

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE DENİZ YOLUYLA LNG TAŞIMACILIĞININ
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Macit ERENŞOY

(512051015)

Anabilim Dalı: Deniz Ulaştırma Mühendisliği

Programı: Deniz Ulaştırma Mühendisliği

Tez Danışmanı: Y.Doç.Dr. Zuhall ER

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Günümüzde, enerji sektöründe yaşanan büyük talep patlaması neticesinde doğalgaz kullanımı hızla arttığı görülmektedir. Doğalgaz iletiminde 1970'lere kadar sadece boru hatları kullanıldı. Ancak boru hatlarının, ülkelere olan bağımlılığı arttırması ve uzun mesafelerde maliyetleri çok yükseltmesi nedeniyle yeni arayışlara gidildi ve bu araştırmalar sonucunda sıvılaştırılmış doğalgazın gemiler ile taşınması yöntemi geliştirildi. Teknolojik gelişmeler ve maliyetlerin düşmesi neticesinde LNG taşımacılığı, günümüzde politik ve ekonomik bağımlılığın azaltılması nedeniyle boru hatlarına alternatif olmaya başlamıştır. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye içinde doğalgaz iletiminde boru hatları ile LNG taşımacılığı arasında bir kıyaslama yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, böyle çok ölçütlü bir karar verme probleminde, Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile model kurularak armatörlerin ve politika yapıcıların karar verme sürecini kolaylaştırmak amaçlanmıştır.

Çalışmanın yürütülmesi esnasında göstermiş olduğu ilgi ve desteğinden dolayı tez danışmanım sayın Y.Doç.Dr. Zuhale ER'e ve çalışmam esnasında teknik ve bilgi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam sayın Doç.Dr. İsmail Deha ER'e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2008

Macit ERENŞOY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ i	
1.1 LNG	1
1.1.1 Metan (CH ₄)	1
1.1.2 LPG	2
1.1.3 Buhar	3
1.1.4 Kritik Sıcaklık	3
1.1.5 Kritik Basınç	3
1.1.6 Atmosferik Kaynama Noktası	3
1.1.7 Sıvılaştırılmış Gazların Özgöl Ağırlıkları	4
1.2 LNG Gemilerindeki Tank Tipleri	4
1.2.1 Tip “A” Tankları	5
1.2.2 Tip “B” Küresel Tanklar	5
1.2.3 Tip “B” Prizmatik Tanklar	8
1.2.4 Tip “C” Tankları	10
1.2.5 Membran Tankı	11
1.3 LNG Gemilerinin Tahrik Sistemleri	13
1.4 LNG Gemilerinin Sertifikasyonu	16
1.5 LNG Tehlike Çeşitleri	17
1.5.1 Parlayıcılık	17
1.5.2 Yanma	17
1.5.3 Yanma Mesafesi	17
1.5.4 Parlama Noktası	18

1.5.5	Kendi Kendine Ateşlenme Sıcaklığı	19
1.5.6	Minimum Yanma Enerjisi	19
1.5.7	Sızıntı	19
1.5.8	Polimerizasyon	20
1.5.9	Zehirlilik	20
1.5.10	Boğucu Özelliği	20
1.5.11	Bayıltma Özelliği	20
1.5.12	Soğuk Isırması	20
1.5.13	Sıvı İle Temas Etmek	20
1.5.14	Gazın Teneffüs Edilmesi	21
1.5.15	Karışım	21
1.5.16	Soğuk	21
1.5.17	Korozyon Etkisi	21
1.5.18	Terörizm	22
1.5.19	Deprem	22
1.6	Büyük LNG Olayları	23
1.6.1	Cleveland, Ohio, 1944	23
1.6.2	Staten Adası, New York, Şubat 1973	23
1.6.3	Cove Point, Maryland, Ekim 1979	23
1.6.4	LNG Otobüs Kazası	24
1.6.5	LNG Gemi Kazaları	24
1.7	Düzenlemeler, Standartlar Ve Deniz Güvenliği İle İlgili Kurallar	24
1.7.1	Klas Kuruluşlarının Gemi Dizayn Standartları	25
1.7.2	Lloyd's Register	26
1.7.3	Det Norske Veritas	27
1.7.4	American Bureau of Shipping	27
2.	DÜNYA ENERJİ PİYASASI	28
2.1	Dünya Enerji Tüketimi	28
2.2	Dünyadaki Kaynaklara Göre Enerji Tüketimi	30
2.3	Gaz Rezervleri	31
2.3.1	2006 Yılı Sonu İtibariyle Kanıtlanmış Gaz Rezervleri	31
2.3.2	2006 Sonu İtibariyle Fosil Yakıtlarda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı	32
2.3.3	2006 Sonu İtibariyle Doğalgazda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı	33

3. LNG FİYATLANDIRMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	35
3.1 LNG Endüstrisinin Fiyat Analizi	35
3.1.1 Sondaj ve Üretim Maliyetleri	36
3.1.2 Sıvılaştırma Maliyetleri	37
3.1.3 Gazlaştırma Terminal Maliyetleri	38
3.1.4 Gemi İşletme Maliyetleri	39
3.2 LNG İthal Ve İhraç Eden Ülkeler	42
3.3 LNG Projelerinin Temel Finansal Riskleri	43
3.3.1 Arama ve Üretim	43
3.3.2 Ürünün Hazırlanması	44
3.3.3 Gemi İşletmeciliği	44
3.3.4 Satış ya da Dağıtım	44
3.3.5 LNG Spot Piyasasındaki Yeni Gelişmeler	45
4. TÜRKİYE’DE DOĞALGAZ İLETİMİNDE EN UYGUN YÖNTEMİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR MODELİNİN KURULMASI	46
4.1 Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi	47
4.1.1 AHS’nin Temel Unsurları	47
4.1.2 AHS Yönteminin Matematiksel İfadesi	50
4.2 Türkiye’de Doğalgaz Temininde En Uygun Yöntemin Belirlenmesi Üzerine AHS Modeli	55
4.2.1 Araştırmanın Kapsamı ve Yöntemi	55
4.2.2 Hiyerarşik Yapının Oluşturulması	56
4.2.3 Anket Çalışması ve Uzman Görüşlerinin Alınması	61
4.2.4 Yazılım Desteği ile Modelin Çözümlemesi	62
4.2.5 Modelin Bulguları	64
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	68
KAYNAKLAR	70
EKLER	72
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrogaz
IMO	: Dünya Denizcilik Örgütü
IGC Code	: Yük Olarak Sıvılaştırılmış Gaz Taşıyan Gemilerin İnşası ve Ekipmanları için Uluslararası Kurallar
BOG	: Buharlaştan Sıvılaştırılmış Gaz
DF	: Çift Yakıt
FPP	: Sabit Piç Açılı Pervane
SLC	: Kargo Gemisi İnşa Güvenlik Sertifikası
SLE	: Kargo Gemisi Güvenlik Ekipmanları Sertifikası ve Belgeleri
SLR	: Kargo Gemisi Telsiz Güvenliği Sertifikası
ILLC	: Uluslararası Yükleme Hattı Sertifikası
IOPPC	: Uluslararası Petrol Kirliliğini Önleme Sertifikası ve Ekleri
ISPPC	: Uluslararası Deniz Kirliliğini Önleme Sertifikası
IAPPC	: Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme Sertifikası
ITC	: Uluslararası tonaj Sertifikası
IAS	: Uluslararası Antifoiling Sistemi
LFL	: En Düşük Yanabilirlik Limiti
UFL	: En Yüksek Yanabilirlik Limiti
IACS	: Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 : LNG İhraç Eden Ülkeler.....	42
Tablo 3.2 : LNG İthal Eden Ülkeler.....	43
Tablo 4.1 : Tercih Ölçeği	49
Tablo 4.2 : AHS Modeli Bulguları.....	64
Tablo Ek-A : LNG Kazalarının Kronolojik Listesi	72

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Gaz Haldeki Metan ile Hava Arasındaki Yoğunluk Oranı Paterni	4
Şekil 1.2 : İlk LNG Gemisi “M/V Methane Progress.....	5
Şekil 1.3 : Tip “B” LNG Gemisi	6
Şekil 1.4 : Moss Rosenberg Küresel Tankı	7
Şekil 1.5 : Yeni Nesil Moss-Rosenberg Tipi Bir Gemi Dizaynı	7
Şekil 1.6 : Bir SPB Gemisi	8
Şekil 1.7 : Bir SPB Tankının Yerleşimi	9
Şekil 1.8 : Tip “C” Tanklı Bir LNG Gemisi.....	10
Şekil 1.9 : İzole Edilmiş Kargo Tankı	11
Şekil 1.10 : Membran Tanklı Bir LNG Gemisinin Tank Kesiti	11
Şekil 1.11 : Verimlilik Oranları	14
Şekil 1.12 : Yakıt Tüketimi	15
Şekil 1.13 : Emisyonlar	16
Şekil 1.14 : Metanın Yanma Mesafesi.....	18
Şekil 2.1 : 2005 Yılı Dünya Enerji Üretimi.....	28
Şekil 2.2 : Dünya Enerji Tüketimi.....	29
Şekil 2.3 : OECD ve OECD Olmayan Ülkelerin Enerji Tüketimleri.....	29
Şekil 2.4 : Bölgelere Göre OECD Üyesi Olmayan Ülkelerin Ekonomilerindeki Enerji Tüketimi, 1990-2030	30
Şekil 2.5 : Yakıt Tiplerine Göre Dünya Enerji Kullanımı.....	30
Şekil 2.6 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle Kanıtlanmış Dünya Gaz Rezervi.....	31
Şekil 2.7 : 1986, 1996 ve 2006 Yılları Dünya Gaz Rezervleri.....	32
Şekil 2.8 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle Fosil Yakıtlarda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı	32
Şekil 2.9 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle Doğalgazda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı.....	33
Şekil 2.10 : Dünya Doğalgaz Ticaret Hareketi	34

Şekil 2.11 : Güney Avrupa/Akdeniz LNG Terminalleri	34
Şekil 3.1 : LNG Üretim Zinciri	36
Şekil 3.2 : Araştırma ve Geliştirme Fiyatları ve Bölgelere göre İspatlanmış Gaz Rezervleri	36
Şekil 3.3 : Uluslararası Gaz Pazarı	37
Şekil 3.4 : LNG Projelerinin Temel Maliyet Dağılımları.....	39
Şekil 3.5 : LNG Gemilerinin Yeni İnşa Maliyetleri	40
Şekil 3.6 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle LNG Filosunda Bulunan Gemi Sayıları	41
Şekil 3.7 : LNG Tanker Filosu	41
Şekil 3.8 : En Büyük LNG Tersaneleri.....	42
Şekil 4.1 : Hiyerarşi Yapısı.....	57
Şekil 4.2 : LNG Gemileri ve Boru Hatları ile Doğalgaz Taşımacılında Birim Fiyatlar	59
Şekil 4.3 : Uzmanların Sektörlere Göre Dağılımı	61
Şekil 4.4 : Super Decisions Yazılı	63
Şekil 4.5 : Ana Kriterlerin Ağırlık Dağılımı.....	65
Şekil 4.6 : Politik Faktörlerin Alt Kriterlerinin Ağırlık Dağılımı.....	65
Şekil 4.7 : Ekonomik Faktörlerin Alt Kriterlerinin Ağırlık Dağılımı.....	66
Şekil 4.8 : Güvenlik Faktörlerinin Alt Kriterlerinin Ağırlık Dağılımı	66
Şekil 4.9 : Nihai Karar	67

TÜRKİYE’DE DENİZ YOLUYLA LNG TAŞIMACILIĞININ ANALİZİ

ÖZET

Türkiye, doğalgaz üreten ülkeler ile doğalgaz tüketen ülkeler arasında doğal bir köprü konumundadır. Türkiye bu güne kadar doğalgaz iletiminin çok büyük bir kısmını boru hatları ile yapmaktadır. Doğalgazı boru hatları ile iletilmesi nedeniyle Türkiye, dolayısıyla doğalgazı Türkiye ve Doğu Avrupa ülkeleri vasıtasıyla alan Avrupa, politik olarak sürekli sorun yaşadığı Rusya ve İran’a doğalgaz bakımında bağımlı hale gelmiştir.

Bu doğalgaz bağımlılığının ortadan kaldırılabilmesi için alternatif olarak deniz yoluyla LNG taşımacılığına önem verilip verilmemesi konusunda bir karar verilmesi gerekmektedir. Oluşturulacak olan değişik alternatifler arasından bir tanesini seçerek karar vermek ve bu seçimin tüm alternatifler arasında en iyi alternatifin seçildiğini açıklayıcı ve tatmin edici olmasını sağlamak, politikacılar ve gemi işletme şirketlerinin bakış açısından bizim amaçlarımıza en uygun, kabul edilebilir ve uygulanabilir en iyi alternatifi bulmak bu tezin amacıdır. Bu çok ölçütlü karar verme probleminde, iki alternatifin seçimini kolaylaştırmak için bu tez çalışmasıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır.

Analiz sonunda elde edilen bulgulara göre hiyerarşinin en alt kademesinde yer alan alternatifler için performans değerleri ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, bu tez çalışması sonucunda açık bir şekilde görülmüştür ki; boru hatları ve gemi ile LNG taşımacılığı alternatifleri arasında, gemi ile LNG taşımacılığının politik, ekonomik ve çevresel faktörler açısından boru hatları ile yapılan taşımacılığa göre daha uygun bir seçim olduğu ortaya çıkmıştır.

ANALYSIS ON LNG MARITIME TRANSPORTATION IN TURKEY

SUMMARY

Turkey is a natural bridge between natural gas importing and exporting countries. To date, Turkey made its natural gas transportation by pipelines. On this account, Turkey and Europe become dependence on Russia and Iran which countries, Turkey and Europe have some political problems.

So as to eliminate the dependency, it must be made a decision for the substitution of pipeline with LNG maritime transportation. Making a decision implies that there are alternative choices to be considered, and in such a case it is aimed only to identify as many of these alternatives as possible but to choose the one that best fits with our goals, objectives, desires, etc. at the view point of ship management company and politicians. In this multi-criteria decision making process, in this study to facilitate the selection of two alternatives Analytic Hierarchy Process (AHP) model is being used.

The global priorities of the alternatives placed at the bottom level of the hierarchical structure, is identified with respect to the obtained findings at the end of the analysis. Consequently, it is clearly appeared that LNG Maritime Transportation is more suitable choice with respect to political, economic and environmental factors, between alternatives of LNG maritime transportation and pipeline as well.

1. GİRİŞ

1.1 LNG

LNG, “Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)” kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Doğalgaz petrol ya da gaz alanlarından üretilir. Doğalgaz’ın içinde değişik gazlar olmasına rağmen esas olarak “metan” gazından oluşmaktadır. Metan’ın sıvılaştırılması, normal atmosferik basınçta gazın eksi 160 – 162 °C soğutulmasıyla elde edilir[1]. Bir birim hacim LNG buharlaştırıldığında yaklaşık olarak 600 birim hacim doğal gaz elde edilir. LNG su yoğunluğunun yarısından daha düşük yoğunluğa sahiptir. LNG’nin sıvı fazının özgül ağırlığı 0,46’dır. LNG temel olarak; %80-90 oranında Metan (CH₄), Etan (C₂H₆), Propan (C₃H₈) ve ağır hidro karbonlardan ayrıca az miktarda Nitrojen (N₂), Oksijen (O₂), Karbondioksit (CO₂) ve kükürtlü bileşiklerden oluşmaktadır[2]. Doğalgazın içindeki metan oranı üretildiği petrol alanının karakteristiğine göre değişmektedir. LNG, içindeki metan oranıyla orantılı olarak değerlendirilmemelidir. Başka bir değişle; içinde ne kadar çok oranda metan var ise LNG o kadar kalitelidir demek her zaman doğru değildir.

1.1.1 Metan (CH₄)

Metan bir karbon ve 4 hidrojen atomundan oluşur ve hem sıvı hem de gaz halindeyken renksiz ve kokusuzdur[3]. Temel fiziksel özellikleri aşağıda olduğu gibidir:

- Atmosferik basınçta sıvılaşma noktası -161,5 °C
- -160°C’de sıvı fazında özgül ağırlığı 458 kg/m³
- 30°C’de gaz fazında özgül ağırlığı 0,67 kg/m³
- Kritik basınç 44,7 bar
- Kritik sıcaklık -82,5 °C
- Kaynama noktasında açığa çıkan buhar ısısı 121 kcal/kg

- Havada en düşük yanabilirlik noktası %5,3
- Havada en fazla yanabilirlik noktası %14
- Parlama noktası -175 °C
- Kendi kendine tutuşma sıcaklığı 595 °C
- Ergime noktası -182 °C

Hem doğalgaz hem de sıvılaştırılmış doğalgazın içinde bulunan yüksek orandaki metan sayesinde yukarıda belirtilen karakteristikler doğalgaz içinde geçerlidir. LNG kokusuz, renksiz ve korozif olmakla beraber zehirleyici değildir. Havayla karıştırıldığında yanma limitleri hacimce %5 ile %15 arasındadır.

1.1.2 LPG

LPG, Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. LPG'nin ana bileşenleri %70 butan (C_4H_{10}) ve %30 propan (C_3H_8)'dır. LPG yüksek basınçta likit durumda bulundurulur. LPG'nin metana göre daha yüksek kaynama noktası vardır ve atmosferik basınçta sıvılaşma -5 ve -45 °C aralığında olmaktadır.

İsminden de anlaşılacağı gibi, genel olarak petrol gazları petrolün rafineri edilmesi esnasında üretilmektedir. Petrol gazlarının çok az bir kısmı gaz olarak bulunmaktadır.

LPG butan ve propanla özleştirilmesine rağmen, IMO Gas Code'da belirtilen bütün gazlarla aynı özellikleri taşımaktadır. Bu gazlar LNG (metan) ve dondurulmuş gazlar hariç diğer kimyasal gazları da kapsar. Örnek olarak; bir LPG taşıyan gemi sadece LPG taşımakla kalmaz, aynı zamanda da IMO Gas Code tarafından onaylanan ve dizayn olarak elverdiği ölçüde kimyasal gazları da taşıyabilmektedir. LPG atmosferik koşullara maruz kaldığında hızla patlayıcı hava-hidrokarbon karışımı oluşturur.

1 birim hacim LPG, 250 birim hacim gaz oluşturur. LPG'nin fiziksel özellikleri, özellikle özgül ağırlığı, atmosferik basınçta kaynama noktası, kritik sıcaklık ve kritik basınç miktarları gazın içeriğine göre oldukça büyük farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, LPG'nin taşınmasındaki durumların (sıcaklık ve basınç olarak) ve taşıma

ve saklama tanklarının dizaynlarında farklılaşmaya neden olmaktadır. LPG buharı havadan ağırdır.

1.1.3 Buhar

Buhar normal olarak kritik sıcaklığın altında bir sıcaklığa sahip gazlara verilen addır. Özel durumlarda, buhar sıvı haliyle dengede durabilir. Buhar bir tankta tutulduğunda, tankın yüzeyi basınçlandırılır. LNG'nin kaynama noktası -161°C , LPG'nin kaynama noktası ise -42°C 'dir.

Buharın sıvı haliyle stabil olarak dengede kalması durumunda, buhar doymuş demektir ve doymuş buharın basıncı sadece sıcaklığına bağlı olmaktadır. Sıcaklığı ayrışma durumuna denk gelen sıcaklığın altına inerse buhar aşırı ısınır. Aşırı ısınan buharın basıncı hacmine bağlıdır ve su buharı genellikle steam tabiriyle adlandırılır.

1.1.4 Kritik Sıcaklık

Bir gazın kritik sıcaklığı hangi basınç değeri uygulanırsa uygulansın sıvılaştırılamayacak yükseklikteki sıcaklıktır. Bu sıcaklığın önemi; soğutulmuş ya da basınçlı tanklara gaz yüklenmesine karar verildiğinde göz önüne alınacak en temel faktör olmasından kaynaklanmaktadır. LNG'nin kritik sıcaklığı -82°C 'dir.

1.1.5 Kritik Basınç

Bir gazın kritik basıncı, gazın kritik sıcaklıkta basınç uygulanarak sıvılaştırılması için ihtiyaç duyulan miktardır. Bu basınç kritik sıcaklığa bağlı olarak sıvılaştırılmış gazın bir tanka nasıl yüklenmesi gerektiğine karar vermek için önemlidir.

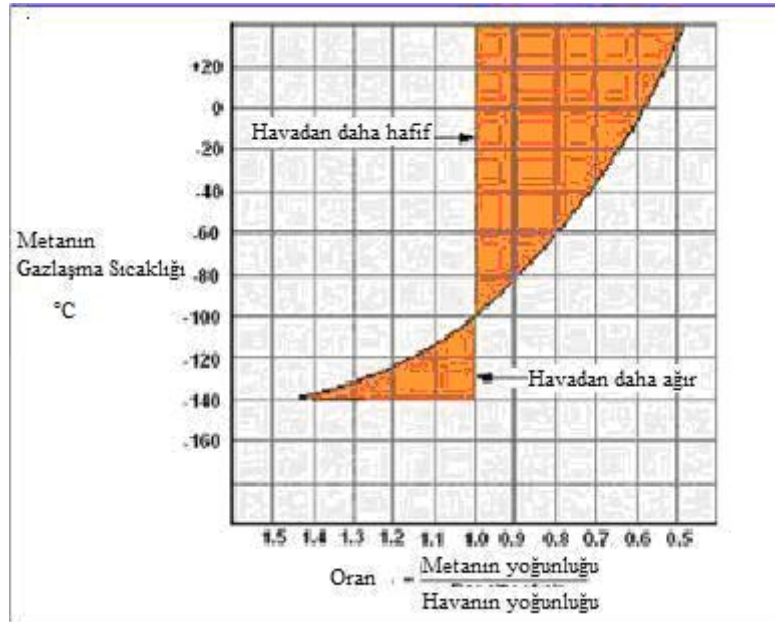
1.1.6 Atmosferik Kaynama Noktası

Hem kritik sıcaklık, hem de kritik basınç, bir gazın sıvı halden gaz haline ya da gaz halden sıvı hale dönmesi için önemli basınç ve gaz değerleridir. Bununla birlikte, bir gazın sıvılaştırılabilmesi için sonsuz sayıda sıcaklık ve basınç kombinasyonu yapılabilir. Her bir gazın transferi esnasında, en uygun sıcaklık ve basınç kombinasyonu seçilir. Genellikle atmosferik basınç referans alınarak seçilen kombinasyon kullanılmaktadır. Daha büyük basınç değerlerinde, sıvılaştırılmış gazların taşınması maksadıyla basınçlı gemilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle

atmosferik basınçta gazların sıvılaşma sıcaklığını bilmek önemlidir (atmosferik kaynama noktası)

1.1.7 Sıvılaştırılmış Gazların Özgöl Ağırlıkları

Kargo sistemlerinin dizaynı için, tanklardaki yüklerin ağırlığının bilinmesi çok önemlidir. Sıvılaştırılmış metanın özgül ağırlığı suyun özgül ağırlığından bir buçuk kat daha fazla iken, düşük sıcaklıklarda gaz halindeki metanın özgül ağırlığı havadan daha ağırdır. Metanın sıcaklığı artırıldığında, buharının ağırlığı hafifler ve takriben eksi 100 °C sıcaklıkta hava ile aynı ağırlığı alır. Şekil 1.1 gaz haldeki metan ile hava arasındaki yoğunluk oranı paternini göstermektedir. LNG'nin nispi yoğunluğu gaz fazı için 0,6 ve sıvı fazı için 0,42'dir [4].



Şekil 1.1 : Gaz Haldeki Metan ile Hava Arasındaki Yoğunluk Oranı Paterni

1.2 LNG Gemilerindeki Tank Tipleri

LNG kryojen karakterindedir, yani sıvılaştırılmış olan gaz çok düşük sıcaklıklarda kaynamaktadır [5]. LNG'nin minimum fire ile tutulması gerekliliği bulunmaktadır. Bu amaç ile taşımacılıkta kullanılan depolama tanklarının teknoloji ve standart çeşitliliği bulunmaktadır.

1.2.1 Tip “A” Tankları

Bu tip tanklar, bir kısmı ikinci bariyerli prizmatik alüminyum tankları kapsamaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : İlk LNG Gemisi “M/V Methane Progress

Halen kullanılan gemilerin performansı çok iyidir. Bugüne kadar bir adet arıza rapor edilmiş olup, o da kargo tankının köşe braketinde oluşan materyal yorgunluğundan meydana gelen bir çatlaktır.

Bu dizaynın başarılı olmasına rağmen, maliyetleri ve günümüz kurallarında ikinci bariyer zorunluluğu nedeniyle artık bu tip tank üretilmemektedir.

1.2.2 Tip “B” Küresel Tanklar

20 yılı aşkın bir süredir, Tip “B” tankının dizaynı olarak sadece Moss-Rosenberg Dizaynı kullanılmaktadır.

Küresel tank konsepti Moss Rosenberg tarafından bulunmuş ve lisansı Kvaerner tarafından alınmıştır. Bu nedenle konsept Kvaerner-Moss olarak da bilinmektedir. 125000 m³’lük LNG gemilerinin ilk jenerasyonu 36,6 m çaplı 5 küresel tanklı olarak inşa edilmiş, 2 gemi ise 6 tanklı olarak inşa edilmiştir. Günümüzde ise 40 m çaplı 4 tank en çok rastlanan gemi tipleridir. (Şekil 1.3)



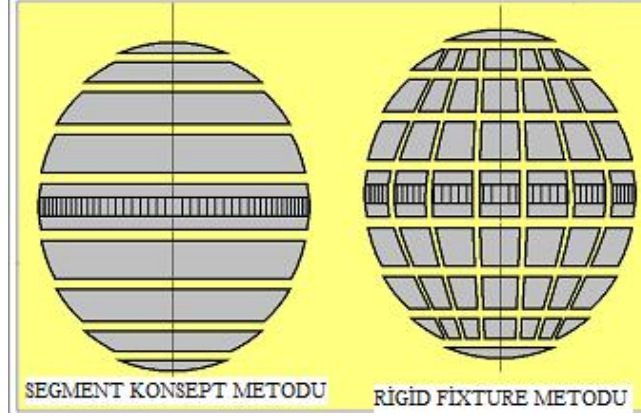
Şekil 1.3 : Tip “B” LNG Gemisi

Küresel tankların dizayn kriterleri IGC Code’da basit bir şekilde belirtilmiş ve “B” sınıfı tanklar olarak sınıflandırılmıştır. İkinci bariyer sistemi bu tip kargo sistemlerinde bölgesel olarak kullanılmaktadır. Bu tanklarda LNG atmosferik basıncın bir miktar üzerinde $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta taşınmaktadır.

Bu tanklar genellikle 2 bar basınçlı olarak dizayn edilmiş olmaları nedeniyle kargo pompalarının hepsinin arıza yapması durumunda bile tankın basınçlı olması nedeniyle boşaltma yapılabilmektedir.

Küreler iki değişik metot kullanılarak imal edilebilmektedir. “Segment Konsept” metodu ile, küre dikey olarak birçok dairesel bölümlere dilimlenir. Bölümler 360 dereceli halkaların birbirine birleştirilmesiyle üretilir. Bölümler birbirlerine monte edilerek montaj tamamlanır. “Segment Konsept” metodunda tank bulunduğu yerde alttan üste doğru inşa edilir.

“Rigid Fixture Konsept” metodunda, ufak parçalar halinde üretim yapılır. Bunun avantajı olarak kürenin imalinin geminin inşa edildiği tersaneye bağımlı kalmamasıdır (Şekil 1.4)



Şekil 1.4 : Moss Rosenberg Küresel Tankı

Moss Rosenberg Küresel Tank Sistemleri'ndeki en önemli teknolojik gelişmeler şu şekildedir :

- Tank sayısının 5-6'dan 4'e inmesi,
- Daha kalın yalıtım
- Alüminyum alaşımlı parçalar ile çelik kısım arasına ısı kırıcı paslanmaz çelik konmaktadır. Paslanmaz çeliğin normal çeliğe göre ısı iletkenliği daha düşük olması nedeniyle ısı kayıpları azalır.
- Kapasitenin artması

Yeni trendin daha büyük LNG gemilerine doğru kayması nedeniyle yapımçı firmalar 200000 m³'ün üzerinde kargo kapasiteli Moss-Rosenberg tipi yeni jenerasyon gemi dizaynı yapmaktadırlar (

Şekil 1.5)



Şekil 1.5 : Yeni Nesil Moss-Rosenberg Tipi Bir Gemi Dizaynı

Bu yeni konsept dizaynının temel karakteristikleri şu şekildedir;

- Kürelerin çaplarında olabildiğince esneme yapılabilir, ancak küreler belli bir çapa ulaştığında kargo kapasitesini arttırmanın tek yolu 4 tanktan 5 tank konfigürasyonuna geçmek olur.
- Makine dairesi alanını ve yakıt tüketimini oldukça düşüren Dizel-Elektrik Takat Sistemi ile adaptasyonu çok iyidir.
- Gaz kaçağını minimuma indirir.

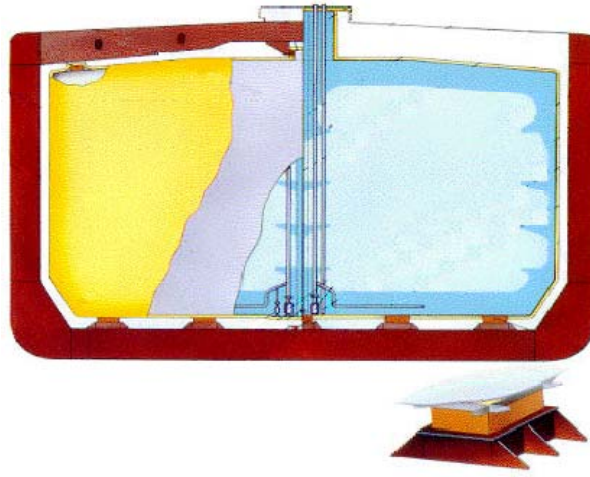
1.2.3 Tip “B” Prismatik Tanklar

Bu tanklara aynı zamanda da SPB (Self-supporting Prismatic shape IMO Type B Tank) adı da verilir. Bu tip tanklarda sıvı doğal gaz atmosferik basınca yakın bir basınçta depolanır. Tanklar gemiye çepeçevre desteklerle sabitlenmiştir. Destekler geminin hareketi nedeniyle tanklarında hareket etmesini engeller ve aynı zamanda yükün alınıp boşaltılması sırasında tanklarda meydana gelen genişleme ve daralmaların gemiye zarar vermesini engeller.

Şekil 1.6’da bir SPB gemisinin resmi, Şekil 1.7’de ise bir SPB tankının tipik yerleşimi görülmektedir.



Şekil 1.6 : Bir SPB Gemisi



Şekil 1.7 : Bir SPB Tankının Yerleşimi

Tanklar boydan boya ayrılmış iki ayrı tanktan oluşmaktadır. Tankların arasında pompa sistemi bulunmakta, bu sistemle tanklar arasında yük eşitlemesi otomatik olarak yapılabilmektedir. Bu düzenek sayesinde tanklar istenilen seviyede doldurulabilmektedir.

Bu güne kadar sadece iki gemi bu sistemle inşa edilmiş olmasına rağmen, gelecekte 250000 m³ kapasiteli büyük gemilerde kullanılması muhtemel bir sistemdir. Daha büyük gemilerde kullanılabilecek olmasının nedenleri şu şekildedir;

- Genel olarak prizmatik tank dizaynı diğer dizaynlara göre daha iyi ölçeklendirilebilir.
- Tankın iç yapısı sıvı yükün çalkalanma problemini en aza indirecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu nedenle kısmi yükleme ve birden çok limana yük boşaltma işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

SPB tanklarının dizaynında yapılmasının düşünüldüğü değişiklikler ise şu şekildedir;

- Alüminyum yerine 304 paslanmaz çelik kullanılması. Paslanmaz çelik alüminyuma göre daha büyük bir güce sahip olmasının yanında düşük sıcaklıklarda ısıyı tutan bir yapıya sahiptir.
- Tankların toplam ağırlığı 3500 ton olacaktır. Tanklar modüler sistemle dört ya da altı parça olarak inşa edileceklerdir.
- Daha fazla bilgisayarlı analiz sistemleri tanklara uygulanacaktır.

1.2.4 Tip “C” Tankları

Genel kanı olarak Tip “C” tankları LNG taşımacılığı için uygun değildir. Bununla beraber Japon Kawasaki firması tarafından ufak miktarlardaki LNG’yi kısa mesafelerde taşımak maksadıyla Tip “C” tanklı LNG gemisi inşa etmiştir. (Şekil 1.8)



Şekil 1.8 : Tip “C” Tanklı Bir LNG Gemisi

Kargo tankları IGC Code ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Tip “C” Tankları için IGC Code tarafından ikinci bariyer şartı getirilmediği için bu tanklarda ikinci bariyer bulunmamaktadır. Bu tip gemilerin en belirgin özelliği gaz kaçağının bulunmamasıdır. (Şekil 1.9)

Yükleme ve yolculuk esnasında sıcaklık nedeniyle oluşan gazın tamamen kargo tankı içinde kalacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu nedenle tanklar basınca dayanıklı olarak imal edilirler. Yolculuk sırasında oluşan sıcaklık yükleme/boşaltma işlemi sırasında tahliye edilir.

Bu düzenleme USCG kurallarına uygun değildir.

İkinci bariyer;

- 15 günlük bir periyot süresince sıvı kargonun sızıntısına mani olur.
- Birinci bariyerden sızıntı olması durumunda gemi yapısında hasar verebilecek bir ısı düşüşünü engeller.
- Birinci bariyerde meydana gelebilecek herhangi bir arızada ikinci bir koruma sağlar.

Sistem aşağıda belirtilen gerilimlere maruz kalmaktadır:

- Düşük sıcaklık nedeniyle meydana gelen termal stres,
- Gemi yapısından meydana gelen stresler,
- Lokal stresler,
- Kargo ve balast suyunun yer değiştirmesi,
- Sıvı kargonun yüzeyinde bulunan boşlukta meydana gelen çok yüksek basıncın etkisi.

130000 m³ kapasiteye sahip 280 m uzunluktaki bir gemi için, seviye farkları bir metreyi bulabilmektedir.

Bununla beraber sıvının $\frac{3}{4}$ 'lük bir ileri hareketi, kargo tanklarının alabandalarına uygulanan gerilim nedeniyle sualtı karinasında burulma olasılığını arttırmaktadır. Bu problem geniş kargo alanları nedeniyle Moss Rosenberg gemileri için daha fazla geçerlidir.

Denizde geminin kombine hareketi nedeniyle 1,6 ila 1,8 G kuvvetinde bir gerilim oluşmaktadır. Bu gerilim geminin karinasında hidrodinamik bir basınç yaratmaktadır. Bu basınç su altında 3,5 kg/cm² ye kargo tankında ise 3 kg/cm² ye ulaşmaktadır. Bu miktarlardaki basınç tanklarda birkaç milimlik deformasyonlara neden olmakta, geniş alanlarda ise bu deformasyon birkaç santimetreyi bulmaktadır.

Gemi yapısal olarak dizayn edilirken maruz kalınan stres limitini, izolasyon sisteminin kabul edebildiği limitler içinde tutmaya çalışılır.

Son 30 yılda membran LNG gemilerinin taşıma kapasiteleri 125000 m³'den 150000 m³'e çıkmıştır. Bu %20'lik kapasite artışı bir defada olmamış, sırasıyla 130000 m³, 135000 m³, 138000 m³, 145000 m³ gibi azar azar artışlarla meydana gelmiştir. Yeni

jenerasyon LNG gemilerinin kapasiteleri ise 265000 m³ e ulaşmıştır. Bu yüksek kapasiteler nedeniyle günümüz prosedürlerinin tamamen değişmesi gerekmekte ve yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

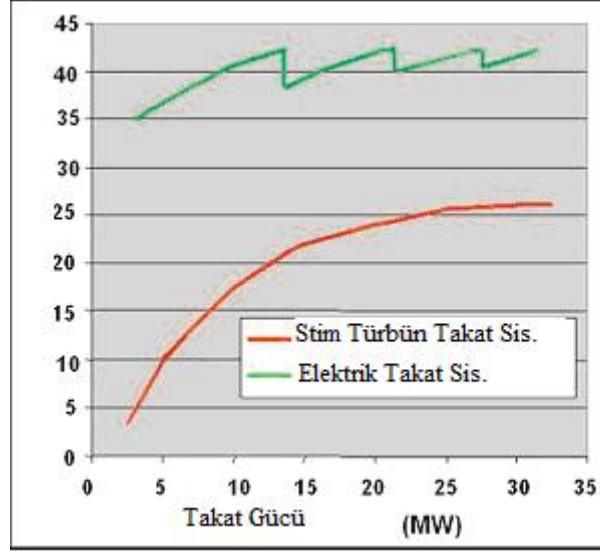
1.3 LNG Gemilerinin Tahrik Sistemleri

Geleneksel olarak LNG gemilerinde, basit ve güvenilir olduğu için stim türbünlü makinalar kullanılmaktaydı. Bununla beraber göreceli olarak tahrik sisteminin düşük verimliliği (<30%) ve gelecekte gemilerin büyüklüklerinin artacak olması nedeniyle alternatif tahrik sistemlerinin araştırılmasına başlanmıştır. Elektrik tahrik sistemi, bu araştırmalar neticesinde yüksek verimliliği nedeniyle ($\approx 42\%$) cazibeli bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

Geçtiğimiz yıllarda kargo elleçleme sistemi için oluşturulan güç yapısı kargo pompalarının ihtiyacı olan gücün artması ve gemilerin boyutlarının büyümesi nedeniyle 440 V sisteminden, orta seviye bir voltaj sistemine (3,3 kV ya da 6,6 kV) değişmiştir. Hem gaz hem de dizel yakıt kullanabilen çift yakıtlı makinaların geliştirilmesiyle, elektrik takat işletme maliyetlerinin düşmesi, kargo kapasitesinin ve verimliliğin artması nedeniyle cazibeli bir çözüm halini almıştır. Buharlaştırılmış gaz (BOG-Boiloff Gas) direkt olarak orta süratli makinalarda kullanılmakta ve meydana gelen takat gücü, elektrik gücüne çevrilerek şarflara iletilmektedir. Bu takat sisteminin seçilmesinin diğer temel kriteri de, takat sisteminin elde edilebilir ve güvenilir olmasıdır. LNG gemileri sabit programa göre uzun mesafeli çartır seferler yapar. Bu nedenle programın zamanlamasında bir aksama olmaması çok büyük önem taşımaktadır.

Gaz türbünlerinin ya da dizel makinaların çalıştırdığı jeneratörlerin ürettiği elektrik takat değişik tip ve konfigüreasyonlarda yüzlerce gemide kullanılmaktadır. Elektrik Takat Sistemleri için temel argümanlar aşağıda açıklanmıştır.

Takat Verimliliği : DF (Dual Fuel – çift yakıt) makinalarının verimliliği ortalama olarak %47 olarak belirlenmiştir. %8-10 arasında bir transfer kaybı da göz önüne alınırsa yakıt tüketimi ile şafta gelen güç arasındaki fark hesaplandığında verimliliğin %43 dolaylarında olduğu görülmektedir. Stim takat ünitesinin verimliliği hesaplandığında ise verimliliğin %30'dan daha az olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 1.11 verimlilik oranlarını göstermektedir.



Şekil 1.11 : Verimlilik Oranları

Toplam Güç : Günümüzde konvansiyonel LNG gemilerinde kargo yükleme/boşaltma faaliyetleri için 3-4 yardımcı makine bulunmakta olup toplam güç 10-12 MW arasındadır. Bu gücün çok büyük bir kısmı terminalde yükün boşaltılması esnasında kullanılmaktadır.

Elektrik takatli gemilerde genel güç kullanımı; hem takat sistemi hem de yük boşaltma sistemi tek bir kaynaktan beslenir. Bu durumda da boşaltma sistemi ile takat sisteminin ayrı zamanlarda kullanılması nedeniyle toplam güç ihtiyacı büyük oranda düşmektedir. Örnek olarak; 26 MW takat gücü ile 10 MW yük boşaltma gücüne ihtiyaç duyan stim türbünlü bir LNG gemisi 39 MW lık bir toplam güce (%10 türbün kaybı) ihtiyaç duymaktadır. Aynı tip elektrik takatli bir LNG gemisi ise 35 MW'lık bir güce ihtiyaç duymaktadır. Buda %11'lik daha az güce ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir.

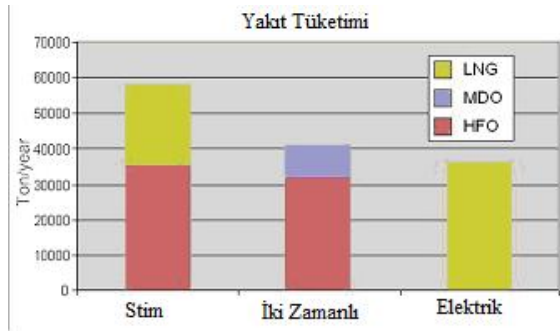
Elektriki Hız Kontrol Mekanizması : Pratik olarak elektrik motorunun herhangi bir tork sınırlaması bulunmamaktadır. Takat sistemlerinin mekanik parçalarının yüksek torklardan korunabilmesi maksadıyla bir konverter tarafından tork, hız ve güç artış ve düşüşleri kontrol altında tutulmaktadır.

Yedekleme : İnşaa esnasında elektrik güç üretiminde ve dağıtımında yedek sistemlerin kurulması gerekmektedir. Klas kuruluşlarının herhangi bir ortak standardı olmamasına rağmen tüm klas kuruluşları değişik oranlarda yedeklemeyi zorunlu tutmaktadır. 2 elektrik motoru sayesinde %50 oranında yedekleme yapılabilceği

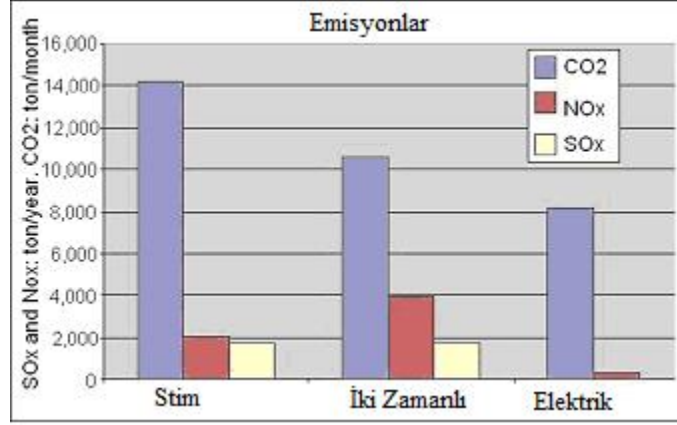
hesaplanmaktadır. Bu durumda 2 ayrı bölünmüş kontrol panosu (split switchboard) sayesinde kesintisiz güç yedeklemesi yapılabilmektedir. Bu yedekleme konsepti sayesinde elektrik sisteminin birinde meydana gelebilecek bir arıza durumunda herhangi bir kayba uğramadan işleme devam edilebilecektir.

Dizel Mekanik Sistem : İki zamanlı motora sahip ve sabit piç açılı pervaneli (FPP-Fixed Pitch Propellers) dizel mekanik sistemler gelecekte LNG gemileri için alternatif bir takat sistemi olmaya adaydır. Bu takat sistemi diğer kimyasal tanker filosunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Takat için iki zamanlı makinaların kullanılması BOG'un kullanılarak yeniden sıvılaştırılmasını öngörmektedir. Buda güç kapasitesinde ek bir artışın olması demektir. Bu artış seyir halinde iken ortalama olarak 5 MW olarak hesaplanmaktadır.

İki zamanlı makinaların titreşim seviyeleri diğer ilk hareketi dört zamanlı makinalardan alan konvansiyonel sistemlere ve elektrik sistemlerine nazaran daha yüksektir. Şekil 1.12 ve Şekil 1.13 çift yakıtlı elektrik takat sisteminin avantajlarını açıkça göstermektedir.



Şekil 1.12 : Yakıt Tüketimi



Şekil 1.13 : Emisyonlar

1.4 LNG Gemilerinin Sertifikasyonu

Tüm gemilerde olduğu gibi LNG gemilerinde de Denize Elverişlilik Belgesi, Gemi Tastiknamesi, Fribord Belgesi, Tonaj Belgesi gibi bir çok sertifikaya ilave olarak aşağıdaki sertifikaları bulundurulmasının gerekliliği vardır.

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

- ITC (Uluslararası tonaj Sertifikası - International Tonnage Certificate)
- Yük Kaldırma Teçhizatları Listesi
- IGC (Yük Olarak Sıvılaştırılmış Gaz Taşıyıcıları İçin Uluslararası Uygunluk Sertifikası – International Certificate of Fitness for Carriage of Liquefied Gases in Bulk)
- IAS (Uluslararası Antifoiling Sistemi – International Anti-fouling System)

1.5 LNG Tehlike eşitleri

1.5.1 Parlayıcılık

Sıvı haldeki LNG ne yanıcıdır, ne de patlayıcıdır. LNG’nin temel bileşeni olan metan, renksiz, kokusuz, tatsız ve insan için boğucu bir özelliğē sahiptir. LNG su gibi bir ısı kaynağıyla temasa geçtiğinde her bir metreküplük sıvı 620/630 metreküp doğalgaz haline gelir.

Suya döküldüğünde; LNG negatif olarak yüzen bir gaz bulutu haline gelir. (Soğuk gaz havadan daha ağır olduğndan suyun ya da karanın üzerinde kalır) Bu bulut hava ile karıştığında ısınır ve atmosfere yayılır. Eğē parlamazsa, yanıcı gaz bulutu yanabilirlik oranının altına inene kadar rüzgar yönünde rastgele sürüklenir. %5’lik havadaki gaz oranında, LNG En Düşük Yanabilirlik Limitindedir. (LFL – Lower Flammability Limit). Bu gaz/hava oranının altında, bulut yanmak için çok seyrektr. %15’lik havadaki gaz oranında, LNG En Yüksek Yanabilirlik Limitindedir. (UFL – Upper Flammability Limit). Bu gaz/hava oranının üstünde, bulut yanmak için çok yoğundur [2].

1.5.2 Yanma

Yanma oksijenle kimyasal reaksiyona girmektir. Yanma kaynağıyla etkileşime girilen reaksiyon süresince, yanıcı gaz, ısı, karbondioksit ve su buharı içeren atmosferde bulunan oksijenle reaksiyona girer.

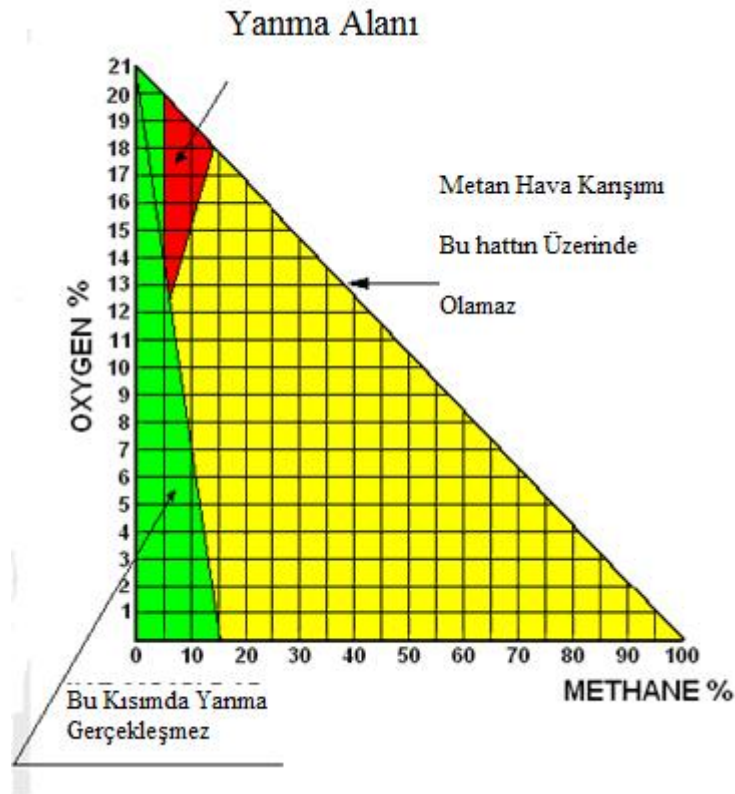
1.5.3 Yanma Mesafesi

Yanma mesafesi gazın yanabilmesi için havadaki gaz karışımının minimum ve maksimum miktarını gösterir. Alt limit, bir yanmanın başlayabilmesi için gerekli

olan minimum gaz miktarını vermektedir ve genellikle LFL ile tanımlanır. Üst limit ise, yanmanın başlayabilmesi için gerekli olan maksimum gaz miktarını vermektedir ve UFL ile tanımlanır. Bazı gazların LFL ve UFL miktarları aşağıda olduğu gibidir;

- Metan %5,3 - 14
- Propan %2,1 - 9,5
- Etilen %3 - 34
- Etilen Oksit %3 - 100

Yukarda verilen değerler, atmosferde %21 oranında oksijen bulunduğu varsayılarak belirlenen değerlerdir. Atmosferdeki oksijen miktarı değişirse, tabii ki yukarıdaki değerlerde değişir. Şekil 1.14 atmosferdeki tüm oksijen oranları (%0-21) için metanın yanma mesafesini göstermektedir.



Şekil 1.14 : Metanın Yanma Mesafesi

1.5.4 Parlama Noktası

Bir sıvının parlama noktası, sıvının hava ile yanıcı bir karışım meydana getirebilecek yeterli gazı üretebileceği en düşük sıcaklıktır. Bu sıcaklık çok küçük de olabilir.

Mesela; metan için bu sıcaklık -175 °C, propan için ise -105 °C'dir. Sıvılaştırılmış gazlar parlama noktasının üzerinde bir sıcaklıkta taşınırlar bile, tankın içindeki atmosfer yeterli orana oluşmadığı için yanma gerçekleşmez.

1.5.5 Kendi Kendine Ateşlenme Sıcaklığı

Kendi kendine ateşlenme sıcaklığı, bir yanıcı gaz hava karışımının kendiliğinden oluşup yanmanın başlayacağı sıcaklıktır. Bir gazın kendi kendine ateşlenme sıcaklığını bilmek çok önemlidir. Bazı gazların kendi kendine ateşlenme sıcaklığı aşağıda olduğu gibidir:

- Metan 595 °C
- Isoprene 220 °C
- Asetaldehit 165 °C

1.5.6 Minimum Yanma Enerjisi

Minimum Yanma Enerjisi, yanıcı bir karışımın yanmaya başlayabilmesi için gerekli olan enerjidir. Metanın minimum yanma enerjisi 0,0002 kaloridir.

1.5.7 Sızıntı

Kap içinden atmosfere sıvı gaz çıkar çıkmaz, buharlaşması için gereken ısıyı havadan alarak buharlaşıp ortamı serinletmiş olur. LNG'nin sızıntısı aşağıdaki tehlikeleri doğurmaktadır:

- Sızıntı süresince oluşacak gazın yangın çıkartması
- LNG sızıntısı ile temas eden gemi yapısında çatlakların oluşması
- Gemi personelinin LNG ya da gaz bulutuyla kontak kurması

LNG gemisinde bir sızıntı tespit edildiğinde öncelikli olarak aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

- Sızıntı kesilmeli
- Sıvı ve gazla kontak kurmaktan kaçınılmalı
- Yanıcı her türlü madde ortamdaki uzaklaştırılmalı
- Sızıntının olduğu bölge bol su ile yıkanmalıdır [4].

1.5.8 Polimerizasyon

Bazı maddeler başka maddelerle temasa geçtiğinde monomer birimlerinden başlayarak polimer birimlerinin oluşmasına yol açan reaksiyonlara uğrar ve etkileşime girer. Bu etkileşim esnasında çok büyük enerji meydana gelir ve bu enerji büyük tehlikeler yaratır. Metan için böyle bir risk yoktur.

1.5.9 Zehirlilik

Bazı gazlar zehirlidir. Çünkü bu gazların kimyasal özellikleri sağlığa kalıcı zararlar verebilecek özelliğe sahiptir. Bu etkiler deriyle temas etmekle meydana gelebileceği gibi nefes yoluyla da olabilmektedir. Metan zehirli olmayan bir gazdır.

1.5.10 Boğucu Özelliği

Boğulma, insan için gerekli olan oksijen miktarının bulunmaması durumunda meydana gelir. Bir gazın zehirli olup olmaması boğuculuğuyla ilişkili değildir. Örneğin, CO₂ zehirli olmayan bir gazdır, ancak havadan daha ağır olması nedeniyle boğuculuk özelliği olarak çok tehlikeli bir gazdır.

1.5.11 Bayılma Özelliği

Bir insan bazı gazları (örneğin etilenoksit) soluduğu zaman, bu gazların sinir sistemini etkilemesi nedeniyle bilincini yitirebilir.

1.5.12 Soğuk Isırması

Çok soğuk sıvılarla, gazlarla, izole edilmemiş borularla yada ekipmanlarla direkt temas edildiğinde, akciğerler ve gözler gibi bazı organlarda kalıcı hasarlar verebilen soğuk yanıkları oluşabilir.

1.5.13 Sıvı İle Temas Etmek

Sıvının deri ya da gözler ile temas etmesi durumunda, soğuk ısırması olur ve o bölgede yara oluşur.

Bu durumda tıbbi yardım şarttır. Bununla beraber, doktor çağrılmadan önce hemen yapılması gereken bazı işlemlerde vardır. Bunlar;

- **Sıvının Deriyle Teması Durumunda;** Sıvı ile temas eden kıyafetler çıkarılır. Soğuk ısırığı oluşan bölge sıcak suyla yıkanır.

- **Sıvının Göze Temas Etmesi Durumunda;** Gözler tatlı ya da deniz suyuyla en az 15 dakika yıkanmalıdır. Gözleri açık tutmak için her türlü girişim yapılmalıdır.

1.5.14 Gazın Teneffüs Edilmesi

LNG gazının teneffüs edilmesi durumunda, boğulma, baş ağrısı, baş dönmesi ve rahavet hissi meydana gelir. Gaz eğer soğuksa, sıvı ile temas durumunda meydana gelen etkilerin aynı oluşabilir, daha da önemlisi akciğerler hasar görebilir. Eğer birisi LNG gazını teneffüs ederse, muhakkak bu kişiye tıbbi yardım gereklidir. Bununla beraber, hemen yapılması gereken bazı işlemlerde vardır. Bunlar;

- Etkilenen personel hemen açık havaya çıkartılır
- Eğer nefes alışı durmuşsa ya da çok düşükse, suni teneffüs yapılır.

1.5.15 Karışım

Değişik yoğunluklu sıvıların aynı tankta bulunması durumunda yoğunluk farkları bulunan iki sıvı etkileşime girebilir ve bunun sonucunda da ısı meydana gelebilir. Bu olay daha çok kara tesislerinde bulunan LNG tanklarından gemi tanklarına yük alınırken meydana gelebilir. Farklı zamanlarda yüklenmiş LNG yüklerinin yoğunluğu da farklı olur. Bu nedenle iki LNG yükünün bir tanka alınması durumunda reaksiyon gerçekleşebilir.

1.5.16 Soğuk

Soğuk LNG taşımacılığıyla alakalı olan en büyük tehlikelerden biridir. Çok düşük sıcaklıklarda, gemi yapımında kullanılan çelik kırılgan bir hale gelebilmekte , bu da gemi için tehlike yaratmaktadır[4].

1.5.17 Korozyon Etkisi

LNG gemileri, LNG'nin gemi ile irtibat etmesini engelleyecek şekilde dizayn edilmiştir. Ancak, oluşabilecek bir kaza nedeniyle LNG'nin gemi ile irtibat etmesi durumunda gemi yüzeyine zarar verebilir.

Lloyds, 1965-1989 tarihleri arasında meydana gelen 10 LNG sızıntısının analizini yapmıştır. Bu analiz sonunda, on sızıntının yedisinin tankta ya da güvertede meydana gelen çatlaklardan meydana geldiği tespit edilmiş, ancak bu sızıntıların gemiye çok büyük hasar vermediği görülmüştür. Bununla beraber 1976 yılından sonra inşa edilen

gemilerde sızıntının olabileceği bölgeler düşük sıcaklığa dayanıklı materyallerden yapılmaktadır [5].

1.5.18 Terörizm

Yüksek miktarlarda enerji depolanması nedeniyle, LNG gemilerinin ve LNG terminallerinin teröristlerin hedefi olması muhtemeldir. Ancak herhangi bir terörist saldırısı durumunda hiçbir zaman büyük bir patlama olmayacak, sadece yangın çıkacaktır. Eğer bir uçak herhangi bir LNG tesisine çarparsa, sadece uçakta bulunan yakıt nedeniyle bir patlama olur, daha sonra geniş çaplı bir yangın çıkabilir. Bunun önlenmesi için de emercensi yangın tespit ve korunma yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Yaşam alanlarının yangınlardan etkilenmemesi için tesislerin yaşam alanlarının dışında kurulması gerekmektedir. Bu mesafe en kötü durum senaryosuna göre hesaplanıp uygulanmalıdır.

Tüm dünyadaki terörizm riski göz önüne alındığında LNG tesislerinin ve LNG gemilerinin terörist saldırıya uğrama olasılığı diğer gemilerin (petrol tankerleri, yolcu gemiler vs.) terörist saldırılara uğrama olasılığıyla eşit düzeyde olduğu görülmektedir.

1.5.19 Depremler

LNG tesislerinin yapım aşamasında, inşa edileceği bölgenin sismik araştırmalarının çok iyi bir şekilde yapılması ve bu araştırmalar neticesinde çıkacak sonuçlara göre tesislerin inşa edilmesi çok önemlidir. Bu güne kadar inşa edilen LNG tesislerinin çok ciddi çalışmalar sonunda kurulması neticesinde, sismik hareketler nedeniyle zarar gören bir LNG tesisi kayıtlarda yoktur. Dünyanın en büyük LNG kullanıcı ülkesi olan ve bu nedenle ülkesinde birçok depolama tankı bulunan Japonya, aynı zamanda da dünyada sismik hareketliliğin en fazla olduğu ülkelerden biridir. 1995 yılında Japonya'nın Kobe kentinde meydana gelen 6,8 şiddetindeki depremde dahi Kobe'de bulunan hiçbir LNG depolama tesisinde zarar meydana gelmemiştir [6].

1.6 Büyük LNG Olayları

Raporlara göre, 60 yıllık endüstri yaşantısında, dünya genelinde LNG sızıntısıyla sonuçlanan sekiz deniz olayı meydana gelmiştir.

LNG yükü ile alakalı yangın rapor edilmemiştir. LNG gemilerinin dizaynı LNG yükleme tanklarında oluşabilecek hasarlara mani olmaya katkıda bulunan bir faktördür. 1944 Cleveland yangını haricindeki bütün LNG bağlantılı hasarlar bir LNG tesisinde meydana gelmiştir. LNG gemilerin bünyesinde ölümlü hiçbir kaza gerçekleşmemiştir. 1979'da meydana gelen Cove Point olayından beri ABD'de LNG ile alakalı ölüm ya da ciddi olay gerçekleşmemiştir. Aşağıda LNG tesislerinde meydana gelen olayların genel bir anlatımı yapılmıştır [7].

1.6.1 Cleveland, Ohio, 1944

1939'da West Virginia'da ilk ticari LNG tesisi inşa edilmiştir. 1941'de ise Cleveland kentinde ikinci tesis inşa edildi. Tesisin daha büyük bir tankla büyütülmesine karar verildiği 1944 yılına kadar tesiste herhangi bir olay gerçekleşmemiştir. 2.Dünya Savaşında paslanmaz çelik sıkıntısı yaşandığı için yeni tank dizaynında bazı kısıntılar yapılmıştır. Tank hizmete girdikten kısa bir süre sonra arıza yaptı. Gaz sızıntısı sonucu meydana gelen gaz bulutu bütün çevre caddeleri ve kanalizasyon sistemini sardı. Kanalizasyon sisteminde bulunan gaz bulutu alev aldı. Cleveland olayı, meskun mahallerde yaşayan 128 kişinin ölümüyle sonuçlanmıştır.

1.6.2 Staten Adası, New York, Şubat 1973

Şubat 1973'de Staten Adasında bulunan tesiste LNG'nin neden olmadığı bir olay gerçekleşmiştir. Şubat 1972'de, operatörler tarafından, tankta meydana gelebilecek olası bir sızıntı beklentisi ile tank hizmet dışına çıkartıldı. Derhal tank boşaltıldı, Balatalarda yırtıklar tespit edildi. Balataların onarılması sırasında ise yangın çıktı. Yangın sonucunda tanktaki sıcaklık yükseldi ve 15 santim kalınlığındaki beton tavanı havaya uçurmaya yetecek basınç oluştu. Havaya uçan betonlar tankta çalışanların üzerine düştü ve 40 kişinin ölümüne neden oldu.

1.6.3 Cove Point, Maryland, Ekim 1979

Ekim 1979'da Cove Point'te bir elektrik trafosunda patlama meydana geldi. LNG elektrik pompa contasının yetersiz sıkıştırılması neticesinde meydana gelen LNG

sızıntısı sonrası gaz haline gelen LNG elektrik kablo kanalından 60 metre yerin altında bulunan trafoya vardı. Burada gaz olabileceği hiçbir zaman beklenmediği için gaz dedektörü takılmamıştı. Bir devre kırıcının kıvılcım çıkarması sonucu doğalgaz-hava karışımının ateş almasına ve sonunda da bir patlamaya neden olmuştur. Patlamada binada bulunan bir operatör ölmüş, ikinci bir operatör ciddi bir şekilde yaralanmış ve 3 milyon dolarlık bir hasar meydana gelmiştir.

1.6.4 LNG Otobüs Kazası

1992’de hizmete giren 23 metre uzunluğunda LNG yakıtı yakan bir otobüste metan patlaması meydana gelmiştir. Otobüs yeni hizmete girmiş ve üzerinde henüz testler devam etmekteydi. Üretici firma doğal gaz kaçağını haber veren sesli gaz dedektöründe bir arıza tespit etti. Sürekli yanlış alarm vermesini engellemek için gaz dedektörü onarılan kadar devre dışı bırakıldı. Bu esnada meydana gelen doğalgaz sızıntısı kimsenin farkına varmamasına rağmen otobüsün içine doldu. Şoförün arabayı çalıştırmasıyla büyük bir patlama meydana geldi. Patlama sonucunda otobüsün bütün camları patlamış, tavanı havaya uçmuş ve şoför ciddi bir şekilde yaralanmıştır [8].

1.6.5 LNG Gemi Kazaları

Ek-A’da dünya geleninde meydana gelen LNG kazalarının kronolojik bir listesi verilmektedir.

1.7 Düzenlemeler, Standartlar Ve Deniz Güvenliği İle İlgili Kurallar

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

IMO bugüne kadar 40 konvansiyon ve protokol yayınlamıştır. Bunların arasında Yük Olarak Sıvılaştırılmış Gaz Taşıyan Gemilerin İnşası ve Donatılmasına Dair Uluslararası Kurallar (IMO Gas Code) ve Denizde Tehlikeli Yük Taşıma

Uluslararası Kuralları bulunmaktadır. LNG gemilerinin ve işletmelerinin güvenliği ile ilgili olarak 2003 yılında, 1974 Denizde Can Güvenliği Uluslararası Konvansiyonu'nun (SOLAS) eki olarak Uluslararası Gemi ve Liman Güvenliği (ISPS) Kuralları yayınlandı [9].

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

- **Gemilerin zorunlulukları;**
 - o Otomatik Tanımlama Sisteminin (AIS) bulunma zorunluluğu
 - o IMO gemi tanımlama numarasının görünür yere asılması
 - o Bir gemi güvenlik ikaz sisteminin olması
 - o Bir gemi güvenlik subayının görevlendirilmesi, ve
 - o Bir gemi güvenlik planının oluşturulması ve uygulanması.
- **Gemi Operatörlerinin Zorunlulukları ;**
 - o Bir şirket güvenlik subayının tayin edilmesi,
 - o Bir gemi güvenlik ihtiyaçlarının belirlenmesi,
 - o Güvenlik tatbikatları ve eğitimlerinin yapıldığının kontrolünü yapmak,
 - o Uygun kaynaklar oluşturmak.
- **Limanlardaki Zorunluluklar;**
 - o Liman tesislerinin güvenlik ihtiyaçlarının belirlenmesi,
 - o Liman güvenlik planının geliştirilmesi, ve
 - o Bir liman tesisleri güvenlik subayı tefrik edilmesi.

1.7.1 Klas Kuruluşlarının Gemi Dizayn Standartları

Klas kuruluşları bağımsız teknik organizasyonlardır. Gemilerin dizayn, inşa ve periyodik bakım standartlarını belirler ve bu konularda uluslararası kuralların ve ticari dokümanların oluşturulmasına ve sigorta işlemlerinde temel teşkil etmesine

yardımcı olur. Bir geminin sınıflandırılması, o geminin yapısal ve mekanik aksam olarak yolcu ve yük taşıyabileceği konusunda satıcılara, gemi sahiplerine ya da diğer ilgili kişilere resmi bir belge sağlamaktadır. Klas kuruluşları tarafından verilen belgeler, belgenin verildiği tarihte geçerlidir ve genellikle belli bir süresi vardır. Verilen raporların belli aralıklarla tekrarlanması gerekmektedir. Klas kuruluşları arasında koordinasyonu sağlayan Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği (IACS-The International Association of Classification Societies) aynı zamanda klas kuruluşlarına teknik destek sağlamaktadır. Dünya ticaret filosunun %90'ı, IACS üyesi on kuruluş ve iki ortak üye tarafından klaslanmaktadır. IACS üyesi kuruluşlar ve eğer varsa klasladıkları LNG gemisi sayısı aşağıda olduğu gibidir;

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

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

1.7.2 Lloyd's Register

Lloyd's Register, mevcut klas kuruluşlarının en eskisi olmakla beraber LNG gemileri açısında lider klas kuruluşlarında biridir. Dünya genelinde hizmet veren LNG gemi filosunun %37'si Lloyd's Register tarafından klaslanmış olup halen yeni inşa edilmekte olan LNG gemilerinin ise %60'ı Lloyd's Register'ın klas standartları ile inşa edilmektedir [10].

1.7.3 Det Norske Veritas

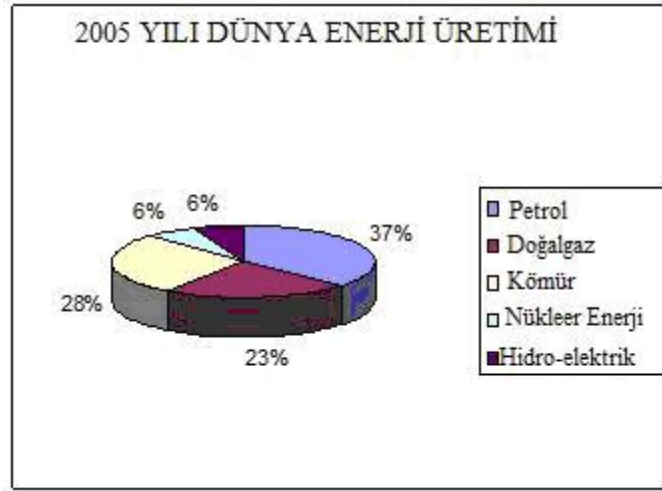
Det Norske Veritas (DNV) kuruluşunun ana amacı üyelerinin risklerini azaltarak, kalite, güvenlik ve çevre performanslarını artırıcı önlemleri olmalarını sağlamaktır. DNV Uluslararası Gemi Sertifikası yayınlayan ilk klas kuruluşu olmuştur. (1 Temmuz 2004'ten itibaren, bütün gemiler yeni ISPS Code gereği bu sertifikayı almak zorundadır). Bu sertifikayı DNV 1 Temmuz 2003 yılında vermeye başlamıştır [11].

1.7.4 American Bureau of Shipping

American Bureau of Shipping (ABS) denizdeki ve karadaki petrol ve gaz endüstrisi için risk değerlendirmeleri için uygulamalar yapmaktadır. ABS'in aynı zamanda LNG terminalleri için de çalışmaları vardır [12].

2. DÜNYA ENERJİ PİYASASI

Şekil 2.1, 2005 yılında dünyada enerjinin nasıl üretildiğini göstermektedir [13].



Şekil 2.1 : 2005 Yılı Dünya Enerji Üretimi

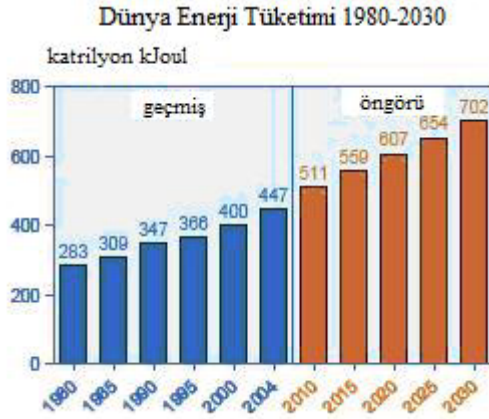
Yukarıda verilen diyagramı 1990 verilerine göre yeniden yapsaydık, şimdiki verilerle çok benzerlik yaşandığı görülecektir; Petrol %40, gaz %23, kömür %28, nükleer %7 ve hidro-elektrik %2.

Öyle görünüyor ki 15 yıllık süre zarfında üretim kaynaklarında çok büyük bir değişiklik olmamıştır. Bununla beraber dünyanın genelini kapsayan herhangi bir kalemdeki %1’lik bir değişiklik bile dikkate değer bir değişiklik olmaktadır. Yukarıdaki diyagram açıkça göstermektedir ki dünyada temiz enerji (gaz ve su) kullanım trendi artarken, kirli enerji (petrol ve kömür) azalmakta, nükleer enerji ise aynı oranda kalmaktadır.

2.1 Dünya Enerji Tüketimi

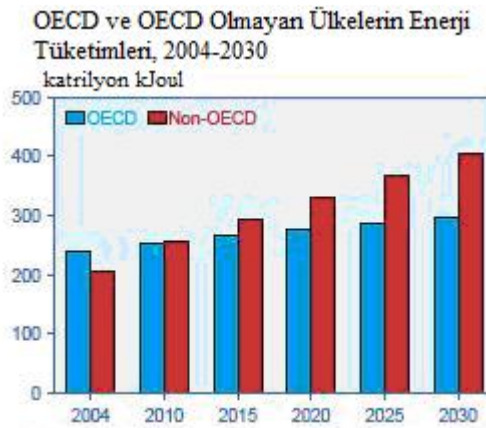
2030 yılında dünya enerji tüketiminin 2000 yılına oranla, 422 katrilyon kJ’dan 740 katrilyon kJ’a çıkarak, %75 artması beklenmektedir. Gelişen Asya ve Kuzey/Orta Amerika ülkelerinde bu büyümeye iki katını geçmesi öngörülmektedir. Bu bölgelerde

önümüzdeki 20 yıl süresince enerji talebinde yıllık %4'lük bir artış beklenmektedir. Bu artış gelişmiş ülkeler için yıllık %1.3 olarak öngörülmektedir. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 : Dünya Enerji Tüketimi

Gelecek on yıllık süre zarfında enerji ihtiyacının en hızlı artış gösterecek olan ülkeler gelişmekte olan ülkeler olacaktır. Gelişmekte olan Asya, Kuzey ve Orta Amerika Ülkelerinin ekonomilerindeki büyüme enerji tüketimindeki artışta itici bir güç olacaktır. Enerji ihtiyacındaki artışın %60'ı gelişmekte olan ülkelere, %30'u gelişmiş ülkelere, %10'u ise diğer ülkelere kaynaklanması beklenmektedir [14].(Şekil 2.3) (Şekil 2.4)



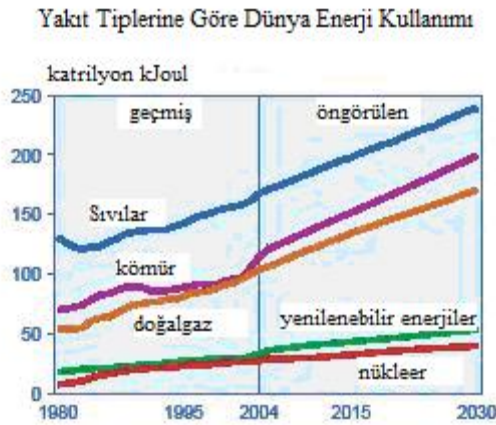
Şekil 2.3 : OECD ve OECD Olmayan Ülkelerin Enerji Tüketimleri



Şekil 2.4 : Bölgelere Göre OECD Üyesi Olmayan Ülkelerin Ekonomilerindeki Enerji Tüketimi, 1990-2030

2.2 Dünyadaki Kaynaklara Göre Enerji Tüketimi

Önümüzdeki 20 yıl süresince, temel enerji tiplerinin hepsinin tüketim miktarı artacaktır. Temel artış fosil yakıtlarda (petrol, kömür ve doğalgaz) yaşanacaktır. Bunun nedeni fosil yakıtların fiyatlarının diğer yakıtlara nazaran daha ucuz olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer çevre programları ya da hükümet politikaları temiz yakıt kullanımı ile ilgili yeni düzenlemeler yapması durumunda temiz yakıtların kullanım oranında bir artış görülebilecektir.(Şekil 2.5)



Şekil 2.5 : Yakıt Tiplerine Göre Dünya Enerji Kullanımı

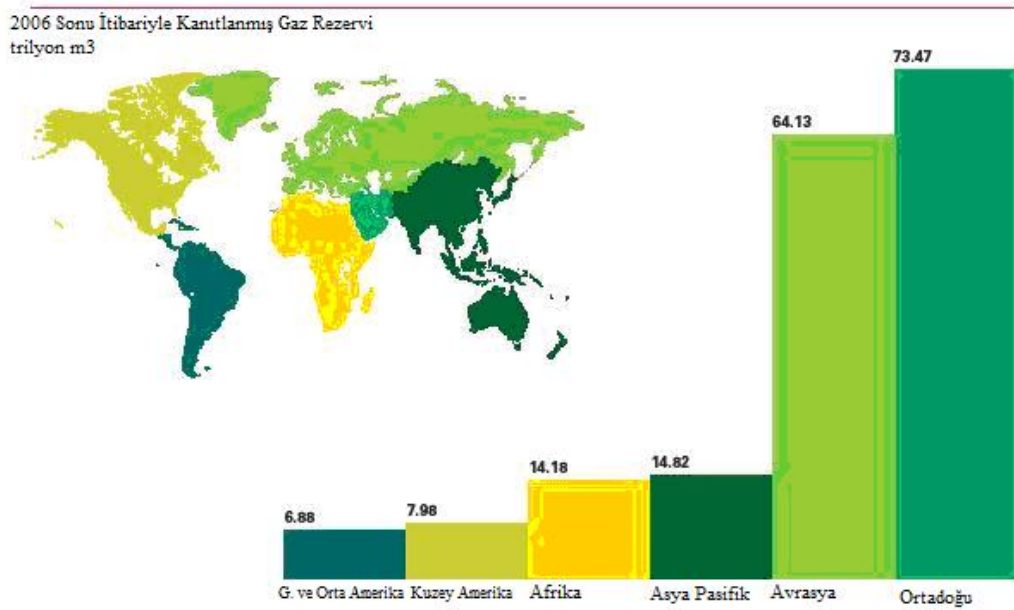
Petrol, 2030 yılına kadar toplam enerjinin %40'ını oluşturarak temel enerji yakıtı olmaya devam etmesi beklenmektedir. Bu periyot süresince dünyada petrol tüketiminde yıllık olarak %2,2'lik bir artış beklenmektedir.

Dünya genelinde en hızlı talep artışı olan yakıt ise doğalgazdır. Doğalgazdaki ortalama artış yıllık %3,2' dir. Bu rakam kömürün yıllık artışının iki katına denk gelmektedir [14].

2.3 Gaz Rezervleri

2.3.1 2006 Yılı Sonu İtibariyle Kanıtlanmış Gaz Rezervleri

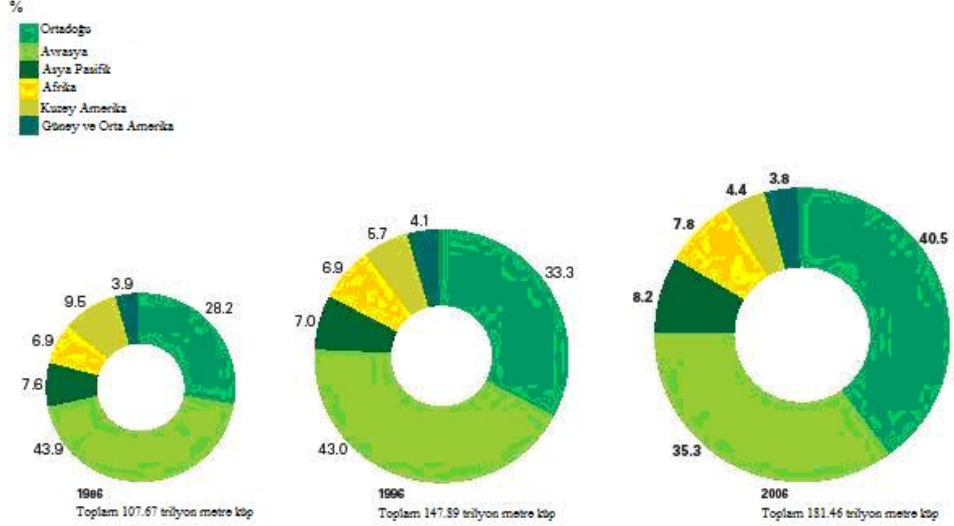
Doğalgazın çevre dostu özelliğinin olması ve doğalgaz rezervlerinin dünya genelinde yaygın olmaması nedenleri ile doğalgaz ticaretinde büyük artışlar görülmektedir. Doğalgaz anlaşmaları 20-25 yıl gibi uzun süreleri kapsayacak şekilde yapılması, doğalgazın taşınması için özellikli gemilerin inşa edilmesini kolaylaştırmıştır. Şekil 2.6'da dünya gaz rezervleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle Kanıtlanmış Dünya Gaz Rezervi

Dünya'da gaz talebinin sürekli olarak artması sonucunda yeni gaz alanlarının araştırılıp faaliyete geçirilmesi nedeniyle son yıllarda gaz rezervinde büyük bir artış gerçekleşmiştir. Şekil 2.7'de son 20 yılın gaz rezerv artışı gösterilmektedir [15].

1986, 1996 ve 2006 Yıllarında Dünya Gaz Rezervleri

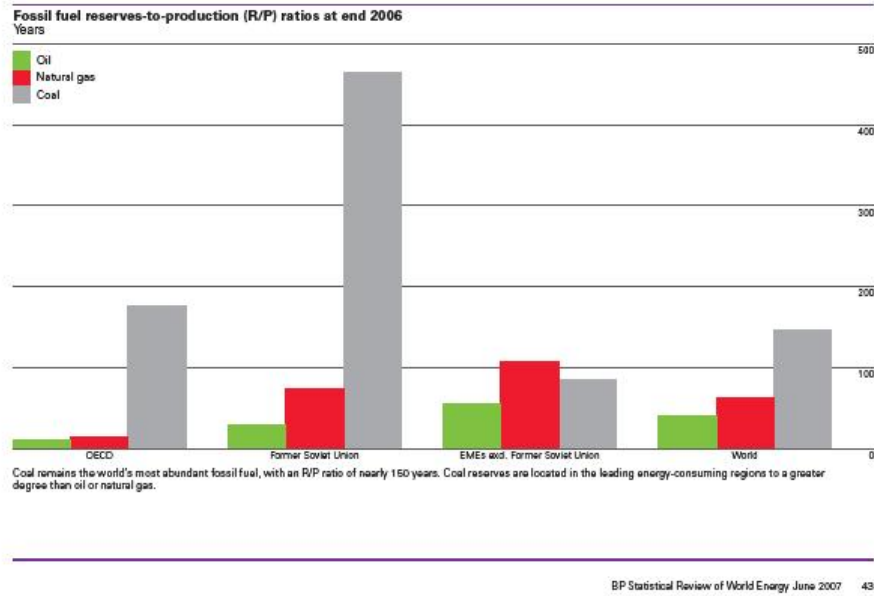


BP Statistical Review of World Energy June 2007

Şekil 2.7 : 1986, 1996 ve 2006 Yılları Dünya Gaz Rezervleri

2.3.2 2006 Sonu İtibariyle Fosil Yakıtlarda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı

Dünya’da kömürün rezervin üretimi karşılama oranı, ham petrolün beş katı, doğalgazın ise üç katıdır. Kömürün bu üstünlüğünün sebebi OECD ülkelerinde ve Eski Sovyetler Birliği’ndeki oranın çok büyük olmasından kaynaklanmaktadır. (Şekil 2.8)

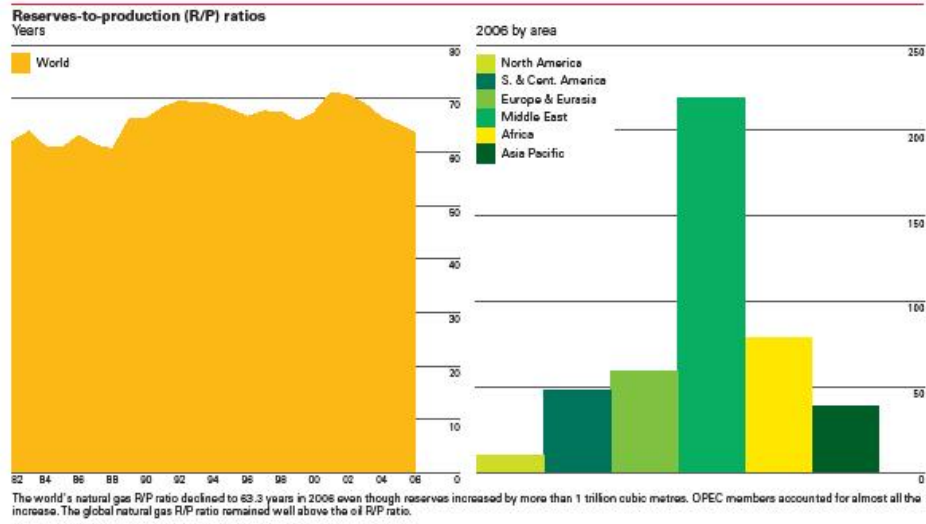


BP Statistical Review of World Energy June 2007 43

Şekil 2.8 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle Fosil Yakıtlarda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı [15]

2.3.3 2006 Sonu İtibariyle Doğalgazda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı

Dünya doğalgaz rezervinin üretimi karşılama oranı son yirmi yılda %75 oranında artarak 2006 yılı sonu itibariyle 67 yıl olmuştur.(Şekil 2.9)



Şekil 2.9 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle Doğalgazda Rezervin Üretimi Karşılama Oranı [15]

20 yılda doğalgaz talebinin iki katına çıkması beklenmektedir. 1999 yılında 2.38 trilyon metreküp olan doğalgaz tüketimi 2020 yılında 4.6 trilyon metreküpe varacağı tahmin edilmektedir. 1990 yılında dünya enerji tüketiminin %23'ünü oluşturan doğalgaz, 2020 yılında %28'ini oluşturmaya beklenmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki doğalgaz tüketim miktarındaki artışın diğer ülkelere nazaran daha fazla olması beklenmektedir.

1970'lere kadar hemen hemen doğalgazın tamamı üretici ülkelere tüketici ülkelere boru hatları ile taşınmıştır. Boru hatları bugünde doğalgazın taşınmasında temel teşkil etmektedir. Şekil 2.10 2005 yılı LNG ve boru hattı pazar hareketini göstermekte, Şekil 2.11 ise İthal eden ülkeler bazında LNG hareketini göstermektedir.

3. LNG FİYATLANDIRMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Doğalgaz dünyada en hızlı büyüyen yakıt cinsidir. Halen dünyada büyük miktarda doğalgaz bolluğu vardır, bugünkü kanıtlanmış gaz rezervi (150 000 milyar metre küp (bcm)) en az 2030 yılına kadarki talepleri rahatlıkla karşılayabilecek düzeydedir. Dünya endüstriyel enerji ihtiyacının dörtte birini doğalgaz karşılamakta ve doğalgazdan elektrik üretimi her geçen gün daha fazla artmaktadır. Aynı zamanda doğalgaz fosil yakıtların içinde en temiz ve doğa dostu olan yakıttır. Doğalgaz üretim maliyetleri mühendislik ve inşa alanlarındaki teknolojik gelişmeler nedeniyle sürekli düşmekte, gelecekte de düşmeye devam edeceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle nasıl ki çelik 19.yy'ın, petrol 20.yy'ın enerji kaynağı ise doğalgaz da 21.yy'ın enerji kaynağı olacağına kesin gözüyle bakılmaktadır [20].

Doğalgaz üretim alanları ile tüketici ülkeler arasında genellikle çok uzak mesafeler vardır. Bu mesafelerde boru hatları yeterli olmamakta, bu nedenle de deniz yoluyla LNG taşımacılığı önemli bir yer tutmaktadır. Sondaj alanlarında üretilen gaz boru hatları ile sıvılaştırma alanlarına nakledilir ve sıvılaştırmayı müteakip gemiler ile müşterilere ulaştırılmak üzere gazlaştırma alanlarına gönderilir. LNG ekonomisi boru hattı gazından farklı olarak jeopolitik, teknik ve ticari faktörlere bağlıdır [21].

3.1 LNG Endüstrisinin Fiyat Analizi

LNG'nin fiyat oluşumları incelendiğinde öncelikli olarak LNG üretim zincirinin çok iyi anlaşılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Temel bir LNG Üretim Zinciri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

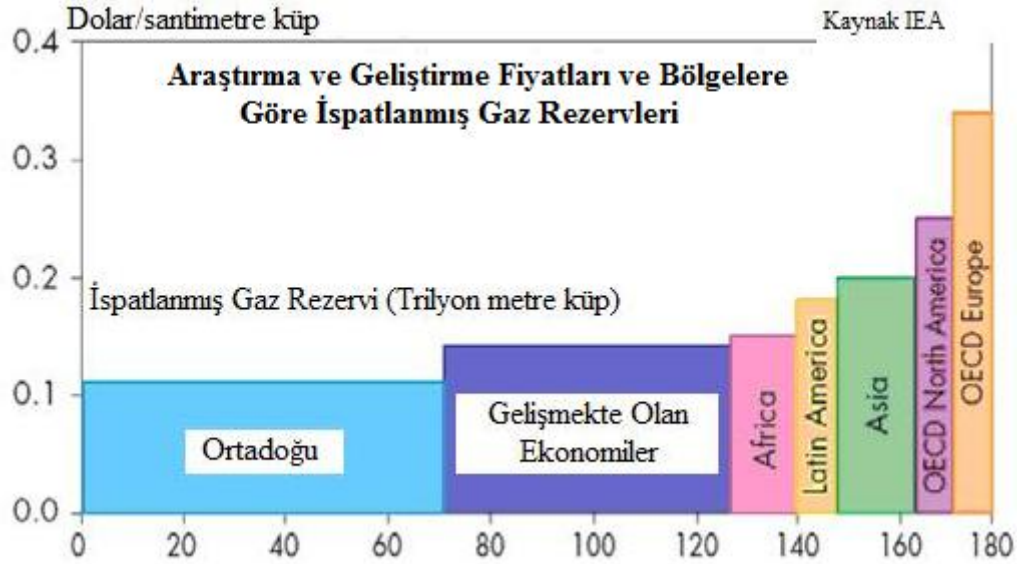


Şekil 3.1 : LNG Üretim Zinciri

LNG Üretim Zincirini oluşturan her bir kısmın fiyat oluşumları aşağıda incelenmiştir.

3.1.1 Sondaj ve Üretim Maliyetleri

Dünyanın en büyük doğalgaz rezervleri tüketici ülkelerden çok uzaktadır. Yeni alanların geliştirilme maliyetlerinin en düşük olduğu bölge Ortadoğu'dur. Bu maliyetler Ortadoğu'da santimetre küpü 0,11 US\$ iken, Kuzey Amerika'da 0,23 US\$, Avrupa'da ise 0,34 US\$'dır. (Şekil 3.2)



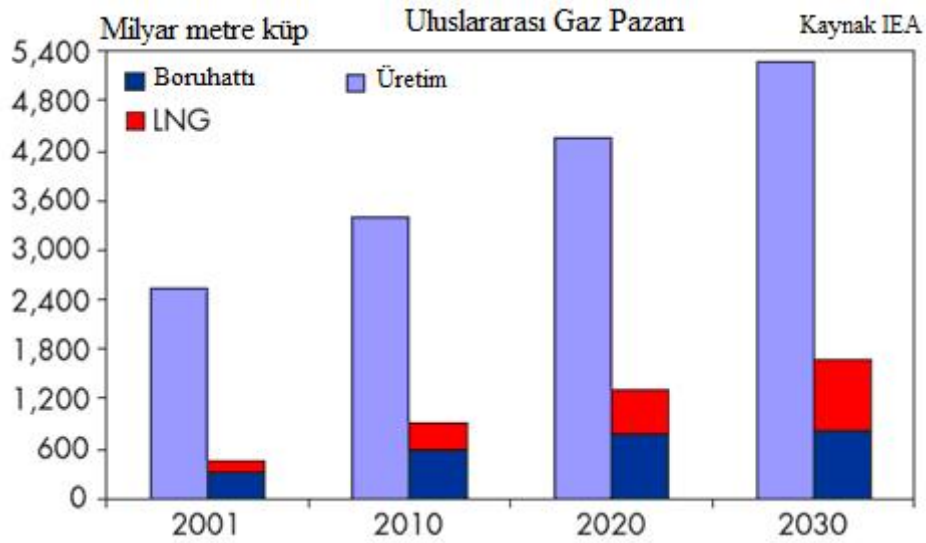
Şekil 3.2 : Araştırma ve Geliştirme Fiyatları ve Bölgelere göre İspatlanmış Gaz Rezervleri

Yukarda verilen rakamlar doğalgaz talebinde yıllık ortalama %2,4 artış olacağı değerlendirilerek yapılmıştır. 2001 yılında 2569 milyar metreküp olan gaz talebinin 2030 yılında 5047 milyar metreküp olacağı değerlendirilmektedir. Temel enerji

kaynakları arasında doğalgazın payı 2001 yılında %23 iken 2030 yılında bu değer %28 olacaktır.

2030 yılına kadar 9 trilyon metreküp yeni kapasite artışına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu artışın %30'u talepteki artıştan, kalanı ise doğalgaz alanlarından tükenen alanların yerine yenilerinin kazandırılması nedeniyle oluşmaktadır.

Üretim ve tüketim alanları arasındaki iletişim halen ağırlıklı olarak boru hatları ile yapılmakta olup 2030 yılında boru hattı taşımacılığı ile LNG taşımacılığı aynı miktarlara gelecektir.(Şekil 3.3)



Şekil 3.3 : Uluslararası Gaz Pazarı

3.1.2 Sıvılaştırma Maliyetleri

LNG üretim zincirinin maliyeti en yüksek halkası bünyesinde bir ya da daha fazla üretim ünitesi bulunan sıvılaştırma alanlarıdır. GTI verilerine göre, yıllık 11 milyar metreküp üretim kapasitesine sahip bir sıvılaştırma alanının maliyeti 1,5-2 milyar dolardır. Kabaca bu maliyetin yarısı inşa ve buna bağlı maliyetler, %30'u ekipmanlar ve %20'si dökme materyal maliyetidir.

Sıvılaştırma maliyeti olarak iki üretim ünitesi için maliyet 1,09 US\$/milyar J ve bir genişleme tankı için 0,97 US\$'dır. Mevcut olan bir projeye yeni üretim ünitelerinin eklenmesinin maliyeti, yeni alanların inşa edilmesi için ihtiyaç duyulan maliyetten önemli ölçüde daha azdır.

Ülkeler artık üretim ünitelerinin boyutlarını arttırarak daha az miktarda üretim ünitesi ile daha fazla ürün elde edebilmenin yollarını aramaktadır. İlk zamanlarda, üretim

ünitelerinin yıllık kapasitesi 1,38 milyar metreküp ile 2,75 milyar metreküp arasında iken, günümüzde inşa edilen kapasite 6,85 milyar metreküp, Katar'da inşası planlanan üretim ünitesinin kapasitesi ise 10,76 milyar metreküptür [22].

Maliyetleri aşağı çeken diğer etmenler ise;

- Daha büyük ve daha az depolama tankları
- İyileştirilmiş teknolojiler, gaz türbünleri, daha büyük kompresörler,vs.
- İyileştirilmiş mühendislik teknikleri ve
- Rekabetçi iş teklifleri

2002 yılı ile 2030 yılları arasında sıvılaştırma üretim kapasitesine 100 yeni üretim ünitesi eklenmesi beklenmektedir. Tasarlanan en büyük artış Ortadoğu'da olmuş ve bu artış toplam artışın %40'ına denk gelmiştir. Ortadoğu'yu %25 artışla Afrika izlemektedir.

Sıvılaştırma maliyetleri ekonomik nedenlerden dolayı 550 dolardan 180-200 dolara düşmüştür.

3.1.3 Gazlaştırma Terminal Maliyetleri

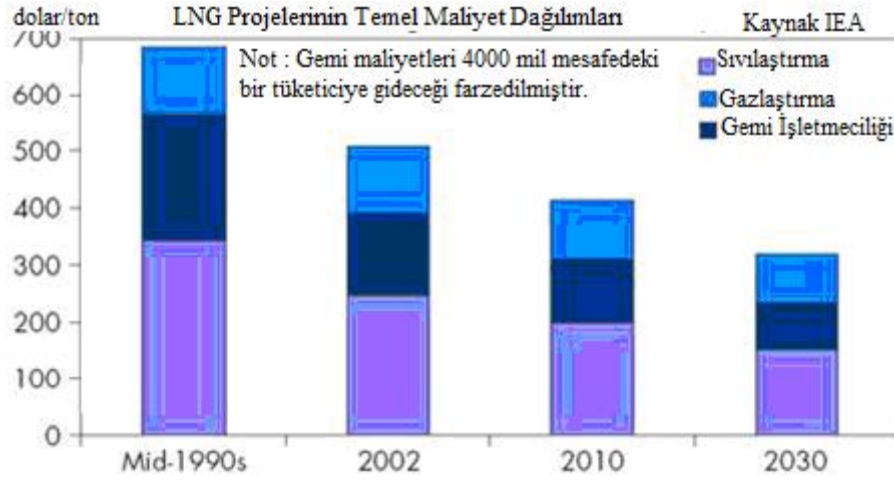
Bir gazlaştırma ya da alış terminalinin maliyetinde çok geniş bir yelpaze mevcuttur. Terminal maliyetleri küçük bir terminal için 100 milyon dolar iken, büyük çaplı bir terminalin fiyatı 2 milyar doları geçebilmektedir. ABD'de 5 ila 10 milyar metreküplük yeni bir terminalin maliyeti 200-300 milyon dolardır.

Bir terminalde en yüksek maliyeti saklama tankları oluşturmaktadır. Bu maliyetler toplam maliyetin yarısı ile üçte biri arasındadır ve tankın tipine göre değişiklik gösterir. Tankın tipi konum ve yerel yasa koyucu talepleri ile doğru orantılıdır.

Diğer ana maliyet kalemi ise deniz tesislerinin maliyetidir. Örneğin, bir kanalın gemilerin yanaşabilmesi için derinleştirilmesinin gerekmesi durumunda terminal maliyetine 100 milyon dolar eklemek gerekmektedir.

Türkiye'deki sıvılaştırma terminalleri ele alındığında ise, halen faaliyette bulunan iki terminalden yıllık kapasitesi 5,2 milyar metreküp olan Marmara Ereğlisi LNG terminalinin maliyeti 364 milyon dolar, yıllık kapasitesi 6 milyar metreküp olan Aliaga LNG terminalinin maliyeti ise 600 milyon dolardır [23].

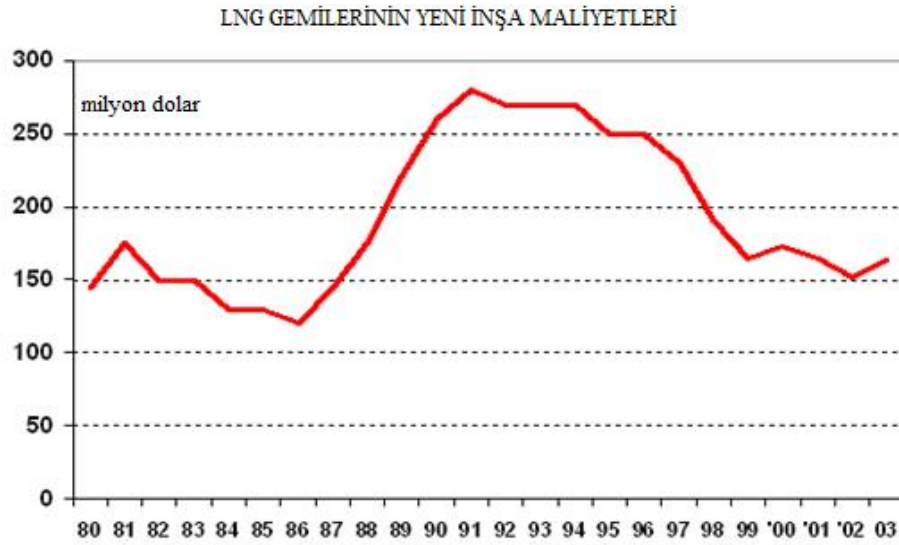
3.1.4 Gemi İşletme Maliyetleri



Şekil 3.4 : LNG Projelerinin Temel Maliyet Dağılımları

LNG gemi inşaatının maliyetleri son yıllarda büyük bir düşüş göstermiştir.(Şekil 3.4) 1990'ların ortalarında 270 milyon dolar olan bir geminin 2003 yılındaki maliyeti 160 milyon dolara gerilemiştir (Şekil 3.5). Bir LNG gemisinin metreküp başına inşa maliyetleri son birkaç yıldır zayıf dolar paritesi, demirdeki fiyat artışı ve nikel alışımındaki yetersiz üretimden dolayı 1050 dolar/metreküp'ten 1200 dolar/metreküp'e çıkmıştır. Fiyatların aşağı düşmesindeki temel faktör LNG gemisi inşa edebilen terane sayısındaki artış ve teknolojiye gelişmelerdir. Gemilerde daha fazla yakıt tasarruflu tahrik sistemlerinin kullanılması da fiyatlardaki düşüşü etkilemektedir.

Gemi kapasitelerinde ise 147500 metreküp'ten 154500 metreküpe çıkmıştır. (7000 metreküp'lük artışın nedeni CODOG (Kombine Dizel Elektrik Gaz) çift yakıtlı makinaların kullanılması nedeniyle makine dairesinin alanındaki azalmadan kaynaklanmıştır.) Katar için yakın bir gelecekte kızağa konacak bir geminin taşıma kapasitesi 200000 metre küp olacaktır [24].

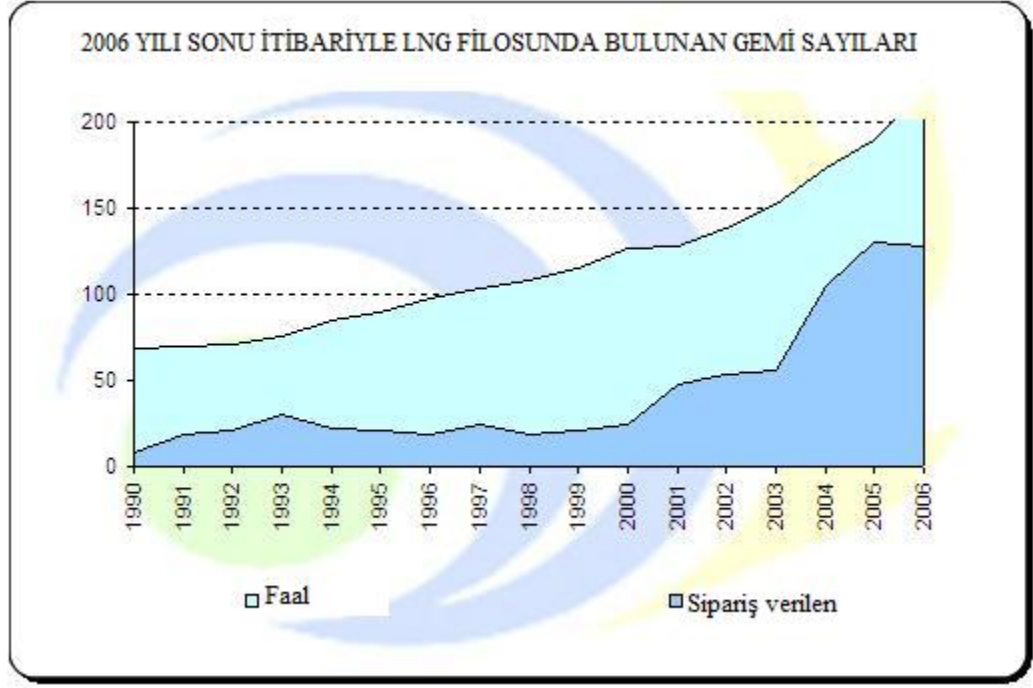


Şekil 3.5 : LNG Gemilerinin Yeni İnşa Maliyetleri

LNG gemi filosunda bulunan gemilerin çok büyük bir kısmı LNG projeleri için özel olarak kullanılmakta olup sahipleri de ya satıcı ülkelerin ya da alıcı ülkelerin armatörleridir. Ancak LNG ithal ve ihraç eden BP, Shell ve Tokyo Gas gibi büyük firmalar herhangi bir projeye bağımlı olmayan gemi siparişleri vermeye başlamışlardır. Proje sahiplerinin elinde bulunan LNG gemi sayısı toplam gemi sayısının %55'dir. Fakat yeni inşa edilen gemilerden ancak %29'u proje sahiplerine aittir. Kısa dönemde LNG piyasasının gelişmesinde bağımsız gemilerin varlığı büyük önem taşımaktadır.

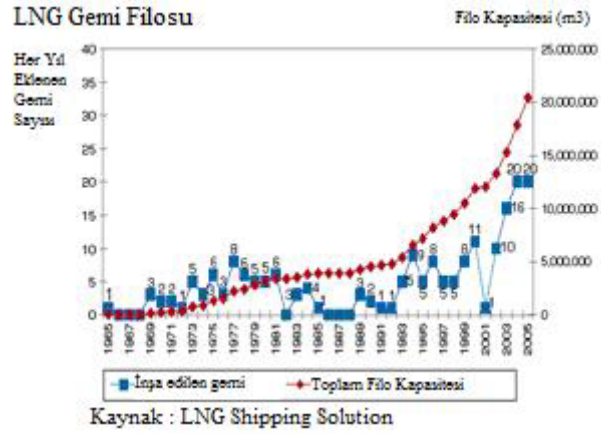
LNG gemi işletme maliyetleri gemi maliyetleri, finansal maliyetler ve işletme maliyetleri gözönüne alınarak günlük olarak charter kiralama ücret tarifesi üzerinden hesaplanır. Charter kiralama ücret tarifesi en düşük değeri günlük 27000 dolar iken, en yüksek değeri 150000 dolar olmuştur. Bugün uzun süreli charterlar için ortalama oran 55000 ila 65000 dolar arasında değişmektedir. LNG gemi işletme maliyetleri gidilecek mesafeye ve zamana göre değişir.

2006 yılı sonu itibariyle tüm dünyada faaliyet gösteren LNG gemi sayıları Şekil 2.6'da gösterilmiştir. 16 gemi 50000 m³ ün altında bir kapasiteye sahipken, 50000-120000 m³ lük kapasitede 15 gemi ve 120000 m³ lük kapasitenin üzerinde ise 120 gemi vardır.(Şekil 3.6)



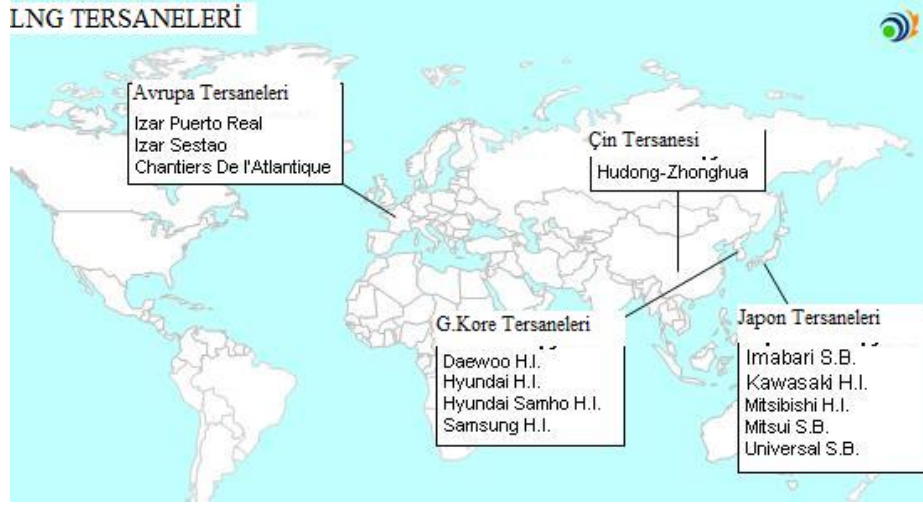
Şekil 3.6 : 2006 Yılı Sonu İtibariyle LNG Filosunda Bulunan Gemi Sayıları

Elli beş gemi halen yapım aşamasında olup bunların 46'sı 138000 m³lük kapasitenin üzerindedir. Yeni gemilerin filoya katılmasıyla 2003 yılından günümüze kapasite artışı %44'ü bulmuştur (kapasite 17,4 milyon m³ ten 25,1 milyon m³ e çıkmıştır.).(Şekil 3.7)



Şekil 3.7 : LNG Tanker Filosu

Dünyada halen LNG gemisi inşa eden 13 tersane bulunmaktadır. Bu tersanelerin beşi Japonya'da, dördü Güney Kore'de, üçü Avrupa'da, birer tanesi de Çin, Hindistan ve Polonyada'dır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : En Büyük LNG Tersaneleri

3.2 LNG İthal ve İhrac Eden Ülkeler

1990’larda LNG ihrac eden eden ülkeler üç bölgeye ayrılmaktaydı, Afrika (Cezayir, Libya), Ortadoğu (Katar, Abu Dabi) ve Asya Pasifik (Brunei, Endonezya, Malezya ve Avustralya). Umman, Trinidad ve Nijerya’ında ihracata başlamasıyla bölgelerdeki çeşitlilik artmıştır.(Tablo 3.1) (Tablo 3.2)

Tablo 3.1 : LNG İhrac Eden Ülkeler

Ülke	İhrac (milyar m ³)	Yüzde	Ülke	İhrac (milyar m ³)	Yüzde
Katar	31,09	% 14,73	Mısır	14,97	% 7,09
Endonezya	29,57	% 14,01	Umman	11,54	% 5,47
Malezya	28,04	% 13,29	Brunei	9,81	% 4,65
Cezayir	24,68	% 11,69	BAE	7,08	% 3,35
Avustralya	18,03	% 8,54	ABD	1,72	% 0,82
Nigerya	17,58	% 8,33	Libya	0,72	% 0,33
Trinidad	16,25	% 7,70	TOPLAM	211.08	% 100

Tablo 3.2 : LNG İthal Eden Ülkeler

Ülke	İthalat (bcm)	Oran	Ülke	İthalat (bcm)	Oran
Japonya	81,86	% 38,78	İngiltere	3,56	%1,69
K.Kore	34,14	% 16,17	İtalya	3,10	%1,47
İspanya	24,42	% 11,57	Portekiz	1,97	%0,94
USA	16,56	% 7,85	Çin	1,00	%0,47
Fransa	13,88	% 6,58	Meksika	0,94	%0,40
Tayvan	10,20	% 4,83	P.Riko	0,72	%0,34
Hindistan	7,99	% 3,79	Yunanistan	0,49	%0,23
Türkiye	5,72	% 2,72	Dom.Cum.	0,25	%0,13
Belçika	4,28	% 2,04	TOPLAM	211,08	%100

3.3 LNG Projelerinin Temel Finansal Riskleri

LNG üretim zincirinin her bir parçasının başarılı bir finansman için dikkat edilmesi gereken kendine has finansal özellikleri vardır. Gaz projelerinin finansmanında temel teşkil eden bazı riskler vardır ve bu riskler dört ana başlıkta incelenebilir; arama ve üretim, ürünün hazırlanması, gemi işletmeciliği, dağıtım.

3.3.1 Arama ve Üretim

Proje finansörleri gaz arzının güvenliğini sağlamayı birinci derecede önemsemektedirler. Finansörler gaz rezervlerinin varlığı ile ilgili bağımsız verilere ihtiyaç duymaktadırlar. Eğer finansörler araştırma ve geliştirme faaliyetinde sorumlu değillerse, sıvılaştırma safhasının riske girmemesi için geliştirilen bölgenin herhangi bir riskinin olmamasına özen gösterirler. Rezervlerin üçüncü şahıslar tarafından

finanse edilmesi durumunda bir konsorsiyuma gidilmesi gerekir. Konsorsiyumda ise her üye üretimden satışa kadar tüm safhalarda bir güvence arar.

3.3.2 Ürünün Hazırlanması

Bu, gazın toplanması, işlenmesi ve sıvılaştırılması işlemlerini kapsamaktadır. Düzenlenen satış sözleşmesi alıcı için çeşitli alternatifler sunabilmektedir. Bunlar; alıcının sadece belli bir miktar gazın alınması olabileceği gibi, alıcı istenirse gaz alanının bütün rezervlerini de satın alabilir. Bu durumda alıcı gaz alanına tamamen sahip olmakla birlikte tüm riskleri de üstlenmiş olmaktadır. Bu risklerin en büyüğü yeni bir gaz alanının inşa safhasıdır. Çünkü, bir LNG projesinde en büyük masraf ilk kurulum aşamasında yapılmaktadır ve bu aşamada henüz bir ürün akışı olmadığı için yapılan harcamalar ileriye yatırım olarak yapılmaktadır. Üretimdeki bir aksama ya da piyasalardaki bir değişiklik tüm yatırımın boşa çıkmasına neden olabilmektedir. Finansman desteği sağlayan bankalar, bu riskleri en aza indirmek için harcamalarını zamana yayarlar ve parça parça finansman yaparlar. Böylece, belli bir kısımdaki olumsuz gelişmeler, sadece o kısma kadarki harcamaları riske etmiş olur.

3.3.3 Gemi İşletmeciliği

Finansörler gemi işletmeciliğinde inşa ve finansman takvimini görmek isterler. İnşa öncesi gemilerin işletilmesi ile ilgili ön anlaşmalar muhakkak yapılmalıdır. Bu durum gemilerin finansmanı bakımından kredibilitesini arttıracaktır. LNG işletmeciliği uluslararası deniz kurallarına tabi olduğu için finansman yansımaları da uluslararası deniz ticaretiyle doğrudan bağlantılıdır. Finansörler aynı zamanda gemilerin uluslararası standartlara uygunluğunun da garanti altına alınmasını ister. Çünkü, gemi işletmeciliğinde sorumluluk sadece alıcı ve satıcıya ait değil aynı zamanda da geminin izlediği rota üzerindeki tüm ülkeleri kapsamaktadır. Bunun nedeni karasularından geçiş yapan tehlikeli yük taşıyan gemilerin ülke güvenliğini tehdit edebilecek olmasıdır. Dolayısıyla politik ve ilkesel riskler sadece kontratı yapan taraflar tarafından değil tüm ilgili ülkeler tarafından yakından izlenmektedir.

3.3.4 Satış ya da Dağıtım

Endüstri analistlerine göre LNG spot piyasası satış garantisi olmadığı için büyük riskler taşımaktadır. Yapılan yatırımın karşılanabilmesinin tek yolunun satış olması nedeniyle, satış sözleşmeleri mümkün olduğunca uzun süreli yapılmaktadır. Bu

finansman riskini en aza indirmektedir. Günümüz kontratlarda “al ya da öde” prensibi uygulanmaktadır. Bu prensibe göre alıcı kontratta belirtilen sürede belirtilen miktarda gazı almak zorundadır. Alıcının gazı alıp almaması yada kullanıp kullanmaması önemli değildir. Alıcı belirtilen miktardaki gazın parasını otomatik olarak öder. Bu durum satıcıyı finansman olarak ileriye görmesini ve Pazar risklerini en aza indirmesini sağlar.

3.3.5 LNG Spot Piyasasındaki Yeni Gelişmeler

Son yıllarda ortaya atılan en ilginç gelişmelerden birisi de, önceleri riskli olarak tanımlanan LNG spot piyasasının büyük bir gelişme göstermesidir. Bunun nedeni, LNG alıcı ülkelerin LNG piyasasının genişlemesine paralel olarak kontratlı alımlarla ülkelere bağımlı kalınmasının yerine pazar seçebilme elastikiyeti sağlaması açısından spot piyasaya dönmeye başladığı görülmektedir. Spot piyasasındaki bu gelişmeler fiyatları da uzun süreli sözleşmelerdeki fiyatlara yaklaştırmıştır.

Dünya genelinde spot piyasasını kontrol altında tutan fiyat endeksleri; ABD için Henry Hub ve Avrupa için Gazprom satış fiyatları baz alınmaktadır. ABD piyasasına nazaran Avrupa piyasası daha tutucu bir yapıda bulunmakta olup spot piyasa yerine uzun süreli kontratlarla gaz alımı tercih edilmektedir.

4. TÜRKİYE’DE DOĞALGAZ İLETİMİNDE EN UYGUN YÖNTEMİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR MODELİNİN KURULMASI

Karar verme, hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde alternatif eylem planlarından birini seçme sürecidir. Karar verme tüm yönetim fonksiyonlarının özünü oluşturur. Örneğin, planlama fonksiyonu; ne yapılması gerektiğine, ne zaman, nasıl, nerede ve kim tarafından yapılacağına karar verilmesini içerir. Organize etme, uygulama ve kontrol etme gibi diğer yönetim fonksiyonları da yoğun olarak karar vermeye dayanır.

Günümüzün hızla değişen ve globalleşen çevresi, başarılı bir işletmenin zengin bir karar verme sürecine sahip olduğuna işaret etmektedir. Bu, bilgiyi sadece toplayıp işlemek değil, aynı zamanda gelişmiş karar verme tekniklerinin yardımıyla karar vermek anlamına gelmektedir. Karar verme bir işletmenin temel taşlarından biridir. Dolayısıyla, doğru kararların alınması rekabetçi avantaj kazanmak ve sürdürülebilir gelişimin sağlanması için gereklidir.

Pek çok işletmede karar süreci bilginin toplanması ve analizi için yoğun bir çaba ve zamanı gerektirir. Alternatif eylem planlarının değerlendirilmesine ise çok daha kısa bir zaman ve çaba harcanmaktadır. Analizlerin sonuçları, bir karara varmak için sezgisel olarak değerlendirilmektedir. Araştırmalar, pek çok günlük kararın sezgisel olarak alınmasının yeterli olmasına rağmen, karmaşık ve hayati kararlar için bu yolun tek başına yeterli olmadığını göstermektedir [25]. Modern karar destek yöntemlerini kullanan işletmeler, globalleşen iş ilişkilerine öncülük etmekte ve bu ilişkiler ağını yönetmekte rekabetçi avantaj sahibi olabilmektedirler. Son yıllarda önemi gittikçe artan modern karar destek yöntemlerinden biri Analitik Hiyerarşi Yöntemidir.

4.1 Analitik Hiyerarşı Süreci Yöntemi

4.1.1 AHS'nin Temel Unsurları

1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşı Süreci (AHS) yöntemi, birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. AHS, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri (criteria, attributes, objectives), alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHS'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHS, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir. AHS çok geniş bir uygulama alanına sahiptir ve pek çok karar probleminde etkin olarak kullanılmaktadır. Pazarlama, finans, eğitim, kamu politikaları, ekonomi, tıp ve spor alanlarında çok sayıda başarılı AHS uygulamasını araştırmalara konu edilmiştir [26-29]. Ayrıca, AHS pek çok çalışmada tamsayı programlama, hedef programlama, dinamik programlama gibi yöneylem araştırması teknikleriyle birlikte kullanılmaktadır [30].

AHS'nin teorik alt yapısı üç aksiyoma dayanır. Bu aksiyomlardan ilki, iki taraflı olma/tersi olma (reciprocity) aksiyomudur. Sözel olarak ise, örneğin, “A elemanı B elemanının 5 katı büyüklüğünde ise B, A'nın 5'te 1'idir” denir [31]. İkincisi, homojenlik aksiyomudur ve karşılaştırılan elemanların birbirinden çok fazla farklı olmaması gerektiğini, olursa yargılarda hataların ortaya çıkabileceğini ifade etmektedir.

Üçüncü aksiyom bağımsız olma aksiyomudur ve bir hiyerarşideki belirli bir kademeye ait elemanlara ilişkin yargıların veya önceliklerin başka bir kademedeki elemanlardan bağımsız olmasını gerektirir. Bu ifade, üst kademe kriterlerin önceliklerinin yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında değişmeyeceği anlamına gelmektedir.

AHS'nin uygulaması dört temel prensiple şekillenmektedir:

- ayrıştırma (decomposition)
- karşılaştırmalı yargılar (pairwise comparison)

- hiyerarşik kompozisyon veya önceliklerin sentezi (synthesis of priorities)
- nihai kararın alınması

AHS'nin ilk adımı ayrıştırma, bir karar problemini daha kolay kavranmasını ve değerlendirilmesini sağlayacak hiyerarşik bir düzende alt problemlere ayrıştırma sürecidir. Kısaca, karar hiyerarşisinin kurulması anlamına gelir. Karar hiyerarşisinin en tepesinde ana hedef yer almaktadır. Bir alt kademe kararın kalitesini etkileyecek kriterlerden oluşmaktadır. Bu kriterlerin ana hedefi etkileyebilecek özellikleri varsa, hiyerarşiye başka kademeler eklenebilir. Hiyerarşinin en altında karar alternatifleri yer almaktadır.

Karşılaştırmalı yargılar veya ikili karşılaştırmalar AHS'nin ikinci temel adımını oluşturmaktadır. İkili karşılaştırma terimi iki faktörün veya kriterin birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. İkili karşılaştırmalar karar kriterlerinin ve alternatiflerin öncelik dağılımlarının kurulması için tasarlanmıştır. Daha açık bir ifade ile, hiyerarşideki elemanlar bir üst kademedeki elemana göre görece önemlerinin belirlenmesi için ikili olarak karşılaştırılır [32]. Eğer hiyerarşinin belirlenen düzeyi karşılaştırılacak n eleman içeriyorsa toplam $n(n-1)/2$ adet ikili karşılaştırma yapmak gerekir. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenir.

İkili karşılaştırma yargılarının oluşturulmasında, başka bir ifade ile A kriterinin B kriterine göre ne kadar önemli olduğu karar vericiye sorulduğunda, karar verici Tablo 4.1'de gösterilen 1-9 puanlı tercih ölçeğinden faydalanmaktadır.

Tablo 4.1 : Tercih Ölçeği

Önceliklerin Kelime Anlamları	Sayısal Oran
Eşit önem	1
Birinin diğerine göre zayıf önemi	3
Mecburi veya güçlü önem	5
Kanıtlanmış önem	7
Tam önem	9
Birbirine çok yakın iki hükmün ortalama değeri	2, 4, 6, 8
Eğer i aktivitesi j aktivitesiyle karşılaştırıldığında yukarıda belirtilen sayılardan birine karşılık geliyorsa, j’de i ile karşılaştırıldığında ona karşılık gelen değerin tersini alır.	Yukarıdaki derecelendirme puanlarının tersi

Bu ölçeğin etkinliği farklı alanlardaki uygulamalar ve başka ölçeklerle yapılan teorik karşılaştırmalar sonucunda saptanmıştır [33]. Saaty, AHS'nin kullanılmasında doğrudan doğruya ilgili kişilerle yüz yüze anket yapıp, onların ikili karşılaştırmalara ilişkin görüşlerinin alınmasını önermektedir. Söz konusu ilgili kişi ve/veya kişiler mutlaka konunun uzmanı olmasalar bile en azından konuyu bilen, konuya aşina olan kişiler olmalıdır [33].

İkili karşılaştırma matrisleri geliştirildikten sonra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (görelî öneminin) hesaplanmasına geçilmektedir. AHS'nin bu bölümü “sentezleme” adıyla anılır. Öncelik vektörlerinin kurulmasında lineer cebir tekniklerinden faydalanılmaktadır. Sentez aşaması, en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanmasını ve normalize edilmesini içermektedir. Bu amaçla kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak literatürde en yaygın olarak kullanılan normalizasyon yönteminde her sütunun elemanları o sütunun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı alınıp, bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünür. Bu şekilde her kriter için öncelik vektörleri bulunur.

AHS'nin son aşaması karar probleminin çözümlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada problemin ana hedefinin gerçekleştirilmesinde karar alternatiflerinin sıralaması olarak hizmet edecek bir karma (composite) öncelikler vektörü oluşturulur. Bu vektörü oluşturmak için her değişken için belirlenen öncelik vektörlerinin ağırlıklı

ortalaması alınır. Elde edilen nihai öncelikler karar alternatif puanları olarak da adlandırılabilir ve karar vericinin alternatif tercihlerine ilişkin yargısal algılamalarının yoğunluğunu temsil eder.

4.1.2 AHS Yönteminin Matematiksel İfadesi

AHS ile problem çözümede üç temel prensip kullanılır: Bunlar, araştırma (ayırıştırma), mukayese (karşılaştırma) ve önceliklerin sentezlenmesidir. Ayırıştırma prensibi birbirini izleyen seviyelerden bağımsız olarak bir seviyedeki elemanlarla bir hiyerarşi oluştururken uygulanır. Bu ise tepedeki hedeften başlanan ikinci seviye, üçüncü seviye, vs; şeklinde taban seviyesine kadar devam eden, bir önceki hedeften bir sonraki seviyedeki hedefi belirleyen kritere, diğer bir ifadeyle genelden başlayıp taban seviyesindeki özel alternatiflere kadar aşağı doğru yapılan bir çalışma ile olur.

Karşılaştırma hükmünün prensibi, bir üst seviyedeki kritere göre bir alt seviyedeki elemanların göreceli önceliğini veren ikili karşılaştırma matrisini inşa etmede uygulanır. Bu matrisin esas özvektörü kriterlerin önceliklerini verir. Üçüncü prensip ise; üst seviyede karşılık gelen kriterin önceliği ile onların lokal önceliklerini aşağı doğru tartarak ve kendisini etkileyen kritere göre bir seviyedeki her bir elemanı ilave ederek elde edilen öncelikleri sentezlemede kullanılır (İkinci seviyedeki elemanlar en tepedeki hedefin ağırlığı olan birimle çarpılırlar). Bu , o elemanın bileşik veya global önceliğini verir ki bu öncelik bir alt seviyedeki elemanlar mukayese edilir ve o elemanın yerel önceliğinin tartışını (ağırlığı) verir. Böyle devam edilerek en alt seviyedeki elemanların yerel önceliğinin ağırlığı belirleninceye kadar büyük işleme devam edilir.

Dört aksiyom Analitik Hiyerarşi Sürecini yönlendirir ve "asli" olarak ikili karşılaştırma notasyonunu faydalı kılar. A elemanları "alternatif" olarak isimlendirilen n tane elemana sahip sonlu bir küme, C de A 'daki elemanların karşılaştırılması ile elde edilen vasıfların veya özelliklerin bir kümesi olsun. C 'nin elemanlarına ölçütler adı verilir ve bir ölçüt ilkeldir.

C deki bir ölçüt yardımıyla A 'daki elemanlar üzerinde bir "karşılaştırma" bağıntısı oluşturulur. $>c$, C 'deki bir c ölçeği yardımıyla tanımlı A üzerinde "daha fazla tercih edilir" bağıntısı olduğu kabul edilirse $\sim \varepsilon$ da yine C de C ölçütü yardımıyla tanımlanan "farksız" bağıntısı olduğunda, buna göre $\forall C \in C$ için A 'da verilen A_i ve

A_j elemanları için ya $A_i > cA_j$ veya $A_j > cA_i$ ya da $A_i \sim cA_j$ dir. Daha fazla tercih edilir veya farksızdır ifadesini belirlemek için $A_i > cA_j$ sembolü kullanılır. C 'deki bir C ölçütüne göre tanımlanan $>c$ bağıntılarının ailesine bir ilkelik adı verilir.

$B, \mathbf{AxA}$ 'dan pozitif reel sayıların R^+ kümesine tanımlı dönüşümlerin kümesi ve $f: C \rightarrow B$ bir fonksiyon olduğunda, $C \in C$ için $Pc \in f(C)$ olsun. Pc , her bir $(A_i, A_j) \in \mathbf{AxA}$ ikilisine bir pozitif reel sayı karşılık getirir. $Pc(A_i, A_j)$ sayısını a_{ij} ile gösterildiği bu durumda $a_{ij} \in R$ dir. Her bir $C \in C$ için $(\mathbf{AxA}, R^+, Pc)$ üçlüsüne temel veya asli ölçek adı verilir. Buna göre bir temel ölçek, objeleri bir sayı sistemine dönüştüren bir dönüşümdür.

Tanım: Her $A_i, A_j \in A$ ve $C \in C$ için (4.1)

$$A_i > cA_j \text{ dir} \Leftrightarrow Pc(A_i, A_j) = a_{ij} > 1 \text{ ise}$$

$$A_i \sim cA_j \text{ dir} \Leftrightarrow Pc(A_i, A_j) = 1 \text{ ise}$$

Eğer $A_i > cA_j$ ise $C \in C$ 'ye göre A_i, A_j 'ye üstündür (baskındır) denir. Böylece Pc , bir alternatifin diğer alternatif için tercihdeki güçlülüğü veya yoğunluğu temsil eder.

Aksiyom 1 (Çift taraflılık veya Geçiş Aksiyomu)

Bütün $A_i, A_j \in A$ ve $C \in C$ için $Pc(A_i, A_j) = Pc(A_j, A_i)^{-1}$ 'dir.

Bu aksiyom karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasına yardımcı olur. Bir karşılaştırma matrisi biliniyorsa buna karşılık gelen diğer karşılaştırma matrisi de biliniyor demektir. Çünkü birisi (a_{ij}) ise diğeri (a_{ji}) dir ve $a_{ji} = (a_{ij})^{-1}$ olarak alınır.

$A = (a_{ij}) = (Pc(A_i, A_j))$, $C \in C$ kriterine göre karşılaştırılan alternatif çiftlerin bir kümesi olsun. Pc 'nin tanımından ve Aksiyom 1'den A , tersi var olan bir pozitif matristir. Nesne A da verilen karşılaştırılabilen çiftlerden alternatiflerin rölatif (göreceli) üstünlüğünün bir ölçütünü elde etme işidir.

Karşılaştırma matrisi A ile alternatiflerin bir kümesinin rölatif (göreceli) baskınlığının nasıl elde edileceği aşağıdaki gibi tanımlanır.

$R_{M(n)} \quad \forall C \in C \text{ için } A = (a_{ij}) \equiv (Pc(A_i, A_j))$ tersinir pozitif $(n \times n)$ tipindeki matrislerin

kümesini gösterirse, $[0,1]^n$ $[0,1]$ aralığının kendisi ile n defa kartezyen çarpımı ve n $A \in R_{M(n)}$ için $W : R_{M(n)} > [0,1]^n$ olur. O zaman $W(A)$ bileşenleri $[0,1]$ aralığında bulunan bir n boyutlu vektördür. $(R_{M(n)}, [0,1]^n, W)$ üçlüsü elde edilen ölçektir. Elde edilen her ölçek ilişkili iki sayı sistemi arasında bir dönüşümdür.

AHS'nin önemli bir yönü tutarlılık düşüncesidir. Birisinin, bazı nesneler tarafından sahip olunan özellikler için bir ölçeği var ve bu özellikleri ölçerse o zaman bu özelliğe göre nesnelerin rölatif (göreceli) ağırlıklarının sabit olduğunu görür. Bu durumda hükümsel bir tutarsızlık yoktur. (Birisi de fiziksel bir ölçeğe sahip ve onu ikili nesnelere uygularsa o zaman karşılaştırma matrisi ile ölçüt üzerinde nesnelerin rölatif önemi elde edilmesine rağmen fiziksel ölçeğin uygulanmasında bazı sapmalar meydana gelebilecek ve tekrar bir tutarsızlık mevcut olacaktır). Fakat ölçeği oluşturulmayan ve ölçülmeyen bazı özelliklere göre nesneleri karşılaştırırken yani nesneleri ikiye ikiye mukayese etmek için bir ölçek geliştirilmeye çalışılır. Nesneler birden fazla karşılaştırma kriterine sahip olabileceklerinden ve standart bir ölçeğimiz bulunmadığından, diğer taraftan hüküm gereği rölatif değerlere karşılık getirildiğinden tutarsızlıklar oluşabilir.

AHS deki tutarsızlıklar aşağıdaki gibi tanımlanır ve bu tutarsızlıkları ölçebilme imkanı mevcuttur.

Tanım: Pc dönüşümünün tutarlı olması için gerek ve yeter şart bütün i, j, k 'lar için $Pc(A_i, A_j)Pc(A_j, A_k) = Pc(A_i, A_k)$ eşitliğinin sağlanmasıdır. Benzer olarak karşılaştırma matrisi A 'nın tutarlı olması için gerek ve yeter şart her i, j, k için $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$ olmasıdır. (4.2)

Hiyerarşik aksiyomlar ile ilgili tanımlar incelendiğinde, kısmi sıralı bir kümede " $x < y$ ", $x < y$ ve $x \neq y$ olarak tanımlanır ve bu durumda y 'nin x 'i kapsadığı (veya x den baskın olduğu) söylenir. Eğer $x < y$ ise $x < t < y$ şartını sağlayan t 'nin mevcut olmadığı kabul edilir. x^- ve x^+ notasyonları ile $x^- = \{y : x < y \text{ yi kapsar} \}$ ve $x^+ = \{y : y < x \text{ i kapsar} \}$ tanımlamalar yapılır.

H kısmi sıralı sonlu bir küme olursa ve aşağıdaki şartları sağlarsa H 'ye bir hiyerarşi adı verilir.

- Tek bir eleman b ve $L_k = \{b\}$ olmak üzere bazı h ve $k=1,2,...,h$ için H 'nin, L_k kümelerinden oluşan bir parçalanması vardır.

- $k = 1, 2, \dots, h-1$ olmak üzere $x \in L_k$ ise $x^- \in L_{k+1}$ 'dir.
- $k = 2, \dots, h$ olmak üzere $x \in L_k$ ise $x^+ \in L_k$ 'dir.

Temel notasyonlar ve oluşturulan ölçekler sırası ile C ve A'nın yerleri değiştirilerek $x \in L_k$, $x \subseteq L_{k+1}$ 'e genişletilebilirler. x^- 'deki elemanların x ile mukayesesi sonucu

elde edilen ölçeklere lokal olarak elde edilmiş ölçek (yerel ölçek) veya x^- 'deki elemanlar için "yerel öncelikler" adı verilir.

Tanım: Verilen $p \geq 1$ pozitif sayısı verildiğinde, her $y_1, y_2 \in x^-$ çifti için $\frac{1}{p} \leq Pc(y, y) \leq p$ oluyorsa $x^- \subseteq L_{k+1}$ (boş olmayan) kümesine $x \in L_k$ 'ya göre

ρ - homojendir denir. Özellikle eşit taraflılık aksiyonumdan $Pc(y_i, y_i) = 1$ elde edilir. (4.3)

Aksiyom 2 (Homojenlik Aksiyomu)

Bir H hiyerarşisi, $x \in H$ ve $x \in L$ verildiğinde, $k=1, 2, \dots, h-1$ için $x^- \subseteq L$ ye ρ - homojendir denir.

Birbirinden çok farklı karışık elemanların karşılaştırılması çok zor olduğundan homojenlik anlamlı karşılaştırmalar için çok önemlidir. Örneğin büyüklük bakımından kumun içindeki bir toz zerreciğin portakalla mukayesesi (karşılaştırılması) mümkün değildir. Farklılık büyüdüğünde ya elemanlar büyüklükleri karşılaştırabilecek şekilde gruplandırılmalıdır ya da hepsi farklı seviyelerde ele alınmalıdır.

$L_k, L_{k+1} \subseteq H$ verildiğinde $y \in x$ ve $x \in L_k$ için elde edilen yerel ölçek $k=2, 3, \dots, h-1$ olmak üzere $\Psi_{k+1}(y/x)$ ile gösterilir. Genelliği bozmadan $\Psi_{k+1}(yx) = 1$ olduğunu kabul edilirse, sütunları L_{k-1} 'deki elemanlara göre L_k 'daki elemanların yerel ölçeklerinden oluşmuş $\Psi_{k+1}(L_k/L_{k-1})$ matrisini göz önüne alınır.

Tanım: $\forall C \in C$ ile A kümesi üzerinde bir temel ölçek tanımlanabiliyorsa A kümesine C kümesi üzerine dıştan bağımlıdır denir. (4.4)

Bir üst seviyedeki kriterlere göre hiyerarşi bir seviyesindeki ilişkili elemanların süreci bir alt seviyedeki elemanların bir üst seviyedeki elemanlara olan

bağımlılıklarını ifade eder, açıklar, öyle ki; aralarında karşılaştırmalar yapılabilir. Hedefler için adımlar hiyerarşi içinde en tepe seviyeye kadar karşılaştırılabilir seviyeler boyunca yukarıya doğru tekrar edilir.

Bir seviyede bulunan kriterler bir diğer seviyedeki özelliklere göre bu seviyeye bağılırlar. Endüstrideki girdi ve çıktılar aşağıdaki şekilde biçimlendirilen bir iş bağımlılık düşüncesine örnektir.

Tanım: A kümesi C üzerine dıştan bağımlı olsun. En az bir $A \in A$ için A , A üzerine dıştan bağılı ise A 'daki elemanlara $C \in C$ ile içten bağımlıdır denir. (4.5)

Aksiyom 3

H , seviyeleri $L_1, L_2, \dots, L_h$ olan bir hiyerarşi olsun. $k=1,2,\dots,h-1$ ve her bir L_k için

1. L_{k-1}, L_k 'ya dıştan bağılıdır.
2. L_k 'daki bütün x 'ler ile L_{k+1} içten bağılı değildir.
3. L_k^{k+1}, L_{k+1} üzerine dıştan bağılı değildir.

Aksiyom 4 (Beklentiler Aksiyomu)

Beklentiler aksiyomunun matematiksel ifadesi $C \subset H - L_h, A = L_h$ 'dir. Bu aksiyom sadece inanışları için sebepleri olan düşünceli bireylerin kendi düşüncelerinin modelde yeterince temsil edildiğinden emin olmalarının bir ifadesidir. Bütün kriterler, alternatifler ve beklentiler (açık veya ima ile) hiyerarşi içinde temsil edilebilirler.

Aksiyom 3'deki kavramlara dayanarak bir ağırlık fonksiyonu geliştirildiğinde, her bir $x \in H$ için

$$W_{x: x^1} \rightarrow [0,1] \sum_{y \in x^1} w_x(y) = 1 \quad (4.6)$$

olacak şekilde (hiyerarşik olarak yapılandırıldığından doğası olağanüstü olaylara bağılı) uygun bir ağırlık fonksiyonu vardır.

Dikkat edilirse x boştan farklı için $h=1$ en son seviyedir. L_i kümeleri hiyerarşinin seviyeleridir ve W_x fonksiyonu x objesine göre bir seviyenin elemanlarının öncelik fonksiyonudur. Bazı L_k seviyeleri için $x \neq L$ olsa bile, x 'de olmayan L_k içindeki

elemanların görüntüsünü 0'a eşit tutarak L_k 'ların tamamı için W_x tanımlanabilir.

Ağırlık fonksiyonu, hiyerarşi teorisinin uygulanmasında katkısı bulunanların en önemli olanlarından biridir.

Bütün $x \in L_k$ 'ler için $x^+ \in L_{k-1}$ ise bu hiyerarşiye tamdır denir.

4.2 Türkiye’de Doğalgaz Temininde En Uygun Yöntemin Belirlenmesi Üzerine AHS Modeli

Türkiye enerji kaynakları ile enerji pazarları arasında bir köprü ülke konumundadır. Bu özelliği sayesinde enerji alanında gelişme gösterebilecek ülkelerin başında Türkiye gelmektedir. Dünya’da ve Türkiye’de doğalgaz iletimi çoğunlukla boru hatları ile yapılıyor olmasına rağmen, son yıllarda Dünya’daki doğalgaz talebinin çokluğu nedeniyle gemi ile LNG taşımacılığı hızla artmaya başlamıştır. Halen inşası devam eden LNG gemilerinin de devreye girmesiyle günümüz LNG gemi filosu kapasitesinin iki katına çıkması ve 2030 yılına kadar LNG gemileri ile taşınan doğalgaz miktarının boru hatları ile taşınan doğalgaz miktarına eşit olması beklenmektedir. Gemi ile LNG taşımacılığındaki bu gelişmelerden, doğalgaz iletiminde söz sahibi olmak isteyen Türkiye’nin de etkilenmemesi olanaksız gözükmektedir.

4.2.1 Araştırmanın Kapsamı ve Yöntemi

Gemi ile LNG taşımacılığının ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle enerji sektöründe doğalgaz boru hatlarının yanında gemi ile LNG taşımacılığına önem verilip verilmemesi konusunu etkileyen değişkenler arası ilişkileri ortaya koyan bir model oluşturmaktır. Bu çok ölçütlü karar verme probleminde amaç, modelin sonuçlarını kabul ederek, Türkiye’de LNG taşımacılığına ağırlık verilip verilmemesi kararını bu sonuçlara göre vermek ve alternatifler arasında en uygun olanı seçmektir.

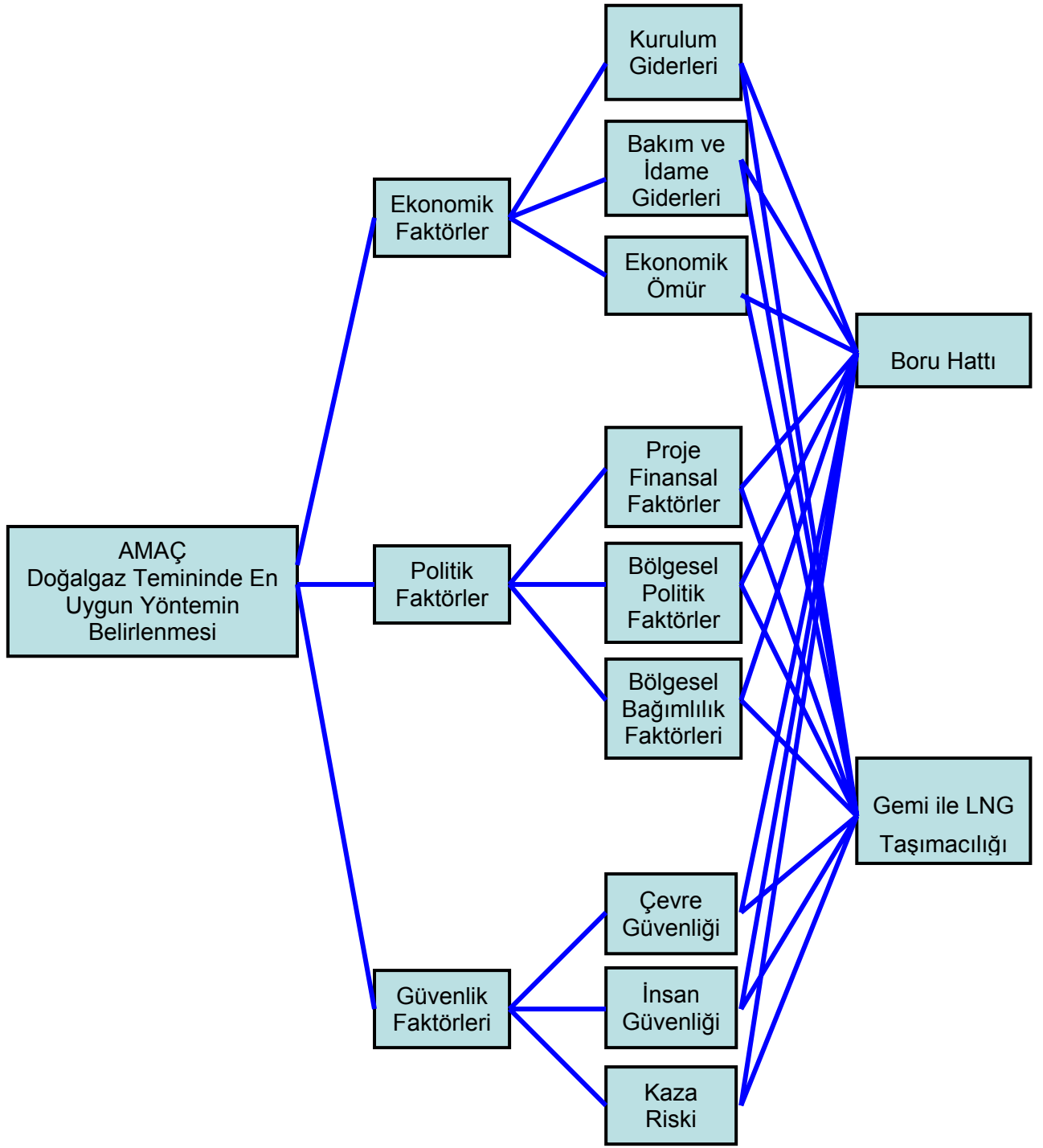
Saaty tarafından geliştirilen AHS, birden çok ölçüt içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. AHS, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir.

Karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak açıklanabilir.

AHS bir karar hiyerarşisi üzerinde, önceden tanımlanmış bir karşılaştırma skalası kullanılarak gerek kararı etkileyen faktörler ve gerekse bu faktörler açısından karar noktalarının önem değerleri açısından, birebir karşılaştırmalara dayanmaktadır. Bu karar probleminin çözümünde AHS yönteminin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş ve bu doğrultuda uygulama gerçekleştirilmiştir [34-35].

4.2.2 Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

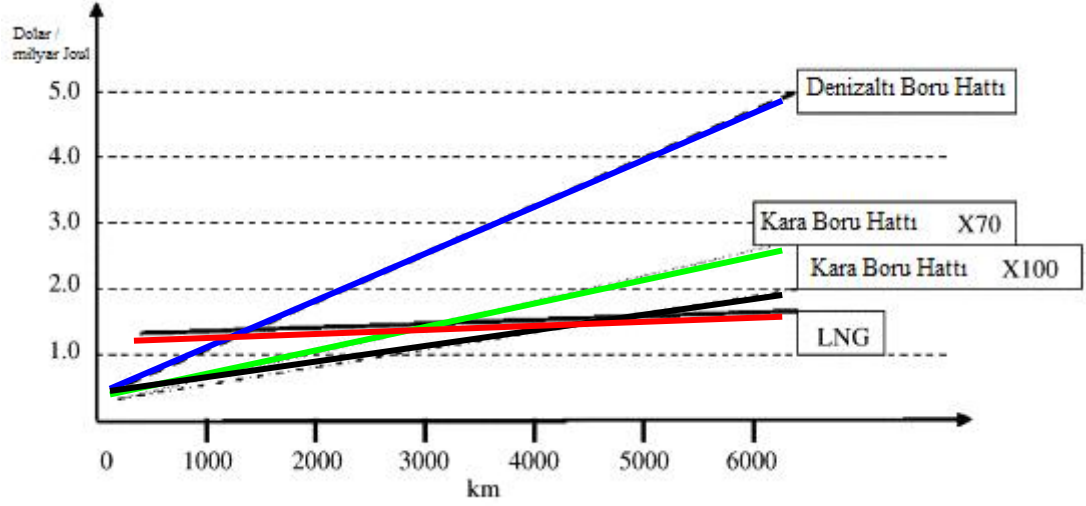
AHS yönteminde karar probleminin daha kolay anlaşılıp değerlendirilmesi için ilk adım olan ayrıştırma sürecinde, hiyerarşik düzen oluşturularak alt etkenler belirlenip karar hiyerarşisi oluşturulur. En üst kademede amaç yer almaktadır. Bir alt seviyede kararın kalitesini ve ana hedefi etkileyecek kriterler belirlenir .Bu kriterlerin altında, alt kriterleri etkileyecek diğer kriterler de eklenebilir. Bu noktada hiyerarşinin kademe sayısı, problemin detayına ve karmaşıklık derecesine göre değişir [36]. Karar hiyerarşisinin en altında ise karar alternatifleri yer almaktadır. Denizcilik firmaları ve armatörlerin karar problemini hiyerarşik bir düzende, problemi etkileyen kriterlere ayrıştırdığımızda Şekil 4.1'deki gibi hiyerarşi oluşmaktadır.



Şekil 4.1 : Hiyerarşi Yapısı

Hiyerarşinin en üst seviyesinde doğalgaz temininde en uygun yöntemin seçilmesi amacı yer almaktadır. Kriterler ekonomik faktörler, politik faktörler ve güvenlik faktörleri olarak bir alt kademede yer almaktadır. Ekonomik faktörlerin alt kriterleri, kurulum giderleri, bakım ve idame giderleri ve ekonomik ömür olarak, politik faktörlerin alt kriterleri, proje finansal faktörler, bölgesel politik faktörler ve bölgesel bağımlılık faktörleri olarak ve güvenlik faktörlerinin alt kriterleri olarak ise, çevre güvenliği, insan güvenliği ve kaza riski olarak belirlenmiştir. Karar hiyerarşisinin en alt kademesinde ise karar alternatifleri olarak boru hatları ve gemi ile LNG taşımacılığı yer almaktadır.

Ekonomik faktörler incelendiğinde, ilk bakışta boru hattı kurulumunda, idamesinde ve ekonomik ömründe tek bir unsur (boru hattı) olmasına karşın gemi ile LNG taşımacılığında üç unsurun (sıvılaştırma terminalleri, LNG gemileri ve gazlaştırma terminalleri) olması maliyetlerde LNG taşımacılığının çok önde olacağı kanısına varılsa da, maliyetlerin detaylı incelenmesi neticesinde LNG taşımacılığının özellikle uzun mesafelerde çok daha maliyetinin düşük olduğu görülmektedir. LNG gemi taşımacılığı ile doğalgaz boru hatları arasındaki farklılığı belirten üç değişken mevcuttur. Bunlar; taşınan miktar, mesafe ve doğalgaz boru hattı kapasitesidir. Genel bir kural olarak, kısa mesafelerde (1000 km'den daha az mesafelerde) boru hattı kapasitesi ne olursa olsun boru hattı kullanımı daha fazla tercih edilir. Denizaltı boru hatlarının kapasiteleri karada mevcut boru hatlarına göre daha düşüktür. Karada mevcut boru hatları iki çeşittir; birincisi 140 bar/s basınçlı x100 yarıçaplı boru hatları, ikincisi ise bugün en yaygın olarak kullanılan 75 bar basınçlı x70 yarıçaplı boru hatlarıdır. Her durumda LNG taşımacılığı 4500 km mesafeden itibaren boru hattına göre finansal olarak daha efektiftir. Bunun nedeni, LNG gemi taşımacılığında maliyetlerin mesafeyle çok düşük değişiklik olmasıdır. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 : LNG Gemileri ve Boru Hatları ile Doğalgaz Taşımacılığında Birim Fiyatlar

Örnek bir çalışma olarak, Türkiye ve Avrupa Birliği gündemindeki boru hattı projelerinden en önemlisi olan Nabucco Projesi ile LNG gemi taşımacılığını mukayese edilirse;

- Proje ile Türkiye’den Bulgaristan, Romanya, Macaristan ve Avusturya’ya doğalgaz taşınması öngörülmektedir. Proje ile ilgili sayısal bilgiler şu şekildedir;
 - o Proje uzunluğu : 3300 km.
 - o Projenin kapasitesi : 31 milyar metreküp/yıl
 - o Projenin maliyeti : 7.8 milyar dolar
- Boru hattı yerine aynı miktarda LNG taşınmasının maliyeti ise;
 - o Sıvılaştırma Terminal Maliyeti : 10 milyar metreküp/yıl kapasiteli bir sıvılaştırma terminalinin maliyeti ortalama 1 milyar dolardır. 31 milyar metreküplük kapasite için 3 terminale ihtiyaç duyulmakta olup maliyet yaklaşık 3 milyar dolardır.
 - o Gazlaştırma Terminali Maliyeti : 5 milyar metreküp/yıl kapasiteli bir gazlaştırma terminalinin maliyeti ortalama 350 milyon dolardır. 31 milyar metreküplük kapasite için 6 terminale ihtiyaç duyulmakta olup maliyet yaklaşık 2.1 milyar dolardır.
 - o Gemi Maliyetleri : Yıllık ortalama 3 milyar metreküp doğalgaz taşıma kapasitesine sahip 138000 metreküplük bir geminin maliyeti 150 milyon dolardır. 31

milyar metreküp doğalgaz taşınması için ihtiyaç duyulan 10 gemi için maliyet ortalama 1.5 milyar dolardır.

31 milyar metreküp doğalgazın LNG gemileri ile taşınmasının kurulum maliyeti toplam yaklaşık olarak 6.6 milyar dolardır.

31 milyar metreküp doğalgazın boru hattı yerine LNG gemi taşımacılığı ile doğalgaz taşınması durumunda kurulum giderlerinde yaklaşık olarak 1 milyar dolar daha az maliyet çıkmaktadır. Bu da maliyetlerde yaklaşık %12'lik bir tasarruf sağlamaktadır.

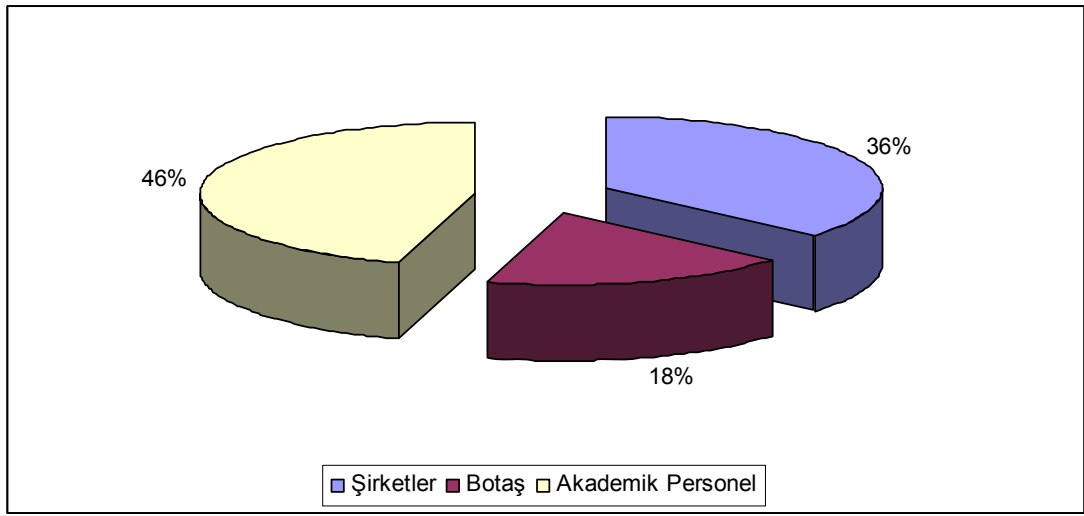
Politik faktörler göz önüne alındığında; Türkiye ihtiyaç duyduğu doğalgazın çok büyük bir kısmını (%84) boru hatları ile ağırlıklı olarak Rusya (%63.5) olmak üzere İran (%16.9) ve Azerbaycan (%3.5)'dan karşılamaktadır. Avrupa ülkeleri ise doğalgaz ihtiyacının %45'ini Rusya'dan karşılamaktadır. Rusya'nın 2006-2007 yıllarında Ukrayna'nın Avrupa Birliği'ne ve ABD'ye yakınlaşması sonucunda fiyat anlaşmazlığını bahane ederek doğalgaz akışını kesmesi, aynı şekilde Gürcistan'a politik sebeplerden dolayı doğalgaz ambargosu uygulaması, Rusya'nın yeniden küresel bir güç olmak maksadıyla her türlü politik alanda enerji kozunu oynayacağı tezini kuvvetlendirmektedir. Aynı şekilde Birleşmiş Milletler ile uranyum zenginleştirilmesi nedeniyle ters düşen ve uluslararası ambargoya tabi olan İran 2006 ve 2007 yıllarında arz-talep dengesizliğini öne sürerek kış aylarında Türkiye'ye doğalgaz akışını kesmesi, sanayisinin çok büyük bir kısmı doğalgaza bağımlı olan Türkiye'nin ekonomisine büyük zarar vermiştir. Türkiye'nin politik olarak sorunlar yaşadığı ülkelerden ikisi olan Rusya ve İran'a doğalgaz ihtiyacı bakımından %80 oranında bağımlı olması bölgemizde yaşanan politik belirsizliklerden çok fazla etkilenmemize neden olmaktadır. Ayrıca boru hattı kurulum maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle uluslararası finansman kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle Ortadoğu ve Orta Asya bölgesindeki enerji finansmanlarında verimlilik ya da karlılık önemli olmamakta, politik faktörler ön plana çıkmaktadır. Bu durumu Türkiye, Bakü-Tiflis-Ceyhan boru hattı finansmanında büyük ölçüde yaşamıştır.

Konu güvenlik faktörleri açısından incelendiğinde ise, doğalgazın insan sağlığına doğaya karşı tamamen zararsız olması, LNG gemilerinin çok büyük kısmının gaz türbünlü olması nedeniyle hem büyük ölçüde yakıt tasarrufu sağlaması hem de kirli gaz emisyonunun diğer gemilere nazaran çok düşük olması, ve inşasında ve işletilmesinde ileri teknoloji kullanılması nedeniyle kaza riskinin çok düşük olması

(bu güne kadar ölümlü büyük bir gemi kazası meydana gelmemiştir) LNG gemi taşımacılığında güvenlik faktörü üst düzeydedir. Doğalgaz boru hatları ise taşınan doğalgaz açısından LNG ile aynı özelliğe sahip olup boru hattının inşasında boruların toprak altına yerleştirilmesi nedeniyle doğaya büyük zararlar verebilmektedir.

4.2.3 Anket Çalışması ve Uzman Görüşlerinin Alınması

Türk armatörlerinden LNG gemi işletmeciliği yapan armatör olmaması nedeniyle sadece doğalgaz sektöründe faaliyet gösteren şirketlerde yetkili kişilerden, BOTAŞ yetkililerinden ve akademik uzmanlardan oluşan uzman görüşleri temel alınarak anket çalışması yürütülmüştür. Uzmanların dağılımı Şekil 4.3’de görülmüştür.



Şekil 4.3 : Uzmanların Sektörlere Göre Dağılımı

İncelemede kullanılan kriterler belirlendikten sonra, belirlenen bu kriterlerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ve göreceli önem değerlerinin bulunması amacıyla hazırlanan anketin özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

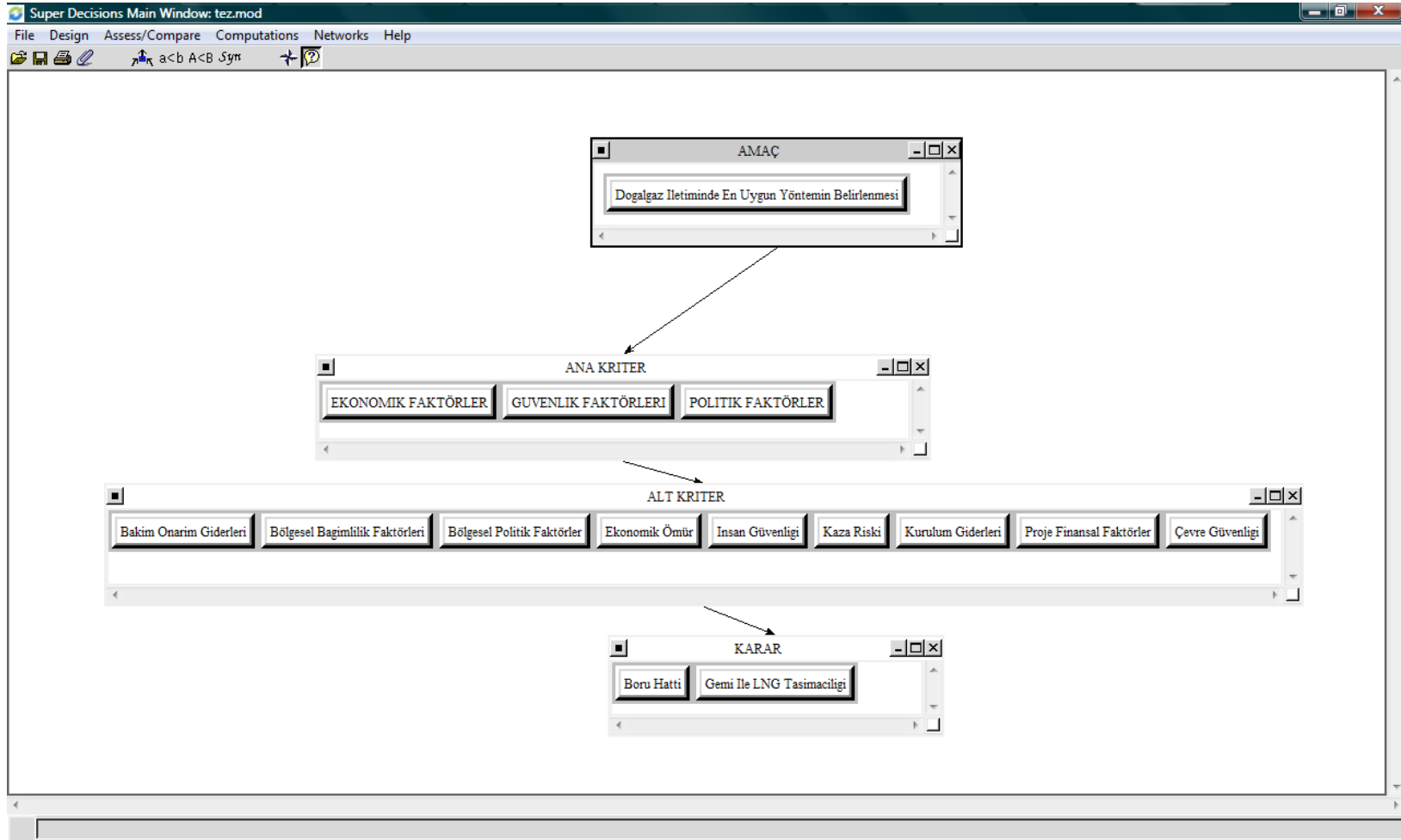
- Uygulanan anket sayısı 11’dir. Ankete katılan personel sayısının az olması nedeni; LNG konusunda Türkiye’de yetişmiş ve bilgili personel sayısının yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır.
- Uzmanların 5’i (%46) akademik personelden, 4’ü (%36) özel şirketlerden, 2’si (%18) ise BOTAŞ kuruluşundan ilgili personeldir.

Ankete katılan uzmanlar, doğalgaz taşımacılığında en uygun yöntemin seçilmesinde ortaya konulan tüm kriterler hakkında görüş sahibi oldukları tespit edilerek belirlenmiştir. Fakat, anket yolu ile uzmanlardan istenen, karara etki edebilecek

faktörleri ikiye ikiye ele alıp, onları her bir kriter altında değerlendirirken, diğer kriterler ile geçici bir süre ilgilenmemeleridir. Bu yöntemin, uzmanların problemi parçalara ayırmak suretiyle her aşamada küçük karar kümeleri üzerine daha fazla dikkat göstermelerini sağladığı düşünülmektedir. İkiye olarak karşılaştırılan kriterler, bir ölçüm skalası kullanılarak sıralanır. Ölçüm skalasının tespit edilmesinde, kriterlerin belirli değerlerinin güvenli seyir koşulu üzerinde son derece önemli, çok önemli, önemli, az önemli ve eşit önemli etki yapabileceği öngörülmüştür.

4.2.4 Yazılım Desteği ile Modelin Çözümlemesi

Uygulanan anketten elde edilen veriler “Uzman Seçim” programı ile sayısal hale dönüştürülerek, istatistiki analiz gerçekleştirilmiştir. “Super Decisions” yazılım paketi Analitik Hiyerarşi Yöntemi’nin yazılım programı olarak “Super Decisions” firması tarafından geliştirilmiştir. Super Decisions, karmaşık problemlerin analizinde kullanılan bir karar destek aracıdır. Karar vericilerin çok basit ve kolay bir biçimde karar problemini hiyerarşik bir yapıda görüntülerine, gerekli ikili yargıları yapmalarına, otomatik olarak özdeğer yaklaşımı ile göreceli öncelikleri hesaplamalarına olanak vermektedir. Ayrıca, bireysel veya grup bazında analiz yapmaya elverişli bir programdır. Dünyanın her yerinde çok yüksek sayıda özel firma ve kamu kuruluşu, çok farklı uygulama alanlarında “Super Decisions” yazılımını kullanmaktadır [37]. Bu yazılımın ara yüzü Şekil 4.4’de sunulmaktadır.



Şekil 4.4 : Super Decisions Yazılı

4.2.5 Modelin Bulguları

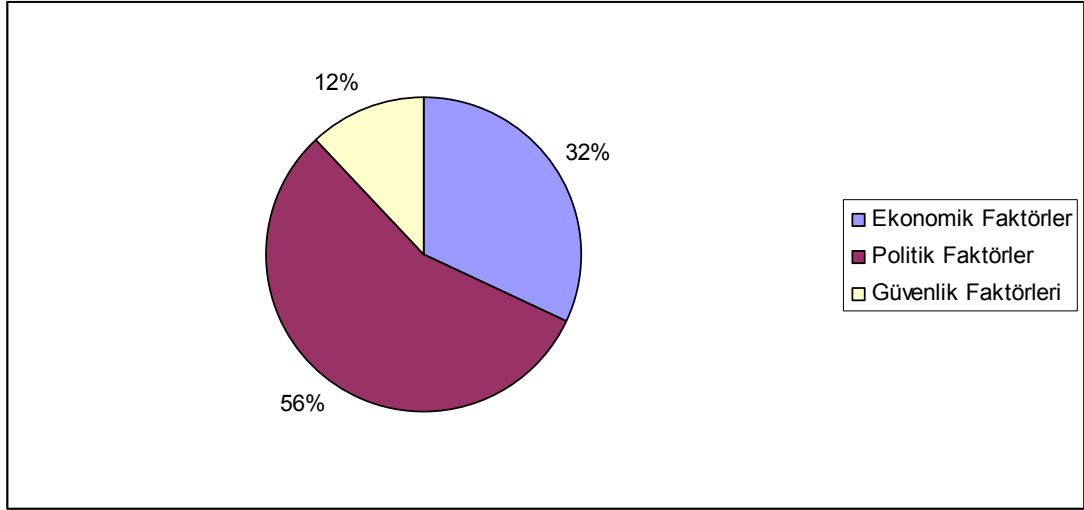
Uzman görüşlerinde elde edilen sonuçların AHS Yöntemi ile değerlendirilmesi neticesinde, görülen tüm kriterlerin kendi grupları içerisinde AHS yöntemi metodolojisine uygun olarak belirlenmiş ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak ağırlıklı puanlar hesaplanmıştır. Burada önce, oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi normalize edilmiş, daha sonra oluşan bu normalize matrisin satırları toplanarak bulunan matrisin tekrar normalize edilmesiyle, ağırlıklı puanlar hesaplanmıştır. Tablo 4.2’de modele ait elde edilen veriler toplu halde sunulmaktadır.

Tablo 4.2 : AHS Modeli Bulguları

KRİTERLER	GENEL AĞIRLIKLAR	GEMİ İLE LNG TAŞIMACILIĞI	BORU HATTI
Ekonomik Faktörler	0,319617	0,186443	0,133174
Politik Faktörler	0,558427	0,451632	0,106795
Güvenlik Faktörleri	0,121956	0,066325	0,055631
ALT KRİTERLER			
Kurulum Giderleri	0,500000	0,666667	0,333333
Bakım ve Onarım Giderleri	0,250000	0,500000	0,500000
Ekonomik Ömür	0,250000	0,500000	0,500000
Proje Finansal Faktörler	0,189711	0,750019	0,249981
Bölgesel Politik Faktörler	0,263073	0,800000	0,200000
Bölgesel Bağımlılık Faktörleri	0,547216	0,833333	0,166667
Çevre Güvenliği	0,263073	0,666667	0,333333
İnsan Güvenliği	0,547216	0,500000	0,500000
Kaza Riski	0,189711	0,500000	0,500000
SONUÇ		0,704400	0,295600

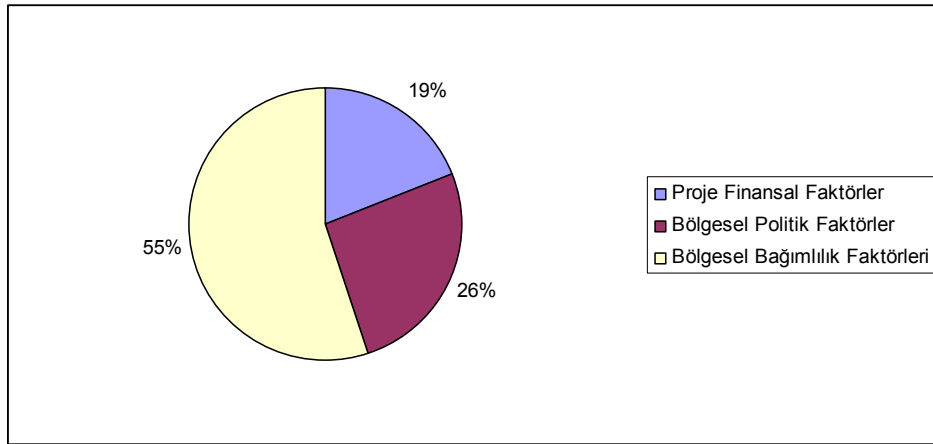
Bu tür çalışmalarda detaylı bir analiz yapabilmek için problem hiyerarşisini oluşturan tüm öğelerin kendi hiyerarşik kademelerinde ayrı ayrı değerlendirilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmanın akışı içerisinde öncelikle ana kriterler için karşılaştırmalı değerlendirme yapılacaktır. Doğalgaz iletiminde en uygun yöntemin belirlenmesinde ekonomik faktör, politik faktör ve güvenlik faktörü ana kriterlerine bakıldığında, politik faktörlerin %56, ekonomik faktörlerin %32, güvenlik

faktörlerinin %12 olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre seçim kararının verilmesinde politik faktörlerin diğer faktörlere oranla çok daha önemli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ana kriterlerin ağırlık dağılımları Şekil 4.5’de verilmiştir.



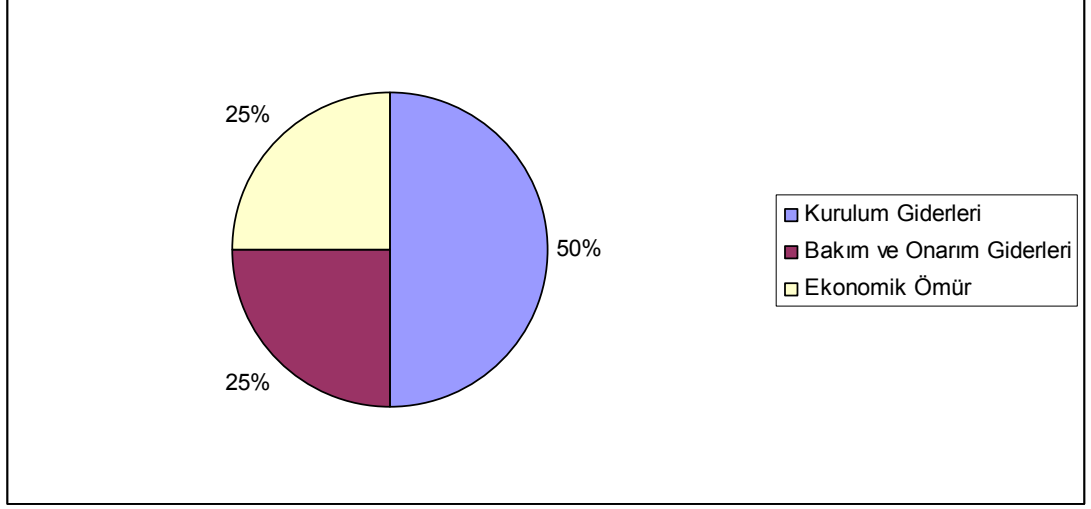
Şekil 4.5 : Ana Kriterlerin Ağırlık Dağılımı

Ana kriterlerin dağılımı incelendiğinde politik faktörlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Politik faktörlerin alt kriterlerinin kendi aralarında önem dağılımına bakıldığında, bölgesel bağımlılık faktörünün %55, bölgesel politik faktörlerin %26, proje finansal faktörlerin %19 olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre politik faktörlerin içinde uzman personele göre en önemli kriterin doğalgazda bölgesel bağımlılığın olduğu ortaya çıkmıştır. Politik faktörlerin alt kriterlerinin ağırlık dağılımları Şekil 4.6’de verilmiştir.



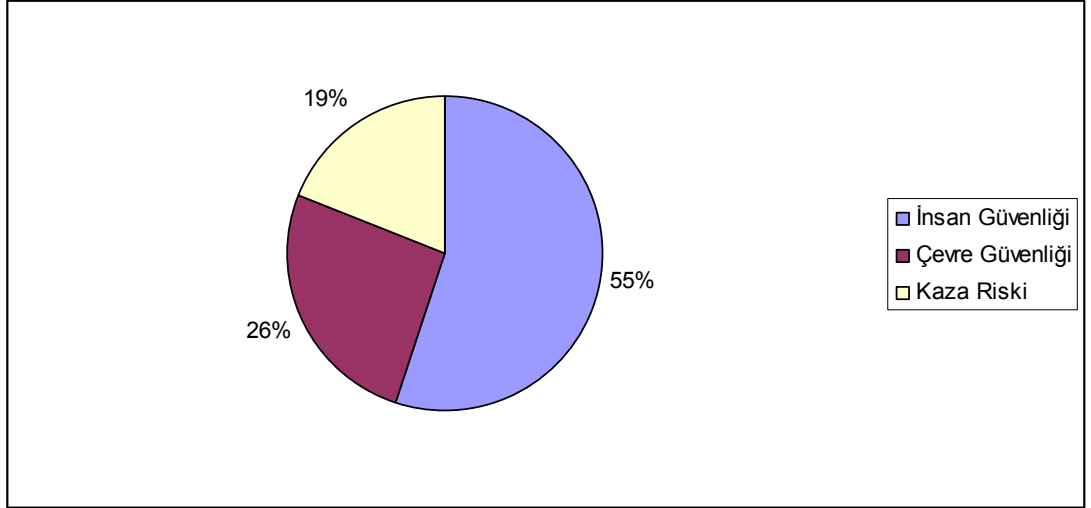
Şekil 4.6 : Politik Faktörlerin Alt Kriterlerinin Ağırlık Dağılımı

Ana kriterlerden ekonomik faktörlerin alt kriterlerinin kendi arasındaki önem dağılımına bakıldığında, kurulum giderlerinin %50, bakım ve onarım giderlerinin %25, ekonomik ömrün %25 olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre ekonomik faktörler içinde en önemli kriterin kurulum gideri olduğu ortaya çıkmaktadır. Ekonomik faktörlerin alt kriterlerinin ağırlık dağılımları Şekil 4.7’de verilmiştir.



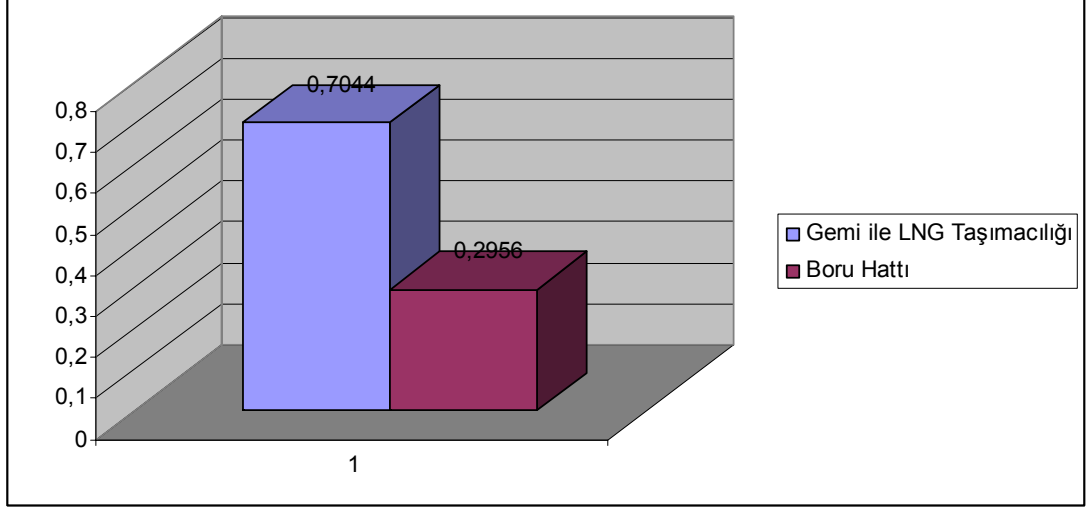
Şekil 4.7 : Ekonomik Faktörlerin Alt Kriterlerinin Ağırlık Dağılımı

Güvenlik faktörlerini oluşturan alt kriterlerin kendi arasındaki önem dağılımına bakıldığında, insan güvenliği %55, çevre güvenliği %26, kaza riski %19 olarak şekillendiği görülmektedir. Güvenlik faktörleri alt kriterlerinin ağırlık dağılımları Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Güvenlik Faktörlerinin Alt Kriterlerinin Ağırlık Dağılımı

Analiz neticesinde doğalgaz iletiminde en uygun yöntemin seçiminde gemi ile LNG taşımacılığının 0,7044 ağırlık ile 0,2956 ağırlıklı boru hattına göre çok daha avantajlı doğalgaz iletim yöntemi olarak görülmüştür. Nihai karar Şekil 4.9’de sunulmuştur.



Şekil 4.9 : Nihai Karar

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Dünya genelinde enerji kaynaklarına ve buna paralel olarak doğalgaza olan talebin hızla artması ve doğalgaz alanlarının doğalgaz talep eden ülkelere uzak olması, doğalgazın sadece boru hatları ile taşınarak kullanıcı ülkelere iletilmesini imkansız hale getirmiştir. Boru hattının alternatifi olarak dünyanın üçte ikisini oluşturan denizlerden faydalanarak gemilerle LNG taşınmasını gündeme getirmiştir. İlk yıllarda göreceli olarak çok pahalı olması nedeniyle ön plana çıkmayan LNG gemi taşımacılığı, teknolojik gelişmeler ve sektörün hızla gelişmesi nedeniyle kurulum ve inşaa maliyetlerindeki aşırı düşüş, denize kıyısı olan ülkeler için doğalgaz iletiminde gemi ile LNG taşımacılığı, boru hatlarına bir alternatif olmaya başlamıştır. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'nin doğalgaz alanlarına yakınlığı, üretici ülkeler ile tüketici ülkeler arasında doğal bir enerji köprüsü olması ve bulunduğu coğrafyadaki jeopolitik nedenlerden dolayı Türkiye'nin boru hatlarının yanında gemi ile LNG taşımacılığı alternatifi gündeme gelmektedir. Böyle bir çok ölçütlü karar verme probleminde politika yapımcıların ve armatörlerin karar vermesini kolaylaştırmak için karar hiyerarşisi geliştirilmiş ve bu hiyerarşiye göre alınan uzman görüşleriyle hiyerarşi unsurları ikili olarak birbirleriyle karşılaştırılmış ve AHS yöntemi uygulanarak, "Super Decisions" yazılımı yardımıyla göreceli ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu çalışmada AHS yönteminin seçilmesinin nedeni; AHS yönteminin sayısal olmayan çoklu verileri sayısal değerlere dönüştürerek sayısal sonuçlara ulaşmamızı sağlamasıdır. Bu yöntem özellikle denizcilik sektöründe politik ve stratejik karar verme sürecinde ülkemizde de sıklıkla kullanılmaktadır. AHS yöntemi ile yapılan analiz sonunda elde edilen bulgulara göre problemin en alt kademesinde yer alan alternatifler için performans değerleri ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma neticesinde Türkiye'de doğalgaz iletiminde en uygun yöntemin belirlenmesi sürecini etkileyen en önemli faktör politik faktörlerdir. Özellikle doğalgaz tedarikinde bölgesel bağımlılık bu sürecin tamamında en önemli faktör olarak kendini göstermiştir. Buna bağlı olarak bölgesel politik faktörler ve proje oluşturulması aşamasında finansal faktörler önemli diğer ölçütlerdir.

Bu ölçütlerden yola çıkarak yapılan değerlendirme neticesinde, gemi ile LNG taşınması boru hatlarıyla taşınmasına nazaran görece olarak çok daha avantajlı olduğu görülmüştür. Bununla beraber Türkiye'nin konumu da dikkate alındığında, bölgesinde politik açıdan bağımlı olmayacak ve enerji dağıtımında inisiyatif sahibi bir yapıya kavuşacak şekilde, doğalgaz üreten ülkelerden doğalgaz alımında ve enerji ihtiyacı olan bölgelere doğalgaz iletiminde, boru hattı ve gemi ile LNG taşımacılığının orantılı bir biçimde uygulanmasının ve buna paralel olarak Türkiye genelinde yeni gazlaştırma ve sıvılaştırma tesisleri kurulmasının bir zaruret olduğu tespit edilmiştir.

Dünya genelinde, doğalgaz üretici ülkelerin LNG üretiminde sekiz yıllık bir sürede üretimlerini %100'ün üzerinde artış yapacak şekilde yeni projeler üretmeleri (2007 yılında 211,08 milyar metreküp olan üretim, 2015 yılında 571,8 milyar metreküp'e çıkacaktır [38]). Halen üretim ve proje aşamasında olan LNG gemilerinin kapasite toplamı önümüzdeki beş yıl içerisinde %100'e yakın artacaktır. En büyük enerji pazarlarından biri olan Avrupa Birliği'nde halen 14 LNG gazlaştırma tesisi bulunmasına rağmen, inşa halinde 6, planlama aşamasında ise 27 adet olmak üzere toplam 33 adet yeni LNG gazlaştırma tesisinin 10 yıl içinde devreye girmesiyle LNG gazlaştırma kapasitesinin %300'e yakın artması öngörülmektedir [39]. Bu veriler ve tespitlerin, çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırıldığında tam bir uyum içinde olduğu ve uygulanan modelin gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Türkiye'de ileriki yıllarda hangi bölgelerin LNG taşımacılığında gelişme gösterebileceği ve yeni LNG taşıma güzergahlarının nereler olması gerektiği konusunda fizibilite çalışmalarını da kapsayacak bir çalışma yapılmasının bu konuda yürütülebilecek ileri çalışma alanları olabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] www.betadogalgaz.com/hizmet.php
- [2] <http://tr.wikipedia.org/wiki/LNG>
- [3] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Metan>
- [4] **ABS**, 2006. Gas Carrier Training Course
- [5] <http://www.akdogalgaz.com/faq.html>
- [6] **ABSConsulting Inc.**, 2004. Consequence assessment methods for incidents involving releases from liquefied natural gas carriers, Report prepared for Federal Energy Regulatory Commission, contract FERC04C40196. May 13, 2004
- [7] **EIR**, 2006. Chronological List of LNG Accidents, Cabrillo Port
- [8] www.beg.utexas.edu/energyecon/lng/
- [9] **ASPEN ENVIROMENTAL GROUP**, 2005. International and National Efforts to Address The Safety and Security Risks of Importing Liquefied Natural Gas: A Compendium, Sacramento, CA, USA
- [10] <http://www.lr.org/NR/rdonlyres/8FC89CB7-239F-4980-BBB6-5F8E3C152B02/71319/GroupReview2007.pd>
- [11] <http://www.dnv.com/industry/maritime/index.asp>
- [12] <http://www.eagle.org/company/overview.html>
- [13] **BP**, 2006. Statistical Review of World Energy
- [14] **EIA**, 2004. International Energy Annual
- [15] **BP**, 2007. Statistical Review of World Energy
- [16] **BP**, 2006. Annual Review
- [17] **LNG Journal**, September/October 2004
- [18] www.eia.doe.gov
- [19] www.lngoneworld.com
- [20] **Jensen, James T.**, 2003, The LNG Revolution, A Paper Submitted in Recognition of "The 2001 Award for Outstanding Contributions to the Profession of Energy Economics" and Published in the Energy Journal of the International Association for Energy Economics Volume 24, Number 2, pp.2-6
- [21] **Greenspan, A.**, Chairman, U.S.Federal Reserve Board., June 10, 2003, Natural Gas Supply and Demand Issues." Testimony before the House Energy and Commerce Committee.

- [22] **Ushida, T, Nishizaki, T and Kagawa, H.**, 2004, Establishment of Systematic Maintenance Procedure for Concrete Structures in LNG Terminal, Engineering Department, Osaka Gas Co., Ltd., pp.7
- [23] **Parfomak, Paul W.**, January 28, 2004, Liquefied Natural Gas (LNG) Import Terminals: Siting, Safety and Regulation, CRC Report for Congress, pp.6-12
- [24] **Gerdsmeyer, K.D. and Isalski, H.**, 2003, On-Board Reliquefaction for LNG Ships, Tractebel Gas Engineering, p.4-5
- [25] **Forman, E. and Selly, M. A.**, 2000, *Decision by Objectives*, Expert Choice Inc.
- [26] **Saaty, L.T.**, 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Comp., U.S.A.
- [27] **Wind, Y. and Saaty, T.**, 1980, Marketing applications of the Analytic Hierarchy Process", *Management Science*, 26 (7) , 641-658.
- [28] **Golden, B. L., Wasil, E. A. and Harker P. T.**, 1989 , Introduction, *The Analytic Hierarchy Process*, Springer Verlag, , pp. 1-36.
- [29] **Zahedi, F.** 1986, *The Analytical Hierarchy Process*, A survey of the method and its applications, pp. 96-108.
- [30] **Chin K.S., Chiu, S. and Tummala, V. M. R.**, 1999, An evaluation of success factors using the AHP to implement ISO 14001-based EMS, *International Journal of Quality and Reliability Management*, pp. 341-361.
- [31] **Kuruüzüm A. and Atsan N.**, 2001, The analytic hierarchy process approach and its applications in business, *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi (1) pp.*, 83-105.
- [32] **Rangone, A.**, 1996, An Analytic Hierarchy Process framework for comparing the overall performance of manufacturing departments, *International Journal of Operation and Production Management*, pp. 104-119.
- [33] **Evren, R. ve Ülengin F.**, 1992, Yönetimde Karar Verme, *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını*, Sayı: 1478.
- [34] **Saaty, T.**, 1991, *Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process*, *Behaviormetrika*, Vol. 29, 1 - 9.
- [35] **Saaty, T.**, 1999, *The Seven Pillars Of The Analytic Hierarchy Process*, 322 Mervis Hall, Pittsburg,
- [36] **Millet, I.**, 1998, Ethical decision making using the Analytic Hierarchy Process, *Journal of Business Ethics*, pp.104.
- [37] **Creative Decision Foundation**, 2006 *Super Decision Software Tutorials* ,<http://www.superdecisions.com>, Creative Decisions Foundation, Pittsburgh.
- [38] **Reuters**, 3 Mayıs 2008, "Table-Gas liquefaction terminal projects" konulu makalesi.
- [39] **King&Spalding**, 2006, "LNG in Europe, An Overview of European Import Terminals" raporu, Houston, Texas

EKLER

Tablo A : LNG Kazalarının Kronolojik Listesi

Kaza Tarihi	Gemi/Tesis Adı	Mevkii	Geminin Durumu	Yaralı/ Ölü	Hasar Durumu	LNG Kaçağı	Açıklama
1944	Doğu Ohio Gaz LNG Tankı	Cleveland, Ohio, ABD	Bilinmiyor	128 ölü	Bilinmiyor	Bilinmiyor	LNG Tesisi. Tank arızası. Gaz bulutu oluştu ve bulut caddeleri ve kanalizasyon sistemini doldurdu, daha sonrada gaz bulutu alev aldı.
1965		Canvey Islend, UK	Transfer İşlemi	1 ciddi yanık		Evet	
1965	Jules Vernet		Yükleme	Hayır	Evet	Evet	Aşırı yükleme. Tank taşı ve güvertede çatlak oluştu.
1965	Methan Princess		Boşaltma işlemi	Hayır	Evet	Evet	Valf kaçağı. Güvertede çatlak oluştu.

Kaza Tarihi	Gemi/Tesis Adı	Mevkii	Geminin Durumu	Yaralı/ Ölü	Hasar Durumu	LNG Kaçağı	Açıklama
1971	LNG gemisi Esso Brega, La Spezia LNG Terminali	İtalya	Yükleme tankına boşaltma sırasında	Yok	Yok	Evet	Tankta ani basınç artışı oluştu. LNG gazı güvenlik valfları sayesinde boşaltıldı ve havalandırıldı. Tankın tavanı hafif bir şekilde hasara uğradı. Patlama olmadı.
1973	Texas Doğu LNG Transit Tankı	Staten Island, NY, ABD	Bilinmiyor	40 ölü	Hayır	Hayır	LNG ile ilgisi olmayan endüstriyel bir kaza. Boş tankta onarım faaliyeti yapılması esnasında tankın içinde gaz oluşması nedeniyle basınç artmış ve tankın içinde patlama gerçekleşmiş. Tankın tavanı havaya uçarak tankın üzerinde çalışan işçilerin üzerine düşmüş.

Kaza Tarihi	Gemi/Tesis Adı	Mevkii	Geminin Durumu	Yaralı/ Ölü	Hasar Durumu	LNG Kaçağı	Açıklama
1973		Canvey Islend, UK	Bilinmiyor	Hayır	Evet	Evet	Küçük bir LNG kaçağının yağmur suyu birikintisi ile temasa geçerek hızlı genleşme oluşmuş ve bunun sonucunda küçük çaplı bir patlama olmuştur. Olayda yaralanma olmamıştır.
1974	Massachusett		Yükleme	Hayır	Evet	Vet	Valf kaçağı. Güvertede kırılma oluştu
1974	Methane Princess		Limanda	Hayır	Evet	Hayır	Karaya oturma
1975	Philadelphia Gas Works		Bilinmiyor	Hayır	Evet	Bilinmiyor	LNG ile ilgili olmayan bir kaza. Boş tankta oluşan gazın bulutunun tanktan çıkarak etrafta küçük çaplı bir yangın meydana getirmiştir.

Kaza Tarihi	Gemi/Tesis Adı	Mevkii	Geminin Durumu	Yaralı/ Ölü	Hasar Durumu	LNG Kaçağı	Açıklama
1977	Arzew	Cezayir	Bilinmiyor	1 çalışan donarak öldü	Bilinmiyor	Evet	Sıvılaştırma terminalinde alüminyum valf arızasının onarımında yanlış alüminyum alaşım kullanılması sonucunda LNG kaçağı meydana gelmiş, gaz bulutu oluşmamıştır.
1977	LNG Aquarius		Yükleme	Hayır	Hayır	Evet	Tankın aşırı yüklenmesi
1979	Columbia Gaz LNG Terminali	Cove Point, Maryland, ABD	Bilinmiyor	1 ölü, 1 ciddi yaralı	Evet	Evet	Elektrik trafosunda bir patlama meydana geldi. LNG sızıntısı sonucu oluşan gaz bulutu kablo kanallarından 50 metre yerin altında bulunan elektrik trafosuna geldi. Burada bir sızıntı oluşabileceği düşünülmediğinden gaz dedektörü bu bölgede bulunmamaktaydı (LNG gazlaştırma terminali)

Kaza Tarihi	Gemi/Tesis Adı	Mevkii	Geminin Durumu	Yaralı/ Ölü	Hasar Durumu	LNG Kaçağı	Açıklama
1979	Mostefa Ben-Boulaïd Gemisi	?	Boşaltma	Hayır	Evet	Evet	Valf kaçağı. Güvertede kırık oluştu.
1979	Pollenger Gemisi	?	Boşaltma	Hayır	Evet	Evet	Valf kaçağı. Tankı çevreleyen plakada kırık.
1979	El Paso Paul Kayser Gemisi		Denizde	Hayır	Evet	Hayır	Karaya oturma. Balast tanklarında ve makine dairesinde hasar meydana geldi.
1980	LNG Libra		Denizde	Hayır	Evet	Hayır	Şaft kitlenmesi neticesinde şaftta kırık oluştu.
1980	LNG Taurus		Limanda	Hayır	Evet	Hayır	Karaya oturma.bölmelerde hasar oluştu.
1984	Melrose		Denizde	Hayır	Evet	Hayır	Makine dairesinde yangın. Başka alanlara sıçramadığı için yapısal bir hasar oluşmadı.

Kaza Tarihi	Gemi/Tesis Adı	Mevkii	Geminin Durumu	Yaralı/Ölü	Hasar Durumu	LNG Kaçağı	Açıklama
1985	Gradinia		Limanda	Hayır	Rapor edilmedi	Hayır	Şaft arızası. Herhangi bir hasar rapor edilmedi.
1985	Isabella		Boşaltma	Hayır	Evet	Evet	Cargo valf arızası. Güvertede hasar oluştu
1989	Tellier		Yükleme	Hayır	Evet	Evet	Halatların kopması. Güvertede hasar oluştu.
1990	Bachir Chihani		Denizde	Hayır	Evet	Hayır	Tankın iç kısmında materyal yorgunluğu ve gerilim nedeniyle çatlak oluştu.
1993	Endonezya Sıvılaştırma Tesisi	Endonezya	Bilinmiyor	Hayır	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bir pompa modifikasyon projesinin uygulanması esnasında LNG sızıntısı meydana gelmiş. Oluşan buhar gazı kanalizasyon sistemine girerek patlama meydana gelmiştir. Kanalizasyon sistemi kullanılmaz hale gelmiştir.

Kaza Tarihi	Gemi/Tesis Adı	Mevkii	Geminin Durumu	Yaralı/ Ölü	Hasar Durumu	LNG Kaçağı	Açıklama
2002	LNG Gemisi Norman Lady	Cebelitarık Boğazı Doğusu	Denizde	Hayır	Evet	Hayır	ABD Nükleer Denizaltısı USS Oklahoma City ile çarpışma gerçekleşmesi sonucu kuru tank alanına deniz suyu dolmuştur.
2004	Skikda 1	Cezayir	Bilinmiyor	27 ölü 56 yaralı	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Ocak 2004 tarihinde tesiste yangın meydana geldi. Üç ünite tamamen yandı. Tesiste bulunan yükleme tesisleri ve saklama tankları hasar görmedi. Detaylı rapor beklenmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

12.03.1972 tarihinde İzmit’de doğdu. İlk öğrenimini İzmit İstiklal İlkokulu’nda, orta öğrenimini İzmit İnkılap Ortaokulu’nda, lise öğrenimini Heybeliada Deniz Lisesi’nde tamamladı. 1990 yılında lisans öğrenimine başladığı Deniz Harp Okulu Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1994 yılında mezun oldu. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bünyesindeki savaş gemilerinde branş subaylığı ve bölüm amirliği görevlerini yaptı. Halen Deniz Kuvvetlerinde subay olarak görev yapmaktadır.