "yaşlı" kümelerine sokulabilir. Dolayısı ile 25,5 yaşındaki birisi "genç" iken, 30,5 yaşındaki diğer bir kişi "orta yaşlı" olarak anılabilecektir. Bir endüstriyel denetleyici için bu durumu ele alacak olursak; eğer bulanık denetleyicide fiziksel büyüklüklerin dâhil olduğu kümeler birbirinden böyle kesin çizgilerle ayrılmışlarsa, denetim çıktısının da ani değişiklikler göstermesi kaçınılmaz olacaktır. Örneğin, soğuk/sıcak sinirinin 25 °C olduğu bir sayısal açık/kapalı denetleyicide 24,5

°C soğuk olarak algılanacak, buna karşın 25,5 °C sıcak olarak ele alınarak denetim çıktısı ani olarak değiştirilebilecek, örneğin buhar vanası ani olarak kapatılabilecektir. Bu gibi durumlarda, özellikle, uzunluk, zekâ gibi derecelendirilebilir karakteristiklerin değerlendirilmesinde, klasik iki değerli mantığın yetersiz kaldığı açıkça görülmektedir.

Bulanık Mantık, kesin mantığın açık/kapalı, soğuk/sıcak, hızlı/yavaş gibi ikili denetim değişkenlerinden oluşan kesin dünyayı, az açık/az kapalı, serin/ilik, biraz hızlı/biraz yavaş gibi esnek niteleyicilerle yumuşatarak gerçek dünyamıza benzetir. Bu mantık içinde 35 yaşındaki bir insan, duruma göre genç ya da yaşlı kümelerine dâhil edilebilir. Yani, bir eleman birden fazla kümeye ait olabilir. Ancak, üyelik ağırlıkları farklıdır. Bulanık Mantık, çeşitli problemlerin olasılıkları belirten yeni bir bilgi-tabanlı yoldur denilebilir.

Bulanık Mantık çamaşır makinesi (yük büyüklüğünü, deterjan yoğunluğunu belirleyen ve yıkama döngülerini bu durumlara göre düzenleyen), buzdolabı gibi elektrikli ev aletlerini kontrol etmek için kullanılabilir. Frenleri uygun bir şekilde kontrol edebilmek için ABS fren sistemlerinin sıcaklık ölçümünde özel sıcaklık aralıklarını belirleyen birçok farklı fonksiyon kullanılır. Her fonksiyon 0-1 aralığındaki gerçek bir değere aynı sıcaklık değerlerini kaydeder. Bu gerçek değerler daha sonra frenlerin nasıl kontrol edilmesi gerektiğini belirlemek için kullanılabilir.

Bulanık mantıkta artık sadece siyah ve beyaz renkler değil bu iki renk arasında bulunan gri tonlarda dikkate alınmaktadır. Bu ise insan düşünme sistemine uygunluk açısından çok yakınlık göstermektedir.

Bulanık mantıkla karar almada, kriterler ve alternatiflerin aldıkları son değerler bulanık sayı olarak ortaya çıkmaktadır. Karar verebilmek için bu bulanık sayıların sıralanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla bulanık sayıların sıralanması üzerine birçok araştırma yapılmış ve değişik yöntemler ortaya konmuştur. Bu yöntemlerinin her birinin avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Literatürde yer alan sıralama metodlarından bazıları sezgisel sıralama, bulanık ortalama değer ve sapma, α – kesme metodu ile sıralama metodu olarak sayılabilir [24]. Liou ve Wang tarafından 1992 yılında ortaya konulan sıralama metodu toplam entegral değer yöntemiyle yapılmaktadır Yöntemin algoritması şöyledir ;

$\alpha \in [0,1]$ iyimserlik indeksi olmak üzere;

$\tilde{A} = (m \ n \ u)$ Üçgensel bulanık sayısı için, toplam entegral değer şöyle hesaplanır:

$$I_T^\alpha(\tilde{A}) = \frac{1}{2}\alpha(n+u) + \frac{1}{2}(1-\alpha)(m+n) = \frac{1}{2}[\alpha u + n + (1-\alpha)m] \quad (4.1)$$

Burada iyimserlik indeksi olarak tanımlanan α $[0,1]$ kapalı aralığında değer almaktadır. α Büyüdükçe iyimser bir karar verici, küçüldükçe ise karamsar bir karar verici söz konusudur.

Literatürde ortalama değer yöntemiyle sıralama yapılan çalışmalarda geometrik ortalama ve ağırlıklı aritmetik ortalama yöntemleri kullanılmıştır. Kareli ortalama sıfır ya da negatif sayıların bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. Burada bulanık sayının sınırlarından biri sıfır ya da negatif olma durumunda sıralamaya imkân verebilmektedir.

Kareli ortalamanın algoritması:

$\tilde{A} = [a_{ij}]$, $j=1, 2, \dots, n$ ve $j=1, 2, \dots, m$ bulanık sayısı için,

$$K(\tilde{A}) = \sqrt{\frac{\sum (a_{ij})^2}{n}} \quad (4.2)$$

$\tilde{A} = (m \ n \ u)$ Üçgensel bulanık sayısı için,

$$K(\tilde{A}) = \sqrt{\frac{m^2 + n^2 + u^2}{3}} \quad (4.3)$$

Seklinde hesaplanmakta ve bulunan $K(\tilde{A})$ değerleri sıralanmaktadır. Kwong ve Bai üçgensel bulanık sayıların aşağıdaki formülle durulaştırılabileceğini ortaya koymuşlardır [23].

Bir üçgensel bulanık sayı $M = (l, m, u)$ seklinde verildiğinde durulaştırma işlemi ;

$$M_d = \frac{l + 4m + u}{6} \text{ seklinde yapılır.} \quad (4.4)$$

4.1.1.1 Bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

Bulanık veri analizleri yapılırken, kati sınırlı ya da bulanık veriler kullanılır. Analizler için iki yaklaşım vardır: a) Kati sınırlı verilerin, bulanık veri analizine hazır hale getirilmesi b) Genellikle bulanık kümeler için kullanılan uygulama metotları. Analizler, kalitatif ve kuantatif analizler olmak üzere ikiye ayrılır.

Kalitatif Analizler:

Bu analizlerin amacı, diagnostik sistemler için bilgi toplamaktır. Burada veriler, matrisler halinde ($x = ((x_{ij}))$) gösterilir ve bunlar üzerinde analiz işlemleri yapılır.

Kuantatif Analizler:

Bu analizlerde, bulanık gözlem sonuçlarından elde edilen bulanık fonksiyonel ilişkiler ($x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ik})$) kullanılır. Bulanık veriler, her bir elemana üyelik ağırlıkları verilerek ve çeşitli analiz teknikleri uygulanarak matris şeklinde gösterimlere dönüştürülürler. Daha sonra bu matrisler üzerinde yapılan çeşitli değerlendirme işlemleri sonucu bulanık küme problemleri çözülebilir, karar verme işlevi yerine getirilebilir. Bu değerlendirmeler için kullanılan en yaygın metot, "Analitik Hiyerarşi Prosesi" (AHP) çözümüdür.

1965 yılında L. Thomas Saaty tarafından ortaya konan AHP ilk olarak 1971 yılında ABD Savunma Bakanlığı'nda olasılık planlama problemlerinde kullanılmıştır. Daha sonra çeşitli alanlarda uygulanmış ve 1973 yılında Sudan ulaşım projesinde kullanılmasıyla tam olgunluğa ulaşmış Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses tam olarak gelişimini 1974-1978 yıllarında tamamlamıştır [26].

AHP, çok sayıda alternatif arasında seçim ya da sıralama yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunabildiği, çok kriterli, çok amaçlı, belirlilik ya da belirsizlik durumunda karar vermede kullanılır [27].

İnsanlar var olduğu günden bu yana bir problemle karşılaştığında içgüdüsel olarak karar verme durumunda kalmıştır. İçgüdüsel verilen kararlarda ise soyut kavramlar hakkında karar verilebilmektedir. Soyut kavramlar hakkında verilen kararlar, sezgisel kararlar olmakta ve kişiden kişiye değişiklik gösterebilmektedir. Birçok yaklaşımla ele alınması zor ya da mümkün olmayan, ama kararı etkileyen bu soyut kavramlar AHP yardımı ile ele alınabilmekte ve bir çözü yaklaşımı sunulmaktadır [28].

AHP, objektif ve sübjektif tüm kriterleri ikili karşılaştırma yaparak ölçen ve bu kriterlerin birbirlerine göre önceliklerini bularak önem sıralarını belirleyen bir karar verme tekniğidir [26.] Bu ikili karşılaştırmalarda bu iki durumdan hangisi daha önemli ya da hangisi diğerine göre daha çok tercih edilir. Bunlar belirlenerek bunların sayısal olarak değerlendirilmesi esasına dayanır. AHP karar verme durumunda olan insan için en iyi seçeneği belirlemenin yanında, seçenekler arasında sıralama yapmaya da imkân verir. Bu yöntem hem nicel hem de nitel faktörleri dikkate alması, kolay kullanılır olması ve basit uygulanabilir olması nedeniyle çok karmaşık problemlerde bile kolaylıkla uygulanabilmektedir. AHP esnek ve kolay uygulanabilir olması yönüyle karar vericiye çok büyük bir kolaylık sağlar [18].

AHP çok değişkenli karar verme metodlarından biridir. AHP’de öncelikle problem belirlenir ve probleme ait kriterler alt kriterler ve alternatifler mantıken ortaya konur. Bu şekilde bir hiyerarşi oluşturulur. Hiyerarşi oluşturulduktan sonra ikili karşılaştırmalar yapılarak karşılaştırma matrisi elde edilir ve bu verilerden her kriterin önem derecesi belirlenir. En son olarak tüm kriterler birlikte değerlendirilerek en iyi seçenek ya da en iyi sıralama ortaya konmuş olur.

AHP’de çözüm adımları şu şekilde sıralanır:

- Problem ortaya konur, hiyerarşide en üstte yer alacak hedef belirlenir.
- Daha sonra hiyerarşi oluşturulur. Oluşturulan hiyerarşide; en üstte amaç olmak üzere kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenir.
- İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur.
- Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinden yararlanarak göreceli önem vektörü (ağırlık vektörü) bulunur.
- Tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık durumunda karar verilir. Tutarlı olmama durumunda ikili karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilerek işlemler tekrarlanır.

Hiyerarşi, her seviyede üst sıralara çıkıldıkça azalma eğilimi gösteren ve bir üst sırada yer alanın amacına uygun birçok karşılaştırmadan meydana gelen, derecelendirme vazifesini gören yapıya hiyerarşi denir [26].

Hiyerarşide en üst basamakta yer alan amaç, çok kriterli, objektif kararların yanında sübjektif karar vermeyi de gerektiren, kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri bulunan bir yapıya sahip olmalıdır.

Burada eğer ele alınacak, n tane eleman varsa ikili karşılaştırma yapılacağından n elemanın ikili kombinasyonu kadar karşılaştırma yapılması gerekir. Bu ise şu formülle hesaplanabilir:

$$C(n, 2) = \frac{n!}{(n-2)!2!}, (n \geq 2) \text{ Bu formül düzenlenirse } \frac{n(n-1)}{2} \text{ ifadesi elde edilir.}$$

İkili karşılaştırma matrisinde $A_1, A_2, \dots, A_n$ kriterler olsun.

$A = (a_{ij})$, $ij = 1, 2, \dots, n$ $n \times n$ boyutunda bir matriste kriterlerin önem dereceleri $A_1, A_2, \dots, A_n$ olarak tanımlansın. Matrisin elemanları olan a_{ij} aşağıdaki iki özelliğe sahip olmalıdır. [28]

1- Eğer $a_{ij} = k$ ise $a_{ji} = \frac{1}{k}$ olmalıdır. ($k \neq 0$)

2- Eğer A_i ile A_j eşit öneme sahip ise, $a_{ij} = 1$ ve $a_{ji} = 1$ olmalı ve hepsi $a_{ii} = 1$ olarak alınmalıdır.

Bu özellikleri sağlayan A matrisi:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{n1}} & \frac{1}{a_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \text{ şeklinde olur.}$$

Burada $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ alındığında bunun anlamı A_i kriterinin A_j kriterine göre önemi olarak

düşünülür. Yani, $a_{12} = \frac{w_1}{w_2}$ ifadesinden 1. kriterle 2. kriterin karşılaştırıldığı

görülmektedir. Örneğin; $w_1 = 24$ br, $w_2 = 8$ br ise w_1 in w_2 ye göre önemi $a_{12} = \frac{24}{8} = 3$ olur. Buradan 1. kriterin 2. kritere göre 3 kat daha önemli olduğu görülür.

Buna göre, ikili karşılaştırma matrisi,

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \end{matrix} \text{seklindedir [28].} \quad (4.5)$$

Karar problemlerinin çözümü dört ana adimin uygulanmasıyla yapılmaktadır

1) Problemin Tanımlanması ve Modelin Kurulması:

Bu aşamada karar verme problemi açık şekilde tanımlanmalı ve ağ şeklinde, rasyonel bir biçimde ayrıştırılmalıdır. Bu yapı, beyin fırtınası ya da diğer ayırma metotları yardımı ile karar vericilerin fikirlerinden yararlanılarak elde edilebilir.

2) İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Öncelik Vektörleri:

AHP’ de her kararı etkileyen faktörler ikili karşılaştırmalara tabi tutulmaktadır, böylelikle faktörlerin önem ağırlıkları belirlenmektedir. Karar vericiler ikili karşılaştırmalarda seri şekilde bir takım sorulara cevap vererek iki faktörü aynı zamanda karşılaştırır ve bunların hedefe olan katkılarının nasıl olduğunu belirler. AHP’de ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve nispi önem ağırlıklarının belirlenmesinde Saaty tarafından önerilen ve aşağıdaki tabloda verilen 1-9 önem skalası kullanılır. AHP’ de ikili karşılaştırmalar bir matris çatısı altında yapılır ve lokal öncelik vektörü $Aw = \lambda_{enb}w$ denkleminin çözülmesi ile elde edilen özvektör ile belirlenir. Burada A ikili karşılaştırma matrisi, w özvektör, λ_{enb} ise A’nin en büyük özdeğeridir.

3) Süpermatris Oluşumu:

Süpermatrisin genel yapısı “Markov Zinciri” prosesine benzemektedir. Birbirine bağımlı etkilerin bulunduğu bir sistemde ana önceliklerin elde edilmesi için, lokal öncelik vektörleri süpermatris olarak bilinen bir matrisin kolonlarına tahsis edilerek yazılır. Sonuç olarak bir süpermatris gerçekte parçalı bir matristir ve buradaki her bir matris bölümü bir sistem içindeki iki faktör arasındaki ilişkiyi gösterir. Elemanların

birbiri uzun dönemli nispi etkileri süpermatrisin kuvveti alınarak belirlenir. Önem ağırlıklarının bir noktada eşitlenmesini sağlamak için süpermatrisin $(2k+1)$ kuvveti alınır, k burada rastgele seçilmiş büyük bir sayıdır ve elde edilen yeni matris limit süpermatris olarak isimlendirilir

4) En İyi Alternatifin Seçilmesi:

Limit süpermatris ile alternatiflere veya karşılaştırılan faktörlere ilişkin önem ağırlıkları belirlenmiş olur. Seçim probleminde en yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatif, ağırlıklandırma probleminde ise en yüksek önem ağırlığına sahip olan faktör karar sürecini etkileyen en önemli faktördür.

Bu metotta amaç, verilen n alternatif arasından en uygun olanı seçmektir. Bu amaçla, her alternatif bir başkası ile karşılaştırılır ve tabloda verilen önem derecesine göre değerlendirmeler yapılarak renkleri belirlenir. Örneğin; bir alternatif diğerine göre çok daha üstün ise $a_{12}=5$, tersi durumunda $a_{12}=1/5$ değerleri verilir ve bir matris oluşturulur.

Çizelge 4.1 : Önem skalası tanımları ve değerleri

Tablo Önem Skalası Tanımları ve Değerleri		
Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenekte eşit derecede öneme sahip
3	Biraz önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Fazla önemli	Tecrübe bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmakta
7	Çok önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Aşırı önemli	Bir kriterin diğerine üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

4.1.2 İkili karşılaştırma alternatif matrisinin özellikleri

- 1) Kare olan matrisin tüm sayıları pozitif olmak zorundadır.
- 2) n sayısının ikili kombinasyonu kadar açılım yapılır.

3) Ağırlık veya öncelik vektörü, matrisin en büyük öz değerine karşılık gelen öz vektördür.

4) Matrisin köşegenleri 1'e eşittir.

Çizelge 4.2 : Faktörler için ikili karşılaştırma matrisleri

FAKTÖRLER	1	2	3	4	n
1	a_{11}	a_{12}	.....	.....	a_{1j}
2	a_{21}	.....	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....	.....	.....
n	a_{i1}	.....	.....	.....	a_{ij}

Göreceli önem vektörünün bulunması için geliştirilen dört yöntem aşağıda açıklanmıştır.

1. Her satırda bulunan elemanlar toplandıktan sonra elde edilen tüm toplamlar toplanır. Normalizasyon yapmak için, satır toplamları toplamın toplamına bölünür. Elde edilen vektörde n. sonuç, n. elemanın öncelik puanını gösterir. Diğer yöntemlere göre en kaba tahmini veren yöntemdir.

2. Her sütunda bulunan elemanlar toplandıktan sonra tersleri alınır ve elde edilen tüm tersi alınmış toplamlar toplanır. Normalizasyon yapmak için, sütun toplamlarının tersi tüm terslerin toplamına bölünür.

3. Her sütunda bulunan elemanlar toplandıktan sonra o her eleman sütun toplamına bölünerek normalize edilir. Bu işlem sonucunda elde edilen her satırdaki elemanlar toplanır. Daha sonra her toplam, satırdaki eleman sayısına bölünerek ortalama alınır. En çok kullanılan ve en doğru sonucu veren bu yöntemdir.

4. Her satırdaki n adet eleman kendi içinde çarpılır ve elde edilen sonucun n. dereceden kökü alındıktan sonra normalizasyon yapılır.

Çizelge 4.3 : Bulanık analitik hiyerarşi proses önem ölçeği

Açıklama	Önem Derecesi	Önem Derecesi Eşleniği
Eşit Önemli	(1,1,1)	(1,1,1)
Daha Önemli	$\left(\frac{2}{3}, 1, \frac{3}{2}\right)$	$\left(\frac{2}{3}, 1, \frac{3}{2}\right)$
Çok Daha Önemli	$\left(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2}\right)$	$\left(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}\right)$
Çok Fazla Önemli	$\left(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2}\right)$	$\left(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5}\right)$
Kesin Önemli	$\left(\frac{7}{2}, 4, \frac{9}{2}\right)$	$\left(\frac{2}{9}, \frac{1}{4}, \frac{2}{7}\right)$

Tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonucunda bulunan değerlerin yani önceliklerin birbirleriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkisi olarak tanımlanabilir.

İkili karşılaştırma matrisinin görelî önem vektörü bulunduktan sonra, bulunan bu değerlerin tutarlı olup olmadığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır. Bunun için, elde edilen görelî önem vektörü ile ikili karşılaştırma matrisi çarpılarak yeni bir vektör elde edilir. Bu son elde edilen vektörün birinci elemanı, dört metottan her hangi birisiyle bulunan görelî önem vektörünün birinci elemanına, ikinci elemanı ikinciye ve n. elemanı n.'ye bölünerek üçüncü bir vektör elde edilir. Bu üçüncü vektörün elemanları toplanır ve eleman sayısına bölünürse, en büyük öz değer $\lambda_{\max}$ için yaklaşık bir değer elde edilir. Bu $\lambda_{\max}$ değerinin değerine ne kadar çok yakınsa bulunan sonuçlar da o kadar tutarlı olur [24].

$\lambda_{\max}$ değeri bulunduktan sonra tutarlılık oranını bulmak için, tutarlılık göstergesi, tesadüfîlik göstergesine bölünür. Elde edilen oran 0,10'dan daha küçük ise yapılan işlemlerin tutarlı olduğuna karar verilir.

$$\text{Tutarlılık Göstergesi} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık Göstergesi}}{\text{Tesadüfîlik Göstergesi}} \quad (4.6)$$

Tutarlılık göstergesi ve tutarlılık oranı yukarıda verilen formüller yardımıyla bulunur. Burada tesadüflük göstergesi, aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi 10 boyutlu matrisler için hesaplanmıştır [30].

Çizelge 4.4 : Tesadüflük göstergesi

Matris Boyutu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tesadüflük Göstergesi	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Tutarlılık oranının 0,10'dan daha büyük çıkması durumunda ikili karşılaştırma değerleri tekrar gözden geçirilerek hesaplamalar yeniden yapılır ve tutarlı sonuç elde edilinceye kadar devam edilir.

4.1.3 Bulanık küme teorisi ve bulanık küme

Belirsizlik kavramının, biçimsel şekilde anlaşılmasını sağlayan başlıca iki teori vardır: "Değişken Küme Teorisi (Alternative Set Theory)" ve "Bulanık Küme Teorisi (Fuzzy Set Theory)".

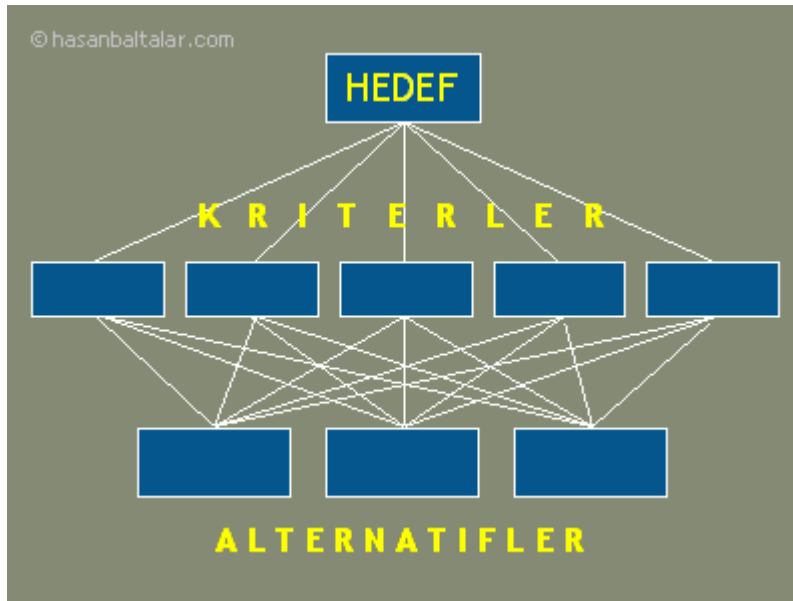
Klasik küme kavramında bir eleman bir kümenin üyesidir veya değildir. Bulanık mantıkta küme aitlik derecesi μ , 0 ile 1 arasında değişir. 0 kümeye ait olmamayı, 1 ise kesin olarak o kümenin üyesi olmayı gösterir. Küme aitlik derecesi üçgen, yamuk ve Gauss eğrisi gibi standart fonksiyonlarla tanımlanabildiği gibi çok farklı fonksiyonlar tarafından da oluşturulabilir. Bulanık Mantık Yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsezilerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir. AHP, geniş bir alanda kullanılan çok amaçlı karar verme metodlarından biridir. Bu metodun ana avantajlarından biri çok yönlü kriterlerin kolaylıkla yönetilebilmesidir. Buna ek olarak AHP'nin anlaşılması daha kolaydır. Fakat AHP hala insani düşünme stilini yansıtamamaktadır. Bu nedenle, bulanık AHP, problemleri insani düşünme stiline yakın bir şekilde çözmek için geliştirilmiştir.

Çeşitli yazarlar tarafından bahsedilmiş birçok bulanık AHP metodu vardır. Bu metotlar, bulanık küme teorisini ve hiyerarşik yapı analizini kullanan problem çözme ve alternatif seçimine sistematik yaklaşımlardır. Karar vericiler, genelde, aralıklı karar vermeyi sabit değerli karar vermeye göre daha rahat bulmaktadır. Çünkü karşılaştırma sürecinin bulanık doğasında tercihler konusunda kesinlik yoktur. İlk bulanık AHP çalışması, üçgen üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmış bulanık oranları karşılaştırma ile görülmüştür. Buckley, karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini trapezoidal üyelik fonksiyonu ile belirlemiştir. Chang ise karşılaştırmalarda üçgen bulanık sayıları kullanarak bulanık AHP'nin idaresi için yeni bir yaklaşım tanıtmıştır Basit bir AHP yapısını şekildeki gibi tanımlayabiliriz.

Bulanık mantığın kurucusu olan Zadeh ise, bu kavramı açıklarken baslıca üç temel nokta üzerinde durmuştur. Bu kavramlar aşağıda açıklanmaktadır:

a. Dilsel değişken Kavramı (Linguistic Variables):

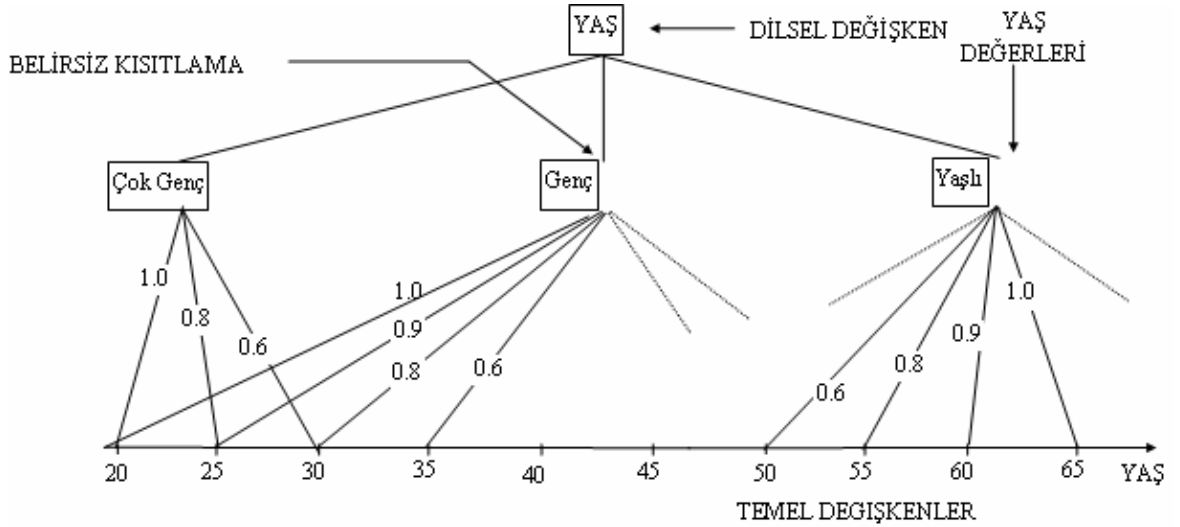
Dilsel değişken ile doğal ve yapay dilde değerleri kelime veya cümleler olan değişkenler anlatılmak istenir. Bu kavram sayesinde, geleneksel metotlarla tanımlanamayan karmaşık veya kötü tanımlı fenomenlere, yaklaşık bir karakterizasyon getirilebilir. Özel olarak doğruluk bir dilsel değişken olarak ele alınırsa ve değerleri de doğru, çok doğru, tamamıyla doğru vb. ise bu noktada, bulanık mantığa varılır



Şekil 4.1 : Basit bir AHP yapısı

Yaş değişkeninin sayısal değerleri olan 0,1,2,.....,100 yaş dilsel değişkeninin temel değişkenleridir. Buna bağlı olarak genç dilsel değeri, temel değişkenin değerleri üzerindeki belirtisiz kısıtlama olarak yorumlanabilir ve temelde bu kısıtlama, gence yüklemek istediğimiz anlamdır. Dilsel değişken kavramının daha iyi anlaşılması için Şekil 3' de, dilsel değişken yas, bunun değerinin anlamını gösteren belirtisiz kısıtlama ve yas temel değişkeninin değerleri arasındaki hiyerarşi görülmektedir.

Dilsel değişken iki kuralla ilişkilidir: Sözdizimi kuralları (Semantic) ve Anlam kuralları (Stnatic). Sözdizimi kuralları değişken değerinin isminin üretilmesi ile ilgili dilbilgisi kuralları, Anlam kuralları da her bir değer anlamını hesaplamak için algoritmik işlemler içerir. Bu kurallar dilsel değişken kavramı içerisine doğrulukta sokulabilir ve bu dilsel değişkene; (doğru)+(simdi-doğru-değil)+(hemen-hemen-doğru)+.....+(yanlış)+(yanlış-değil) vb. dilsel değerler verilebilir. Bu kavram özellikle yaklaşım muhakemesinde çok önemlidir. Önerme terimleri ile "U A'dır" şeklindeki bir ifadede; U: nesnenin ismini, A: U evrensel kümesinin mümkün bulanık alt kümesini gösteriyor şeklinde kabul edecek olursak; A, U'nun özelliği veya niteliği ile ilgili dilsel değişkeninin değeridir.

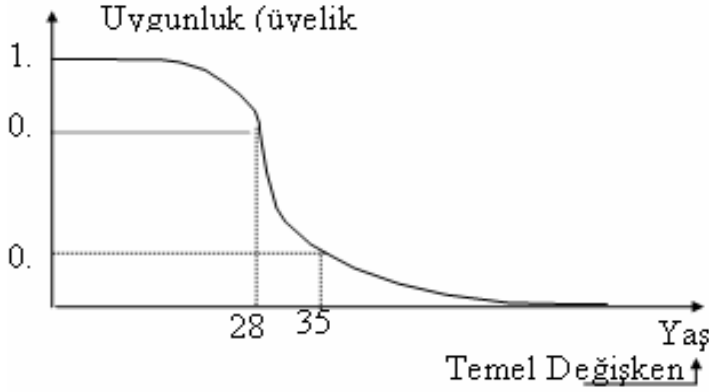


Şekil 4.2 : Dilsel (Yaş) değişkeninin hiyerarşik yapısı

Örneğin: Ali gençtir $\Rightarrow$ Yas(Ali) = Genç

Burada iki temel kavram vardır:

- i) $\mu(A)$ - A'nin anlamı (Üyelik ağırlığı)
- ii) $v(A)$ - Önermenin doğruluk değeri $V(A) \Rightarrow [0,1]$ arası değerler alır. Önerme içinde a'nin $[0,1]$ arası aldığı değer, üyelik ağırlığı değeri, aynı zamanda önermesinde doğruluk değerini ($V(a)$) verir. $\mu(A)$ ne kadar 1'e yakınsa, objenin kümeye ait olması o denli güçlü ve önermenin doğrulucuda o denli yüksek olur.



Şekil 4.3 : Genç değişkenin uygunluk fonksiyonu

b. Üyelik işlevi (Membership Functions)

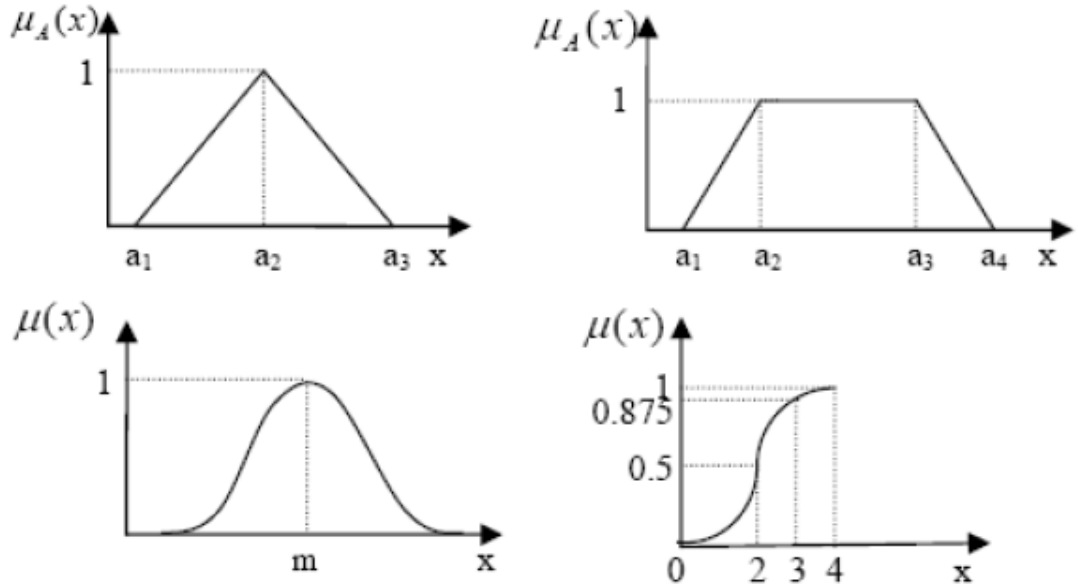
Üyelik ağırlığı belirli bir değer, bir bulanık küme içerisinde yerelmasının güvenilirliğinin bir işaretidir. Üyelik işlevleri biçimsel olarak, denetlenen sürecin özelliklerine göre değişik şekillerde olabilir. Genelde üçgen, çan veya yamuk olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$Ucgen(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{l} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} b \leq x \leq c \\ 0, c \leq x \end{array} \right\} \quad (4.7)$$

$$Yamuk(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ 1, b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d \\ 0, d \leq x \end{cases} \quad (4.8)$$

Üyelik işlevleri, bulanık mantık içerisinde çok önemli bir yere sahiptir. Bulanık küme teorisi ile ilgili bütün problemler, bu işlevlerin tam olarak belirlenememesinden kaynaklanmaktadır. Üyelik işlevlerinin belirlenmesi için öncelikle, süreç ile ilgili parametreler, önemli karakteristikler çok iyi bir değerlendirmeye tabi tutulmalı ve daha sonra bu değerlendirme sonucuna bağlı olarak bir metot seçimi yapılmalıdır. Özetleyecek olursak;

1. Sezgi: Bu yöntem fazlaca bir bilgi gerektirmediğinden basittir. Bu yöntemde karar verici kendi görüş, anlayış ve kapasitesini kullanır. Araştırılan konu için o konunun uzmanına danışılabilir.



Sekil 4.4 : Üçgen, yamuk, gauss ve S Tipi üyelik fonksiyonları

2. Çıkarım : Bu yöntemin kullanılabilmesi için araştırılan konu hakkında mutlaka temel bilgiye ihtiyaç vardır.

3. Mertebeleme: Üyelik dereceleri, anket, araştırma ya da seçim yapılarak belirlenir.

Buna göre verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır ve yapılan tercihlere puanlar verilerek işlemler yapılır. Bu metotlardan bazıları; çeşitli deneyler sonucu elde edilen tanımlama ve fonksiyonlar, sürecin özelliklerine ve parametrelerine göre uzman tarafından belirlenen üyelik ağırlıkları, yapay sinir ağları ile bulunan üyelik ağırlığı sonuçları, analitik hiyerarşik karar verme prosesi ya da bazı özel bilgisayar programları olarak verilebilir.

c. Kullanılan işlemciler (Many Valued Operators)

i. Bulanık Küme (Fuzzy Set)

Evren kümesi tanımlanan U kümesini ele alalım. Bir bulanık küme (A), evren kümesinin her elemanına $[0,1]$ arasında bir üyelik değeri vererek tanımlanan $\mu_A(u)$ üyelik işlevi aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanır.

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9\} \quad A = \{u_2, u_3, u_4, u_5, u_7\}$$

$$\mu_A(u) : U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9\} \Rightarrow \{0,1\}$$

Bulanık küme, yukarıda tanımlanan üyelik işlevinde sadece 0 ya da 1 değil, ara değerlere de izin verilerek belirlenen işlevle tanımlanır.

Klasik bir kümenin üyelik işlevi ile tanımlanması;

$$\mu_A(u_1) = 0 \quad \mu_A(u_4) = 1 \quad \mu_A(u_7) = 1$$

$$\mu_A(u_2) = 1 \quad \mu_A(u_5) = 1 \quad \mu_A(u_8) = 0$$

$$\mu_A(u_3) = 1 \quad \mu_A(u_6) = 0 \quad \mu_A(u_9) = 0$$

Bulanık küme için;

$$\mu_A(u_1) = 0,2 \quad \mu_A(u_4) = 0,4 \quad \mu_A(u_7) = 1$$

$$\mu_A(u_2) = 1 \quad \mu_A(u_5) = 0,9 \quad \mu_A(u_8) = 0,4$$

$$\mu_A(u_3) = 0 \quad \mu_A(u_6) = 0,2 \quad \mu_A(u_9) = 0,1$$

Bir bulanık küme, sıralı ikililerden oluşur. İkililerde ilk terim "domain" olarak tanımlanır ve doğruluk değerini ifade eder. İkinci terim ise "codomain" olarak adlandırılır ve üyelik ağırlığını verir.

Genel gösterim: $A = \{ \langle x, c \rangle, x \in U, c \in L \}$ $A_x = c \in L = \mu_A(x)$ x ; domain c ; codomain

ii. Bulanık Önerme (Fuzzy Proposal)

"Seçilmiş bir konu" üzerindeki önerilerin kümesi olan U evren kümesini ele alalım. Bu evren kümesinin her elemanına (her öneriye) bir "doğruluk değeri" atayarak tanımlanan "doğruluk doğruluk fonksiyonu" bir bulanık önermeyi tanımlar. Doğruluk fonksiyonu, $\mu_A(u)$ ile gösterilir. Bu gösterimde A bulanık önermenin ismi, u ise U evreninin tipik elemanı (konu hakkındaki önermeleri) gösterir.

Örnek: (Sonlu evren için) Seçilmiş konu: Deney odasının ışıklandırma durumu

Evren: {Aydınlık, yeterli ışık, yetersiz ışık, karanlık}

$U_1 = \{1, 0, 6, 0, 1, 0\}$ fiziksel / dilsel karşılığı "Oda aydınlık"

$U_2 = \{0, 6, 1, 0, 6, 0\}$ dilsel karşılığı "yeterli ışık var"

U_1 önermesinde, "oda aydınlık" ifadesi %100 doğru iken, "yeterli ışık var" önermesi, %60 doğru olarak tanımlanmıştır.

iii. Üyelik işlevlerinin Belirlenmesi

1. Farklı Üyelik işlevleri

a) Kesifsel (Heuristically) Tabanlı Üyelik işlevleri

A. Zadeh ve onu takibenden yazarların kullandığı fonksiyonlar, Aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_{\text{genc}}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 25 \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x-25}{5}\right)^2} & x > 25 \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\mu_{\text{yasli}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 50 \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x-50}{5}\right)^2} & x > 50 \end{cases} \quad (4.10)$$

B. Krusinka ve Liebhart'in kullandığı fonksiyonlar, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_x = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \frac{x-a}{b} \quad x \in [-\infty, +\infty] \quad (4.11)$$

C. Dimitru ve Luban'in kullandığı fonksiyon, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_x = \frac{1}{a^2} x^2 + 1 \quad x \in [0, a] \quad (4.12)$$

$$\mu_x = -\frac{1}{a^2} x^2 - \frac{2}{a} x + 1 \quad x \in [0, a] \quad (4.13)$$

D. Suarowski'nin kullandığı fonksiyon, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_x = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \left(\frac{\pi}{b-a} \left(x - \frac{a+b}{2} \right) \right) \quad x \in [a, b] \quad (4.14)$$

b) Özel Problemlere Bağlı Olarak Türetilen Üyelik İşlevleri

A. Zimmerman tarafından türetilen lineer fonksiyonu, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_x = 1 - \frac{1}{a} \quad x \in [0, a] \quad (4.15)$$

B. Heshmaty ve Kandel tarafından kullanılan diğer lineer modeller aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_x = \begin{cases} 1 - \left(\frac{a - x}{a} \right) & \alpha - a \leq x \leq \alpha + a \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.16)$$

Bu model vektörler için genelleştirilebilir.

C. Üyelik fonksiyon u lineer değil ise, lineerleştirilebilir (Hannan, Sakama ve Yano):

$$\mu_{(x)} = \alpha (1 - e^{(b-x)(b-a)}), \quad x \in [a, b] \quad (4.17)$$

D. Bartolan ve Degani tarafından kullanılan esli lineer fonksiyonlar, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & \\ w_1 \frac{x - a}{b - a} & \\ 1 & \\ w_2 \frac{d - x}{d - c} & \\ 0 & \end{cases} \quad (4.18)$$

E. Dimitri ve Luban'in kullandığı fonksiyon, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\mu_x = \frac{1}{1 + \frac{x}{a}} \quad (4.19)$$

c) Daha Çok Teorik ihtiyaçlara Dayanan Üyelik Fonksiyonları

A. Karar verme için, Schwab, splin fonksiyonlarını esas alan üyelik işlevlerini kullanmıştır. Schwab, bu fonksiyonda 11 axiom kullanmıştır. Üyelik fonksiyonu, pek çok parametre içerir.

B. Civanlar ve Trussel'in olasılık yoğunluğu fonksiyonlarına dayanan üyelik işlevleri:

$$\mu_x = \begin{cases} \lambda_p(x) & \text{eger } \lambda_p(x) \leq a \\ 1 & \text{eger } \lambda_p(x) > a \end{cases} \quad (4.20)$$

λ eşitliklerden çözülebilir.

C. Suarovski, üyelik işlevlerini, bazı ihtiyaçları temel alan iki parçaya ayırmıştır.

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & \text{eger } x \leq a \\ \mu_1(x) & \text{eger } a < x \leq b \\ \mu_2(x) & \text{eger } c < x \end{cases} \quad (4.21)$$

d) Bulanık Kümeler Üzerinde Temel İşlemler

"Uzunluk" bulanık kümesini ele alarak temel işlemleri ve özellikleri bu küme üzerinde göstermeye çalışalım:

Bu kümenin elemanlarını insanlar oluşturuyor ve üyelik ağırlıkları da boylarına bağlı olarak belirleniyor. 150cm boyundaki i insan için 0, 210 cm boyundaki insan için ise 1, üyelik ağırlığı olarak tanımlanıyor. Orta uzunluktaki insanlar, 0 - 1 arası üyelik ağırlıklarına sahip olurlar.

Küme gösterimi: UZUNLUK= {(BOY, DERECE=: DERECE BOY'un UZUNLUK_GÖRÜNTÜSÜ dür}

Bulanık küme ile ilgili bütün işlemler, üyelik ağırlıkları kullanılarak yapılır. Bulanık kümenin tümleyen i ise genellikle, üyelik ağırlığı (1-orijinal kümenin üyelik ağırlığı) olan elemanların kümesinden oluşur (Domain değişmez, codomain hesaplanır). Çift değilleme işlemi ile tekrar orijinal kümeye dönüş yapılabilir. Orijinal kümenin üyelik ağırlıklarında yapılan değişiklikler, tümleyen kümesini de etkiler. İstenilir ise, tümleyen kümesine, orijinal kümenin adinin anlamına eşit anlamda farklı bir etiket verilebilir.

Bulanık kümelerde kesişim "AND" bağlacı ile ($\wedge$) temsil edilir ve iki önermenin doğruluk değerlerinin minimumu alınarak belirlenir.

Örnek: $f_{uzun \text{ AND } uzun_değil} = \min (f_{uzun}, f_{uzun_değil})$ değişkeninde, "uzun AND uzun_değil" ifadesinin dilsel karşılığı "orta (middle sized)"dir. Bu ifadenin en büyük değerini ortalarda, en küçük değerini ise kenarlarda alması beklenir. "orta" kümesi aynı zamanda uzun_değil ve kısa_değil" kümelerinden de elde edilebilir.

Birleşim kümesinin elemanları, birleşimi oluşturan kümelerden birine veya her ikisine birden ait olabilir, ki bulanık kümenin üyelik ağırlıkları içinde herhangi bir nokta için, bu kümelerin üyelik ağırlıkları, her iki birleşim elemanının üyelik ağırlıklarından daha az olamaz. Birleşim "OR" bağlacı ile (V) temsil edilir ve üyelik ağırlığı, kendisini oluşturan elemanların üyelik ağırlıklarından en fazla max olanın üyelik ağırlığına eşittir.

$f_{uzun \text{ OR } kısa} = \max (f_{uzun}, f_{kısa})$ "uzun OR kısa" ifadesinin dilsel karşılığı "Not orta" olur. Bu kümenin max uzun kısa değerini kenarlarda alması beklenir.

4.1.4 Genişletilmiş bulanık AHP yöntemi (Chang 1996)

Bulanık AHP'nin uygulandığı birçok problemde Chang (1996) tarafından önerilen genişletilmiş bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde α kesim seviyelerine ihtiyaç duyulmamaktadır [18]. Bu yöntem yapay derece değerlerini kullanmasının yanında basit seviye sıralaması ve karma toplam sıralaması ile öne çıkmaktadır.

Bu yöntemin en avantajlı yanı hesap gereksiniminin az olması ve klasik AHP'nin adımlarını izleyerek ilave işlem gerektirmemesidir. Dezavantajı ise sadece bulanık üçgensel sayıları kullanmasıdır [29].

5. RİSK YÖNETİMİ YAKLAŞIMININ LNG TAŞIMACILIĞINA UYGULANMASI

5.1 LNG Taşımacılığının Risk Analizi

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 [22].

- 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).

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 [31].

Risk değerleme ve yönetim mekanizması şunları içerir:

- LNG sızıntısına sebep olabilecek olayın olasılığını değerlendirmek,
- Muhtemel olayın LNG taşıma tanklarına ya da diğer sistemlere verebileceği zararı değerlendirmek,
- Muhtemel LNG sızıntısının şeklini, LNG özelliklerini 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 [31].

5.1.1 LNG için risk analiz planı oluşturulması

Analizi yapılacak sistemin risk değerlemesinin kabul edilebilir mantıklı bir sonuca varabilmesi seçilen ve uygulanan planla doğrudan ilişkilidir [9]. Bir risk analiz planında olması gereken asgari zorunluluklar şöyle sıralanabilir:

- Risk Analiz tekniğinin seçimi,
- Riskin kabul edilebilirlik kriterleri,
- Değerlendirme ve gözden geçirme kriterleri [10].

5.2 Risk Yönetiminin Emniyet Hedeflerinin Belirlenmesi

LNG taşımacılığında emniyet tedbirlerini ve bunların uygulanması halinde taşımacılığın etkinliğine, maliyetine, operasyonel işlemlerine, geride kalan risk haline etkilerini ortaya koyarak risk yönetimini belirlemek gerekir.

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, ve taşımacılık hizmetleri

emniyet ve güvenlik yetkilileri, düzenleyici kuruluşlar, ekipman üretici kuruluşlar, taşımacılık şirketleri v.b şeklinde sayılabilecek çok geniş bir kitleyi içine alır.

5.3 LNG Taşımacılığı Emniyet Yönetim Modeli

5.3.1 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 alanın uzmanı tecrübeli kişilerce duruma uygun metotlar 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 göz önüne 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 Yönetiminin 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 oluşturduğu risk kabul edilebilir bir seviyede midir?
- Bu riskleri azaltmak ve zararlı sonuçların hasarını en aza indirmek için neler yapılmalıdır ve daha neler yapılabilir ?

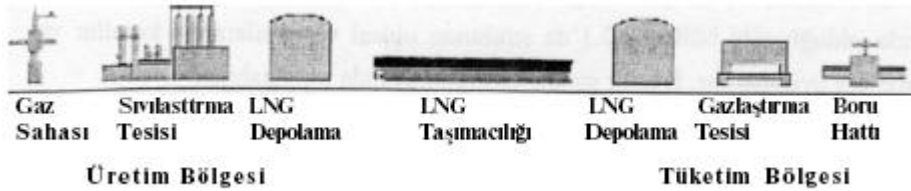
5.4 LNG Taşımacılığında Risk Önleyici ve Risk Azaltıcı Tedbirler

LNG sektörü de diğer bir çok endüstriyel faaliyet sahasındakilere benzer tehlikeleri ve emniyet gerekliliklerini içerir. Bu yüzden bu diğer sektörlerde de olduğu gibi önleyici 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 indirmektedir [31].

Potansiyel bir çevreye 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 [10].



Şekil 5.1 : LNG operasyon 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 araca nakledilir. LNG alan ve tekrar gazlaştıran terminaller boru hatlarına doğal gazı sevk etmeden önceki işlemler için LNG'i tekrar depolarlar [25].

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 terminali çevresindeki komşu sahalarda ciddi can, mal ve çevre zararlarına rastlanmamıştır. Şimdi sırasıyla bu emniyet çemberinin içerisinde kalabilmek için neler yapılması gerekliliğine bakalım.

5.5 LNG Tehlike Tanımı

Yüksek konsantrasyonda uzun süre solunması halinde sağlığa zararlıdır. Oksijen yetersizliği sonucu baş dönmesi veya bulantıya neden olabilir. Kapalı hacimlerde uzun süre solunması halinde boğulmalara neden olabilir.

Çok kolay alev alabilir. Hava ile patlayıcı karışım oluşturabilir. Temas halinde soğuk yanığına yol açabilir.

5.5.1 Tehlikenin en aza indirilebilmesi için alınabilecek önlemler

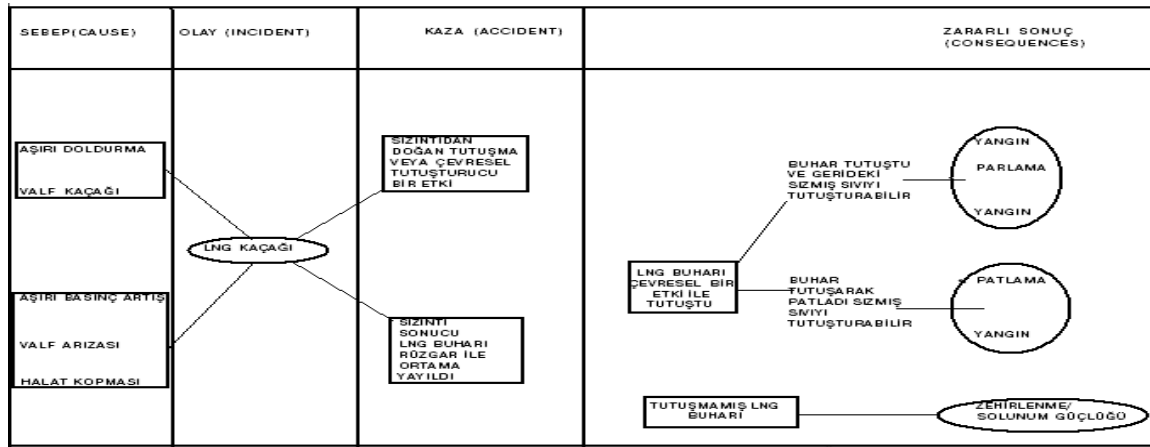
- LNG'nin geçtiği hatlar ve ekipmanı topraklanmalıdır.
- Elektrik ekipmanları ex-proof olmalıdır.
- Kaynak ve kesme işlemlerinde alev geri tepmesinin önlenmesi için emniyet valfleri veya alev tutucu sistem kullanılmalıdır.
- Gerekli olduğu takdirde uygun göz ve yüz koruyucu aparatlar takılmalıdır.
- Uygun bir metot kullanılarak gaz kaçakları kontrol edilmelidir.
- Kaçak durumunda, ilk yardım, yangın söndürme veya korozyif malzemelerin seyreltilmesi için yeterince su bulundurulmalıdır.

- Kullanım esnasında, basıncı düşürmek için uygun basınç düşürücüler (regülatörler) kullanılmalıdır.
- Kullanım alanındaki bütün elektrikle ilgili sistemlerin gaz için uygun olmasına dikkat edilmelidir.
- Depolama sahası, uygun tehlike uyarıcı işaretlerle işaretlenmelidir.
- Depolama sahasına "Sigara İçilmez." ve "Açık Alev Yasaktır." gibi uyarıcı levhalar asılmalıdır.
- Depolama sahası temiz tutulmalı ve yalnızca yetkili personel girebilmelidir.
- Depolama sahasında yakıcı, parlayıcı ve toksik gazlar minimum seviyede tutulmalıdır.

5.5.2 Olay ağaçları hazırlanması

Zararlı sonuçları doğurma riskini incelemek istediğimiz bir olayın, başlamasına neden olabilecek muhtemel diğer olaylarla bunların başlatıcılarını grafik bir modelle ortaya koyan karar ağaçlarıdır [10]. 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.

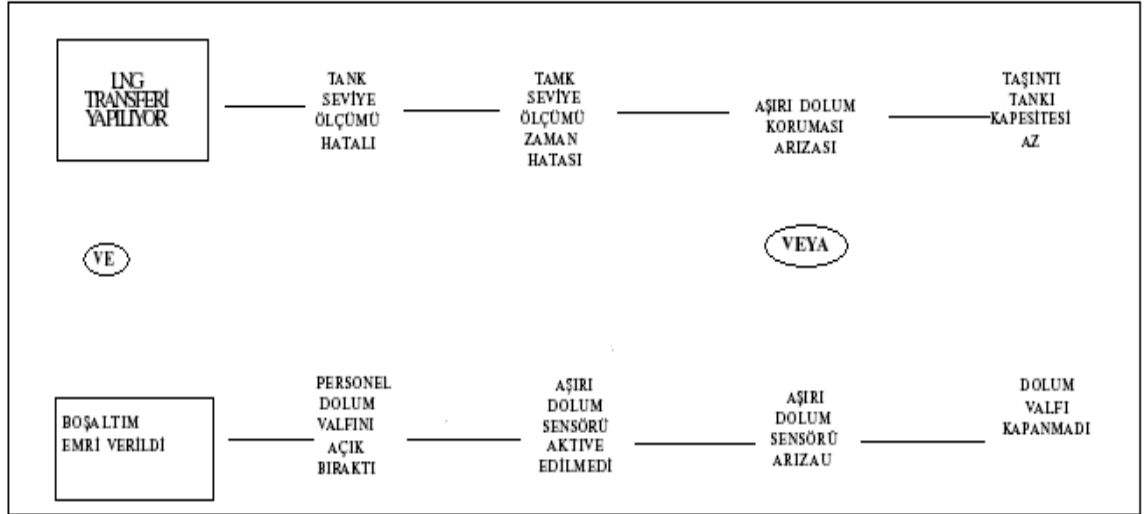


Şekil 5.2 : LNG sızıntısı olay ağacı

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 5.2 de verilmiştir.

5.5.3 Hata ağaçları

Hata Ağaçları sistem arızaları, insan hataları ve harici etkenler arasında Boolean adı verilen "ve", "veya" ilişkisini grafiksel olarak ortaya koyarak bunların birlikte oluşmalarının muhtemel başlatıcı olaylardan herhangi birine sebebiyet vermesi durumunun detaylı analizidir [9].



Şekil 5.3 : Hata ağacı

5.5.4 LNG sızıntısına sebep olabilecek muhtemel tehlikeler

- Yük tanklarında ya da yük taşıma ekipmanlarında yapısal kırılma olabilir.
- Çarpma yada darbe sebebiyle oluşan hasarlar neticesinde yük taşıma ekipmanlarında kırılma ya da çatlaklar oluşabilir.
- Personelin yükleme/boşaltma işlemlerindeki hatasından sızıntı 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.

5.5.4.1 LNG sızıntısının sebep olabileceği zararlı sonuçlar

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:

İnsan Sağlığı Üzerinde Doğabilecek Zararlı Sonuçlar

Gözler: Gaz fazının gözlere bir zararı yoktur. Sıvı halde temas soğuk yanığı ve gözde kalıcı hasar meydana getirir.

Cilt: Gaz fazının bir zararı yoktur. Sıvı halde temas ciddi boyutlarda soğuk yanığı meydana getirir

➤ 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 kişiler 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.

Solunum:

➤ 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.

İlk Yardım Tedbirleri

Gözler: Gözle sıvı teması olduğunda göz soğuk-ılık suya sokulur. Göz kesinlikle sıcak su ile yıkanmaz. Açık göz kapakları daha da genişletilerek buharlaşma sağlanır. Kişi ışığa bakamıyorsa gözleri siyah bir bandajla kapatılır. Doktor tavsiyesi olmadan göze merhem sürülmez.

Cilt: Sıvı gazla kirlenmiş elbiseleri çıkarıp cildin sıvıdan etkilenen kısımlarını basınçlı soğuk-ılık su ile yıkayınız. Kesinlikle sıcak su kullanmayınız. Acilen kazaya uğramış kişinin vücudunda, su toplanması ve donma izleri bulunup bulunmadığını araştırınız.

Solunum: Kazaya uğrayan kişiyi hemen temiz havaya çıkarınız. Nefes almada zorluk çekiyorsa eğitimli kişi tarafından suni solunum uygulanabilir. Bu durumda hemen Doktor' u arayın.

5.5.4.2 Soğuktan kaynaklanan yapısal hasarlar

Sıvı haldeki soğuk doğal gazın taşınmasında doğrudan temas halindeki metaller aşırı kırılabilir. Soğuk bir bardağa sıcak bir sıvının doldurulmasında yaşanabilecek kırılma olayı yük taşıyıcı metal aksam üzerinde de görülebilir. Ayrıca özellikle bağlantı kaynaklarında yapısal bütünlüğü bozan hasarlar meydana getirebilir. Oluşan çatlaklar nedeniyle diğer taşıyıcı tanklar da bundan zarar görebilir.

5.5.4.3 Yanıcılık

LNG nin yanması sonucu termal radyasyon ve basınç hasarları oluşabilir. Isıdan kaynaklanan termal hasarlar birim yüzeye tesir eden ısı enerjisi ile değerlendirilir. Yangın sebebinden ortaya çıkacak termal radyasyon hasarı Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Bu yüzden yaygın olarak 5 kW/m^2 termal akı seviyesi insanların yangın korunma emniyet seviyesi olarak kullanılmaktadır. 35 kW/m^2 lik termal akı seviyesinden itibaren elemanlar, cihazlar ve makineler zarar görebilir.

Çizelge 5.1 : Yangın sebebinden ortaya çıkacak termal radyasyon hasar derecesi

TERMAL AKI (kW/m ²)	HASAR DERECEİ * Termal Enerjinin 10 dakika süre ile tesir ettiği düşünülmüştür.
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.

5.5.4.4 LNG-hava karışımının basınçla birlikte patlaması (explosion)

Bazı durumlar yüksek bir basınç oluşturacak şekilde yanma süratinin oldukça artmasına sebep olabilir. Sıkışmış gaz ve hava karışımı tutuşturucu bir kaynak ile karşılaşırse 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 alanı etkileyecek bir hasar beklenmez.

5.5.4.5 Hızlı hal değiştirme (rapid phase transitions)

LNG gibi aşırı soğutularak sıvı hale getirilmiş bir gas aniden su gibi daha sıcak bir sıvı ile karşılaştığında süratle tekrar gas 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 alanı etkileyecek bir hasar beklenmez.

5.5.5 Hazırlık adımı

LNG'nin karayolu taşımacılığındaki çevresel riski değerlendirilirken riske katkısı olan veya riskin oluşumu ile ilgili faktörlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. 4. Bölümde de

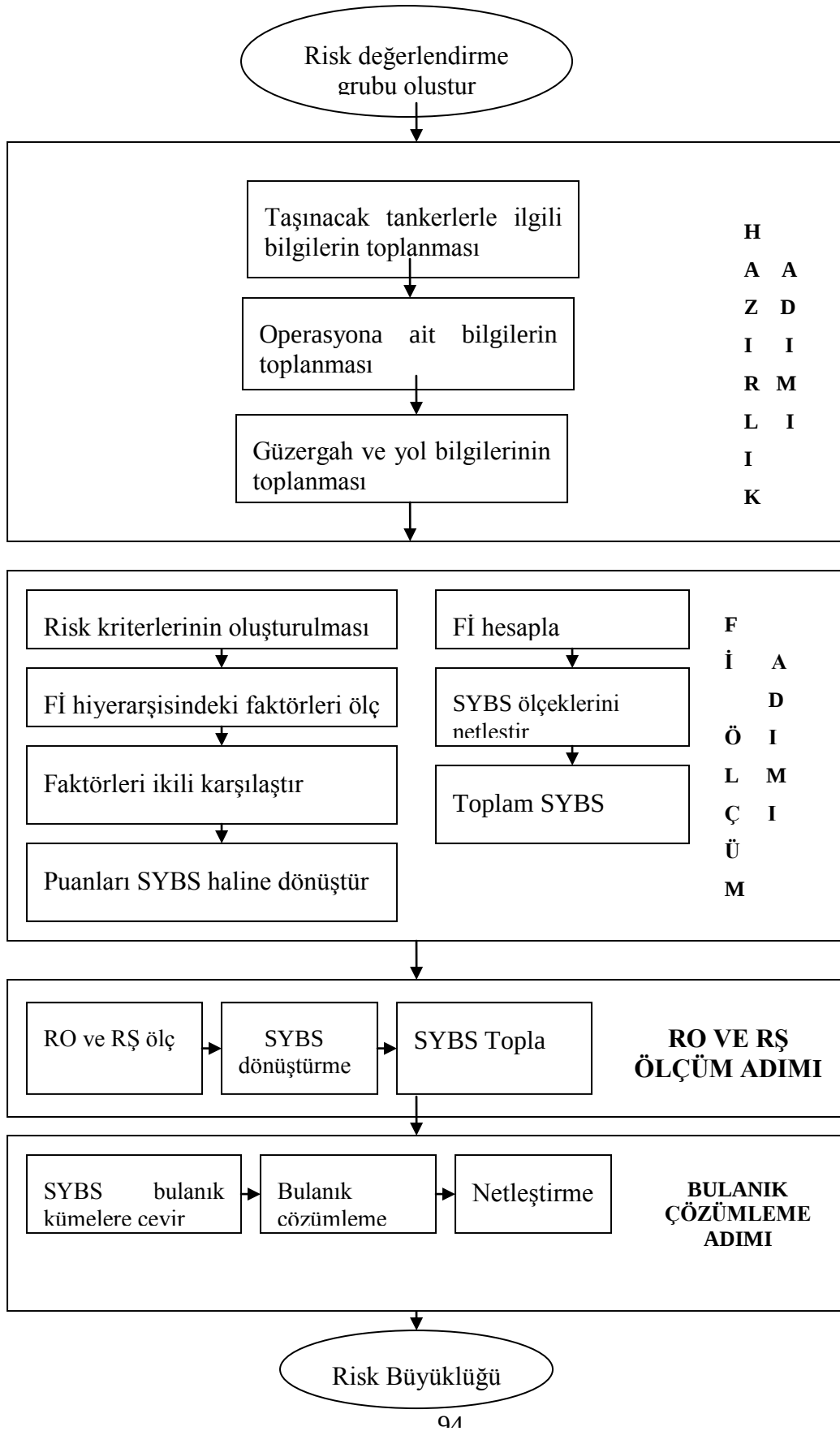
belirtildiği gibi bu faktörleri ölçmek ve sistematik bir şekilde değerlendirmek için AHP tekniği kapsamında bir hiyerarşi oluşturulmuştur. Bu hiyerarşide yer alan faktörleri değerlendirebilmek ve önerilen yaklaşımdan risk büyüklüğü sonucuna varabilmek için bu sistemin bileşenleri hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Ele alınan endüstride gerçekleştirilen üretim sürecinin bir sistem olduğu düşünüldüğünde bu yaklaşımın amacı bu sistemde tehlikeli madde kullanımından kaynaklanan riski tespit etmek olduğuna göre söz konusu riski oluşturan faktörler de bu sistemin elemanları ya da çevresi olacaktır.

Buna göre riski oluşturan faktörlerle ilgili olarak bilinmesi gereken taşıma tankerleri, operasyonel faktörler, güzergah ve yol ile ilgili faktörler, taşınması yapılacak LNG'ye ait özelliklerdir.

Yüksek parlama noktası LNG nin orta derecede alevlenebilir bir gaz olduğunu göstermektedir. Bu koşullar, depolama ve proses esnasında büyük bir kazanın meydana gelme eğilimini indirebilmektedir. Suda ve toprakta yavaş buharlaşma potansiyeline sahiptir. Zehirsiz bir madde olarak bilinmektedir. Yüksek dozda LNG uyuşukluğa ve uyku halinin meydana gelmesine neden olmaktadır [15].

LNG yüksek derecede alevlenebilir ve zehirli bir madde olarak bilinmemektedir. Zehirlilik etkisi oldukça düşüktür. Maddeye soluma yolu ile maruz kalındığında ortaya çıkan etkiler göz önüne alındığında LNG'nin kaza ile çevreye dağılması durumunda riske neden olacağı açıktır.

Maddeye soluma yolu ile maruz kalındığında ortaya çıkan etkiler göz önüne alındığında, kaza ile çevreye dağılması durumunda yüksek riske neden olacağı açıktır. Ayrıca yangına neden olma potansiyeli de düşük olduğundan tüm çevresel bileşenleri etkileme potansiyeli azdır [33].



Şekil 5.4 : LNG karayolu taşımacılığı için çevresel risk değerlendirme yaklaşımı

➤ Kaynama Noktası	-162 °C
➤ Sıvı Faz Yoğunluğu	0,42-0,46 kg/lt
➤ Gaz Faz Yoğunluğu	0,76 kg/lt
➤ Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	580 °C
➤ Maksimum Alev Sıcaklığı	1954 °C
➤ Üst Isıl Değer	9825 kg/Sm ³
➤ Parlama Limiti (Hava ile karışım oranı)	%5 - %15
➤ Buharlaşma Basıncı (21 oC)	240 bar
➤ İletim ve Depolama Basıncı	0 – 5 bar
➤ Kararlılık ve Reaktivite	
➤ Kararlılık: Kararlı.	
➤ Kimyasal Formülü	CH ₄
➤ Molekül Ağırlığı	16,04
➤ Erime Noktası	-182,5 C
➤ Kritik Sıcaklık	-83 C
➤ Buhar Yoğunluğu	0,55 (Hava= 1)
➤ Kritik Basınç	45,39 atm
➤ Yoğunluk	(20 C) 0,415 gr/cm
➤ Suda Çözünürlük	3,5 ml/100 ml
➤ Sabit bir gazdır.	
➤ Korozyon oluşturmaz	
➤ Zehirleyici bir özelliği bulunmayan	
➤ Düşük hızda tutuşur	
➤ Tehlikeli polimerizasyon oluşturmaz.	

LNG kara yolu ile yaklaşık 150 km lik bir güzergahtan geçerek işletmeye taşınması planlanmaktadır. İşletme Kadıköy’de kurulacaktır. Kadıköy İstanbul'un Anadolu Yakası'nda yer alan ilçesi. Anadolu Yakası'nın güney batısında bulunan Kadıköy, batı ve güneyde Marmara Denizi, kuzeyde Üsküdar, doğuda Ataşehir ve Maltepe ilçeleriyle çevrilidir. İlçe sınırları içinde Göztepe (235 m) gibi önemli yükseltiler olmasına karşın, Kayışdağı ve Çamlıca eteklerinden Marmara Denizi'ne doğru uzanan hafif dalgalı düzlükler ve taşlı eğimler tüm araziye hakimdir.

Fikirtepe, Acıbadem, Altıyol, Küçük Moda (Cevizlik) ve Koşuyolu öbür önemli tepe noktalarını oluşturmaktadır. Haydarpaşa ve Kalamış koyları ile Moda ve Fenerbahçe burunlarının yer aldığı hareketli bir kıyı çizgisi yer almaktadır. Bugün Kadıköy sınırları içinde halen doğal görünümünü koruyabilmiş kıyı parçalarına Fenerbahçe Burnu'nda çok sınırlı olarak rastlamak mümkündür. Kadıköy'ün başlıca akarsuları Kuşdili Deresi (Kurbağalıdere), Çamaşırcı Deresi (Bostancı Deresi), Turşucu Deresi ve Seyit Ahmet Deresi'dir [34].

Kadıköy'de yaz ayları sıcak ve az yağışlı, kış ayları ılık ve yağmurlu geçer. İklim, Marmara denizinin etkisi altındadır. Kıyılardan içerilere gidildikçe denizin etkisi azalmaya başlar. Ocak, şubat ve mart aylarında Balkanlardan ve kuzeyden gelen soğuk hava dalgaları etkisini gösterir. Kuzey, kuzeybatı ve batı yönlerinden fırtına şeklinde soğuk hava rüzgarları eser. Kar yağışı görülür. Yaz aylarında yağış toplamı 75 mm kadardır. Haziranda 30mm, temmuzda 27mm, ağustosta 18mm kadar yağmur düşer. Ortalama sıcaklık en soğuk aylarda +3 derece, en sıcak aylarda +23 derecedir. Yıllık yağış ortalaması 800 milimetredir. En yüksek sıcaklık 41 derece, en düşük sıcaklık -9 derece ölçülmüştür. Yıllık sıcaklık ortalaması 14 derecedir [35].

5.5.5.1 Fİ ölçüm adımı

Risk Büyüklüğü değerini bulabilmek için faktör indeksi (Fİ), risk olasılığı (RO) ve risk şiddeti (RŞ) girdi parametrelerinin seçilmesi gerekmektedir. Fİ değerini ifade etmek için beş dilsel değişken kullanılacaktır. Fİ, çok büyük (ÇB), büyük (B), orta (O), düşük (D) ve çok düşük (ÇD) değişkenleriyle, RO ve RŞ ise çok düşük (ÇD), düşük (D), orta (O), yüksek (Y), çok yüksek (ÇY) değişkenleri ile ifade edilmiştir. RB, dört sınıfa ayrılmıştır. İhmal edilebilir (İE), önemsiz (Ös), önemli (Ö), kritik (K) kademeleri kullanılmıştır. Sınıflandırmalarla ilgili açıklamalar Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Fİ, RO ve RŞ, üçgen bulanık sayılarla, RB ise yamuk bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

Fİ, için faktörlerin çevresel riske katkısı göz önüne alınarak katkısı çok büyük olana “çok büyük” derecesi verilmiş, “orta” derecesi için katkısı normal düzeyde olanlar belirlenmiş ve hemen hemen hiç katkısı olmayanlara “çok düşük” derecesi atanmıştır. RO, için referans olasılıklar alınarak olma ihtimali çok az olana “çok düşük” derecesi

atanarak, ihtimal arttıkça “çok yüksek” derecesine doğru gitmektedir. RŞ için meydana gelebilecek etkinin şiddeti baz alınarak akut ve kronik etkisi olmayana “çok düşük”, şiddetli akut ve kronik etkisi olana “çok yüksek” derecesi verilerek ara kademeler bu şekilde ayarlanmıştır. RB için ise, seviyelere göre risk ile ilgili yapılması gerekenler tanımlanmıştır.

Çizelge 5.2 : Fİ, RO, RŞ, RB ile ilgili açıklamalar

Fİ Tanımı	Açıklama		Fİ bulanık sayısı
çok büyük (ÇB)	Çevresel riske çok büyük katkısı var		(0.0,0.0,2.5)
büyük (B)	Çevresel riske belirgin bir katkısı var		(0.0,2.5,5.0)
orta (O)	Çevresel riske bir katkısı yok		(2.5,5.0,7.5)
düşük (D)	Çevresel riske kritik bir katkısı yok		(5.0,7.5,10.0)
çok düşük (ÇD)	Çevresel riske kesinlikle katkısı yok		(7.5,10.0,10.0)
RO Tanımı	Açıklama	Referans	RO bulanık sayısı
çok düşük (ÇD)	Olma ihtimali çok az	$< 10^{-9}$	(0.0,0.0,2.5)
düşük (D)	Olma ihtimali az	10^{-9} - 10^{-7}	(0.0,2.5,5.0)
orta (O)	Olmaya mehilli	10^{-7} - 10^{-5}	(2.5,5.0,7.5)
yüksek (Y)	Olmaya çok mehilli	10^{-5} - 10^{-3}	(5.0,7.5,10.0)
çok yüksek (ÇY)	Olması kaçınılmaz	10^{-3} - 10^0	(7.5,10.0,10.0)
RŞ Tanımı	Açıklama		RŞ bulanık sayısı
çok düşük (ÇD)	Akut etki yok, kronik etki belirsiz		(0.0,0.0,2.5)
düşük (D)	Akut ve kronik etki		(0.0,2.5,5.0)

Çizelge 5.2 : Fİ, RO, RŞ, RB ile ilgili açıklamalar (devam)

orta (O)	Yüksek akut ve kronik etki	(2.5,5.0,7.5)
yüksek (Y)	Şiddetli akut ve yüksek kronik etki	(5.0,7.5,10.0)
çok yüksek (ÇY)	Şiddetli akut ve kronik etki	(7.5,10.0,10.0)
RB Tanımı	Açıklama	RB bulanık sayı
İhmal edilebilir (İE)	Risk kabul edilebilir	(0.0,0.0,1.0,3.0)
önemsiz (ÖS)	Risk tolere edilebilir fakat önlem alınmalıdır	(1.0,3.0,4.0,6.0)
önemli (Ö)	Risk düşürülmelidir	(4.0,6.0,7.0,9.0)
kritik (K)		(7.0,9.0,10.0,10.0)

5.5.5.2 Fİ hiyerarşisindeki faktörlerin ölçümü

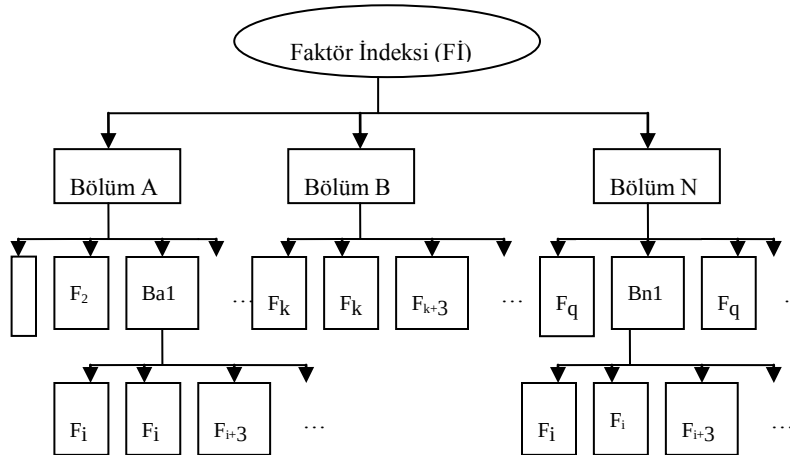
Riskin tanımından da anlaşılacağı üzere risk için esas olan olayın olma olasılığı ve meydana getireceği sonuçların şiddetidir. Bunun yanı sıra olayın olmaya yatkınlığı da bu iki ögenin gereği olarak ortaya çıkmaktadır. Faktör indeksi oluşturmanın amacı tehlikeli bir olayın olma yatkınlığını belirlemektir. Gentile ve diğ. (2003), olayın olmaya yatkınlığı ile olasılığı arasındaki ilişkiye açıklık getirmiştir. Olayın olmaya yatkınlığı /olasılığı uyum prensibi olarak bilinen hissel kural, yatkınlık dağılımının,olasılık dağılımının üst limiti gibi davrandığını kabul etmektedir. Düşük yatkınlık, düşük olasılık demektir fakat yüksek yatkınlık ne düşük ne de yüksek olasılık anlamına gelmemektedir. Felaketler, yatkınlık teorisinin bu karakteri (ciddi sonuçlar, düşük olasılık) ile iyi bir şekilde tanımlanabilirler. Bu olayların nerdeyse imkansız oluşu düşünülür çünkü olasılıkları düşüktür. Yatkınlık ölçümünün prensipleri ancak sistemlerin özellikleri dikkate alınarak geliştirilebilir. Olmayı bekleyen bir kaza, çok düşük olasılığa sahip olsa da (faktörlerin özel bir kombinasyonundan dolayı) gerçekleşmesi çok muhtemel olarak algılanır. Yatkınlık teorisi, frekansları baz alan bir olayın olma durumunu değil özel faktörlerin bir araya gelmesinden kaynaklanan tehlikelerin varlığını ölçmede etkilidir.

Bu durumda olayın olmaya yatkınlığı ve olasılığı ele alınması gereken ve riski ortaya koyan iki ayrı ögedir. Özellikle tehlike tanımı ve maruz kalma değerlendirmesi için yatkınlık prensibi riski karakterize etmeyi sağlamaktadır. Etki değerlendirme adımı ise daha çok risk şiddeti ile temsil edilmektedir.

Endüstriyel tehlikeli maddelerden kaynaklanan çevresel riskleri değerlendirmek amacıyla kullanılacak olan AHP yönteminin kapsamında riske yatkınlığı ölçen faktörlerden oluşan bir hiyerarşi oluşturulması gerekmektedir. Bu hiyerarşide yer alan faktörler puanlandırılarak Fİ oluşturulur. Fİ hiyerarşisi hazırlamanın amacı, risk faktörlerinin yeterli derecede detaylandırılması ve Fİ'lerin etkili bir şekilde değerlendirilmesidir. Fİ analizinde, belirlenen faktörler, alt faktörlere dallandırılarak Fİ hiyerarşisi oluşturulmuştur. Örnek bir model Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

1. kademe Fİ analizinin sonucunu göstermektedir. 2. kademede ise, Fİ, riske neden olan N adet alt bölüme ayrılmıştır. Daha sonra tüm alt bölümler, mümkün olan tüm tehlike durumlarını tanımlamak için alt faktörlere ayrılmıştır. Fİ analizi, 3. ve 4. kademede başlayıp daha sonra 2. kademeye dönmektedir ve son aşamada Fİ analizi gerçekleştirilmektedir.

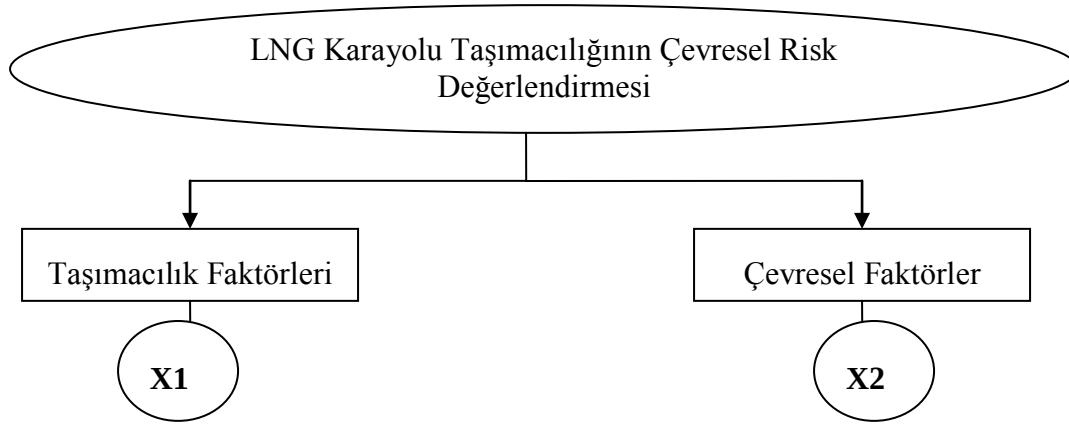
Uzmanlar, ortak bir ölçek kullanarak Fİ hiyerarşisinin en son basamağındaki her bir faktörü değerlendirir. Risk faktörlerinin öncelik ağırlıklarını belirlemek amacıyla değiştirilmiş bir bulanık AHP yöntemi kullanılmaktadır. Fİ, verilen puanların ve risk faktörlerinin öncelik ağırlıklarının birleştirilmesiyle bulunur.



Uzmanlar, Fİ hiyerarşisinin alt kademelerindeki risk faktörlerini, tecrübelerine ve bilgilerine göre değerlendirir. Uzmanlar, kesin bir puan, sayısal bir aralık, dilsel bir değişken ya da bulanık sayı ile fikirlerini bildirebilirler. Eğer risk faktörü hakkında yeterli bilgiye ulaşılabiliyorsa, sayısal olarak ölçülebiliyorsa, uzmanlar çoğunlukla kesin bir puan ya da bir sayısal aralık vermeyi tercihe ederler. Risk faktörü, sayısal olarak ölçülemiyorsa veya belirsizlikler içeriyorsa dilsel bir değişken ya da bulanık bir sayı ile değerlendirilmektedir.

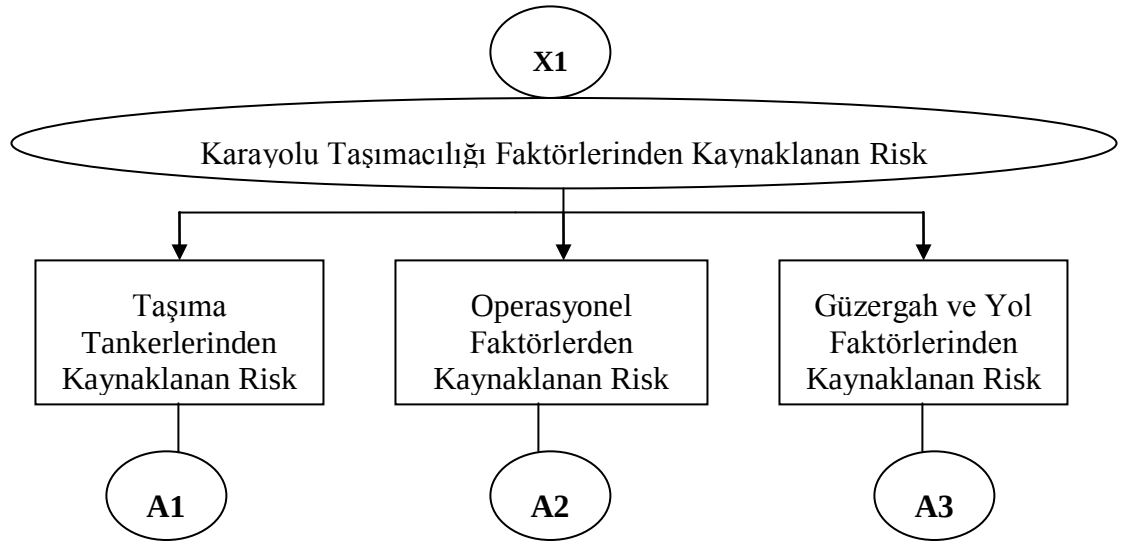
Bu çalışmada önerilen yaklaşımın amacı olan LNG'nin karayolu taşımacılığı sırasında oluşturduğu çevresel riskin değerlendirilmesi aynı zamanda hiyerarşik yapının da amacı olup I. seviyede bulunmaktadır.

Hiyerarşinin II. seviyesi ise, LNG karayolu taşımacılığı sırasında çevresel riske neden oldukları düşünülerek taşımacılık faktörleri ve çevresel faktörlerinden oluşturulmuştur. Bu seviyedeki iki faktör risk karakterizasyonu için X1 ve X2 kodları ile Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin II. seviyesi

Hiyerarşinin III. seviyesi ise, taşımacılık faktörlerinden riske neden oldukları düşünülerek taşıma tankerlerinden kaynaklanan riskler, operasyonel faktörlerden kaynaklanan riskler ve güzergah – yol faktörlerinden kaynaklanan riskler ile oluşturulmuştur. Bu seviyedeki üç faktör risk karakterizasyonu için A1, A2 ve A3 kodları ile Şekil 5.7' de gösterilmiştir.



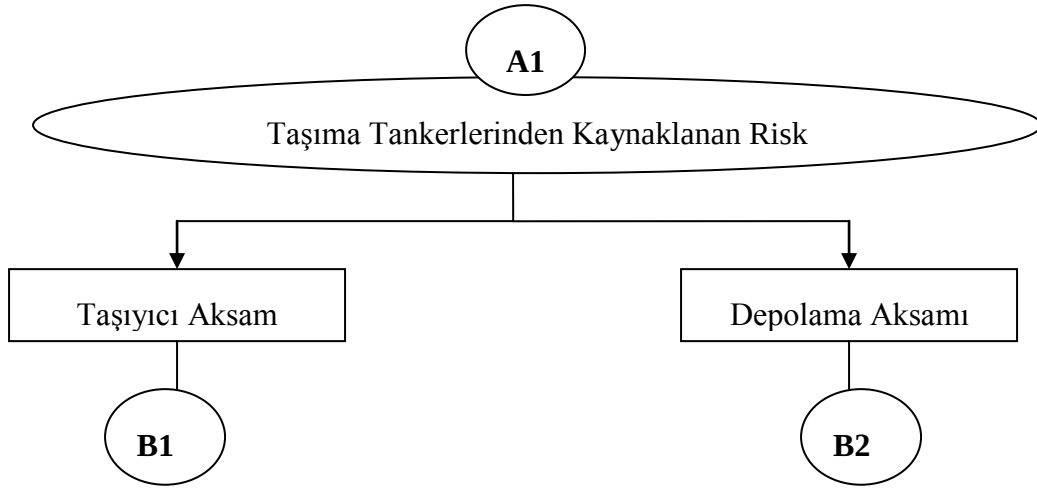
Şekil 5.7 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin III. seviyesi

LNG’nin karayolunda taşınması tehlikesinin bu seviyede karakterize edilmesinin taşıma tankerlerinden kaynaklanan risk, operasyonel faktörlerinden kaynaklanan risk ve güzergah – yol faktörlerinden kaynaklanan faktörlerle farklı şiddet, olasılık ve yatkınlıkla ortaya çıktığı düşünülmüş ve risk kaynakları olarak III. seviyeye atanmıştır.

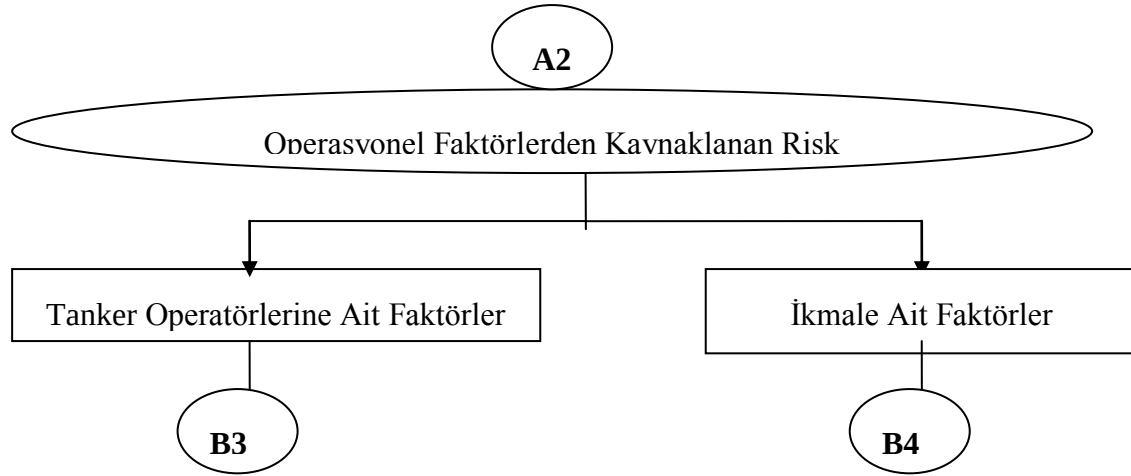
Taşıma tankerlerinden kaynaklanan riskler LNG’nin karayolunda taşınması için kullanılan taşıyıcı aksam ve depolama aksamından kaynaklanan risklerdir. Operasyonel faktörlerden kaynaklanan riskler ve güzergah – yol faktörlerinden kaynaklanan riskler farklı karakterde olacağı için aynı seviyede diğer iki faktörü oluşturmuştur.

Hiyerarşinin üçüncü seviyesinde ise risk kaynağı olan taşıma tankerlerini etkileyen alt faktörler belirlenmiş ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir. LNG’nin karayolunda taşınması sırasında oluşan riskler tankerin taşıyıcı aksamından ve de taşınan maddenin depolandığı depolama tankından kaynaklanan risklerdir. Bu nedenle taşıyıcı aksam ile depolama aksamı A1 faktörünün I. seviyesi için iki faktör olarak atanmıştır.

Operasyonel faktörlerden kaynaklanan riskleri karakterize eden üçüncül adım faktörleri ise Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Operasyonel faktörlerden kaynaklanan riskler için ikinci seviyedeki faktörler tanker operatörlerine ait faktörler ve ikmale ait faktörler ile aynı seviyede gösterilmiştir. Örneğin LNG’nin karayolu ile taşınması riski LNG’yi taşıma operasyonunda görevli tanker operatörüne ait faktörlerle göz önüne alınmalıdır.

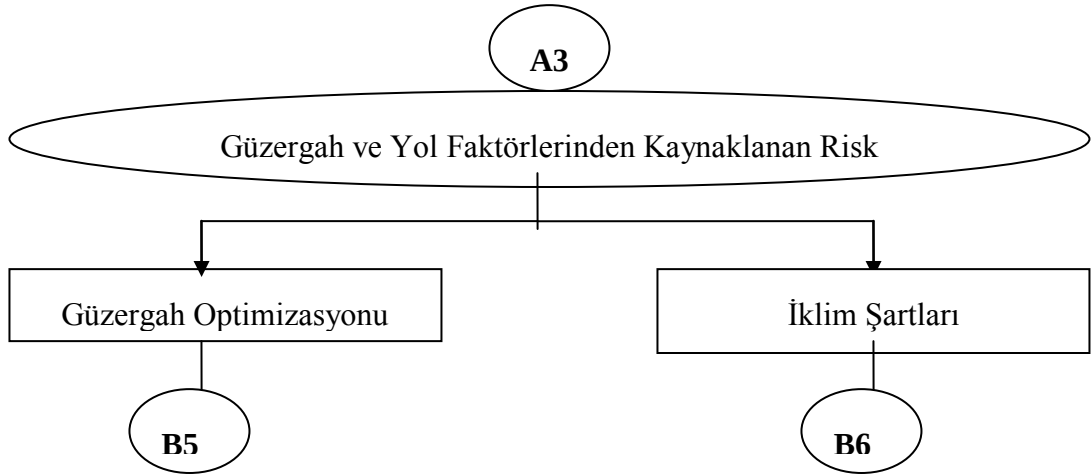


Şekil 5.8: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için II, A1 için I. seviyesi



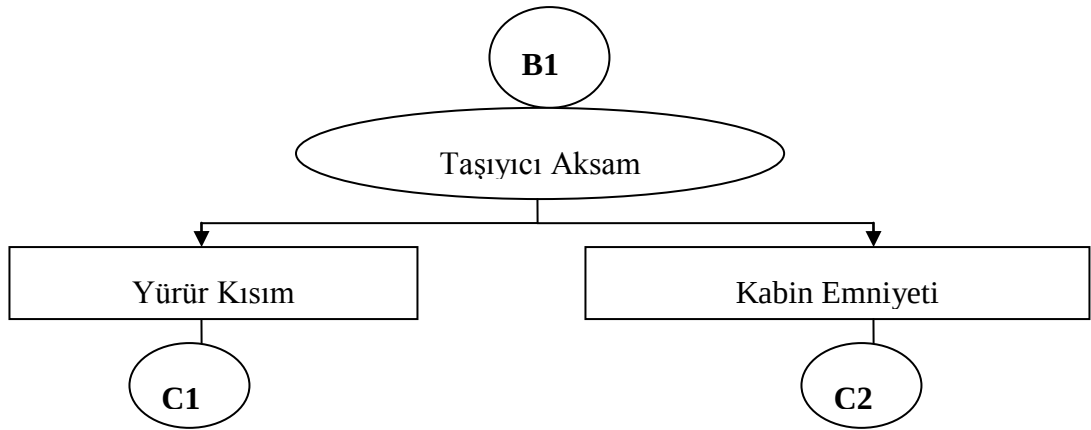
Şekil 5.9: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için II, A2 için I. seviyesi

Şekil 5.10'da ise güzergah ve yol faktörlerinden kaynaklanan risklerin hangi faktörlerle ortaya çıkarıldığı gösterilmektedir. Örneğin yoğun yerleşim ve trafiğin olduğu alanları değerlendiren bir güzergah optimizasyonu riski etkileyen ana özelliklerden biri olacaktır. İkinci önemli nokta ise LNG taşımacılığı süresince hakim olan iklim şartları olacaktır.



Şekil 5.10 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için II ,A3 için I. seviyesi

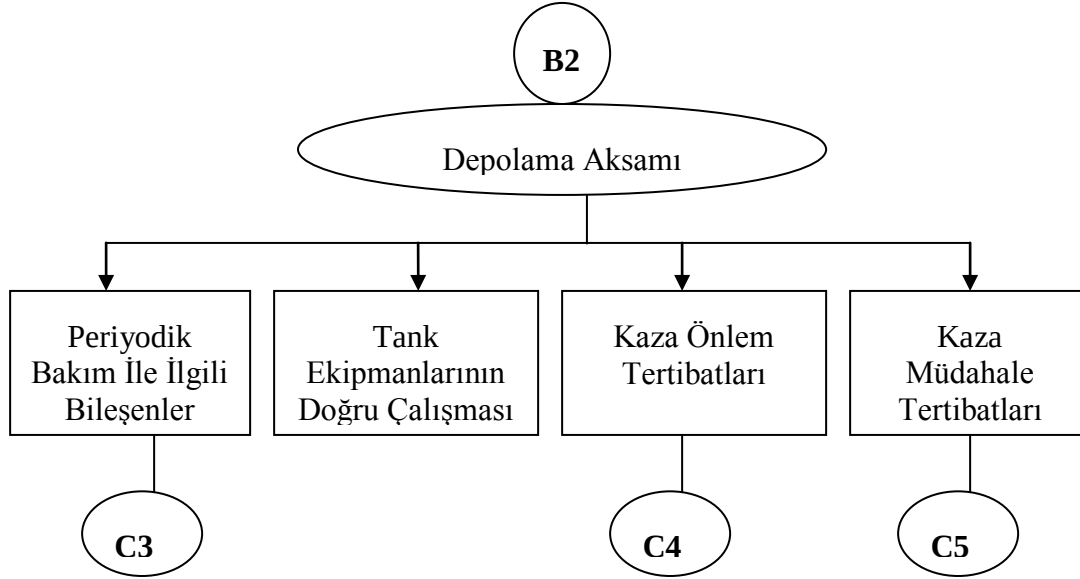
Şekil 5.11'de taşıyıcı aksamı ait alt faktörler gösterilmektedir. Taşıyıcı aksamı ait alt faktörler, aracın yürür aksamından kaynaklanabilecek potansiyel bir tehlike oluşturmasını ve taşıyıcı aksamın kabinde emniyeti ve sürüş güvenliğini etkileyen faktörler olarak riske etki edeceklerdir. Taşıyıcı aksamın riskin değerlendirilmesinde ortaya koyduğu bu etkiler düşünüldüğünde IV. seviye yürür aksam ve kabin emniyet ve sürüş güvenliğini etkileyen faktörler olarak iki ayrı gruba ayrılmıştır.



Şekil 5.11 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III ,A1 için II, B1 için I. seviyesi

Taşıyıcı aksamın yürür kısmı LNG taşıyan tankerlerin seyir esnasında kazaya sebebiyet verebilecek faktörleri doğrudan tanımlarken kabin emniyeti ve sürüş güvenliği faktörleri de kazaya sebebiyet verecek eş değer faktörler olarak riskin değerlendirilmesini sağlamaktadır.

LNG'nin karayolunda taşıyan tankerlerin depolama aksamına bağlı olarak neden olacağı riski ortaya koyan faktörler Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Öncelikle depolama aksamı bakım gerektirmektedir, bu nedenle bu özellikler periyodik bakım ile ilgili bileşenler taşıma ve ikmal emniyetini etkileyen faktörler olacaktır. . Tank ekipmanlarının doğru çalışması ise diğer özelliklerden bağımsız olarak ortaya konulacaktır. Kazan önlem tertibatları ise seyir ya da ikmal operasyonu esnasında çevreden fark edilmeyi sağlayacak, taşınan maddenin tehlikelilik niteliğiyle ilgili bilgilendirme yaparak uyarı etkisi gösterecek faktörler olarak gruplandırılacaktır. Kaza müdahale ekipmanları ise herhangi bir sebeple kaza olması durumunda riski en aza indirmek amacıyla belirtilmiş faktörler olarak gruplandırılacaktır.

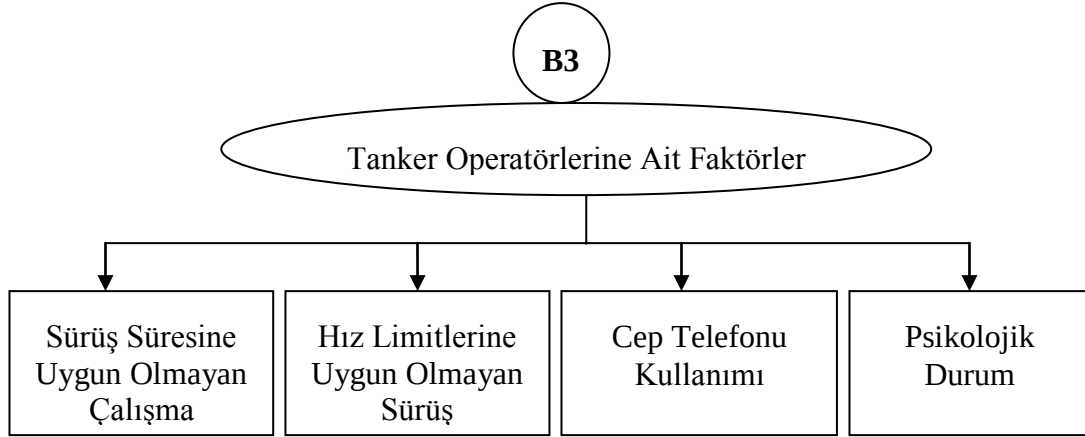


Şekil 5.12 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III , A1 için II, B2 için I. seviyesi

Şekil 5.13'de ise operasyonel faktörlerden kaynaklanan risklere bağlı olan tanker operatörlerine ait alt faktörler gösterilmektedir. Hiyerarşinin IV. seviyesinde LNG karayolu taşımacılığı proses süresince tanker operatörlerine ait faktörler sebebi ile

kazaya neden olabilecek her biri ayrı alt faktörlerden etkilenen ana faktörler belirlenmektedir.

Tanker operatörlerinin sürüş sürelerine uygun olmayan çalışma saatleri, hız limitlerine uygun olmayan şekilde araç kullanmaları, cep telefonu kullanımı ve psikolojik faktörler LNG'nin taşınması sırasında kaza potansiyeli taşımaktadır.



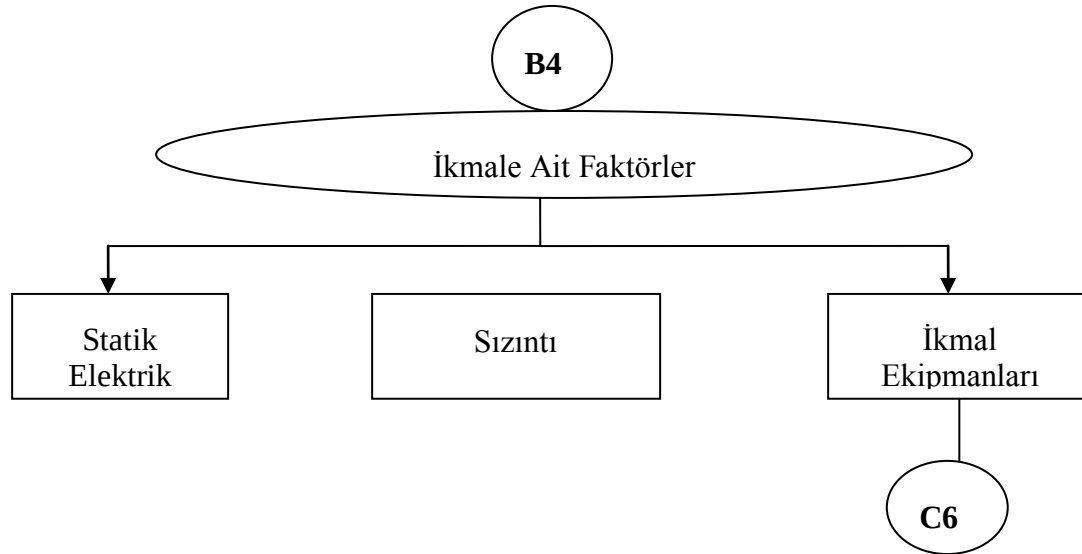
Şekil 5.13 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III ,A2 için II, B3 için I. seviyesi

LNG'nin karayolu ile taşınmasında en önemli risk faktörlerinden biri de tankerleri kullanan operatörlere ait faktörlerdir. Tanker operatörlerine ait faktörlerine ait bileşenler yasal olarak da belirlenmiş emniyetli sürüş sürelerine uyulmamasıdır. Tanker operatörleri gün içinde en fazla 9 saat araç kullanabilirler ve bu süre içinde mutlaka en az bir kez 45 dakikadan az olmamak kaydıyla mola vermelidirler Maalesef taşımacılık sektöründeki en önemli sorunlardan biri ucuz ve eğitimsiz bir iş gücü ile operasyonu yürütmeye çalışmaktır. Bu sorun tehlikeli madde taşımacılığının genelinde olduğu gibi LNG karayolu taşımacılığında da kazalara sebebiyet veren en önemli risk noktalarından birini oluşturmaktadır. Bir diğer nokta ise hassas saatlerdir . Bu saatler gece 02:00 ile 04:00 arası gündüz ise 14:00 ile 16:00 arasındır. Bu saatlerde insanın biyolojik saati uykuda olması gerektiğini hisseder ve konsantrasyon düşerek uykusuzluk hali kazaya sebebiyet verebilecek büyük bir risk doğurur. Yasalarla da belirlenen diğer bir bileşen ise hız limitleridir. Maalesef hız limitlerine uygun olmayan sürüş beraberinde kaza riskini de beraberinde getirmektedir. Yasal olarak tehlikeli madde ve LNG

taşımacılığında hız limitleri Şehir içi: 30 km/sa , Şehirlerarası : 50 km/sa ve Otoyollarda : 60 km/sa olarak belirlenmiştir.

Cep telefonu kullanımı da sürüş sırasında tanker operatörünün konsantrasyonunu etkileyen, dolayısıyla risk doğuran bir diğer önemli bileşendir. LNG karayolu taşımacılığında ve ikmal operasyonunda en önemli faktörlerden biri tanker operatörleridir ve tanker operatörlerinin çalışma performanslarını, dikkatlerini ve de konsantrasyonu etkileyen önemli bir diğer bileşen ise psikolojik faktörlerdir. Hastalık, moral bozukluğu, düşük ücretle çalışma ve benzeri faktörler de konsantrasyon kaybına, isteksiz çalışmaya yol açar ve de önemli ölçüde bir kaza riski doğurur.

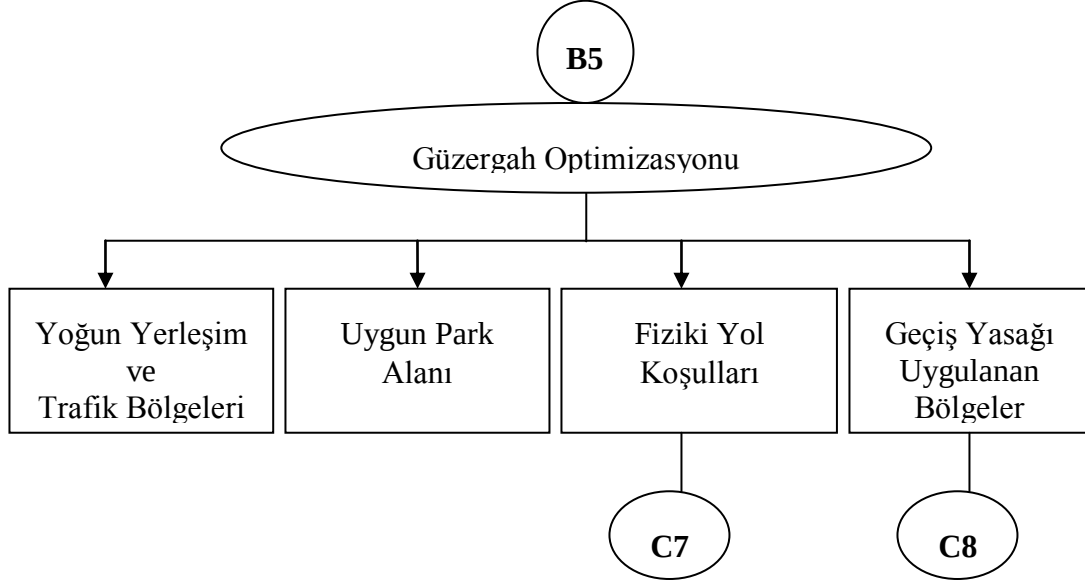
Şekil 5.14’de ise ikmale ait alt faktörler gösterilmektedir. İkmal sırasında taşınan LNG’nin çalkalanması ve sürtünmesi sebebiyle oluşan statik elektrik ve meydana gelebilecek sızıntı ikmale ait alt faktörlerin bileşenleridir. LNG’nin tehlikelilik özellikleri ve ikmal operasyonunda kullanılan ekipmanların doğru çalışması faktörleri alt faktörler olarak risk doğurmaktadır.



Şekil 5.14 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III , A2 için II, B4 için I. seviyesi

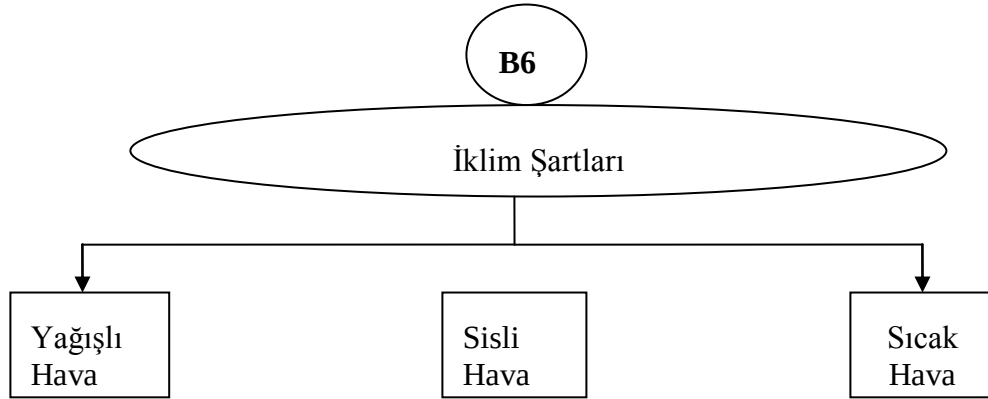
Güzergah optimizasyonundan kaynaklanan çevresel riske ait faktörlerinin alt faktörleri Şekil 5.15’de gösterilmiştir. Yerleşimin ve trafiğin yoğun olduğu bölgeler, taşımacılığın yapıldığı güzergahta uygun park ve dinlenme tesisinin bulunmaması bağımsız bileşenler olarak değerlendirilebilir.

Fiziki yol koşulları ve geçiş yasağı uygulanan bölgeler güzergah optimizasyonunda dikkate alınması gereken tehlikeli madde taşımacılığı açısından çevresel risk ortaya çıkaran alt faktörler olarak gruplandırılmıştır.



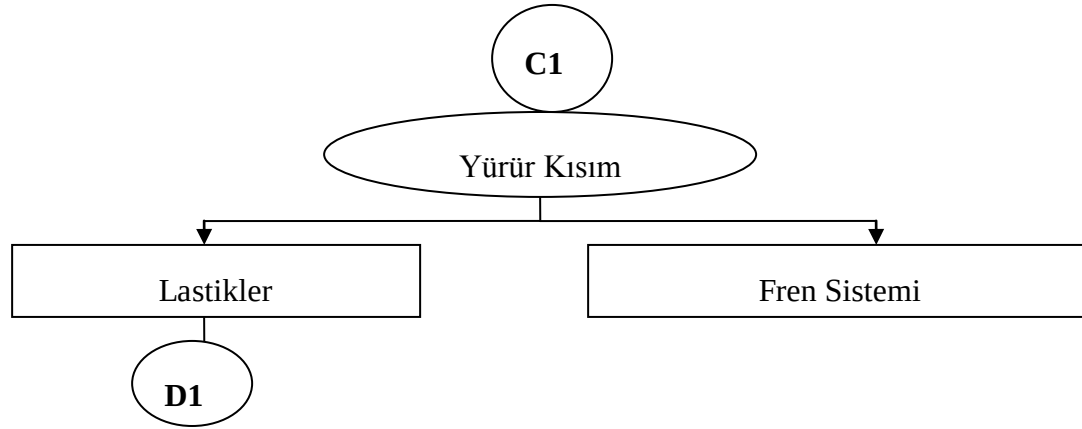
Şekil 5.15: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III ,A3 için II, B5 için I. seviyesi

Şekil 5.16'da iklim şartlarına ait risk doğuran alt faktörleri gösterilmektedir. Yağışlı havalar taşıma tankerinin yol tutuşunu ve fren mesafesini etkileyerek, sisli havalar ise görüş mesafesini düşürerek sürüş güvenliğini etkilerken, sıcak havalar ise tanker operatörlerinin bunaltarak konsantrasyonunu etkileyerek sürüş güvenliğini riske sokmaktadır.



Şekil 5.16 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için III , A3 için II., B6 için I. seviyesi

LNG'nin karayolu ile taşınmasından kaynaklanan çevresel riski değerlendirmek amacıyla oluşturulan hiyerarşinin 4. seviyesinde bulunan yürür kısım, taşıyıcı aksamına ait bir alt faktördür ve bu alt faktörün değerlendirilmesi için kullanılacak faktörler Şekil 5.17'de gösterilmektedir.



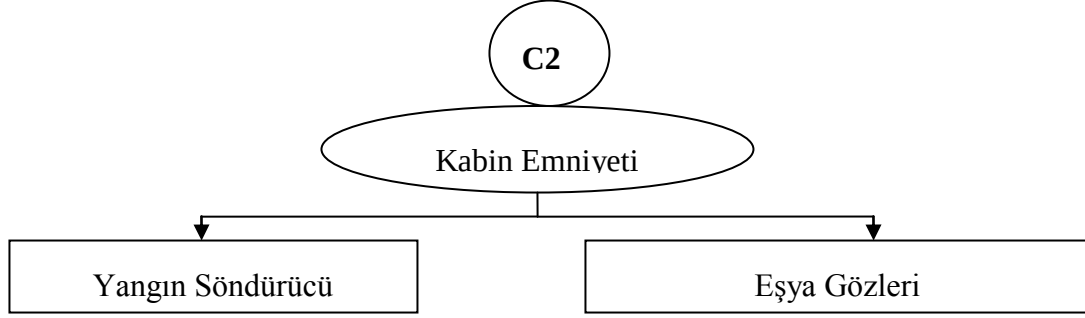
Şekil 5.17 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B1 için II, C1 için I. seviyesi

Yürür aksamına ait alt faktörler iki ana başlıkta toplanabilmektedir. Yürür Aksamdan kaynaklanan riskleri karakterize eden faktörler lastikler ve fren sistemidir. Lastikler LNG taşınması yapan tankerin yol tutuşunu ve emniyetli fren mesafesini etkileyen faktörlerdir ve de bu faktörler olası bir kaza riskini azaltan ya da arttıran faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Fren sistemi ise aracın farklı yol koşullarında karşılaşılabilecek farklı engeller, farklı zeminlere karşı emniyetli bir fren mesafesi sağlaması açısından oldukça önem taşıyan yürürü kısma ait bir alt faktördür .

Bu gruplarda yer alan yürür aksam farklı göstergelerle değerlendirilebilmektedir. Lastikler için, diş derinliği, yatay ya da düz tipte kanallara sahip olması, kaplama lastik ya da uygun özellikte lastik gibi faktörler lastiklerden kaynaklı risk oluşumunu etkileyen göstergelerdir. Fren sistemini ise fren sisteminde kullanılan malzemenin kalitesi, sensörlerin olup olmaması gibi faktörler etkileyecektir.

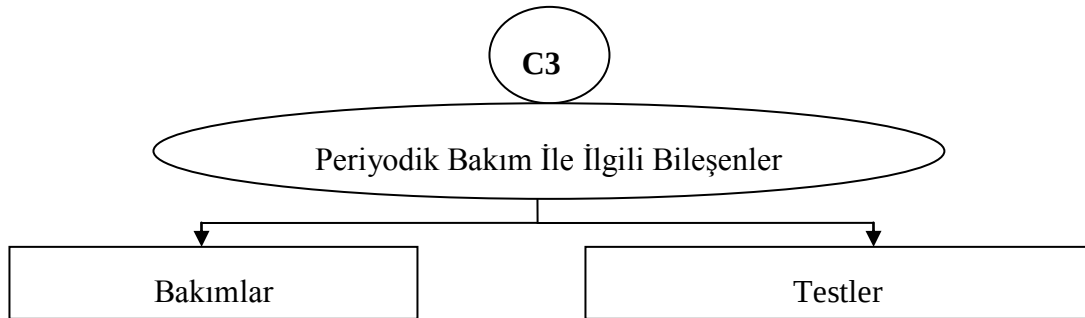
Şekil 5.18'de kabin emniyetine ait alt faktörler gösterilmektedir. Kabin içerinden herhangi bir sebeple çıkabilecek yangına 2 kg'lık kuru kimyevi tozlu ABC tipi bir yangın söndürücüsü bulunmalıdır. Kabin içerisinde tankerin manevraları sırasında boşta

bulunan eşyalar savrulabilir ve bu durum bir kaza riski doğurabilir. Bu sebeple kabin içerisinde boşta bulunan eşyaları koymak üzere bulunmalıdır.



Şekil 5.18 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B1 için II, C2 için I. seviyesi

Periyodik bakım ile ilgili bileşenlere ait alt faktörler Şekil 5.19’da gösterilmektedir. Depolama aksamını teşkil eden tanklar kreyojenik olarak ve basınç altında sıvılaştırılmış doğalgazın depolanmasını sağlarlar. Bu tankların vakum seviyeleriyle ilgili testler yapılmalı ve de test sonuçlarına göre vakum tamamlanmalı, sorun bu şekilde çözülmemişse tank bakımı yapılmalıdır. Aksi takdirde ısı izolasyonu ortadan kalkacağı için LNG çok hızlı gazlaşacak, bu durum ise basıncı hızla yükselterek tank için patlamaya gidecek riskler doğuracaktır. Tank üzerindeki basınç, seviye göstergeleri, boşaltım vanaları ve evaporatörler için de aynı şekilde periyodik olarak bakım yapılmalıdır.

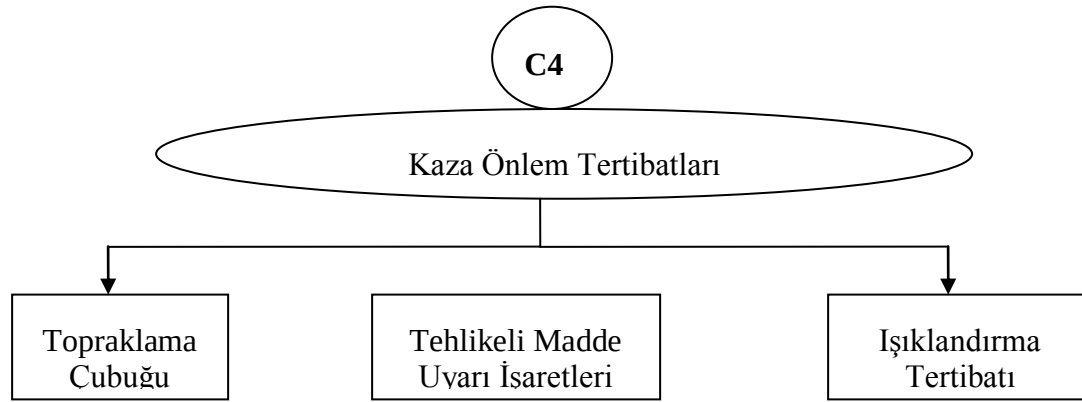


Şekil 5.19 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B2 için II, C3 için I. seviyesi

Depolama aksamı altında bulunan kaza önlem tertibatlarına ait bileşenler Şekil 5.20’de gösterilmektedir. Bu alt faktörler ikmal ve taşıma operasyonu sırasında ortaya

çıkabilecek risklerin oluşmaması için kullanılan ekipmanları kapsamaktadır. Örneğin, topraklama çocuğu taşıma sırasında sürtünmeden meydana gelen statik elektriği toprağa ileterek taşıma sırasında ya da ikmal sırasında kıvılcım oluşumunu önler ve , yangın ve patlama riskini azaltır. LNG yanıcı maddelerin ikmalinde statik elektrik oldukça büyük bir risk doğurmaktadır. Tehlikeli madde uyarı levhaları ise hem tehlikeli maddenin niteliğini belirterek taşınan madde hakkında bilgi verir, hem de bu maddeye karşı alınması gereken temel önlemler konusunda uyarılar iletir.

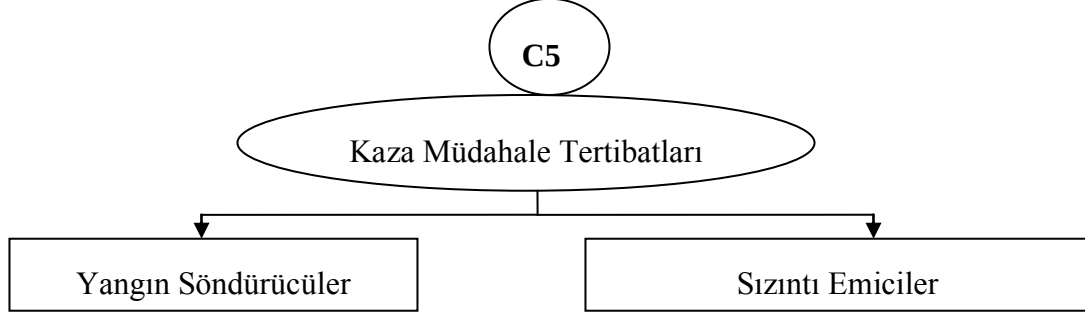
Bu şekilde seyir sırasında yoldaki diğer araçlar , ikmal sırasında ise müşteri personeli ya diğer kişiler için taşınan ve ikmal yapılan malzemeyle ilgili riskin ortaya konulması, tanıtılması amaçlanır. Bu faktör dışarıdan gelebilecek riskleri ortadan kaldırmaya yöneliktir. Işıklandırma tertibatı da gece yolculuklarında LNG tankerinin fark edilmesi açısından oldukça önemli bir faktördür. LNG taşıyan tankerlerde ışıklandırma tertibatı ex-proof nitelikte olmalıdır.



Şekil 5.20 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B2 için II,C4 için I. seviyesi

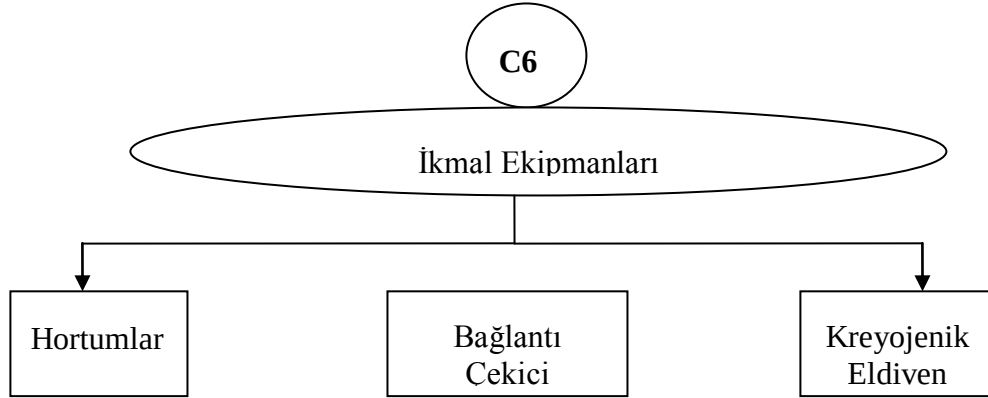
Şekil 5.21’de depolama aksamına ait kaza müdahale tertibatları faktörünün alt faktörleri gösterilmektedir. LNG taşıyan bir tankerin herhangi bir kazada ortaya çıkaracağı temel tehlike depolama aksamında meydana kırılma ve çatlamalardan dolayı sızıntı, LNG’nin ortama yayılarak hızla buharlaşması ve bu yanıcı buhar bulutunun her hangi bir şekilde bir ateş kaynağı olarak yangına sebebiyet vermesidir. Dolayısıyla kaza durumunda sızıntı ve yangına müdahale ile ilgili ekipmanlar depolama aksamı üzerinde bulundurulmalıdır. Bu durum ortaya çıkan riskin etkilerini en aza indirecektir. Bu

ekipmanlar 6 kg kapasiteli kuru kimyevi tozlu ABC tipi 2 adet yangın söndürücü ve sızıntı sırasında müdahale etmeyi sağlayacak kreyojenik eldiven ve ıslatılarak sızıntının olduğu alandaki etkiyi azaltan ve sıvıyı emen tekstil ürünleridir.



Şekil 5.21 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A1 için III, B2 için II, C5 için I. seviyesi

Şekil 5.22'de ikmale ait faktörlerin alt faktörlerinden ikmal ekipmanlarına ait bileşenler gösterilmektedir

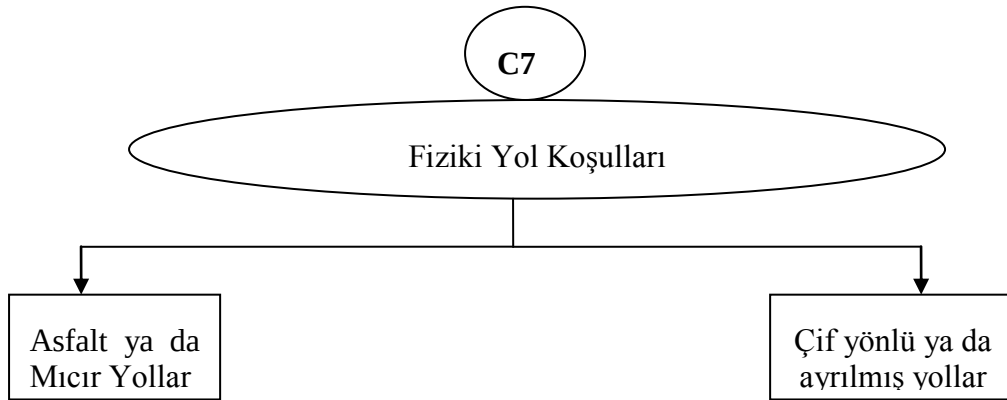


Şekil 5.22 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A2 için III, B4 için II, C6 için I. seviyesi

LNG'nin karayolunda taşımacılığı için risk değerlendirilmesi yaparken sadece taşımacılığı değerlendirmek risklerin bir kısmının farkında olmamıza sebebiyet verebilir. Bu sebeple taşıma ve ikmal bir bütün gibi düşünmek gerekecektir. İkmal ekipmanları ikmalin gerçekleşebilmesi amacıyla kullanılan taşıma sırasında tankerde bulundurulanan ekipmanlardır ve ikmal sırasında ortaya çıkması muhtemelen riskleri en aza indirecek şekilde seçilmişlerdir. Hortumlar taşıma tanker ile depolama tankı arasında

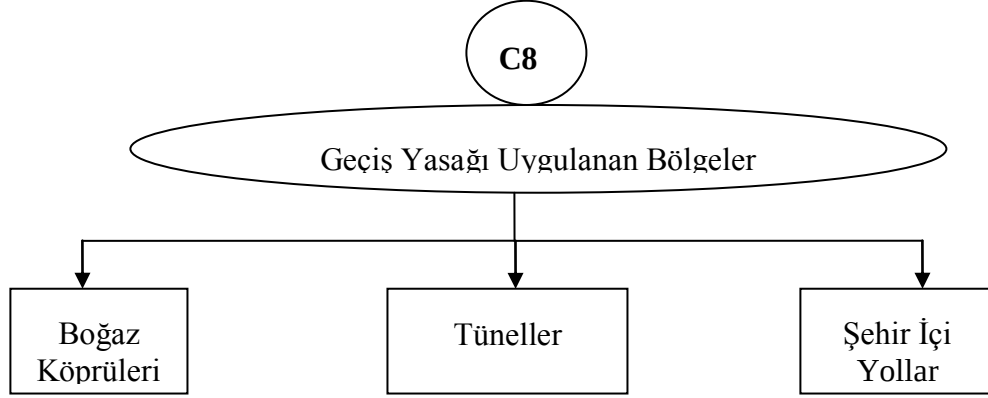
LNG'nin aktarımı amacıyla teşkil edilirler. Taşıma tankeri ve tank arasındaki ikmali sağlayan hortum, prinçten yapılan bir bağlantı çekici vasıtası ile sıkılarak ikmal sırasında sızıntı olmasının önüne geçilir. Bağlantı çekici vana-hortum bağlantısının sıkılması sırasında kıvılcım oluşumunu engellemek amacıyla prinç malzemeden imal edilmiştir. Bir diğer önemli ekipman ise hortumu bağlantısını yaparken ya da hortumu çıkarırken hortum içinde kalan LNG'nin deri ile temasını önlemek amacıyla kullanılan kreyojenik eldivenlerdir. Bu eldivenler çok soğuk bir madde olan LNG'ye dayanıklı ve sızıntıyı önlemeye yardımcı olarak soğuk yanığı riskini önler.

Yoğun yerleşim - trafik bölgeleri ve uygun park alanlarının bulunması sadece LNG için değil tüm tehlikeli maddelerin taşımacılık operasyonları için sorun olan, risk yaratan önemli bileşenlerdir. LNG taşımacılığı yapan tankerler oldukça büyük ve manevra kabiliyeti düşük olan araçlardır. Bu sebepler trafikte seyreden diğer küçük araçların hatalarını tolere edebilme kabiliyetleri oldukça düşüktür. Bir diğer bileşen de Türkiye şartlarında maalesef karayollarında bu tip özellikle yükü tehlikeli madde olan araçlar özel park yerleri olmamasıdır. Bu araçların park yerlerinde bulunan diğer araçlar, etraftaki diğer sürücüler ve insanlar çeşitli sebeplerle bu tankerler için potansiyel risk oluşturmaktadırlar. Örneğin bu tip tankerlere 15 m mesafede kesinlikle bir ateş kaynağı bulunmamalıdır. Güzergah optimizasyonuna ait alt faktörlerden fiziki yol koşullarına ait bileşenler Şekil 5.23'de gösterilmektedir.



Şekil 5.23 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A3 için III, B5 için II, C7 için I. seviyesi

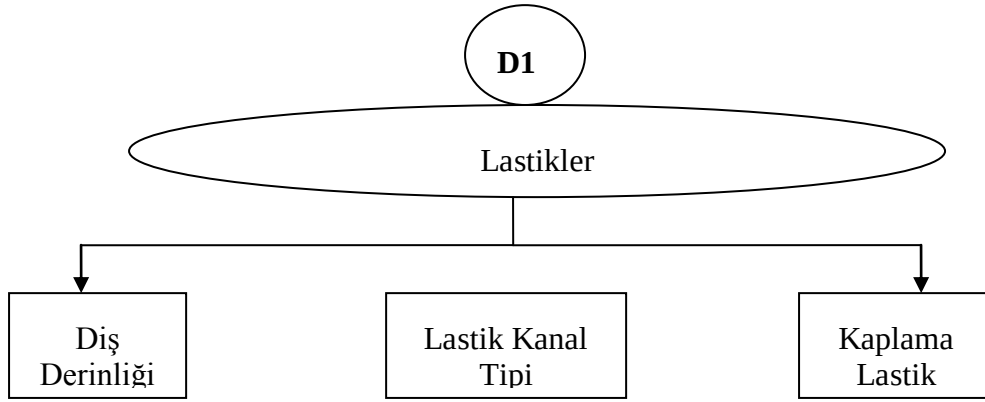
Güzergah optimizasyonundan kaynaklanan çevresel riske ait faktörlerinin alt faktörlerinden geçiş yasağı uygulanan bölgelere ait bileşenler Şekil 5.24’de gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için IV, A3 için III, B5 için II,C8 için I. seviyesi

LNG taşıyan tankerlerin boğaz köprülerinden geçişleri oluşturdukları yüksek risk nedeni ile yasaklanmıştır. LNG taşıyan tankerler sadece boş olduklarını ve tankerin azot ile soğutularak içindeki yanıcı ve patlayıcı gaz buharından arındırıldığını gösterir yetkili mühendis raporunu sunmaları durumunda sadece Fatih Sultan Mehmet Köprüsü’nden geçişlerine izin verilir. Fakat dolu tankerlerin için boğaz köprülerinden geçiş her şartta yasaklanmıştır. Bir diğer geçiş yasağı olan yapı ise tünellerdir. Geçiş yasağı tüm tünelleri kapsamamaktadır. Sadece Bolu Dağı tüneli ve yeni yapılan Karadeniz Otoyolu üzerindeki Türkiye’nin en uzun tüneli için yasaklanmıştır. Tankerin bu tünellerden geçiş süresi ve taşıdığı yüksek risk tünel içindeki trafik için riskli görülmüş ve LNG taşıyan tankerler için bu tünellere geçiş yasağı getirilmiştir. Şehir içi yollar ise sadece bazı saatlerde LNG ve tehlikeli madde taşıyan yüksek tonajlı tankerlere trafik yoğunluğu ve dolayısıyla potansiyel risk göz önüne alınarak yasaklanmıştır. Bu nitelikte tankerler için 06:00 – 11:00 ve de 15:00 – 22: 00 saatleri arasında şehir içi yollara giriş yasağı getirilmiştir.

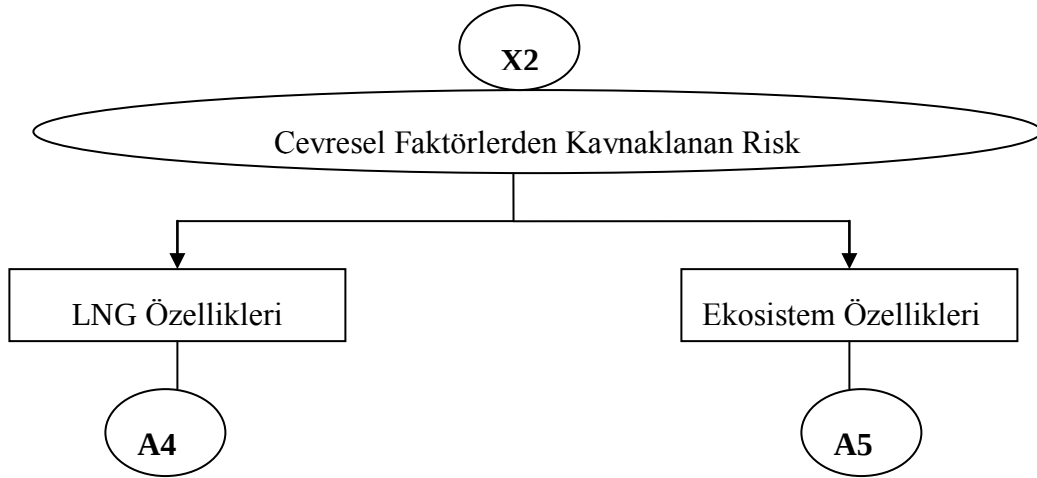
Şekil 5.25’de yürür aksama ait faktörlerin bileşenlerinden lastiklere ait alt faktörler gösterilmektedir.



Şekil 5.25 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X1 için V, A1 için IV, B1 için III, CI için II, D1 için I. seviyesi

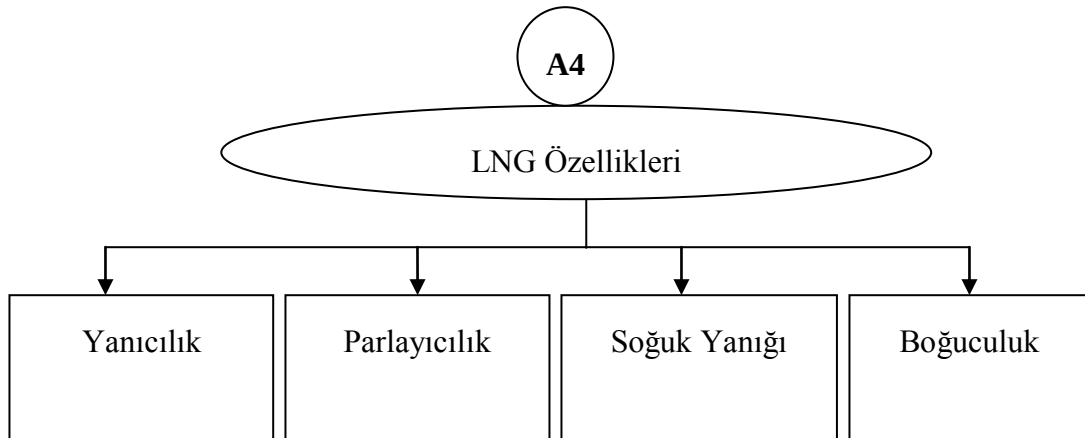
Tehlikeli madde taşıyan araçlar için seyir esnasındaki en önemli kısımlardan bir yürür aksam ve bu aksama ait bileşenlerden lastiklerdir. Lastikler taşıyıcı aksamın yol ile irtibatını sağlarlar ve yetersiz diş derinliğine sahip lastikler her hangi bir engelle karşılaşılması durumunda yapılan frenlemenin sağladığı duruş mesafesini uzatır. Bu da kaza riskini önemli ölçüde arttıran bir faktördür. Diğer bir faktör de lastiklerin kanal tipidir. Lastikler dikey ya da yata kanallı olarak imal edilirler. Dikey tip lastikler yağışlı havalarda lastik arasındaki suyu tahliye ederek yol tutuşu arttırırlar. Yatay tip lastikler ise daha çok karlı havalarda ve yüksek çekiş gerektiren yollarda yol tutuşu arttırarak kayma, devrilme riskini en aza indirirler. LNG taşımacılığı ve diğer tehlikeli madde taşımacılığı yapan tankerlerde kesinlikle kaplama lastik kullanılmamalıdır. Kaplama lastikler özellikle yaz mevsimlerinde ve yüksek tonajlı taşımalar sırasında eriyerek ya da yırtılarak araçlar için yoldan savrilmaya sebep olur ve kaza riskini arttırırlar.

Hiyerarşinin III. Seviyesi ayrıca, çevresel faktörlerinden riske neden oldukları düşünülerek LNG özellikleri ve ekosistem özelliklerinden kaynaklanan riskler oluşturulmuştur. Bu seviyedeki iki faktör risk karakterizasyonu için A4 ve A5 kodları ile Şekil 5.26'da gösterilmiştir.



Şekil 5.26 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin III. seviyesi

LNG’nin karayolunda taşımacılığı için risk değerlendirilmesi yaparken en önemli risk faktörlerinden bir de ikmale ait faktörlerdir. İkmale ait faktörler arasında en önemli alt faktörlerden biri LNG’nin kendine ait özelliklerinden kaynaklanan bileşenlerin yarattığı risklerdir ve bu bileşenlere ait riskler Şekil 5.27’de gösterilmiştir. Bu bileşenlerin yaratacağı riskin olasılığı ve yatkınlığı farklı olacaktır.

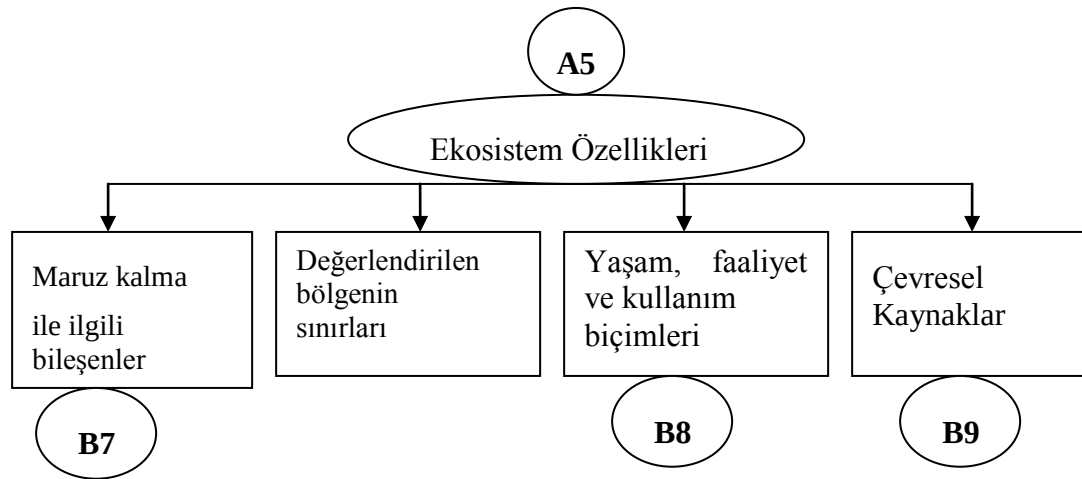


Şekil 5.27 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için II, A4 için I. seviyesi

LNG yanıcı ve parlayıcı nitelikte bir maddedir. Parlama limitleri % 5 ile % 15 arasında olup bu parlama limitleri arasında herhangi bir ateş kaynağı ile karşılaştığında yanıcılık riski açığa çıkmaktadır. LNG – 162 °C’de çok soğuk bir madde olup ortam sıcaklığından

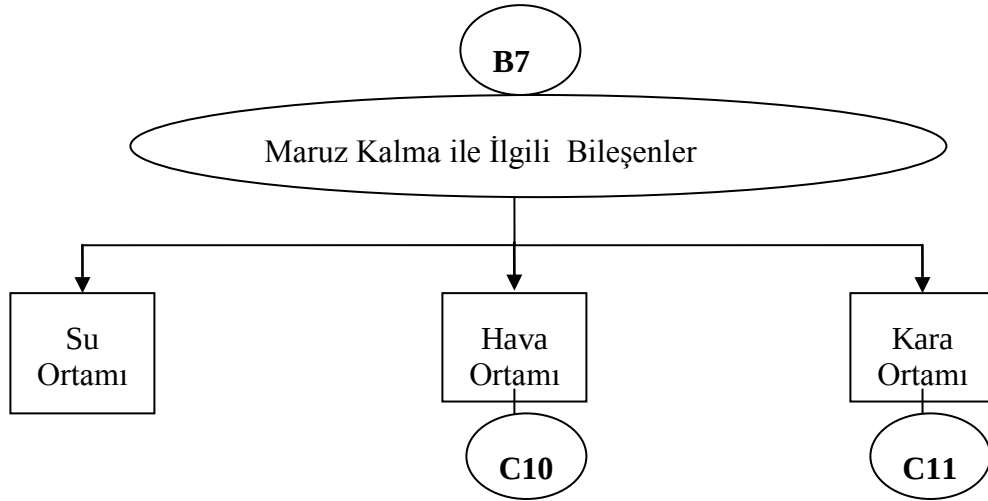
daha düşük sıcaklıklarda bile yanıcı ve parlayıcı buhar çıkarabilmektedir. LNG – 162 °C’de çok soğuk bir madde olup direkt olarak deriyle temas etmesi durumunda ısı transferi yaşanır ve derinin ısınısını alarak çok ciddi derecede soğuk yanığına sebebiyet verebilir. LNG zehirleyici bir madde olmamakla birlikte bulunduğu ortamdaki oksijeni tüketerek boğuculuk riski açığa çıkar.

LNG’nin karayolu ile taşınması sırasında çevresel faktörlerden ekosistem özelliklerine bağlı olarak neden olacağı riski ortaya koyan faktörler Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Öncelikle ekosistemin birtakım özellikleri maddenin dağılımını ve akıbetini etkileyecektir bu nedenle bu özellikler maruz kalma ile ilgili özellikler olarak gruplanacaktır. Değerlendirilen bölgenin sınırları ise diğer özelliklerden bağımsız olarak etkilenen alanın büyüklüğünü gösterecektir. Yaşam, faaliyet ve kullanım biçimleri ortaya çıkacak potansiyel tehlikeyi bölgenin daha çok sosyal özelliklerini dikkate alarak belirlemeyi sağlamaktadır. Çevresel kaynaklar ise o bölgenin sahip olduğu çevre bileşenlerinin ve özelliklerinin riske olan katkısını belirlemek üzere oluşturulmuştur.



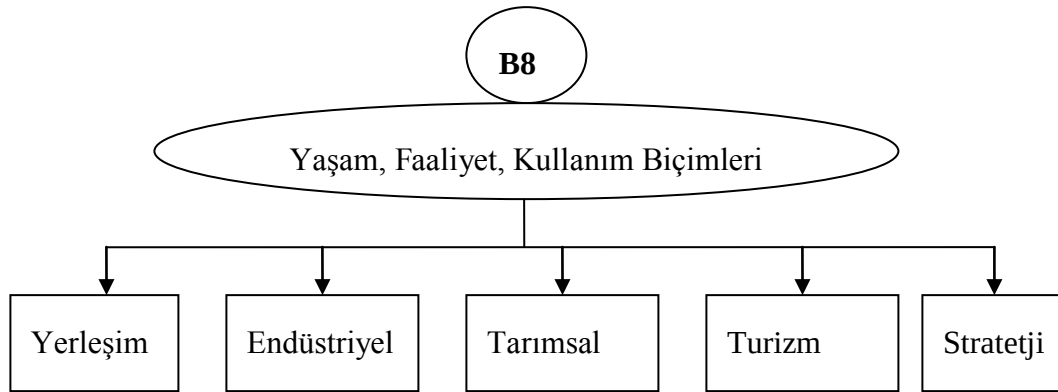
Şekil 5.28 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için II, A5 için I. seviyesi

Ekosistem özelliklerinden kaynaklanan maruz kalma ile ilgili bileşenlere ait alt faktörler Şekil 5.29’da gösterilmektedir. Su, hava ve kara ortamları birbirlerinden farklı özelliklere sahip olduğu ve farklı faktörlerden etkilendikleri için bu şekilde gruplanmıştır.



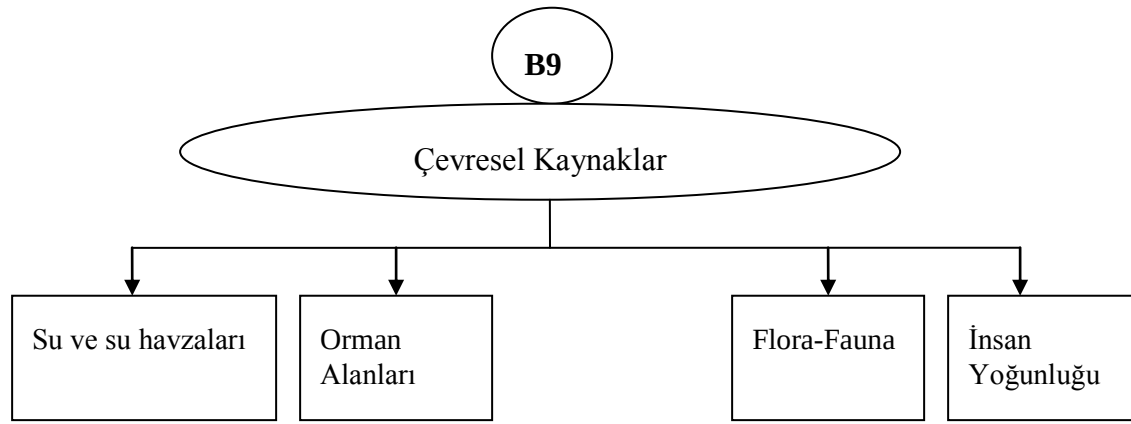
Şekil 5.29: LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için III, A5 için II, B7 için I. seviyesi

Ekosistem özelliklerinin altında bulunan yaşam, faaliyet, kullanım biçimlerine ait bileşenler Şekil 5.30'da gösterilmektedir. Bu alt faktörler bir bölgenin yararlı kullanım biçimine bağlı olarak o bölgede oluşacak zararın değerlendirilmesini sağlayacaktır. Örneğin, bir bölge tarım amaçlı kullanılıyorsa ve bu bölgede yaydığı ya da yayabileceği emisyonlar tarım ürünlerine zarar veren bir endüstri varsa buranın tarımsal önemi ciddi bir risk oluşmasına neden olacaktır. Bir bölge ağırlıklı olarak yerleşim, endüstriyel, tarımsal ya da turizm amaçlı kullanılır. Birden çok kullanım şeklinin de önem kazandığı bölgeler bulunabilir. Bazı bölgeler ise ev sahipliği yaptıkları bazı askeri birimler ya da önemli yapılar nedeniyle stratejik öneme sahip olabilmektedir. Örneğin, İstanbul boğazı kültür mirası kabul edilmesi nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir.



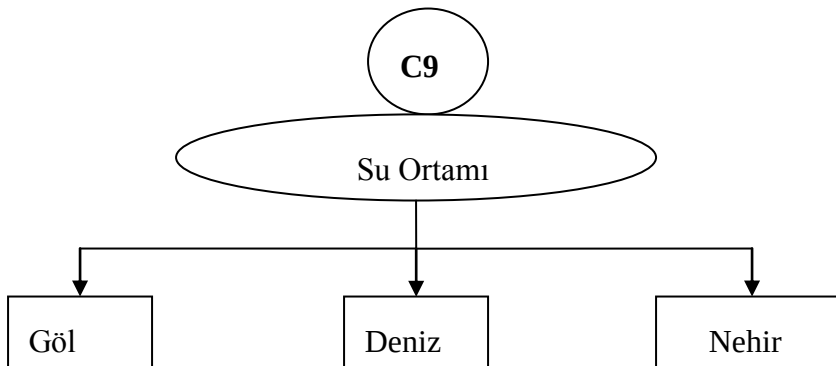
Şekil 5.30 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için III, A5 için II, B8 için I. seviyesi

Şekil 5.31’de ekosistem özelliklerine ait çevresel kaynaklar faktörünün alt faktörleri gösterilmektedir. Endüstriyel tehlikeli maddelerin neden olacağı zarar ekosistem bileşenlerini ve canlıları doğrudan ve/veya dolaylı yollarla etkileyecektir. Bu etkilenecek grup bölgenin özelliklerine göre değişmektedir. Bu değişkenliği çevresel risk değerlendirme sürecine yansıtabilmek için su ve su havzaları, orman alanları, flora-fauna ve insan yoğunluğu çevresel kaynakların alt faktörleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu grupların her biri ekosistem içindeki fonksiyonlarına ve yerine göre ayrı bir önem arz etmektedir.



Şekil 5.31 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için III, A5 için II, B9 için I. seviyesi

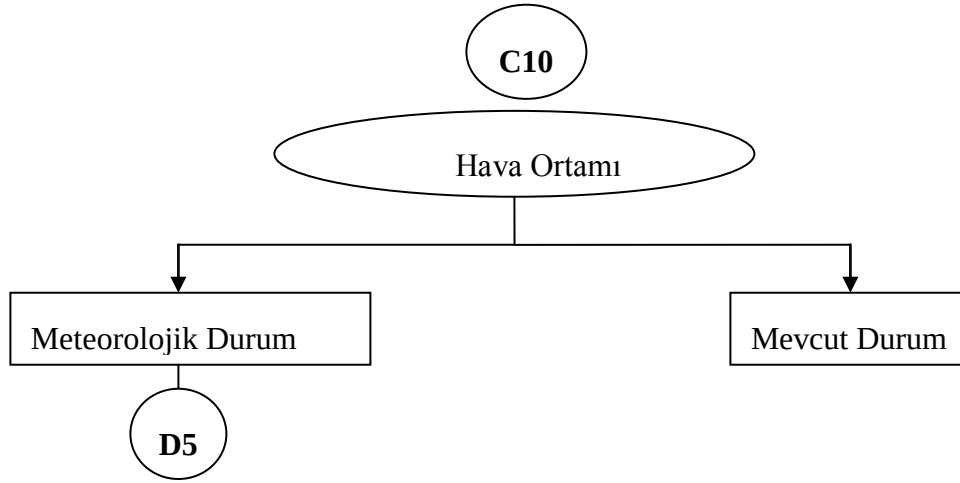
Ekosistemin maruz kalmayı etkileyen bileşenlerinden biri olan su ortamı için kullanılacak alt faktörler Şekil 5.32’de gösterilmiştir. LNG taşınması sırasında herhangi bir sebeple oluşan sızıntı göl, nehir ya da deniz ortamına etkileyebilir.



Şekil 5.32 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için IV, A5 için III, B7 için II, C9 için I. seviyesi

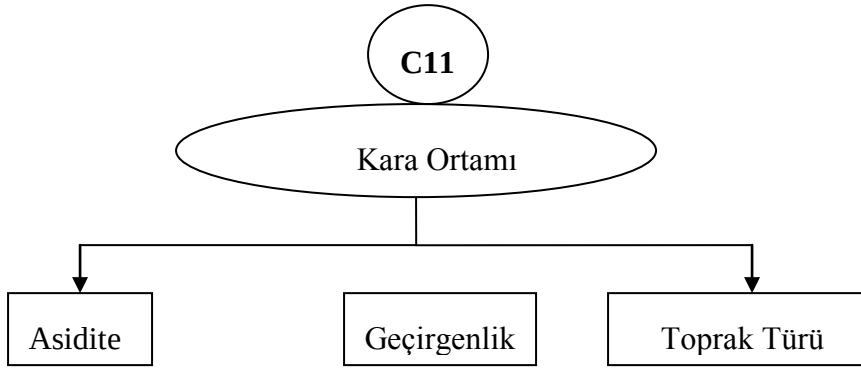
Bu alt faktörler ekosistemin maruz kalma ile ilgili bileşenlerini karakterize ettiği için göl, nehir ve deniz olarak üç bölüme ayrılmıştır. LNG sızıntı sonucu su ortamına ulaştığında ısı transferi nedeniyle hızla buharlaşarak hava ortamına karışacaktır. Dolayısı ile sızıntı sonucu taşınım proseslerini etkileyen özellikler ve ekosistem her üç ortam için de aynıdır.

LNG'nin hava ortamındaki gazlaşması sonucu taşınımını, akıbetini ve etkisini etkileyen özellikler hava ortamı için meteorolojik durum ve mevcut durum olarak ikiye ayrılmış ve Şekil 5.33'de gösterilmiştir. Hava ortamında yayılan LNG için yayıldığı ortamda halihazırda bulunan o maddenin konsantrasyonu ve diğer madde konsantrasyonları önem taşımaktadır. LNG'nin uyumsuz olduğu ya da büyük alanlara taşınmasına yardımcı olacak maddelerin bulunması riski arttıracaktır. Diğer yandan, madde ile uyumlu olan ve maddenin bazı tehlikelilik özelliklerini azaltan ya da maddenin taşınımını değiştiren maddelerin bulunması riski azaltacaktır.



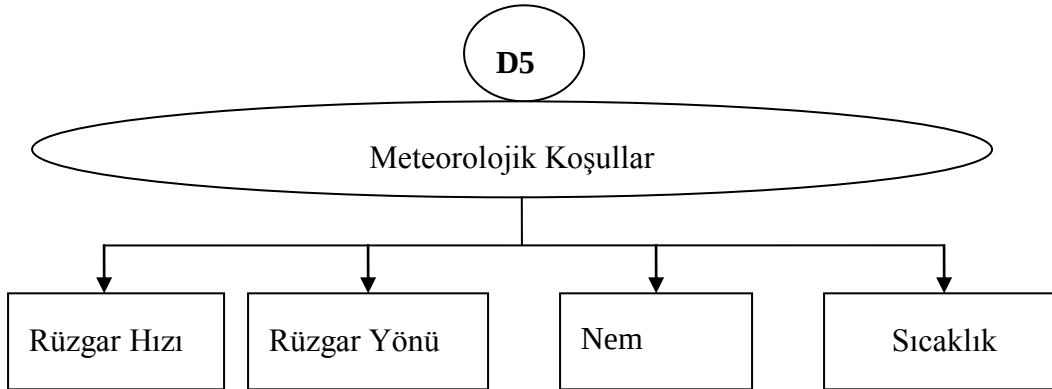
Şekil 5.33 : LNG'nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için IV, A5 için III, B7 için II, C10 için I. seviyesi

Şekil 5.34'de gösterilen asidite, geçirgenlik ve toprak türü alt faktörleri maddenin kara ortamındaki davranışını ve dolayısıyla etkilerini belirleyen faktörlerdendir. Özellikle LNG'nin sızıntısı sonucu toprakta bulunan ağır metaller asidik ortamda çözünüp hareket kabiliyeti kazanmaktadır. İlgili maddenin yönetimi bu nedenlerden olumsuz etkilenir. Toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı maddenin davranışını etkileyecektir.



Şekil 5.34 : LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için IV, A5 için III, B7 için II, C11 için I. seviyesi

Hava ortamında dağılan tehlikeli maddelere maruz kalma ile ilgili faktörlerden biri olan meteorolojik koşullara ait alt faktörler Şekil 5.35’de gösterilmektedir. Rüzgar hızı, maddenin hava ortamında dağılımını etkileyecektir. Rüzgar hızı yüksek olan bölgelerde maddenin kontrolü zorlaşacak etki alanı genişleyecektir. Rüzgar yönü ise yerleşim bölgesine doğru olduğu durumda riski arttıracaktır. Sıcaklık ve nem gaz formundaki LNG’nin hava ortamındaki davranışını etkileyen belli başlı iki özelliktir.



Şekil 5.35: LNG’nin karayolunda taşımacılığı için önerilen risk değerlendirme hiyerarşisinin X2 için V, A5 için IV, B7 için III, C11 için II, D5 için I. seviyesi

5.5.5.3 Faktörlerin ikili karşılaştırılması

Fİ hiyerarşisinde, her bir bölümün altında tanımlanan risk faktörlerinin kendi aralarında ikili olarak karşılaştırılması yapılır. Fİ hiyerarşisi, kesin ya da bulanık ölçekte yapılandırılır. İkili karşılaştırmaları, sınıflandırmak için Bölüm 4’de bahsedilen [1-9]

ölçeği kullanılır. Geliştirilmiş bulanık AHP modelde uzmanlar emin olamadıkları konularda bulanık ölçek kullanabilmekte ya da iki faktörü tam olarak karşılaştıramıyorlarsa bu karşılaştırmaları boş bırakabilmektedirler. “7 gibi”, “3-7 arasında olabilir”, “3-8 arasında olabilir ama büyük ihtimalle 6 (3-6-8)” gibi ifadelerle puanlandırma yapılabilir.

5.5.5.4 Puanları SYBS haline dönüştürme

Tüm uzmanlar farklı şekillerde puanlandırma yaptığı için, puanlandırmaların ortak bir formata dönüştürülmesi için standart yamuk bulanık sayı (SYBS) kullanılmıştır. SYBS, risk değerlendirme grubundaki uzmanların, eldeki bilgilere ve kişisel yorumlarına göre sundukları tercihleri yansıtmaktadır. U, söz konusu söylevin evrensel kümesi olmak üzere, $U=[o,u]$. SYBS, $A^*=(a^l, a^m, a^n, a^u)$ olarak tanımlanabilir. $0 \leq a^l \leq a^m \leq a^n \leq a^u \leq u$ olmak üzere Üyelik fonksiyonu (ÜF) Denklem 5.1 ile gösterilebilir:

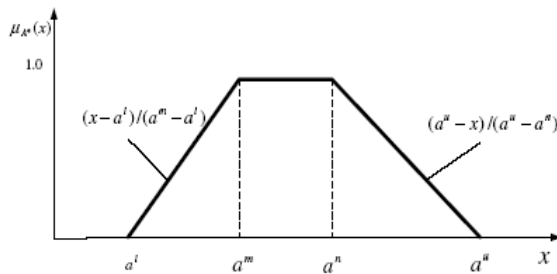
$$\mu_{A^*}(x) = \begin{cases} (x - a^l) / (a^m - a^l) & \text{for } a^l \leq x \leq a^m \\ 1 & \text{for } a^m \leq x \leq a^n \\ (a^u - x) / (a^u - a^n) & \text{for } a^n \leq x \leq a^u \\ 0 & \text{for } x < a^l \text{ or } x > a^u \end{cases} \quad (5.1)$$

ÜF, tercihlerin derecesini yansıtır. Sayısal bir değer, bir değer aralığı, üçgen bulanık sayılar SYBS haline dönüştürülebilir.

$a^l = a^m = a^n = a^u \implies$ SYBS, sayısal bir değer

$a^l = a^m$ ve $a^n = a^u \implies$ SYBS, sayısal bir değer aralığı

$a^m = a^n \implies$ SYBS, üçgen bulanık sayı



Şekil 5.36 : SYBS değerinin üyelik fonksiyonu

5.5.5.5. Faktör indeksi hesabı

Risk faktörlerinin öncelik ağırlıkları hesaplanmalıdır. $F_1, F_2, \dots, F_n$ bir bölümdeki risk faktörleri kümesini göstermektedir. a_{ij} ; F_i ile F_j karşılaştırılması sonucu elde edilen sayısal değeri temsil eden duru puandır. Aynı bölümdeki F_i ile F_j karşılaştırılması Denklem 5.2 'de verilen $n \times n$ matrisi ile gösterilir.

$$A = a_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} F_1 & F_2 & \dots & F_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad i,j=1,2,\dots,n \quad (5.2)$$

$$a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}$$

A matrisindeki öncelik ağırlıkları, aritmetik ortalama yöntemini kullanarak Denklem 5.3 ile hesaplanabilir :

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad i,j= 1,2,\dots, n \quad (5.3)$$

w_i , F_i faktörünün kendi bölümü içindeki ağırlığıdır. F_i faktörü F_i hiyerarşisinde t adet farklı bölümde yer alıyorsa, $w_{bölüm}^{(i)}$ i . üst bölümün bölüm ağırlığını göstermektedir. w_i , F_i 'nin hiyerarşi içindeki ağırlığını göstermektedir ve Denklem 5.4 ile hesaplanabilir.

$$w_i = \sum_{i=1}^t w_{bölüm}^{(i)} \quad (5.4)$$

F_i hiyerarşisindeki bölümleri ağırlıklandırmak için Denklem 5.3 kullanılabilir.

P^* , risk faktörlerinin öncelik ağırlıkları bulunduktan sonra Denklem 5.1 ile hesaplanabilir. F_i^* , F_i değerinin SYBS formundaki bulanık sonucudur. F_i^* ; F_i faktörünün Denklem 5.5 ile bulunan bulanık toplam puanıdır.

$$FI^* = \sum_{i=1}^n P_i^* \times w_i' \quad i=1,2,\dots,n \quad (5.5)$$

5.5.5.6 Durulaştırma

SYBS puanları durulaştırılmalıdır. SYBS puanlarını, bu puanlara karşılık gelen kesin bir puana çevirmek gerekmektedir. Toplam SYBS puanının $a_{ij}^* = (a_{ij}^l, a_{ij}^m, a_{ij}^n, a_{ij}^u)$ olduğu kabul edilirse buna karşılık gelen a_{ij}^* kesin değeri Denklem 5.6 ile hesaplanabilir.

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}^l + 2 * (a_{ij}^m + a_{ij}^n) + a_{ij}^u}{6} \quad (5.6)$$

$$a_{ii} = 1, a_{ji} = 1 / a_{ij}$$

Sonuç olarak, tüm toplam bulanık puanlar, a_{ij}^* ($i,j=1,2,\dots,n$), $[0,9]$ aralığındaki a_{ij} kesin puanına çevrilmiştir. İkili karşılaştırma puanları SYBS formuna dönüştürüldükten sonra durulaştırılır. Denklem 5.3 ile w hesabı yapılır. Aynı denklem F_i puanlarının durulaştırılması için de kullanılabilir.

5.5.6 Risk olasılığı ve risk şiddeti adımının hesaplanması

Bu adımın hesabı, risk faktörlerinin hesabına benzemektedir. Bu büyüklükler, uzmanlar tarafından belirlenmekte ve Denklem 5.1 kullanılarak SYBS formuna çevrilmektedir. Daha sonra bulanık sonuç çıkarma adımında kullanılacaktır.

5.5.7 Bulanık sonuç çıkarma

Bu adımda, F_i^* , RO ve $RŞ$ büyüklüklerinin toplam SYBS değerleri bunlara karşılık gelen bulanık kümelerle çevrilecektir. Bulanık sonuç çıkarma adımının girdileri, mevcut duruma uygun kurallara karar vermek için toplam SYBS değerleri olacaktır. Daha sonra, RB^* bulanık sonucu hesaplanacaktır.

F_i^* , RO ve $RŞ$ büyüklüklerine ait tüm SYBS değerleri, hepsi için aynı formu oluşturmak amacıyla bunlara karşılık gelen bulanık kümelerle çevrilecektir. Risk parametrelerine karşılık gelen üyelik fonksiyonu ile SYBS değerleri kesiştirilerek bulunacaktır.

Çevresel etkilerle ilgili kesin olmayan ve şüpheli bilgilerle uğraşmak için etkili bir araçtır. Bilgi, uzmanların düşünceleri ve tarihi bilgilerle sınırlıdır. FI^* , RO ve $RŞ$ girdi parametreleri ile RB^* çıktı arasındaki ilişki “if-then” kuralları ile belirlenmiştir. k . kural, üç kısımdan oluşmaktadır.

R^k : Eğer FI^* , $\mu_{FI^*}^k$; RO , μ_{RO}^k ; $RŞ$, $\mu_{RŞ}^k$ ise RB^* , $\mu_{RB^*}^k$ olur.

$\mu_{FI^*}^k$, μ_{RO}^k , $\mu_{RŞ}^k$ ve $\mu_{RB^*}^k$ sırasıyla FI^* , RO ve $RŞ$ terimlerinin üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir. R^k , $k=1,2,\dots,K$; kural tabanındaki k . kuralı göstermektedir. Bulanık sonuç çıkarma sistemi FI^* , RO , $RŞ$ girdi parametreleri ile RB sonucu arasında bir ilişkilendirme yapmaktadır. Önermedeki üç kısım “ve” operatörü ile bağlanmaktadır. R^k bulanık kuralının atılma gücünü gösteren μ_{R^k} , bulanık kesişim (minimum) operatörünü kullanarak bulunabilir. Bulanık kesişim operatörünün Denklem 5.7 ile gösterilmiştir.

$$\mu_{R^k}(x, y) = \mu_{FI^*}^k(x_1) \wedge \mu_{RO}^k(x_2) \wedge \mu_{RŞ}^k(x_3) \wedge \mu_{RB^*}^k(y) \quad (5.7)$$

$k=1,2,\dots,K$

$x_1 \in X_1$, $x_2 \in X_2$, $x_3 \in X_3$, $x \in X_1 \times X_2 \times X_3$ ve $y \in U$ olmak üzere

X_1, X_2, X_3 ve U sırasıyla FI^* , RO , $RŞ$ ve RB^* terimlerinin evrenidir. Atılma gücü, sonuçta bulunan üyelik fonksiyonuna dahil edilebilir ve kesik bir bulanık üyelik fonksiyonu elde edilir. Her kuralın uygulama sonuçlarını temsil eden kesik bulanık üyelik fonksiyonları tek bir bulanık üyelik fonksiyonunda toplanır. Toplam, bulanık birleşim (maksimum) operatörü kullanılarak Denklem 5.8 ile yapılır:

$$\mu_R(x, y) = \bigvee_{k=1}^K \mu_{R^k}(x, y) \quad (5.8)$$

$\mu_R(x, y)$, toplamadan sonra elde edilen bulanık ÜF sonucudur. FI^* , RO ve $RŞ$ terimlerini temsil eden RP^* girdi olarak kullanıldığında RB^* sonucu Denklem 5.9 ile bulunabilir.

$$RB^* = RP^* \circ R(x, y) \quad (5.9)$$

“ $\circ$ ”sembolü, bulanık kümelerin kompozisyonel operatörünü temsil etmektedir.

Bulanık sonuç çıkarım adımında elde edilen bulanık bir küme olduğu için, RB^* değerini tam olarak temsil edebilecek bu değere karşılık gelen sayısal değeri elde etmek amacıyla durulaştırma yapılmaktadır. Durulaştırma için merkez-ortalama yöntemi kullanılmaktadır. Bulanık sonuç çıkarma adımında elde edilen sonucun q adet bulanık küme terimli $RB^* = \{y, \mu_{RM}(y) | y \in U, \mu_{RM} \in [0,1]\}$ olduğu kabul edilirse RB Denklem 5. 10 kullanılarak hesaplanabilir.

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^q Y_i \mu_{RM^*}(y_i)}{(\sum_{i=1}^q \mu_{RM^*}(y_i))} \quad i=1,2,...,q \quad (5.10)$$

y_i , RB^* teriminin i . bulanık kümesinin merkezini göstermektedir. $\mu_{RM^*}(y_i)$ ise bu kümenin $\bar{U}F'$ nu ifade etmektedir.

RB değeri elde edildikten sonra RB fonksiyonunda çizilerek riskin sınıfı ve üyelik derecesi çıkarılır.

6. UYGULAMA

Bu çalışma kapsamında önerilen LNG'nin karayolunda taşınması çevresel risk değerlendirme yaklaşımının adımları 5. bölümde açıklanmaktadır. Bu bölümde ise önerilen yaklaşım kullanılarak LNG için karayolu taşımacılığında çevresel risk değerlendirme çalışması yapılmıştır. LNG'nin Kadıköy bölgesinde faaliyet gösteren bir tesise taşınması durumu için önerilen yöntem kullanılarak yapılan çevresel risk değerlendirmesi önerilen yöntemin pratikte kullanımını açıklamak amacıyla ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Önerilen yaklaşımdan elde edilen sonuçların çevre yönetimi kapsamında gerçekleştirilmek zorunda olan risk yönetimine nasıl yön vereceği ortaya konacaktır.

6.1 LNG'nin Karayolu İle Taşınacağı İşletme için Çevresel Risk Değerlendirme

Ele alınan durumda Kadıköy bölgesin faaliyet gösteren bir işletmeye Tekirdağ MarmaraEreğlisi'ndeki BOTAŞ LNG İşletme Terminali'nden karayolu ile LNG taşımacılığı yapılması planlanmaktadır. LNG'nin bu güzergahta karayolu ile taşınması sırasında neden olacağı çevresel riskin tespit edilmesi istenmektedir. Çevresel risk sonuçları kullanılarak risk yönetimi gerçekleştirilmek istenmektedir.

6.1.1 Hazırlık adımı

Şekil 5.4' de gösterilen çevresel risk değerlendirme yaklaşımına göre öncelikle oluşturulan risk değerlendirme grubunun hazırlık aşamasını gerçekleştirmesi gerekmektedir. Şekil 5.4' e göre hazırlık aşaması için yapılması gerekenler dikkate alınarak incelenen durum için gerekli bilgiler toplanmıştır.

Kurulu olan işletmede enerji kaynağın olarak LNG kullanılmaktadır. LNG kara yolu ile yaklaşık 150 km lik bir güzergahtan geçerek işletmeye taşınması planlanmaktadır. LNG

taşıyan tanker, bu tankeri kullanan tanker operatörü ve taşımanın gerçekleştiği güzergaha ait trafik, yerleşim durumu ve yol fiziki faktörleri gibi unsurlar çevresel riski oluşturan faktörler olarak tespit edilmiştir.

Taşıma ve operasyon bilgilerinden sonra değerlendirilecek olan Taşınacak LNG'nin özelliklerini belirlemek gerekmektedir. LNG için MSDS formatlarında verilen fiziksel ve kimyasal özellikler hazırlık adımıyla verilmektedir. Buna göre LNG için dikkat çeken özellikler çok düşük kaynama noktası, havadan ve sudan hafif olduğunu gösteren gaz fazı yoğunluğu, yüksek parlama noktası ve parlama limitleridir. LNG'nin taşıma sırasında çok düşük kaynama noktası sebebi ile buharlaşarak taşıma ve depolama basıncını geçtiğinde neredeyse tamamı havada gaz formunda bulunur. Havadan hafif olması ise bu maddenin yer seviyesinde birikmesiz ve dolayısıyla ekosistem bileşenlerinden sadece havanın bu maddeye maruz kalmasına neden olmaktadır. Yüksek parlama noktası LNG'nin düşük alevlenebilir bir gaz olduğunu göstermektedir. Asıl risk LNG buharının oluşturduğu LNG buhar bulutundan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle düşük sıcaklarda bile LNG buharı yüksek yangın potansiyeline sahip olan bir maddedir. Hem taşıma operasyonu hem de depolama koşullarının bu açıdan dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu koşullar depolama ve taşıma operasyonu esnasında büyük bir kazanın meydana gelme eğilimini arttırabilmektedirler. LNG sudan çok düşük yoğunlukta olduğunda ve de çok düşük sıcaklıklarda dahi buharlaşabilir olduğundan su ortamına etki edecek bir kaza yaşanması durumunda hızla buharlaşacak ve çok büyük bir yangın riski doğurmayacaktır. klorürün çözünürlüğü düşük seviyededir. Maddenin su ortamına yayılması durumunda hızla buharlaşarak uçuşması çözünme potansiyelini daha da düşürmektedir.

Suda ve toprakta hızla buharlaşma potansiyeline sahiptir. Biyolojik olarak birikme özelliğine sahip değildir. Hava ortamındaki LNG gazlaşarak insanların solunum yolu ile bu maddeye maruz kalmasına neden olacaktır. Su ve kara ortamı yoluyla ise çok büyük miktarlarda dökülmelerin yaşandığı kazalar meydana gelmediği sürece önemli bir etki yaratmayacaktır. Maddenin bu derecede uçucu olması bu maddeyi taşıyan, bu madde ile çalışan işçilerin gerekli önlemler alınmadıkça maddeye maruz kalmasına neden olacaktır.

6.1.2 Fİ ölçüm adımı

Şekil 5.4'e göre Hazırlık Adımından sonra Fİ ölçüm adımına geçilmektedir. Faktör indekslerinin puanlandırılması için gerekli tüm bilgiler hazırlık adımıyla toplanmıştır. Fİ ölçümü için kullanılacak dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelen bulanık sayılar ve risk kriterleri Çizelge 5.2'de gösterilmiş ve Bölüm 5.5.5.1'de açıklanmıştır. Bölüm 5.5.5.2 de ise ölçüm süreci ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Hiyerarşik yapının en alt seviyesindeki faktörler risk kriterlerine göre puanlandırılacaktır.

Hiyerarşik yapı açıklanırken LNG' nin karayolunda taşınması için yapılan çevresel risk değerlendirme kapsamında taşımacılık faktörleri ve çevresel faktörlerden kaynaklanan risklerinin büyüklüğünün risk karakteristiklerinin farklı olması nedeniyle ayrı hesaplanacağı belirtilmişti. Bu nedenle LNG'nin Kadıköy bölgesinde kurulu bir işletmeye karayolu ile taşınmasından kaynaklanan çevresel risk için puanlandırma taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan risk çevresel riske (X1) ait en alt faktörler puanlandırılarak başlatılacaktır. X1 için en alt faktörler Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Taşıma faktörlerinden kaynaklanan riske ait en alt faktörler ve puanları

FAKTÖRLER	PUAN		SYBS			
Diş derinliği	2	4	2	2	4	4
Lastik kanal tipi	4	5	4	4	5	5
Kaplama lastik	0	2	0	0	2	2
Fren sistemi	3	5	3	3	5	5
Yangın söndürücü	4	6	4	4	6	6
Eşya gözleri	2	4	2	2	4	4
Bakımlar	0	2	0	0	2	2
Testler	4	6	4	4	6	6
Topraklama çubuğu	0	2	0	0	2	2
Tehlikeli madde uyarı işaretleri	2	5	2	2	5	5

Çizelge 6.1 : Taşıma faktörlerinden kaynaklanan riske ait en alt faktörler ve puanları (devam)

Işıklandırma tertibatı	2	4	2	2	4	4
Yangın söndürücüler	0	2	0	0	2	2
Sızıntı emiciler	4	7	4	4	7	7
Sürüş süresine uygun olm. çalışma	0	2	0	0	2	2
Hız limitlerine uygun olm. sürüş	4	5	4	4	5	5
Cep telefonu kullanımı	6	8	6	6	8	8
Psikolojik durum	1	4	1	1	4	4
Statik elektrik	0	2	0	0	2	2
Sızıntı	0	2	0	0	2	2
Hortumlar	2	4	2	2	4	4
Bağlantı çekici	3	6	3	3	6	6
Kreyojenik eldiven	6	8	6	6	8	8
Yoğun yerleşim ve trafik bölgeleri	0	2	0	0	2	2
Uygun park alanı	6	8	6	6	8	8
Asfalt ya da mıcır yollar	4	5	4	4	5	5
Çift yönlü ya da ayrılmış yollar	2	4	2	2	4	4
Boğaz köprüleri	0	2	0	0	2	2
Tank ekipmanlarının doğru çal.	6	7	6	6	7	7
Tüneller	4	6	4	4	6	6
Şehir içi yollar	2	4	2	2	4	4
Yağışlı hava	4	7	4	4	7	7
Sisli hava	0	2	0	0	2	2
Sıcak hava	6	9	6	6	9	9

LNG'nin Kadıköy bölgesinde kurulu bir işletmeye karayolu ile taşınmasında çevresel faktörlerden kaynaklanan riske (X2) ait en alt faktörler puanlandırılması için en alt faktörler Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Çevresel faktörlerden kaynaklı riske ait en alt faktörler ve puanları

FAKTÖRLER	PUAN		SYBS			
Yanıcılık	0	2	0	0	2	2
Parlayıcılık	2	4	2	2	4	4
Soğuk yangı	0	2	0	0	2	2
Boğuculuk	6	8	6	6	8	8
Değerlendirilen bölgenin sınırları	3	6	3	3	6	6
Yerleşim	2	5	2	2	5	5
Endüstriyel	0	3	0	0	3	3
Tarımsal	7	9	7	7	9	9
Turizm	3	6	3	3	6	6
Strateji	7	9	7	7	9	9
Su ve su havzaları	6	8	6	6	8	8
Orman alanları	6	9	6	6	9	9
Flora-Fauna	6	8	6	6	8	8
İnsan yoğunluğu	3	7	3	3	7	7
Göl	8	9	8	8	9	9
Deniz	4	7	4	4	7	7
Nehir	8	9	8	8	9	9
Mevcut durum	2	4	2	2	4	4
Asidite	7	9	7	7	9	9

Çizelge 6.2 : Çevresel faktörlerden kaynaklı riske ait en alt faktörler ve puanları (devam)

Geçirgenlik	8	9	8	8	9	9
Toprak türü	7	9	7	7	9	9
Rüzgar hızı	3	5	3	3	5	5
Rüzgar yönü	5	7	5	5	7	7
Nem	6	8	6	6	8	8
Sıcaklık	2	5	2	2	5	5

6.1.3. Faktörlerin ikili karşılaştırılması

Faktörler, Bölüm 5.2.2.3’de anlatıldığı gibi [1-9] ölçeği kullanılarak önem derecelerine göre ikili olarak karşılaştırılacaktır. Bölüm 5.2.2.2’de açıklanan tüm hiyerarşi seviyeleri kendi aralarında ikili matrisler oluşturularak önem düzeylerine göre puanlandırılacaktır. Değerlendirmelerin tümü standardı sağlamak amacıyla yamuk bulanık sayıya çevrilmekte ve net ağırlık puanlarının hesaplanabilmesi için durulaştırılmaktadır. İlk karşılaştırma örneği için bu çevirme işlemleri detayları ile birlikte gösterildikten sonra pratiklik açısından diğer karşılaştırma matrisleri için verilen yamuk bulanık sayılar değil bunlara karşılık gelen durulaştırılmış sayılar gösterilecektir. Şekil 5.8’de gösterilen A1 için I. seviyenin ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 6.3’de gösterilmiştir. Depolama aksamının riske olan katkısı taşıyıcı aksama göre daha fazla olacaktır.

Çizelge 6.3 : A1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi - Bulanık puanlar

	Taşıyıcı Aksam						Depolama Aksamı					
	Puan		SYBS				Puan		SYBS			
Taşıyıcı Aksam	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1/2	1/2
Depolama Aksamı	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1

Taşıyıcı aksama ait faktörler bazı tehlikelere yol açmaktadır ama LNG’ nin depolandığı depolama aksamına ait faktörler riske daha fazla katkıda bulunacaktır.

Puanlandırma yapıldıktan sonra Denklem 5.6 ile bulanık puan durulaştırılır.

$$a_{21} = \frac{1 + 2 * (1 + 2) + 2}{6} = 1,5$$

Çizelge 6.4’de ise A1 için I. seviyeye ait olan duru puanlarla gösterilen ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir.

Çizelge 6.4 : A1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi -Duru puanlar

FAKTÖRLER	Taşıyıcı Aksam	Depolama Aksamı
Taşıyıcı Aksam	1	0,75
Depolama Aksamı	1,5	1

Çizelge 6.5 ile Çizelge 6.26 arasında hazırlanmış çizelgelerde LNG karayolu taşımacılığının çevresel risk değerlendirmesi için ise X1 Ve X2 için en alt seviyedeki bileşenlere ait olan duru puanlarla gösterilmiş ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir

Lastiklere ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir.

Çizelge 6.5 : X1 için V ve D1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Diş derinliği	Lastik kanal tipi	Kaplama lastik
Diş derinliği	1	0,66	3
Lastik kanal tipi	1,5	1	4,5
Kaplama lastik	0,33	0,22	1

Kaza müdahale tertibatlarına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.6 : X1 için IV ve C5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Yangın söndürücüler	Sızıntı emiciler
Yangın söndürücüler	1	0,18
Sızıntı emiciler	5,5	1

Kaza önleme tertibatlarına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.7 : X1 için IV ve C3 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Topraklama çubuğu	Tehlikeli mad iş.	Işıklıandırma tert.
Topraklama çubuğu	1	0,28	0,33
Tehlikeli mad. iş.	3,5	1	1,16
Işıklıandırma tert.	3	0,86	1

Kabin içi emniyet alt faktörüne ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir.

Çizelge 6.8 : X1 için IV ve C2 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Yangın söndürücüler	Eşya gözleri
Yangın söndürücüler	1	1,66
Eşya gözleri	0,6	1

Yürür aksama ve geçiş yasağına ait alt faktörler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisleri Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10'da görülmektedir.

Çizelge 6.9 : X1 için IV ve C1 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Lastikler	Fren sistemi
Lastikler	1	0,25
Fren sistemi	4	1

Çizelge 6.10 : X1 için IV ve C8 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Boğaz köprüleri	Tüneller	Şehir içi yollar
Boğaz köprüleri	1	0,2	0,33
Tüneller	5	1	1,66
Şehir içi yollar	3	0,6	1

Fiziki yol koşullarına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.11 : X1 için IV ve C7 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Asfalt-mıcır yollar	Çift yönlü-ayrılmış yol
Asfalt-mıcır yollar	1	1,5
Çift yönlü-ayrılmış yol	0,66	1

İkmal ekipmanlarına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.12 : X1 için IV ve C6 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Hortumlar	Bağlantı çekici	Kreyojenik eldiven
Hortumlar	1	0,66	0,43
Bağlantı çekici	1,5	1	0,64
Kreyojenik eldiven	2,33	1,55	1

Periyodik bakımlara ve meteorolojik koşullara ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisleri Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14’de görülmektedir.

Çizelge 6.13 : X1 için IV ve C3 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Bakımlar	Testler
Bakımlar	1	0,2
Testler	5	1

Çizelge 6.14 : X1 için III ve B6 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Yağışlı hava	Sisli hava	Sıcak hava
Yağışlı hava	1	5,5	0,73
Sisli hava	0,18	1	0,13
Sıcak hava	1,36	7,5	1

Güzergah faktörlerine ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir.

Çizelge 6.15 : X1 için III ve B5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Yoğun yer.-traf böl.	Uygun park alanı	Fiziki yol koşulları	Geçiş yas. uyg. Böl.
Yoğun yer-traf.böl.	1	0,14	0,25	0,11
Uygun park alanı	7	1	1,75	0,82
Fiziki yol koşulları	4	0,57	1	0,47
Geçiş yas. uyg. Böl.	8,5	1,21	2,12	1

İkmal ekipmanları ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.16 : X1 için III ve B4 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Statik elektrik	Sızıntı	İkmal ekipmanları
Statik elektrik	1	1	0,22
Sızıntı	1	1	0,22
İkmal ekipmanları	4,5	4,5	1

Tanker operatörlerine ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir.

Çizelge 6.17 : X1 için III ve B3 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Sürüş süresi	Hız limitleri	Cep telefonu kul.	Psikolojik durum
Sürüş süresi	1	0,22	0,14	0,4
Hız limitleri	4,5	1	0,64	1,8
Cep telefonu kul.	7	1,55	1	2,8
Psikolojik durum	2,5	0,55	0,35	1

Depolama tanklarına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir.

Çizelge 6.18 : X1 için III ve B2 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Periyodik Bakım	Tank ekip. doğru çal.	Kaza önlem ter	Kaza müd. tert.
Periyodik Bakım	1	0,23	0,33	0,43
Tank ekipman. doğru çal.	4,33	1	1,44	1,86
Kaza önlem tertibatı	3	0,69	1	1,29
Kaza müdahale tertibatı	2,33	0,54	0,78	1

LNG ve ekosistem özelliklerine ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisleri Çizelge 6.19 ve Çizelge 6.20’de görülmektedir.

Çizelge 6.19 : X2 için II ve A4 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Yanıcılık	Parlayıcılık	Soğuk yanığı	Boğuculuk
Yanıcılık	1	0,33	1	0,14
Parlayıcılık	3	1	3	0,43
Soğuk yanığı	1	0,33	1	0,14
Boğuculuk	7	2,33	7	1

Çizelge 6.20 : X2 için II ve A5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Maruz kalma bileşen.	Değer. böl. sınır	Yaşam - Faaliyet	Çevresel kaynaklar
Maruz kalma bileşenleri	1	0,22	0,18	0,4
Değerlendirilen böl. Sınır.	4,5	1	0,82	1,8
Yaşam - Faaliyet	5,5	1,22	1	2,2
Çevresel kaynaklar	2,5	0,55	0,45	1

Yaşam, faaliyet ve kullanım biçimlerine ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir.

Çizelge 6.21 : X2 için III ve B8 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Yerleşim	Endüstriyel	Tarımsal	Turizm	Strateji
Yerleşim	1	2,33	0,43	0,78	0,44
Endüstriyel	0,43	1	0,19	0,33	0,19
Tarımsal	2,29	5,33	1	0,22	1
Turizm	1,29	3	0,56	1	0,56
Strateji	2,29	5,33	1	1,77	1

Çevresel kaynaklara ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.22 : X2 için III ve B9 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Su ve su havzaları	Orman alanları	Flora-Fauna	İnsan yoğunluğu
Su ve su havzaları	1	0,93	1	1,4
Orman alanları	1,07	1	1,07	1,5
Flora-Fauna	1	0,93	1	1,4
İnsan yoğunluğu	0,71	0,66	0,71	1

Su ortamına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.23 : X2 için IV ve C9 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Göl	Deniz	Nehir
Göl	1	1,54	1
Deniz	0,65	1	0,65
Nehir	1	1,54	1

Hava ortamına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.24 : X2 için IV ve C10 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Mevcut durum	Meterolojik durum
Mevcut durum	1	0,43
Meterolojik durum	2,33	1

Kara ortamına ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.25 : X2 için IV ve C11 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Asidite	Geçirgenlik	Toprak türü
Asidite	1	0,94	1
Geçirgenlik	1,06	1	1,06
Toprak türü	1	0,94	1

Meterolojik koşullara ait bileşenler ile oluşturulmuş karşılaştırma matrisi aşağıda görülmektedir

Çizelge 6.26 : X2 için V ve D5 için I. seviyeye ait karşılaştırma matrisi

FAKTÖRLER	Rüzgar hızı	Rüzgar yönü	Nem	Sıcaklık
Rüzgar hızı	1	0,66	0,57	1,14
Rüzgar yönü	1,5	1	0,86	1,71
Nem	1,75	1,16	1	2
Sıcaklık	0,87	0,58	0,5	1

6.1.4. Faktör indekslerinin hesaplanması

Çizelgelerle verilen tüm ikili karşılaştırma matrisleri için kendi seviyelerindeki öncelik ağırlıkları bu şekilde hesaplanmış ve taşımacılık faktörleri için bulunan değerler Çizelge 6.27’de gösterilmiştir. İkili karşılaştırma matrislerinden Denklem 5.3 yardımıyla öncelik

ağırlıkları hesaplanmaktadır. Çizelge 6.4’de verilen ikili karşılaştırma matrisi için örnek bir hesaplama aşağıda gösterilmektedir.

$$w_{Taşıyıcı} = \frac{\frac{1}{1,5+1} + \frac{0,75}{0,75+1}}{2} = 0,41 \quad w_{Depolama} = \frac{\frac{1,5}{1,5+1} + \frac{1}{0,75+1}}{2} = 0,59$$

Faktörün hiyerarşi içindeki ağırlığını hesaplamak için ise Denklem 5.4 kullanılmaktadır. Örneğin yürür kısım özelliğinin hiyerarşi içindeki ağırlığını hesaplamak için bu özelliğin kendi seviyesindeki ağırlığı üstündeki faktörlerin kendi seviyelerindeki ağırlık puanları ile çarpılır. Yürür kısım ağırlık puanı, tehlikelilik özelliğinin ve maddenin özelliklerinin ağırlık puanı ile çarpılır.

$$w'_{yürür\ kısım} = w_{yürür\ kısım} * w_{taşıyıcı\ aksam} * w_{taşıma\ tankerleri} = 0,21 * 0,41 * 0,33 = 0,03$$

Çizelgelerle verilen tüm ikili karşılaştırma matrisleri için kendi seviyelerindeki öncelik ağırlıkları bu şekilde hesaplanmış ve taşımacılık faktörleri için bulunan değerler Çizelge 6.28’de gösterilmiştir

Puanlandırılması yapılan en alt faktörlerin hiyerarşi içindeki ağırlık puanları da hesaplandıktan sonra Denklem 5.5 kullanılarak $Fİ^*$ hesaplanır. Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için I. seviyede iki alt faktör olduğundan bunlara ait alt faktörlerin puanları bu alt faktörlerin hiyerarşi içindeki ağırlık puanı ile çarpılarak toplanacak ve $Fİ^*$ değeri elde edilecektir.

Çizelge 6.27 : Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin öncelik ağırlıkları

FAKTÖRLER	w	w'
Taşımacılık Faktörlerinden Kaynaklanan Çevresel Risk Faktörleri		
Taşıma Tankerlerinden Kaynaklanan Risk	0,33	
Operasyonel Faktörlerden Kaynaklanan Risk	0,33	
Güzergah ve Yol Faktörlerinden Kaynaklanan Risk	0,33	
Taşıma Tankerlerinden Kaynaklanan Risk		
Taşıyıcı Aksam	0,41	0,14
Depolama Aksamı	0,59	0,19

Çizelge 6.27 : Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin öncelik ağırlıkları (devam)

Taşıyıcı Aksam		
Yürür Kısım	0,21	0,03
Kabin Emniyeti	0,79	0,11
Yürür Kısım		
Lastikler	0,20	0,01
Fren Sistemi	0,80	0,02
Lastikler		
Diş Derinliği	0,35	0,01
Lastik Kanal Tipi	0,53	0,00
Kaplama Lastik	0,12	0,00
Kabin Emniyeti		
Yangın Söndürücüler	0,62	0,10
Eşya Gözleri	0,38	0,01
Depolama Aksamı		
Perivodik Bakımla İlgili Bileşenler	0,09	0,02
Kaza Önlem Tertibatları	0,28	0,05
Kaza Müdahale Tertibatları	0,22	0,04
Tank Ekipmanlarının Doğru Çalışması	0,41	0,08
Perivodik Bakımla İlgili Bileşenler		
Bakımlar	0,17	0,00
Testler	0,83	0,02
Kaza Önlem Tertibatları		
Topraklama Çubuğu	0,13	0,01
Tehlikeli Madde ve Uyarı İşaretleri	0,47	0,03
İşıklandırma Tertibatı	0,40	0,02
Kaza Müdahale Tertibatları		
Yangın Söndürücüler	0,15	0,01
Sızıntı Emiciler	0,85	0,03
Operasyonel Faktörlerden Kaynaklanan Risk		
Tanker Operatörlerine Ait Faktörler	0,21	0,07
İkmal Ait Faktörler	0,79	0,26

Çizelge 6.27 : Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin öncelikli ağırlıkları (devam)

Tanker Operatörlerine Ait Faktörler		
Sürüş Sürelerine Uygun Olmayan Çalışma	0,07	0,01
Hız Limitlerine Uygun Olmayan Sürüş	0,30	0,02
Cep Telefonu Kullanımı	0,47	0,03
Psikolojik Durum	0,17	0,01
İkmal Ait Faktörler		
İkmal Ekipmanları	0,69	0,18
Statik Elektrik	0,15	0,04
Sızıntı	0,15	0,04
İkmal Ekipmanları		
Hortumlar	0,21	0,04
Bağlantı Çekici	0,31	0,06
Kreyojenik Eldiven	0,48	0,09
Güzergah ve Yol Faktörlerinden Kaynaklanan Risk		
Güzergah Optimizasyonu	0,24	0,08
İklim Şartları	0,76	0,25
Güzergah Optimizasyonu		
Geçiş Yasağı Uygulanan Bölgeler	0,41	0,03
Fiziki Yol Koşulları	0,20	0,02
Yoğun Yerleşim ve Trafik Bölgeleri	0,05	0,00
Uygun Park Alanı	0,34	0,03
Geçiş Yasağı Uygulanan Bölgeler		
Boğaz Köprüleri	0,11	0,00
Tüneller	0,56	0,02
Şehir İçi Yollar	0,33	0,01
Fiziki Yol Koşulları		
Asfalt ve da Mıcır Yollar	0,60	0,01
Çift Yönlü ve da Ayrılmış Yollar	0,40	0,01
İklim Şartları		
Yağışlı Hava	0,39	0,10
Sisli Hava	0,07	0,02
Sıcak Hava	0,54	0,14

Taşımacılık faktörlerinden ve çevresel faktörlerden kaynaklanan riskleri için alt faktörlerin öncelik puanlarının belirlenmesi bir sonraki aşamada bu faktörlere ait faktör indeksi (Fİ*) hesabının yapılabilmesi için gereklidir.

Taşımacılık ve çevresel risk faktörlerine ait risk hesabı yapılırken o faktörlere ait tüm alt bileşenleri değerlendirmeye alınmalıdır. Bu bileşenler hesaplamayı doğrudan etkiler.

Çizelge 6.28 : Çevresel faktörlerinden kaynaklanan risk için alt faktörlerin öncelik ağırlıkları

Cevresel Faktörlerinden Kaynaklanan Risk		
LNG Özellikleri	0,50	
Ekosistem Özellikler	0,50	
LNG Özellikleri		
Yanıcılık	0,08	0,04
Parlayıcılık	0,25	0,13
Soğuk Yanığı	0,08	0,04
Boğuculuk	0,58	0,29
Ekosistem Özellikler		
Maruz Kalma İle İlgili Bileşenler	0,07	0,04
Yaşam, Faaliyet ve Kullanım Biçimleri	0,41	0,20
Çevresel Kaynaklar	0,18	0,09
Değerlendirilen Bölgenin Sınırları	0,33	0,17
Maruz Kalma İle İlgili Bileşenler		
Su Ortamı	0,59	0,02
Hava Ortamı	0,07	0,01
Kara Ortamı	0,33	0,01
Yaşam, Faaliyet ve Kullanım Biçimleri		
Yerleşim	0,15	0,03
Endüstriyel	0,06	0,01
Tarımsal	0,26	0,05
Turizm	0,19	0,04
Strateji	0,34	0,07
Cevresel Kaynaklar		
Su ve Su Havzaları	0,26	0,02
Orman Alanları	0,28	0,03

Çizelge 6.28 : Çevresel faktörlerinden kaynaklanan risk için alt faktörlerin öncelik ağırlıkları (devam)

Flora-Fauna	0,26	0,02
İnsan Yoğunluğu	0,19	0,02
Su Ortamı		
Göl	Göl	Göl
Deniz	Deniz	Deniz
Nehir	Nehir	Nehir
Hava Ortamı		
Meteorolojik Durum	0,70	0,01
Mevcut Durum	0,30	0,00
Kara Ortamı		
Asidite	0,33	0,00
Gecirgenlik	0,35	0,01
Toprak Türü	0,33	0,00
Meteorolojik Durum		
Rüzgar Hızı	0,19	0,00
Rüzgar Yönü	0,29	0,00
Nem	0,34	0,01
Sıcaklık	0,17	0,00

Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için I. seviyede iki alt faktör olduğundan bunlara ait alt faktörlerin puanları bu alt faktörlerin hiyerarşi içindeki ağırlık puanı ile çarpılarak toplanmış ve elde edilen F_i^* değerleri Çizelge 6.29 da gösterilmiştir.

Çizelge 6.29: Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin F_i^* hesabı

FAKTÖRLER	SYBS				W'	F _i *			
	A	B	C	D		A*E	B*E	C*E	D*E
Dis derinliği	2	2	4	4	0,0100	0,02	0,02	0,04	0,04
Lastik kanal tipi	4	4	5	5	0,0031	0,01	0,01	0,02	0,02
Kaplama lastik	0	0	2	2	0,0007	0,00	0,00	0,00	0,00

Çizelge 6.29: Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin Fİ* hesabı (devam)

Fren sistemi	3	3	5	5	0,0231	0,07	0,07	0,12	0,12
Yangın söndürücü	4	4	6	6	0,0956	0,38	0,38	0,57	0,57
Eşya gözleri	2	2	4	4	0,0100	0,02	0,02	0,04	0,04
Bakımlar	0	0	2	2	0,0030	0,00	0,00	0,01	0,01
Testler	4	4	6	6	0,0152	0,06	0,06	0,09	0,09
Topraklama çubuğu	0	0	2	2	0,0072	0,00	0,00	0,01	0,01
Tehlikeli madde uyarı işaretleri	2	2	5	5	0,0256	0,05	0,05	0,13	0,13
Işıklandırma tertibatı	2	2	4	4	0,0220	0,04	0,04	0,09	0,09
Yangın söndürücüler	0	0	2	2	0,0065	0,00	0,00	0,01	0,01
Sızıntı emiciler	4	4	7	7	0,0300	0,12	0,12	0,21	0,21
Sürüş süresine uygun olm. çalışma	0	0	2	2	0,0100	0,00	0,00	0,02	0,02
Cep telefonu kullanımı	6	6	8	8	0,0329	0,20	0,20	0,26	0,26
Psikolojik durum	1	1	4	4	0,0117	0,01	0,01	0,05	0,05
Statik elektrik	0	0	2	2	0,0398	0,00	0,00	0,08	0,08
Sızıntı	0	0	2	2	0,0398	0,00	0,00	0,08	0,08
Hortumlar	2	2	4	4	0,0372	0,07	0,07	0,15	0,15
Bağlantı çekici	3	3	6	6	0,0558	0,17	0,17	0,33	0,33
Kreyojenik eldiven	6	6	8	8	0,0868	0,52	0,52	0,69	0,69
Yoğun yerleşim ve trafik bölgeleri	0	0	2	2	0,0037	0,00	0,00	0,01	0,01
Uygun park alanı	6	6	8	8	0,0266	0,16	0,16	0,21	0,21
Asfalt ya da mıcır yollar	4	4	5	5	0,0091	0,04	0,04	0,05	0,05
Çift yönlü ya da ayrılmış yollar	2	2	4	4	0,0061	0,01	0,01	0,02	0,02
Tank ekipmanlarının doğru çal.	6	6	7	7	0,0791	0,47	0,47	0,55	0,55
Boğaz köprüleri	0	0	2	2	0,0036	0,00	0,00	0,01	0,01
Tüneller	4	4	6	6	0,0179	0,07	0,07	0,11	0,11
Şehir içi yollar	2	2	4	4	0,0108	0,02	0,02	0,04	0,04
Yağışlı hava	4	4	7	7	0,0991	0,40	0,40	0,69	0,69
Sisli hava	0	0	2	2	0,0178	0,00	0,00	0,04	0,04
Sıcak hava	6	6	9	9	0,1352	0,81	0,81	1,22	1,22
TOPLAM Fİ*						3,82	3,82	6,06	6,06

Çizelge 6.30: Çevresel faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk için alt faktörlerin $Fİ^*$ hesabı

FAKTÖRLER	SYBS				W'	Fİ*			
	A	B	C	D		A*E	B*E	C*E	D*E
Yanıcılık	0	0	2	2	0,041	0,00	0,00	0,08	0,08
Parlavıcılık	2	2	4	4	0,125	0,25	0,25	0,50	0,50
Soğuk vanığı	0	0	2	2	0,041	0,00	0,00	0,08	0,08
Boğuculuk	6	6	8	8	0,292	1,75	1,75	2,34	2,34
Değerlendirilen bölgenin sınırları	3	3	6	6	0,167	0,50	0,50	1,00	1,00
Yerleşim	2	2	5	5	0,030	0,06	0,06	0,15	0,15
Endüstrivel	0	0	3	3	0,013	0,00	0,00	0,04	0,04
Tarımsal	7	7	9	9	0,053	0,37	0,37	0,48	0,48
Turizm	3	3	6	6	0,039	0,12	0,12	0,23	0,23
Strateji	7	7	9	9	0,069	0,48	0,48	0,62	0,62
Su ve su havzaları	6	6	8	8	0,024	0,15	0,15	0,20	0,20
Orman alanları	6	6	9	9	0,026	0,16	0,16	0,24	0,24
Flora-Fauna	6	6	8	8	0,024	0,15	0,15	0,20	0,20
İnsan yoğunluğu	3	3	7	7	0,017	0,05	0,05	0,12	0,12
Göl	8	8	9	9	0,008	0,07	0,07	0,07	0,07
Deniz	4	4	7	7	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
Nehir	8	8	9	9	0,010	0,08	0,08	0,09	0,09
Mevcut durum	2	2	4	4	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
Asidite	7	7	9	9	0,004	0,03	0,03	0,04	0,04
Gecirgenlik	8	8	9	9	0,010	0,08	0,08	0,09	0,09
Toprak türü	7	7	9	9	0,004	0,03	0,03	0,04	0,04
Rüzgar hızı	3	3	5	5	0,001	0,00	0,00	0,01	0,01
Rüzgar yönü	5	5	7	7	0,002	0,01	0,01	0,01	0,01
Nem	6	6	8	8	0,010	0,06	0,06	0,08	0,08
Sıcaklık	2	2	5	5	0,001	0,00	0,00	0,01	0,01
TOPLAM Fİ*						4,40	4,40	6,71	6,71

Çevresel faktörlerinden kaynaklanan risk için I. seviyede iki alt faktör olduğundan bunlara ait alt faktörlerin puanları bu alt faktörlerin hiyerarşi içindeki ağırlık puanı ile çarpılarak toplanacak ve $Fİ^*$ değeri elde edilecektir.

Çevresel faktörlerinden kaynaklanan risk için $Fİ^*$ değerini elde etmek için yapılan hesaplar Çizelge 6.30’da gösterilmektedir.

Faktörlerin hiyerarşi içindeki ağırlık puanları bulunduğundan sonra Denklem 5.5 ile taşımacılık faktörlerinden ve çevresel faktörlerden kaynaklanan çevresel riskler için $Fİ^*$ değerleri hesaplanır. Bu amaçla bunlara ait alt faktörlere verilen faktör puanları (bkz. Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2) Çizelge 6.27 ve Çizelge 6.28’de verilen hiyerarşi içindeki ağırlık puanları (w') ile çarpılır. Her bir çevresel risk kaynağının altındaki faktörlere ait ağırlıklandırılmış puanlar toplanarak ilgili çevresel risk kaynağı için Çizelge 6.31’de gösterilen $Fİ^*$ değerleri elde edilir.

Çizelge 6.31: LNG kullanacak bir işletmeye yapılacak karayolu taşımacılığı için $Fİ^*$ değeri

	SYBS			
FAKTÖRLER	A	B	C	D
Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel risk	3,82	3,82	6,06	6,06
Çevresel faktörlerden kaynaklanan çevresel risk	4,40	4,40	6,71	6,71

6.1.5 Risk olasılığı ve risk şiddeti adımının hesaplanması

Bu adımda risk değerlendirme grubu tarafından çevresel risk büyüklüğü hesaplanacak olan ana faktör için Çizelge 5.2’de gösterilen kriterler esas alınarak RO ve RŞ puanları verilecektir. Kadıköy bölgesinde faaliyet gösteren ve enerji kaynağı olarak LNG kullanan bir işletme için verilen RO ve RŞ puanları Çizelge 6.32’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.32: LNG karayolu taşımacılığı için RO ve RŞ puanları

FAKTÖRLER	RO				RŞ			
LNG karayolu taşımacılığından kaynaklanan çevresel risk	7	7	9	9	6	6	8	8

Taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel riskin olasılığı yüksek derecede olacaktır.

Taşımacılık faktörleri oldukça fazla bakım ve denetim gerektiren faktörlerdir ve bu faktörleri oldukça fazla bakım ve denetim gerektiren faktörlerdir ve bu faktörlerin bir kısmı da dış bileşenlere bağlıdır. Dolayısı ile risk kontrolü oldukça zordur ve bu sebeple risk ortaya çıkma ihtimali yani risk olasılığı yüksektir. Taşımacılık faktörlerinden kaynaklı ufak bir hata bile kaza ile sonuçlanabilir. LNG taşıyan bir tankerin kaza yapması sonucu muhtemel sonuç sızıntı ya da havaya karışacak olan LNG buhar bulutudur. Bu sonuçların ortaya çıkacak riskin oluşması durumunda şiddeti ise oldukça büyük olacaktır.

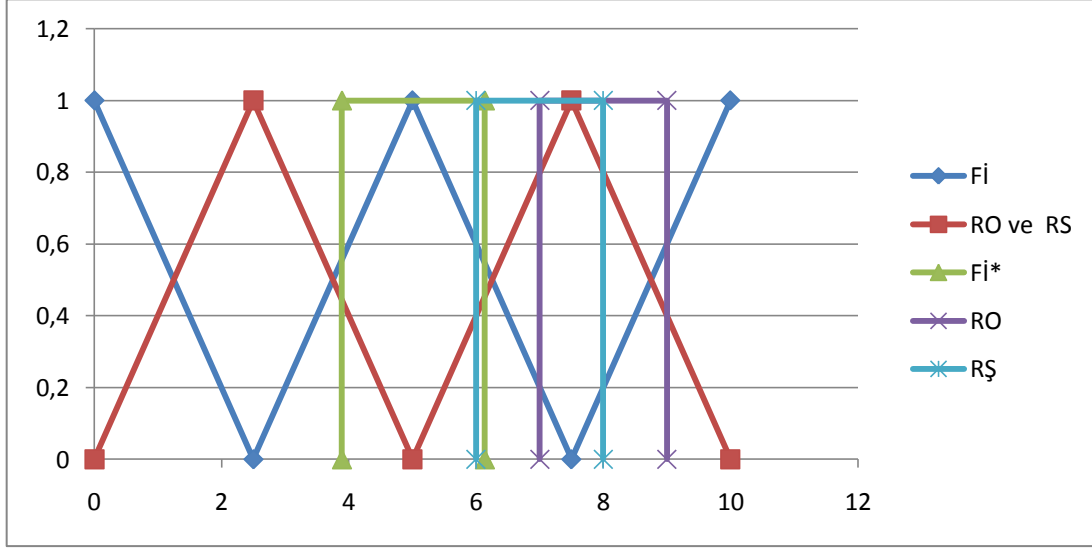
6.1.6 Bulanık sonuç çıkarma

Bulunan $F\tilde{I}^*$, RO ve RŞ puanlarının bulanık kümelerle çevrilmesi gerekmektedir. Bunun için Çizelge 5.2’de gösterilen risk kriterlerinin bulanık üyelik fonksiyonları çizilecek ve $F\tilde{I}^*$, RO ve RŞ puanlarının bu fonksiyonla kesişen noktalarından $F\tilde{I}^*$, RO ve RŞ kriterlerinin sınıfları ve bu sınıfla ait üyelik dereceleri bulunacaktır. Bu adım risk karakterizasyonunun risk takdiri adımıyla karşılık gelmektedir. Sınıfların belirlenmesi ve üyelik derecelerinin bulunması için taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel riske ait $F\tilde{I}^*$, RO ve RŞ puanları Şekil 6.1’de gösterildiği gibi üyelik fonksiyonu grafiğinde çizdirilmiştir. $F\tilde{I}^*$ puanlarının üyelik fonksiyonunu kestiği noktalar B(0,41), D(0,44) ve O(0,58) sınıflarına ve üyelik derecelerine denk gelmektedir. RO için ise ÇY(0,60), Y(0,80) ve O(0,20) sınıfları bulunmuştur. ÇY(0,60), Y(0,80) ve O(0,2) noktaları ise RŞ için bulunan kesişim noktalarıdır.

Bulunan $F\tilde{I}^*$, RO ve RŞ değerleri kullanılarak , LNG karayolu taşımacılığından kaynaklanan çevresel risk için $F\tilde{I}^*$, RO ve RŞ sınıflarının ve üyelik derecelerinin belirlenmesini sağlayacak grafik gösterim elde edilecektir.

Bulunan sonuç bulanık olacak ve $F\tilde{I}^*$, RO ve RŞ bileşenlerini temsil edecektir. Çizelge 6.33’de bulanık çıkarım tablosu gösterilmektedir. Denklem 5.6 kullanılarak çıkarım yapılmaktadır. Örneğin; eğer RO ÇY (0,60) ve RŞ ÇY (0,2) ve $F\tilde{I}^*$ B (0,41) ise risk Ö (0,8) olacaktır çünkü risk faktörlerinin hem riske yatkınlığı büyük hem risk olasılığı yüksek hem de risk şiddeti çok yüksektir. Risk olasılığının yüksek olması sebebi ile bir şekilde tehlike ortaya çıksa bile şiddeti de çok yüksek olacaktır ve bu nedenle risk

önemli derecedir. Her kuralın uygulama sonuçlarını temsil eden kesik bulanık üyelik fonksiyonları tek bir bulanık üyelik fonksiyonunda toplanır. Toplam, bulanık birleşim (maksimum) operatörü kullanılarak Denklem 5.8’de gösterildiği gibi elde edilir. Örneğin İE düzeydeki risk büyüklüklerini birleştirmek için İE sınıfında çıkan risk büyüklüklerinden üyelik derecesi en büyük olanın üyelik derecesi toplam İE sınıfının üyelik derecesi yapılır.



Şekil 6.1: LNG karayolu taşımacılığında kaynaklanan çevresel risk için Fİ*, RO ve RŞ sınıflarının ve üyelik derecelerinin belirlenmesi

Grafikteki değerler okunarak LNG karayolu taşımacılığında kaynaklanan çevresel risk Değerlendirmesi için Fİ*, RO ve RŞ bileşenlerini temsil eden RB çıkarım tablosu Çizelge 6.33. de gösterilmiştir.

Böylelikle İE sınıfında çıkan tüm risk büyüklükleri ‘veya’ operatörü ile birleştirilmiş olur. Çizelge 6.30’a göre İE sınıfında olan risk büyüklüklerinden en büyük üyelik derecesi 0,59 olup toplam İE sınıfının da üyelik derecesi 0,6 olacaktır. Buna göre Çizelge 6.33’den elde edilen toplam risk sınıfları Çizelge 6.34’de gösterilmiştir. Bulanık çıkarım motorundan elde edilen sonuçlar bulanık olduğu için ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak Denklem 5.10 ile durulaştırma yapılacaktır. Elde edilen duru sonuç da Çizelge 6.34’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.33: LNG karayolu taşımacılığında kaynaklanan çevresel risk için Fİ*, RO ve RŞ bileşenlerini temsil eden RB çıkarım tablosu

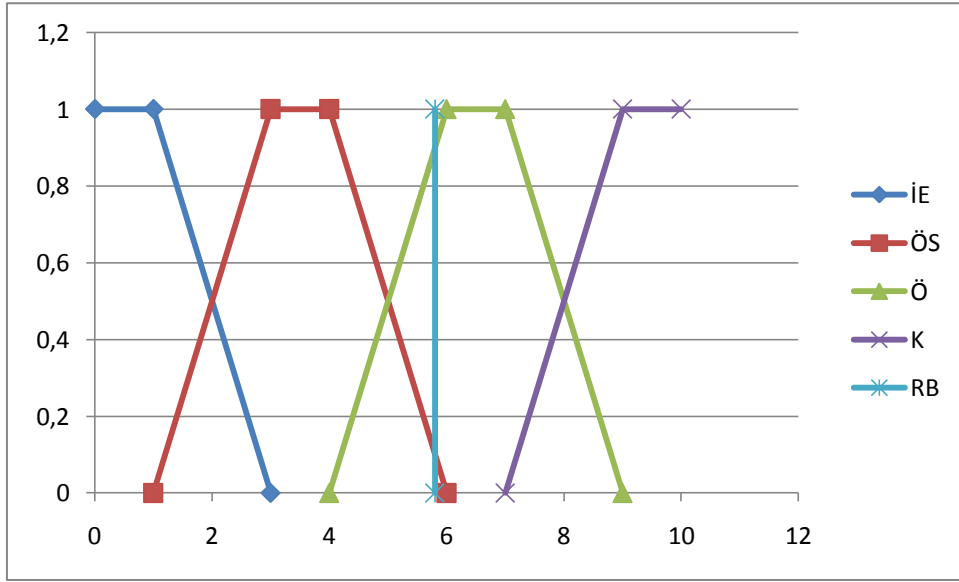
Faktör		RO		
Fİ	RS	ÇY(0,6)	Y(0,8)	O(0,2)
B(0,41)	ÇY (0,2)	K(0,6)	Ö(0,8)	Ös(0,41)
	Y(0,8)	Ö(0,8)	Ö(0,8)	Ös(0,8)
	O (0,6)	Ö(0,6)	Ö(0,8)	Ös(0,6)
O(0,58)	ÇY (0,2)	K(0,6)	K(0,8)	O(0,58)
	Y(0,8)	Ö(0,8)	Ö(0,8)	Ös(0,2)
	O (0,6)	Ö(0,8)	Ös(0,6)	İE (0,2)
D (0,44)	ÇY (0,2)	Ö(0,6)	Ö (0,8)	Ös(0,2)
	Y(0,8)	Ö (0,8)	Ös (0,8)	Ös (0,2)
	O (0,6)	İE (0,6)	İE(0,6)	İE(0,6)

Çizelge 6.34: LNG karayolu taşımacılığında kaynaklanan çevresel risk için Fİ*, RO ve RŞ sınıflarını temsil eden RB sınıfları

RB	ÜD
İE	0,6
ÖS	0,8
Ö	0,8
K	0,8
RB*	5,8

$$RB^* = \frac{0,60 \cdot 1 + 0,80 \cdot 4 + 0,8 \cdot 7 + 0,8 \cdot 10}{0,60 + 0,80 + 0,80 + 0,80} = 5,8$$

Denklem 5.10 ile elde edilen duru sonuç Şekil 6.2’de gösterilen RB üyelik fonksiyonu grafiğinde çizilir. RB değerinin üyelik fonksiyonunu kestiği nokta RB sınıfını ve üyelik derecesini göstermektedir. Buna göre 5,8 olan RB* değeri Şekil 6.2’de görüldüğü gibi önemli risk sınıfına 0,9 üyelik derecesi ile ait iken önemsiz risk sınıfına 0,1 üyelik derecesi ile aidiyet göstermektedir. Yani Kadıköy bölgesinde kurulu LNG taşınacak bir işletmeye karayolu ile LNG taşınması yüksek derecede önemli risk arz etmektedir ve Çizelge 5.2’e göre riski düşürmelidir.



Şekil 6.2: LNG karayolu taşımacılığında kaynaklanan çevresel risk için RB* çıkarımı

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada LNG Taşımacılığının 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 taşımacılık faktörlerinden ve de çevresel faktörlerden kaynaklı risklere ait alt faktör ve bileşenler ortaya konuldu. LNG tankerlerinin ve işletmelerinin güvenliği ile ilgili mevcut temel düzenleme, standart ve kuralların kısa bir özeti yapılmıştır. LNG'nin özellikleri ve nasıl taşındığı açıklandıktan sonra LNG taşımacılığının karayolunda taşımacılığın temel kuralı olan can, mal ve çevre emniyeti açısından ortaya koyduğu muhtemel tehlikeler sıralanmıştır.

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 Taşımacılığının Risk Tabanlı Yönetimi nasıl tesis edilebilir sorusuna da cevap aranarak incelenmiştir.

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.

Tehlikeli maddelerin endüstrilerde kullanılmasından kaynaklanacak risklerin önceden değerlendirilerek tahmin edilmesi çevre yönetimi için bir gerekliliktir. Risk

değerlendirme sonuçları kullanılarak yönetim stratejilerinin kapsamı belirlenmelidir. Tehlike tanımı, etki ve maruz kalma değerlendirmesi hiyerarşide alt faktörler ile yapılmalıdır.

Çevresel riskin değerlendirme sürecinin karmaşıklığını indirmek için AHP yönteminin kullanılması önerilmektedir. Uygulama sonuçları ile LNG için tüm riskleri ve risk sınıflarındaki dereceleri de ortaya koymak mümkündür. Bu uygulamanın yönetilmesi gereken risk kaynağını da gösterdiği sonucuna varılmıştır. Örneğin; taşımacılık faktörlerinden kaynaklanan çevresel riskin çevresel faktörlerden kaynaklanan risklere kıyasla daha büyük olduğu yapılan bulanık mantık uygulaması sonucu ortaya çıkan risk büyüklüğü ile de gösterilmiştir

Bu çalışmanın sonucunda LNG karayolu taşımacılığının çevresel riske olan katkısının 0,9 derecede önemli, 0,1 derecede ise önemsiz olduğu ortaya konulmuştur.

LNG depolama tankı ya da taşıma tankerleri imalatında basınç, sızdırmazlık testleri uygun şekilde yapılmalıdır. LNG depolama tankı ya da taşıma tankerleri imalatında çok iyi bir izolasyon sağlanmalıdır.

- Isı transferinden kaynaklanan basınç yükselmesini önler
- Havaya salınan emisyon değerlerini azaltır

Doğru güzergah analizleri yapılmalıdır

- Tüneller
- Boğaz köprüleri
- Şehir içi yollar
- Bozuk satırlı yollar
- Çift yönlü ya da ayrılmış yollar
- Yerleşimin ve trafiğin yoğun olduğu bölgeler taşımacılıkta tercih edilmemelidir.

Tankerlerin taşıma ve depolama kısımları için aşağıdaki önlemler önerilmektedir.

- Periyodik muayene ve testlere tabi tutulmalıdır (Sızdırmazlık,topaklama ölçümü)
- Ekipmanlar doğru seçilmeli ve özenli kullanılmalıdır

Tanker Operatörü seçiminde dikkatli olunmalı ve mutlaka aşağıdaki değerlendirmeler yapılamalıdır.

- Tanker operatörü psikoteknik testlere tabi tutulmalı. Refleksleri ölçülmelidir. Psikoloji faktörlere bağlı olarak meydana gelen değişimler gözlenmelidir.
- Tanker operatörleri sürüş eğitimleri almalı, sürüş şartlarını denetleyen sistemler ile, araç takip sistemleri ile kontrol altında tutulmalıdır.
- Tanker operatörleri yasal olarak da belirtilmiş şekilde sürüş sürelerine uygun araç kullanmalıdırlar. Uzun mesafeli sevkiyatlar için çift şoför tercih edilmeli ya da ikmal optimizasyonu doğru yapılmalıdır.
- Taşıdıkları madde ile ilgili mutlaka bir eğitim almalı ve bilgilendirilmelidirler
- Sağlık sorunları ve kullandığı ilaçlar sürüş ve algılama kabiliyetini etkileyen tanker operatörler tehlikeli madde taşımacılığı için uygun değildir.
- Çalışma koşulları , ücret, sosyal haklar,temiz,hatasız çalışan ekipmanlar ile çalışma hakları sağlanmalı,izin ve sürüş sürelerine uyumları sağlanmalıdır

Risk faktörlerinin hiyerarşi içindeki ağırlıklarının belirlenmesi işletme için çevre açısından stratejik analizler yapılmasını da sağlamaktadır. İşletmeye yapılacak taşıma için çevresel risk açısından güçlü ve zayıf yönlerini tespit edebilmektedir. Ayrıca yöntemin kontrol aracı olarak da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] IX. Kalkınma Planı (2007-2013), *Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, 2006. Devlet Planlama Teşkilatı Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı Yayın ve Basım Şube Müdürlüğü
- [2] BELEN, Tuncay, ENKUS, 2007. *Açılış Konuşması, İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, Bildiriler ve Sunumlar*, İTÜ Enerji Enstitüsü Yayınları, İTÜ Matbaası, İstanbul
- [3] SELCUK, 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] ALTIPARMAK, Murat, 2007. *TPAO Yurt İçi ve Yurt Dışı Petrol ve Doğalgaz Arama üretim Faaliyetleri ve Hedefi, İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, Bildiriler ve Sunumlar*, İTÜ Enerji Enstitüsü Yayınları, İTÜ Matbaası, İstanbul
- [5] <http://ew.eea.europa.eu/ManagementConcepts/>, alındığı tarih 25.02.2009
- [6] STAPLETON, P. J., Glover, M. A., and Davis, S. P., 2001. Environmental Management Systems: An Implementation Guide for Small and Medium Sized Management Organizations, Second Edition. NSF International, Ann Arbor, USA.
- [7] <http://www.iema.net/ems/newtoems>, alındığı tarih 15.04.2009
- [8] SONNEMANN, G., Castells, F., and Schuhmacher, M., 2004. Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes Environmental Risk Assessment, CRC Pres. Retrieved September 15, 2008, from <http://0-www.envirobase.com>
- [9] ABS, 2003, Risk Evaluations For The Classification Of Marine-Related Facilities, New York, U.S.A, June
- [10] 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
- [11] 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

- [12] **TALINLI, İ, ÖNGEN A.**, *Deprem Sempozyumu Kocaeli, 2005*, Yalovada Akrlonitril Dökülmesi ile ilgili çevresel risk değerlendirmesi, 23-25 Mart 2005
- [13] **TOBB Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği**, Akaryakit ve LPG İstasyonlarında Sağlık, Emniyet, Çevre ve Risk Yönetimi Paneli, 2005.
- [14] **U.S. EPA**, 1989. Risk Assesment Guidance for Superfund Volume I Human Helath Evaluation Manual (Part A) Interim Final, EPA/540/1-89/002, Office of Emergency and Remedial Response , Wadhington, DC.
- [15] **AKPET GAZ A.Ş. LNG Eğitim Notları**, 2008. “Sıvılaştırılmış Doğalgaz Zinciri”
- [16] *Doğal Gaz Dergisi, Ağustos, sayı 9*
- [17] **LOM, W. L.**, 1974. "Liquefied Natural Gas", Applied Science Publishers Ltd., London
- [18] **GUNER, H.**, 2005. “Bulanık AHP ve Bir İşletme için Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale üniversitesi, Denizli
- [19] **ALKAN, A.**, 2006. AHP’de Dilsel Karşılaştırma Sürecinin Bulanık Mantıkla Gerçekleştirilmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Kocaeli
- [20] **YETİM, S.**, 2003. Sporcuları Sakatlanmaya İten Bazı Sebeplerin Analitik Hiyerarşik Prosesiyle Analizi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- 21] **ÇITLI, N.**, 2006. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,
- [22] *CBU Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Yıl:2007 Cilt:2 Sayı:8*
- [23] **KLIR G., UTE H. St.Clair and Yuan, B.**, 1997.“Fuzzy Set Theory Foundations and Applications
- [24] **TEKES, M.**, 2002. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetlerinde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşik Prosesi ile Karşılaştırılması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [25] **KWONG, C.K. and BA, H.**, 2003. “Determining the _mportance Weights Fort he Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP with an Extent Analysis Approach”, Department of _ndustrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University
- [26] **AYYILDIZ, G.**, 2003. CIM Yatırımlarının Bulanık AHP Yöntemi İle değerlendirilmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, İstanbul
- [27] **YILMAZ, N.**, 2000. Analitik Hiyerarşik Yaklaşımı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- [28] GÜNGÖR, I. ve ISLER, D., 2005. “Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı İle Otomobil seçimi”, ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, s.21-33
- [29] DURDUDILLER, M., 2006. Perakende Sektöründe Tedarikçi Performans değerlemesinde AHP ve Bulanık AHP uygulaması, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [30] SAATY, T.L. ve ÖZDEMİR, M.S., 2003. “Why The Magic Number Seven Plus Or Minus Two”, Mathematical And Computer Modelling **38**, 233-244
- [31] GULER, M. Hilmi, 2008. *7/1779 Sayılı Yazılı Soru Yonergesine Cevap, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 03 Mart 2008 tarih ve B.15.0.SGB.610-368 sayılı yazısı*, Ankara
- [32] MSC/Circular.1151, 2004. Revised List of Certificates and Documents Required to be Carried on Board Ships - (17 December 2004)
- [33] TOPUZ, E., 2009. “Endüstriyel Tehlikeli Maddeler İçin Çevresel Risk Değerlendirme Yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [34] http://tr.wikipedia.org/wiki/Kad%C4%B1k%C3%B6y,_%C4%B0istanbul
- [35] <http://www.kadıköy.gov.tr>, alındığı tarih 25.04.2009
- [36] Zeng, J., An, M., and Smith, N. G., 2007. Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assesment, *Project Management*, Vol.25, pp. 589-600

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Atakan ÖZTEKİN

Doğum Yeri ve Tarihi : Trabzon / 15.08.1979

Adres : Telsiz mah. 85. Sk. No:61 D:5 Zeytinburnu / İstanbul

Lisans Üniversite : Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi

İş Deneyimi :

1. C ve S Proje ve Danışmanlık Ltd.Şti. 2003-2006, Tehlikeli Madde Tankerleri Denetim ve Eğitim Sorumlusu
2. Akpet Gaz A.Ş. 2006 –, Filo Denetim ve Eğitim Sorumlusu, LNG İkmal ve Dağıtım Sorumlusu, İkmal ve Planlama Sorumlusu

Sertifikalar: Antalya Çevre Mühendisliği Odası, 2005 LPG İstasyonlarında Sorumlu Müdürlük Belgesi