

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LPG DEPOLAMA TANKLARINDA YANGIN ve PATLAMA DURUMLARININ  
MODELLENMESİ**

**VOLKAN AÇIKGÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. ÜLKER BEKER**

**İSTANBUL, 2012**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LPG DEPOLAMA TANKLARINDA YANGIN ve PATLAMA DURUMLARININ**  
**MODELLENMESİ**

Volkan AÇIKGÖZ tarafından hazırlanan tez çalışması 09.02.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Ülker BEKER

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

Dr. Dilek DURANOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Ülker BEKER

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Belma KIN ÖZBEK

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Bahire Filiz ŞENKAL

İstanbul Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Gerek Lisans, gerekse Yüksek Lisans öğrenimim ve çalışmalarımın her aşamasında bilgi birikimi, tecrübesi ve önerileri ile beni destekleyen, yardımlarını esirgemeyen ve fikirleriyle bana her konuda yol gösteren; hayatım boyunca sevgi ve saygıyla hatırlayacağım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ülker BEKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaratıcı fikirleriyle tezime ışık tutan, yardımları ve desteği ile her zaman yanımda olan sevgili hocam Dr. Dilek DURANOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Deneysel tasarım ve model denklemlerin geliştirilmesi konusunda yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarına farklı bir bakış açısı katarak zenginleştiren Sayın Dr. Korkut AÇIKALIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında deyim yerindeyse fikir babalığı yapan değerli büyüğüm BP Gaz A.Ş. Danışmanı Mehmet Yavuz SAVAŞ'a ve kendisini tanımam konusunda vesile olan ve her konuda destek olan Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi'ne teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca birikimiyle sorularımı yanıtlayan Milangaz A.Ş. Teknik Müdürü Sayın Mehmet KARIN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca beni destekleyen, beni anlayışla karşılayan müdürlerime, yardımlarını esirgemeyen tüm iş ve okul arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm tez süreci boyunca hiçbir yardımını esirgemeyen, varlığıyla bu süreçte her an eksiksiz desteğini hissettiren Arş. Gör. Cansu NOBERİ'ye teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve öğrenim hayatım boyunca hiçbir fedarklıktan kaçınmayarak beni bu günlere getiren sevgili aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Şubat, 2012

Volkan AÇIKGÖZ

## İÇİNDEKİLER

---

	SAYFA
SİMGE LİSTESİ .....	Vii
KISALTMA LİSTESİ .....	Viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	3
1.3    Hipotez .....	4
BÖLÜM 2.....	5
PETROL.....	5
2.1    Petrol Rafinasyonu .....	6
BÖLÜM 3.....	9
LPG (SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI).....	9
3.1    LPG Özellikleri .....	10
3.2    LPG'nin Üretim Yöntemleri .....	12
3.2.1    Petrol rafinasyonu süreci .....	12
3.2.2    Doğalgazdan LPG üretimi.....	13
3.3    LPG'nin Kullanım Alanları.....	17
3.3.1    Otogaz .....	17
3.3.2    Evsel kullanım .....	18
3.3.3    Hizme sektöründe kullanım .....	19

3.3.4	Diğer sanayi kollarında dökme LPG kullanım.....	19
3.3.5	Tavuk çiftliklerinde kullanım .....	19
3.3.6	Tarım ve seracılıkta kullanım .....	19
3.4	LPG Pazarlama Faaliyetleri.....	19
3.5	LPG Depolama Sistemleri.....	20
3.5.1	Yer altı (örtülü) LPG depolama sistemleri.....	21
3.5.2	Yer üstü LPG depolama sistemleri .....	23
3.5.3	Yer altı ve yer üstü LPG depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	24
3.6	LPG Kazaları ve Meslek Hastalıkları .....	27
3.6.1	Büyük LPG kazaları .....	27
3.6.2	Meslek hastalıkları .....	31
BÖLÜM 4.....		33
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....		33
4.1	ALOHA 5.4.1.2. (Areal Locations of Hazardous Atmospheres).....	34
4.1.1	ALOHA 5.4.1.2. programının kullanımı .....	35
4.2	DeneySEL Tasarım.....	45
4.3	Merkezi Bileşik Tasarım .....	45
4.4	Cevap Yüzey Analizi.....	46
4.5	Model Denklemler .....	46
4.6	Merkezi Bileşik Tasarımın DeneySEL Verilere Uygulanması .....	47
BÖLÜM 5.....		50
DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....		50
5.1	“Jet fire” Durumu için Model Denklemlerin Geliştirilmesi.....	50
5.2	BLEVE Durumu için Model Denklemlerin Geliştirilmesi .....	53
5.3	Model Denklemlerden Elde Edilen Sonuçların Kontrol Deneylerinin Sonuçları ile Karşılaştırılması .....	56
5.4	Model Denklemleri Yorumlanması .....	58
5.4.1	“Jet fire” durumu için elde edilen model denklemlerinin yorumlanması .....	59
5.4.2	BLEVE durumu için elde edilen model denklemlerinin yorumlanması... 60	
5.5	Cevap Yüzey Grafiklerinin Yorumlanması .....	61
5.5.1	“Jet fire” durumu için cevap yüzey grafiklerinin yorumlanması.....	61
5.5.2	BLEVE durumu için cevap yüzey grafiklerinin yorumlanması.....	64
BÖLÜM 6.....		67
LPG DOLUM TESİSİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ .....		67
6.1	Risk Analizi ve Değerlendirme .....	68
6.1.1	Tehlike kaynaklarının belirlenmesi .....	68
6.1.2	Tehlikelerin belirlenmesi.....	70

6.1.3	Önlemlerin belirlenmesi .....	71
6.1.4	Kararlaştırılan önlemlerin uygulanması .....	72
6.1.5	Uygulamanın izlenmesi ve değerlendirmesi .....	72
6.1.6	Periyodik risk analizlerinin yapılması .....	72
BÖLÜM 7	.....	74
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	.....	74
KAYNAKLAR	.....	77
EK-A	.....	80
TESİS	.....	80
EK-B	.....	82
ALOHA 5.4.1.2 SONUÇ GRAFİKLERİ	.....	82
EK-C	.....	90
CEVAP YÜZEY GRAFİKLERİ	.....	90
ÖZGEÇMİŞ	.....	96

## SİMGE LİSTESİ

---

$\Phi$	Çap
$\sigma$	Stephan-Boltzman Sabiti
dB	Desibel
$\varepsilon_w$	Yüzey Emisyonu
$h_c$	Isı Transer Katsayısı
L	Uzunluk
r	Yarıçap
$R^2$	Korelasyon Katsayısı
$q_c/A$	Kondüksiyon/Konveksiyonla Isı Akısı
$q_r/A$	Radyasyonla Isı Akısı
$q_i/A$	Toplam Isı Akısı
T	Sıcaklık
$T_s$	Çevre Sıcaklığı
$T_w$	Yüzey Sıcaklığı

## KISALTMA LİSTESİ

---

ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
EPA	Environmental Protection Agency
GPA	Gas Processor's Association
İSG	İşçi Sağlığı ve Güvenliği
LPG	Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazları)
M.Ö.	Milattan Önce
PARPAT	Parlayıcı ve Patlayıcı
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RH	Rüzgar Hızı
TDO	Tank Doluluk Oranı
TSE	Türk Standardı Enstitüsü
TÜPRAŞ	Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.



## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Petrolün yerkabuğunda oluşumu [10] .....	6
Şekil 2.2	Petrolün rafinasyonunda distilasyon kolonundan alınan ürünler [17] .....	7
Şekil 3.1	Ham petrol rafinasyonu [21] .....	13
Şekil 3.2	Turbo genişleme süreci akış şeması [21] .....	14
Şekil 3.3	Absorpsiyon süreci akış şeması [21].....	15
Şekil 3.4	Adsorpsiyon süreci akış şeması [21].....	16
Şekil 3.5	Yerüstü tankları [25].....	20
Şekil 3.6	Yeraltı tankları [26].....	21
Şekil 3.7	Kazanın meydana geldiği Paese'deki LPG depolama tesisi [7].....	28
Şekil 3.8	"Jet fire" anında ve sonrasında tankın görüntüsü [7] .....	29
Şekil 3.9	Yangın ve patlama oluşum akım şeması [7] .....	30
Şekil 3.10	BLEVE anında ve sonrasında tankın görünümü [7] .....	31
Şekil 4.1	ALOHA programı açılış penceresi .....	35
Şekil 4.2	ALOHA programı İstanbul konumu tanımlanmış penceresi.....	36
Şekil 4.3	ALOHA programında kimyasal seçimi penceresi.....	36
Şekil 4.4	ALOHA programında atmosferik verilerin girilmesi 1 .....	37
Şekil 4.5	ALOHA programında atmosferik verilerin girilmesi 2 .....	38
Şekil 4.6	ALOHA programı konum, kimyasal madde ve atmosferik şartların tanımlanmış penceresi .....	38
Şekil 4.7	ALOHA programı tank tipi ve boyut seçimi penceresi .....	39
Şekil 4.8	ALOHA programı tank içi fiziksel hal tanımlama penceresi .....	39
Şekil 4.9	ALOHA programı tank içi doluluk oranı seçimi penceresi.....	40
Şekil 4.10	ALOHA programı yangın senaryosu seçim penceresi.....	41
Şekil 4.11	ALOHA programı tank dolum-tahliye açıklığı boyutları seçim penceresi .....	42
Şekil 4.12	ALOHA programında veriler ve sonuçların özet gösterimi.....	42
Şekil 4.13	ALOHA programı tehlike bölgelerinin tanımı .....	43
Şekil 4.14	ALOHA programında tehlike bölgesi mesafelerinin gösterimi.....	44
Şekil 4.15	ALOHA programında tehlike bölgelerinin grafiksel gösterimi .....	44
Şekil 5.1	"Jet fire" durumu tehlike bölgesi 1 için rüzgar hızı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi.....	62
Şekil 5.2	2 "Jet fire" durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi.....	63
Şekil 5.3	"Jet fire" durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve rüzgar hızına bağlı cevap yüzeyi .....	63

Şekil 5.4	BLEVE durumu tehlike bölgesi 1 için rüzgar hızı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi.....	64
Şekil 5.5	BLEVE durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi .....	65
Şekil 5.6	BLEVE durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve rüzgar hızına bağlı cevap yüzeyi.....	66
Şekil Ek A-1	Örnek bir LPG tesisi .....	81
Şekil Ek B-1	“Jetfire” durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri .....	82
Şekil Ek B-2	BLEVE durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri .....	86
Şekil Ek C-1	“Jet Fire” durumu tehlike bölgesi 2 için cevap yüzey grafikleri .....	90
Şekil Ek C-2	“Jet Fire” durumu tehlike bölgesi 3 için cevap yüzey grafikleri .....	91
Şekil Ek C-3	BLEVE durumu tehlike bölgesi 2 için cevap yüzey grafikleri .....	93
Şekil Ek C-4	BLEVE durumu tehlike bölgesi 3 için cevap yüzey grafikleri .....	94

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	LPG, propan ve bütanın özellikleri [20]..... 11
Çizelge 3.2	Avrupa ülkelerinde mevsime göre LPG bileşimleri [18]..... 18
Çizelge 4.1	Atmosferik şartlar ve tanka ait veriler .....34
Çizelge 4.2	Merkezi bileşik tasarım için kodlar ve gerçek değerler..... 47
Çizelge 4.3	“Jet fire” durumu için merkezi bileşik tasarım ile elde edilen sonuçlar...48
Çizelge 4.4	BLEVE durumu için merkezi bileşik tasarım ile elde edilen sonuçlar .....49
Çizelge 5.1	“Jet fire” durumu için model denklemlere ait katsayılar.....51
Çizelge 5.2	“Jet fire” tehlike bölgelerinin deneysel tasarım sonuçları ve hata değerleri .....53
Çizelge 5.3	BLEVE durumu için model denklemlere ait katsayılar .....54
Çizelge 5.4	BLEVE tehlike bölgelerinin deneysel tasarım sonuçları ve % hata değerleri .....55
Çizelge 5.5	“Jet fire” için elde edilen model denklemlerin kontrol deneyleri ile karşılaştırılması.....57
Çizelge 5.6	BLEVE için elde edilen model denklemlerin kontrol deneyleri ile karşılaştırılması.....58
Çizelge 5.7	“Jet fire” ve BLEVE durumu için geliştirilen model denklemler .....59

**LPG DEPOLAMA TANKLARINDA YANGIN ve PATLAMA DURUMLARININ  
MODELLENMESİ**

Volkan AÇIKGÖZ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ülker BEKER

Eş Danışman: Dr. Dilek DURANOĞLU

LPG, günümüzün ekonomik yakıtlarından olmakla birlikte hem kullanım kolaylığı hem de çevresel yönü tercih edilmesinin en önemli nedenlerindedir. Ülkemizde evlerde, sanayide ve oto gaz yakıtı olarak çok geniş bir kullanım alanına sahip olan LPG, kullanım ve kurulu tesisler bakımından dünya sıralamasında üst sıralarda yer almaktadır.

LPG her ne kadar çevreci bir yakıt olsa da, kullanımı sırasında insan ya da çevresel kaynaklı kazalar meydana gelebilir. Herhangi bir sızıntı, çok büyük yangınlara ya da şiddetli patlamalara sebep olabilmektedir.

Bu çalışmada, LPG depolama tanklarında meydana gelebilecek yangın ve patlama durumları merkezi bileşik deneysel tasarım yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Modelleme için gerekli veriler Amerikan Çevre Örgütü (EPA) tarafından geliştirilmiş olan ALOHA 5.4.1.2 programı ile hesaplanmıştır. Elde edilen model denklemler kullanılarak yangın ve patlamaların etki alanları hesaplanmış ve alınması gereken güvenlik önlemleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** LPG, yakıt, kaza, yangın, patlama, güvenlik, jet fire, BLEVE, model denklemler

**MODELLING OF FIRE AND EXPLOSION OCCURRENCES AT LPG STORAGE  
TANKS**

Volkan AÇIKGÖZ

Department of Chemical Engineering  
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ülker BEKER

Co-Advisor: Dr. Dilek DURANOĞLU

LPG is one of fuel that mostly preferred in case of being the most economic and clean one. In our country, LPG is widely used at homes, at industry and at vehicles as an auto gas. The usage of LPG and its facilities in Turkey are at high level compared to other countries all around the world.

Although LPG is an environmentally beneficial fuel, it can cause accidents which occur by either human usage or environmental factors. Any single leakage can cause enormous fires or acute explosions.

In this study, possible fire and explosion occurrences at LPG storage tanks were modelled by using central composite design method. The required data for modelling were calculated using ALOHA 5.4.1.2 which was developed by US Environmental Protection Agency (EPA). Impact areas of those fires and explosions have been calculated by using obtained models. In addition, the safety precautions have been determined.

**Key words:** LPG, fuel, accident, fire, explosion, safety, Jet fire, BLEVE, model equations

#### 1.1 Literatür Özeti

Ekonomiden siyasete kadar birçok olayı yönlendirebilen petrol günümüzdeki en önemli fosil enerji kaynaklarından birisidir. 1900'lerin başında kullanılmaya başlanan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG); ham petrolün rafinasyonu ile, bir dizi fiziksel ve kimyasal işleme tabi tutularak elde edilmektedir. LPG basınç uygulandığında sıvı faza geçmekte ve bu basınç kaldırıldığında tekrar gaz haline geri dönmektedir. Sıvı fazda taşınıp, depolanan LPG'nin tüketimi ise gaz fazında olmaktadır. LPG'nin diğer yakıt türlerine kıyasla kcal cinsinden verdiği ısı nedeniyle ekonomik oluşu, çevre dostu olması ve kullanımının kolay olması gibi avantajları tercih edilmesinde etkin rol oynamaktadır. LPG, Türkiye'de ilk defa 1960'ların başında şehir gazına ve gaz yağına alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise yaygın olarak sanayide, evsel amaçla ve otomobil yakıtı olarak kullanılmaktadır. Türkiye, oto gaz kullanımı açısından dünyada 2. sıradayken, Avrupada 1. sırada yer almaktadır. Türkiye aynı zamanda, oto gaz kullanan araç sayısı bakımından da Dünya ikincisi, dolum istasyonu sayısı bakımından ise dünya lideri konumundadır.

LPG zehirsiz bir gazdır, ancak oksijenin havadaki bulunma yüzdesini azalttığından boğucu özelliğe sahiptir. LPG ortamda yüksek yüzdelerde bulunursa tahriş ve merkezi sinir sistemi depresyonuna neden olabileceği gibi gözleri, mukoza zarını ve solunum yollarını da tahriş edebilmektedir.

LPG havadan daha ağır olduğu için herhangi bir kaza ya da sızıntı halinde benzin, motorin, vs. diğer yakıtlar gibi hemen havaya karışmaz ve zeminde birikerek patlayıcı

ve yanıcı bir ortam oluşturur. Böyle durumlarda ortamdaki LPG, yeri süpürür gibi aşağıdan yukarı hareketlerle ortamdaki atmosfere karışması sağlanır.

LPG dolun tesisleri genellikle şehre uzak bölgelere konumlandırılmalıdır. Bu bölgelerdeki tesislerde depolanan LPG, ihtiyaçlar doğrultusunda pazarlanmaktadır. Bu tesislerden istenilen bölgelere ise tankerlerle nakledilmektedir. LPG dolun tesisi tasarlanırken tüm incelemeler yapılmalı, risk ihtiva edebilecek her konu titizlikle incelenmelidir. Tesisin dolun ünitesi, depolama tanklarının konumları, tankların tipleri, tankların boyutları, tankların birbirlerine göre konumları, çalışma alanlarının dolun ve depolama ünitelerine göre konumları, vs. hassas hesaplara dayanmalıdır.

LPG; temiz, kolay kullanılabilir ve çevre dostu olmasına karşın yeterli güvenlik önlemleri alınmadığında ya da herhangi bir doğal afette çok büyük tehlikeleri beraberinde getirebilmektedir. 1978'de Romeoville Illinois'de, 1984'te Mexico City'de, 1993'te Kanada Quebec'de, 1996'da Treviso Paese'de, 1997'de Burnside Illinois'de, 1998'de Indiana Albert City'de ve 1999 ile 2002'de İzmit'te çok büyük LPG patlama ve yangınları olmuş ve onlarca insan ölmüş ya da yaralanmıştır.

LPG basınç altında sıvılaştırılarak taşındığı ve depolandığı için sonuçları son derece yıkıcı olabilecek yangın ve patlama riskleri taşımaktadır. Literatürde, LPG'nin gerek taşınması gerek depolanması gerekse de kullanımı sırasında meydana gelen yangın ve patlamaların incelendiği ve modellendiği çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar arasından LPG depolama tanklarındaki çeşitli yangın ve patlama durumlarının incelenmesi ve modellenmesi üzerine yapılmış çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Bi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yangın durumunda LPG tanklarının termal tepkilerini tahmin edebilmek için bir model geliştirilmiş ve geliştirilen modeller %60'ı dolu olan LPG tankları üzerinde uygulanmış ve LPG tanklarının termal tepkilerinin farklı yangın durumlarına göre vereceği sonuçlar araştırılmıştır [1]. Bubbico ve Marchini, LPG'nin taşıma tankerinden depolama tankına transferi esnasında LPG'nin istem dışı bir şekilde serbest kalması ile birlikte meydana gelen "Pool fire" tipi yangından sonra tank içeriğinin etkili bir şekilde patlaması ile meydana gelen alev topu oluşumunu ve ortaya çıkan farklı sonuçları incelemişler ve çeşitli modeller geliştirmişlerdir. [2]. Landucci ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada LPG tanklarındaki farklı kaplama

malzemelerinin ve kalınlıklarının bir yangın durumunda tankın büzüşme ve patlama süresini geciktirmeye yönelik etkileri deneysel olarak incelenmiş ve modellenmiştir [3]. Roberts ve arkadaşları LPG depolama tanklarında meydana gelen “Jet fire” tipi yangından ve devamında meydana gelebilecek BLEVE patlaması olasılıklarından yola çıkarak 2 tonluk propan tanklarında bu olasılığı araştırmış ve bunun sonuçlarını incelemişlerdir [4]. Shebeko ve arkadaşları LPG depolama tanklarında sızıntı sonucu meydana gelebilecek “Pool fire” tipi bir yangını etkileyebilecek sıcaklık, basınç, LPG kütlesi, tank duvar sıcaklığı gibi parametlerin oluşabilecek yangına etkilerini basit modellerle ifade etmişler ve güvenlik valfinin diğer etmenlere nazaran etkisini açıkça ortaya çıkarmışlardır [5]. Raj ise LPG depolama tanklarındaki sızıntıyla oluşabilecek “Pool fire” tipi yangını 1000°F’lık kritik bir sıcaklığa kadar incelemiştir ayrıca yüksek sıcaklık sebebiyle tankın termal ışıma sebebiyle ısınması sonuçlarını da araştırarak bunun daha kuvvetli patlamalara sebep olabileceği sonucuna varmıştır [6]. Demichela ve arkadaşları ise bir LPG depolama tesisinde tahliye valfinin aksaması sonucu propan sızıntısı sebebiyle meydana gelen “Pool fire” ve “Jet fire” tipi yangınlarla birlikte tankların birbirini etkileyerek daha ileri safhada meydana gelebilecek şiddetli BLEVE patlamalarını incelemişler, bu yangın ve patlama durumlarını ayrıntılı bir şekilde sonuçlarıyla beraber aktarmışlardır [7].

Bu çalışmada, ALOHA 5.4.1.2 programı kullanılarak patlama senaryoları araştırılmıştır. Seçilen model denklemler deneysel tasarım metodları kullanılarak daha geniş çerçevede incelenerek “Jet Fire” ve BLEVE durumlarının daha ayrıntılı bir şekilde gözlemlenebilmesi sağlanmıştır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu çalışmanın amacı, LPG depolama tanklarında herhangi bir sızıntı sebebiyle oluşabilecek yangın ya da patlama durumunda ne kadarlık bir alanın ne ölçüde etkileneceğinin ve böyle durumlara alınacak önlemlerin belirlenmesidir. Bu bağlamda LPG tankının boyutundan, doluluk miktarından, sıcaklık ve rüzgar hızı gibi atmosferik şartlardan yola çıkarak bir LPG tankının yanması (Jet fire) ve patlaması (BLEVE) durumlarında etkilenebilecek alanlar Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA) tarafından geliştirilmiş olan ALOHA programı kullanılarak hesaplanmıştır. ALOHA programından



elde edilen veriler deneysel tasarım yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Böylece, tanktaki propan miktarı ve atmosferik koşullara bağlı olarak bir yangın ve patlama durumunda etkilenecek alanlar tek bir model denklemle ifade edilmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Deneysel tasarım yöntemleri uygulanarak daha az sayıda deneysel çalışma ile deneysel parametrelerin sistemin cevabına etkileri model denklemler şeklinde ifade edilebilir. Bu çalışmada kullanılan ALOHA programı zehirli ve yanıcı maddelerin serbest kalma anındaki tehlike mesafelerini ve yanıcı maddelerin yanma/patlama anındaki etki alanlarını hesaplayan çok genel bir programdır. Beş farklı tank doluluk oranı, sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri için ALOHA programından hesaplanan tehlike mesafeleri merkezi bileşik tasarım uygulanarak modellenmiştir. “Jet fire” tipi bir yangın ve BLEVE patlaması için ayrı ayrı geliştirilen model denklemler sayesinde tek bir LPG tankı için tank doluluk oranı, sıcaklık ve rüzgar hızı parametrelerinin değişimi ile tehlike mesafelerinin değişimi tek bir model denklem üzerinden izlenebilecektir. Merkezi bileşik tasarım ile elde edilen sonuçlar Statistica 8.0 programında üç boyutlu grafiklere aktarılarak sonuçların yüzey grafikleri ile daha belirgin bir şekilde gözlenmesi sağlanmıştır. Elde edilen model denklemler ve yüzey grafikleri ile parametrelerin gerek tek başlarına, gerekse diğer parametrelerle birlikte ilişkilendirilerek sonuçları nasıl etkiledikleri de incelenmiştir. Ayrıca model denklemler oluşturularak deneysel parametrelerin katsayılarıyla parametrenin etki seviyesi konusunda bilgi elde edilebilmektedir. Bu model denklemler kullanılarak da tesis ile alakalı alınabilecek önlemler belirlenip, tesisin güvenlik önlemlerinin arttırılabilmesi için önermeler de yapılabilmektedir.

## BÖLÜM 2

---

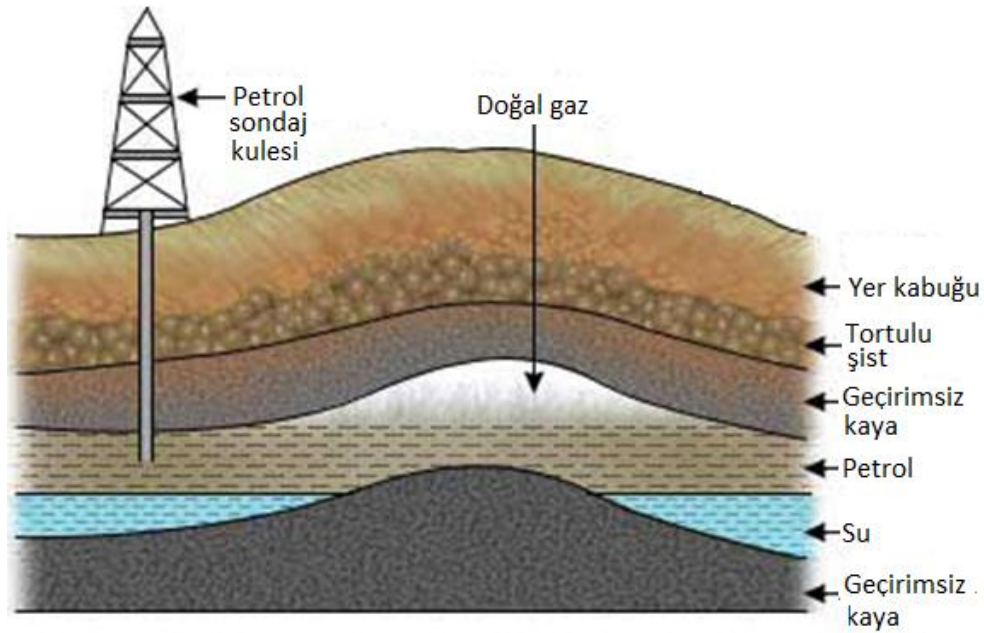
### PETROL

Petrol sözcüğü Latince “Petro” (Taş) ve “Oleum” (Yağ) kelimelerinin birleşmesiyle oluşmuştur. Petrol, başlıca hidrojen ve karbon olmak üzere; azot, oksijen ve kükürt bulunduran bir hidrokarbon bileşimi olup normal şartlarda gaz, sıvı ve katı halde bulunabilmektedir [8].

Ham petrolün bulunuşu ilk olarak M.Ö. 450 yıllarına rastlamaktadır. Heredot’a ait bir yazıt M.Ö. 450 yıllarında İran’da ilk ham petrol kaynağının bulunuşunu belirtmektedir. M.Ö. 221 yıllarına ait bir Çin Yazıtı ise bambu kamışlarıyla ham petrol çıkarılmasından bahsetmektedir. Avrupa’da ham petrolün kullanılması 15. yüzyılda başlamıştır. 1638 yılında Avusturya’da hayvanlarda rastlanan bir deri hastalığının tedavisinde ham petrolün kullanıldığı bilinmektedir. Aynı yüzyılda, 1627 senesinde Kuzey Amerika’da ilk ham petrol kaynağının bulunması ile ham petrolün kullanım alanları da gelişmeye başlamıştır. 1860-1885 yıllarında ham petrolden aydınlatma maksadı ile gazyağı, daha sonra da yağlama maksadı ile mineral yağların üretimi başlamıştır. 1900 yılından itibaren ise, benzin ve yaklaşık 10 yıl sonra da dizel yağı üretimi ile ham petrol yeni kullanım alanlarına kavuşmuştur [9].

Ham petrolün meydana gelişi hakkında başlıca iki teori ileri sürülmektedir. İnorganik teoriye göre, petrol esas olarak C ve H içeren organik bileşiklerden meydana gelmektedir. Bazı araştırmacılar organik maddelerin en basit üyeleri olan CH<sub>4</sub> (metan) ve C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etan) gibi bileşiklerin laboratuvarlarda inorganik maddelerden elde edilebildiğini belirterek, petrolün inorganik kökenli olduğunu ileri sürmektedirler.

Organik teori ise petrol hakkında ileri sürülen teorilerin en kuvvetlisidir. Engler teorisi olarak da adlandırılmaktadır. Bu teoriye göre petrol, bitkisel ve hayvansal organizmaların, biyokimyasal ve enzimatik olarak bozulması ile meydana gelmektedir [9]. Petrolün yer kabuğunda oluşumu Şekil 2.1’de görülmektedir. Görüldüğü gibi petrol yer kabuğunda geçirimsiz kayalar arasında bulunmaktadır.



Şekil 2.1 Petrolün yer kabuğunda oluşumu [10]

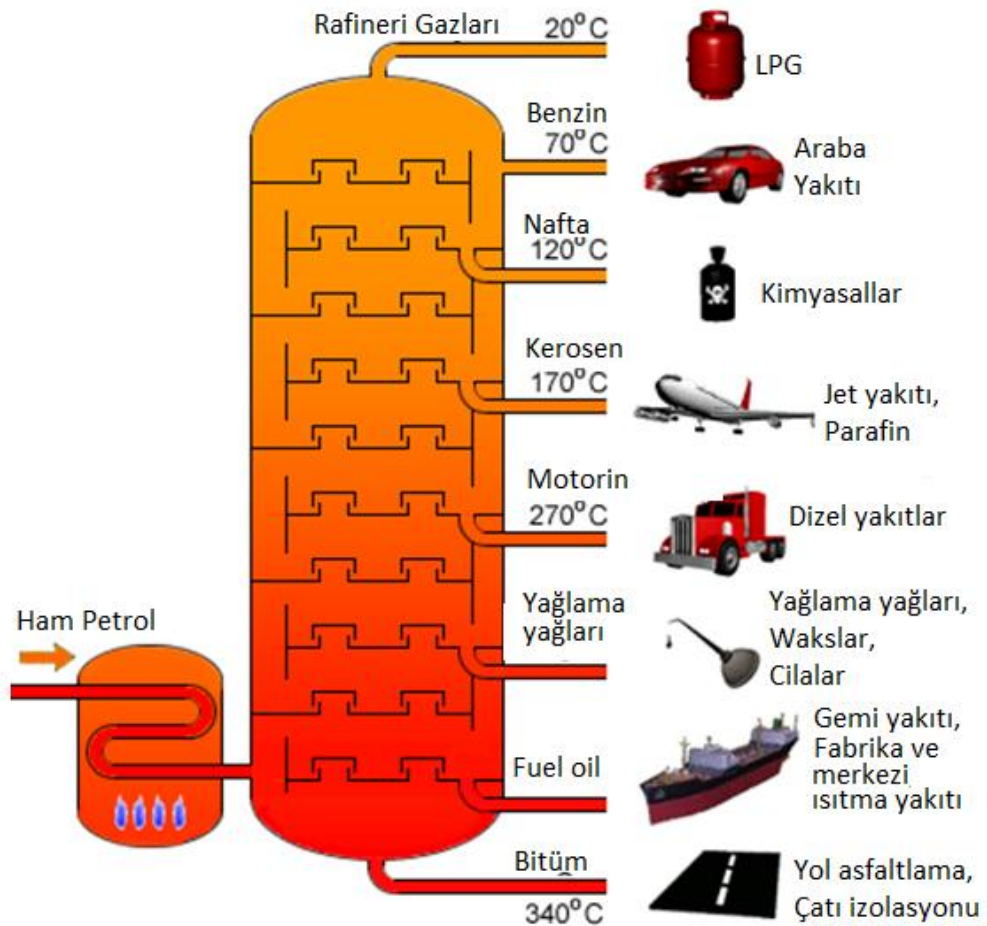
Ham petrol yapısındaki hidrokarbon oranına göre fiziksel özellikleri bakımından değişiklik göstermektedir. Çoğunlukla hafif (yüksek graviteli) petroler açık kahverengi, sarı veya yeşil renkli; ağır (düşük graviteli) petroler ise koyu kahverengi veya siyah renklidir. Yüksek graviteli petrolün rafinasyonundan çoğunlukla benzin, gazyağı ve motorin gibi hafif ve beyaz ürünler; düşük graviteli petrolün rafinasyonundan ise daha ziyade fuel oil ve asfalt gibi ağır ve siyah ürünler elde edilmektedir [8].

## 2.1 Petrolün Rafinasyonu

Petrol rafinasyonunun temel amacı; ham petrolün ekonomik süreçler kullanılarak tüketici ürünlerine dönüştürülmesini sağlamaktır. Petrol ürünlerinin ve petrokimyasalların üretimi ve rafinasyonu içerisinde fiziksel değişimler (ayırma operasyonları) ve kimyasal değişimler (dönüşüm süreçleri) yer almaktadır [11].

Ham petrol; saf bir kimyasal olmayıp, bileşiminde hidrokarbon gruplarının kimyasal bileşimleri, kükürtlü maddeler, su, bazik tuzlar ve mineraller bulunmaktadır. Petrol rafinasyonunun amacı ham petrolü ayrıştırarak belli özellikleri olan, günümüzde çok kullandığımız ürünleri meydana getirmektir [12].

Petrolü meydana getiren hidrokarbonların kaynama veya buharlaşma sıcaklıkları, hidrokarbonun molekül ağırlığıyla orantılı olarak artmaktadır. Bu özellik, ham petrolün ısıtıldığı sıcaklığın kontrol edilmesi suretiyle, içinden değişik molekül ağırlığında ürünlerin buharlaştırılmasını mümkün kılmaktadır. Rafinasyonun ana prensibi olan distilasyon da bu esasa dayanmaktadır. Temiz ve ucuz yakıt elde etmek amacıyla yeni teknolojiler ve rafineride kullanılan yeni donanımların dizaynı da geliştirilmektedir. Modern rafinasyonda, rafine yöntemleri fiziksel ayırma ve kimyasal geri dönüşüm olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [13].



Şekil 2.2 Petrolün rafinasyonunda distilasyon kolonundan alınan ürünler [14]

Şekil 2.2’de rafinasyon esnasında destilasyon kolonundan elde edilen ürünler elde edilme sıcaklıklarına göre belirtilmiştir. Rafineriye giren ham petrole uygulanan ilk işlem, ham petrolün distilasyon kolonundan geçirilmesiyle değişik yoğunluktaki kısımlarına ayrılmasıdır. Distilasyon kolonunun tabanından tepesine doğru sıcaklık azaldığından en alt kısımda en ağır hidrokarbonlar, en üst kısımda da en hafif hidrokarbonlar buharlaşır. Molekül ağırlıkları belirli aralıklarda değişen hidrokarbonlardan meydana ürünler, kolonun değişik noktalarından alınması ve yoğunlaştırılmasıyla elde edilir [14].

Rafinasyon sırasında ham petrolden 20-70°C ayrılan propan ve bütan gazları, kolayca sıvılaştırılabildikleri için geniş çapta kullanım alanına sahiptirler. Bu sıvılaştırılmış petrol gazları genellikle propan ve bütan gazı karışımı olarak, çelik tüplere doldurularak satılmaktadır. Bugün en çok kullanılan motor yakıtı olan benzin, ham petrolden kaynama noktaları 30-200°C olan hidrokarbonların ayrılmasıyla elde edilmektedir. Hafif benzinle gazyağı arasında kalan bir ağır nafta olan solvent; boya sanayinde, kuru temizlemede, ormancılıkta ve haşeratla mücadelede eritici veya çözücü madde olarak kullanılmaktadır. Metan, etan ve etilen gibi propandan daha hafif gazların sıvılaştırılmaları zor ve pahalı olduğundan, rafinerilerde veya rafineri yakınındaki tesislerde yakıt gazı olarak kullanılır [16].

Gazyağı ise kaynama noktaları 160-250°C arasında değişen hidrokarbonlardan meydana gelmektedir. İçinde bulunan kükürt bileşikleri hidrojenasyonla ayrılmaktadır. Distilasyon sırasında gazyağından sonra gelen motorin, genellikle 200-360°C arasında kaynama noktası olan hidrokarbonların ham petrolden ayrılmasıyla elde edilmektedir. Dizel motorlarında yakıt olarak; ev, sanayi ve işyerlerinde ise ısıtma yakıtı olarak da kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra buhar kazanlarında kömür yerine de kullanılmaktadır. Ham petrolün atmosfer basıncı altında distilasyonu sonucu meydana gelen dip ürün (rezidyum), fuel-oil ve makina yağlarının imalinde kullanılabilir. Bunun için rezidyum bir vakum distilasyon ünitesinde, ikinci bir distilasyona tabi tutularak, içindeki asfalt ayrıldıktan sonra elde edilen ağır motorinden daha yüksek viskoziteli ürünler kullanılmaktadır. Bu ürünler içindeki petrol mumu ayrıldıktan ve değişik çözücülerle muamele edildikten sonra, makina yağlarında kullanılan bazı ürünler elde edilmektedir [9].

### SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI (LPG)

1900'lerin başında keşfedilen kısaca LPG (Liquefied Petroleum Gas) harfleri ile gösterilen Sıvılaştırılmış Petrol Gazı; doğal gazın ayrıştırılması veya ham petrolün damıtılması ve parçalanması sonrasında elde edilmektedir. Kullanımında ise, çoğunlukla başta propan ile bütan olmak üzere, izo-bütan, propilen ve daha az oranlarda etilen, etan, pentan içerebilen hidrokarbonlar karışımının sıvılaştırılmasıyla değerlendirilir [13].

LPG uygulamalarının amacı; temiz yakma, kolay bulunabilme ve etkili yakıt kullanabilmeyi geliştirmektir. LPG, Türkiye'de ilk defa 1960'ların başında hava gazına ve gaz yağına alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlk LPG gaz dolumu 1962'de İpragaz firması tarafından yapılmıştır. 1970'lerin başında büyük endüstri firmalarının enerji gereksinimleri nedeniyle büyük dökme LPG tesisleri kurulmuştur. 1990'ların başından beri Türkiye'de başlıca enerji kaynaklarının arasında çok hızlı bir gelişme gösteren LPG, kullanımı çok geniş alana yayılmış olan doğalgazla paralel konuma gelmiş ve ilk defa endüstride, daha sonra da evlerde kullanılan LPG tüpleri olarak tanınmaya başlanmıştır. Çok geniş bir kullanıcı grubuna sahip olan dökme LPG; ısınma, yemek yapma, üretim işlemi ve enerji ihtiyacı olan her yerde kullanılmaktadır. Türkiyede kojenerasyon uygulamasında LPG kullanımı ilk defa İpragaz firması tarafından 1996'da Denizli'de gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamadan sonra diğer kojenerasyon firmaları Türkiye'deki LPG kullanımını genişletmişlerdir. Buna paralel olarak son yıllarda, özellikle 1996'dan itibaren oto gaz olarak Türkiye piyasasında yerini almış olan çevre dostu LPG, gelişmelerini devam ettirmektedir. LPG'nin yeni kullanımlarının bulunması ve yeni

teknolojilerinin geliştirilmesi gibi durumları devam ettirebilmek adına üretim, depolama, taşıma, kullanım ve dağıtım uygulamaları ve ilişkili donanımları; çoğu uluslararası, ulusal ve yerel otoritelerce oluşturulmuş olan standart ve düzenlemelerin konusudur. Bunun sebebi, kullanım, kural ve standartların endüstri ve/veya teçhizatın standartlarını ve düzenlemesini sağlamaktadır. LPG'nin dağıtımı, denetimi, denemesi ve depolanması ile ilgili standartlar 1973'ten bu yana TSE tarafından çıkarılmaktadır [12].

### **3.1 LPG'nin Özellikleri**

Normal şartlar altında ( $15^{\circ}\text{C}$  ve 1 atm basınçta) gaz fazında bulunan LPG, basınç uygulandığında sıvı faza geçmekte ve bu basınç kaldırıldığında tekrar gaz haline geri dönmektedir. LPG, sıvı fazda taşınabilmekte, ölçülebilmekte ve depolanabilmektedir; gaz fazda ise tüketime sunulmaktadır [17].

LPG'nin ana bileşeni olan propan kritik sıcaklığı  $96,8^{\circ}\text{C}$ , bütan ise kritik sıcaklığı  $152^{\circ}\text{C}$  olan gazlar olduklarından ve propanın kaynama noktası  $-42^{\circ}\text{C}$ , bütanın kaynama noktası ise  $-0,5^{\circ}\text{C}$  olduğundan, LPG olağan basınç ve sıcaklıklarda ( $20^{\circ}\text{C}$ , 1 atm) gaz durumdadır. Gerek propan gerekse bütan, basınç ve sıcaklık uygulanarak olağan günlük sıcaklıklarda sıvılaştırılabilen gazlardır. Sıvılaştırılabilir olma özelliği, LPG'nin en önemli özelliğidir [18]. Propan ve bütan gazlarının bu özelliklerinden yararlanılarak LPG; günlük sıcaklıklarda 6-8 atm basınçta sıvılaştırılmış olarak basınçlı kaplarda depolanıp taşınabilmektedir. Sıvı halde taşınan ve depolanan LPG gaz fazında tüketilmektedir.

Yanıcı ve parlayıcı özelliğe sahiptir. Suda oldukça az miktarda çözünmektedir. Normalde kokusuz olan LPG, gaz kaçağlarının anlaşılabilmesi için merkaptanlar ve kükürt bileşenleri ile kokulandırılmaktadır. LPG'nin hava içinde % 2 ile % 10 oranı arasında bulunması patlama riskini doğurmaktadır [19]. LPG'nin sıvı durumdan gaz duruma dönüşüm oranı aynı sıcaklık için yaklaşık  $1/250$ 'dir. Diğer bir ifadeyle 1 litre sıvı LPG aynı sıcaklıkta yaklaşık 250 litre gaz LPG ya da oto gaza dönüşmektedir. Gaz durumdaki LPG'nin yoğunluğu havanın yoğunluğunun yaklaşık iki katı kadardır. Yoğunluğu havadan daha fazla olduğundan gaz durumdaki LPG aşağı bölgelerde birilmektedir. Örneğin; bodrumlar, merdiven altları, zemin altı kanallar, kuyular,

çukurlar ve tabana yakın girintili çıkıntılı hacimler LPG'nin kolayca birikebildiği yerlerdendir [19].

Çizelge 3.1 LPG, propan ve bütanın özellikleri [20]

Özellikler	Birim	Propan	Bütan	LPG
Kapalı Kimyasal Formülü		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	%30 C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + %70 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Molekül Ağırlığı	gr/mol	44,09	58,12	
<b>Likit Halinde</b>				
Normal kaynama noktası	°C	-42	-0,50	-13
Normal erime noktası	°C	-190	-138	-154
Normal parlama noktası	°C	-105	-60	-74
Normal donma noktası	°C	-188	-138	-153
Özgül kütle (15 °C)	kg/L	0,51	0,58	0,56
Özgül hacim (15 °C)	Nm <sup>3</sup> /kg	1,97	1,71	1,79
1 kg gazın yanması için gerekli özgül hava miktarı	kcal/kg	12,15	12,02	12,06
Buharlaşma gizli ısısı	kcal/kg	90,50	92,00	91,55
Üst ısıl değeri	kcal/kg	11.945	11.735	11.798
Alt ısıl değeri	kcal/kg	11.070	10.920	10.965
<b>Gaz halinde</b>				
Özgül kütle (15 °C)	kg/Nm <sup>3</sup>	2,02	2,70	2,28
Özgül hacim (15 °C)	L/kg	0,54	0,41	0,44
Alev sıcaklığı (havada)	°C	1.980	2.008	2.000
Alev sıcaklığı (oksijen)	°C	2.850	2.800	2.815
Üst ısıl değeri	kcal/Nm <sup>3</sup>	22.218	28.868	26.899
Alt ısıl değeri	kcal/Nm <sup>3</sup>	20.590	26.863	25.000
1 m <sup>3</sup> gazın yanması için gerekli özgül hava miktarı	Nm <sup>3</sup> hava/Nm <sup>3</sup> gaz	23,87	31,03	28,88
Gaz/sıvı hacim oranı		272	238	248
Buharlaşma basıncı (15 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	6,51	0,82	2,53
Buharlaşma basıncı (20 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	8,95	1,85	3,98
Buharlaşma basıncı (38 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	12,30	2,60	5,51
Buharlaşma basıncı (50 °C)	kg/cm <sup>2</sup>	17,50	4,10	8,91
<b>Diğer Özellikler</b>				
Tutuşma sıcaklığı (havada)	°C	510	430	454
Tutuşma sıcaklığı (oksijende)	°C	490	400	427

LPG zehirsiz bir gazdır. Ancak özellikle kapalı ortamlarda yayıldığında oksijenin havadaki bulunma yüzdesini (%21) azalttığından boğucu özelliğe sahiptir. LPG ortamda yüksek yüzdelerde bulunursa tahrişe ve merkezi sinir sistemi depresyonuna neden olabileceği



gibi gözleri, mukoza zarını ve solunum yollarını da tahriş edebilmektedir. Zehirsiz olmasına karşılık boğucu olduğundan uyuşturucu özelliğe sahiptir. LPG'nin uyuşturucu etkisi; solunumun hızlanmasına, anlayışta azalmaya, kas eşgüdümünde bozukluğa, yanlış karar vermeye, tüm algılamalarda azalmaya, duygusal dengesizliğe ve yorgunluğa neden olmaktadır [18].

LPG'nin alt ısı değeri yaklaşık 11.000 kcal/kg, en yüksek alev sıcaklığı 2.000°C' ye kadar olan oldukça da iyi bir yakıttır. LPG'nin alt parlama limiti %2,1; üst parlama limiti ise %9,6'dır. [17].

İçerdiği enerji miktarı bakımından benzin ve dizel yakıtlarına oranla LPG'nin birim kütesinin alt ısıl değeri daha yüksektir. Dolayısıyla yakıt olarak LPG kullanan motorlar, özgül yakıt tüketimi (g/kWsaat) bakımından benzin ve dizel yakıtlı motorlara göre daha avantajlı konumdadırlar. Diğer bir taraftan ise, LPG'nin özgül kütesinin düşük olması nedeniyle hacimsel açıdan karşılaştırıldıklarında LPG avantajlı konumunu kaybetmektedir. Ancak LPG'nin hava ile daha iyi karışım oluşturması, motor performansında % 8-10 mertebelerinde iyileştirme gerçekleştirmekte ve gerçek yakıt tüketimlerindeki artış teorik hesaplamalara oranla daha az olmaktadır [18].

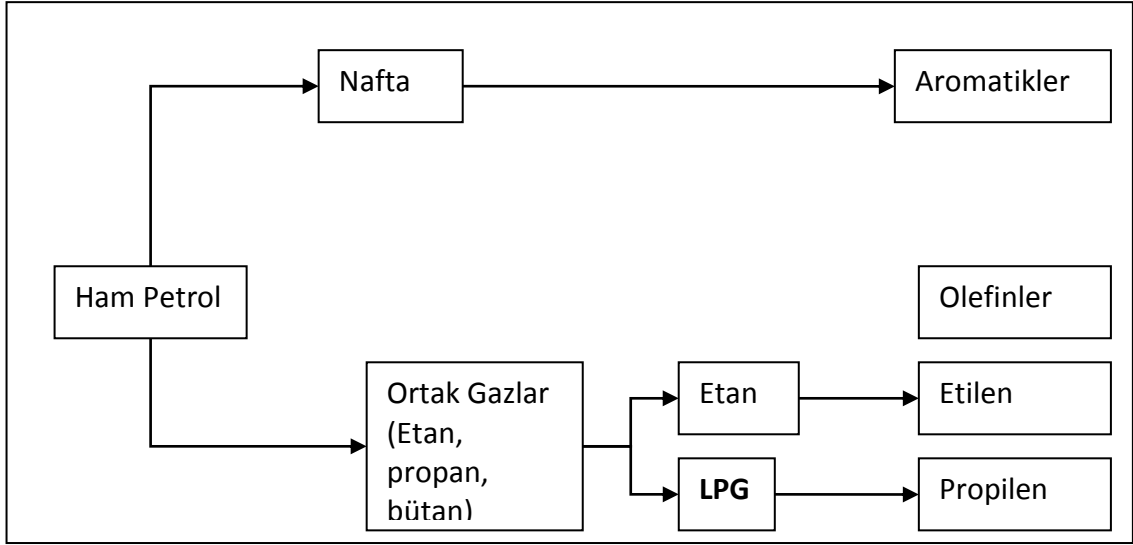
LPG ürününün sahip olması gereken özellikler ve standartlar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu özellikler ve standartlar GPA (Gas Processor's Association) tarafından belirlenmiştir [20].

### **3.2 LPG'nin Üretim Yöntemleri**

LPG; petrolden rafinasyon yöntemi ile doğal gazdan ise turbo genişleme, adsorpsiyon ve absorpsiyon süreçleriyle elde edilmektedir.

#### **3.2.1 Petrol rafinasyonu süreci**

LPG'nin petrolün rafinasyonu ile üretim sürecinin akım şeması Şekil 3.1'de verilmiştir. Petrolün rafinasyonu konusu Bölüm 2'de detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 3.1 Ham petrol rafinasyonu [21]

### 3.2.2 Doğal gazdan LPG üretimi

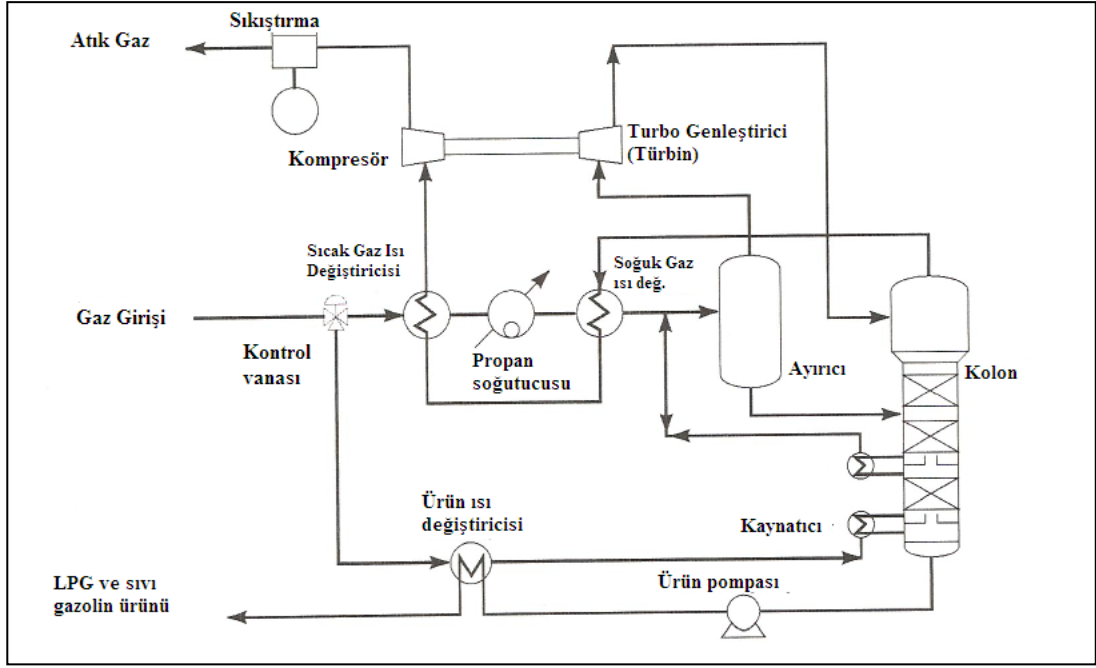
LPG, yeraltındaki gaz birikimlerinden (doğal gazdan) çeşitli süreçlerle üretilmektedir. LPG üretimi, doğal gaz üretimi artış paralelinde her yıl % 2 oranında artmaktadır [21].

- **Turbo Genleşme Süreci**

-73 ve -93°C sıcaklık aralığında doğal gazdan geri kazanımı yapılabildiğinden etan, petrokimya hammaddesi olarak daha cazip hale gelmiştir. Dış soğutma ve sıvı flaş soğutma eşleşmesinin gaz turbo genleştiriciyle kullanımı düşük sıcaklıklarda yüksek etan geri kazanımını sağlamaktadır. Şekil 3.2' de dış soğutmalı bir genleştirici içeren sistemin akış diyagramı görülmektedir.

Bu soğutma sistemlerinin kullanımıyla Joule-Thompson genleşmesinde mümkün olandan daha fazla soğutma sağlanmaktadır. Turbo genleştiriciden çıkanlar sıvı-gaz ayrılmasının meydana geldiği damıtma kolonuna tepeden beslenmektedir. Gaz fazı, soğuk atık olarak ısı değiştiricisine gönderilmekte ve ayrılan sıvı ise geri döngü olarak kolona tekrar beslenmektedir.

Metanın tümü kolonun gaz ürünü olarak uzaklaştırılmaktadır. Etan ve hafif bileşenler ise kolonun dip ürünü olarak ayrılıp, atık gaz bir ısı değiştiricisinde ısıtıldıktan sonra kompresörde sıkıştırılarak turbo genleştirmede kullanılmaktadır.



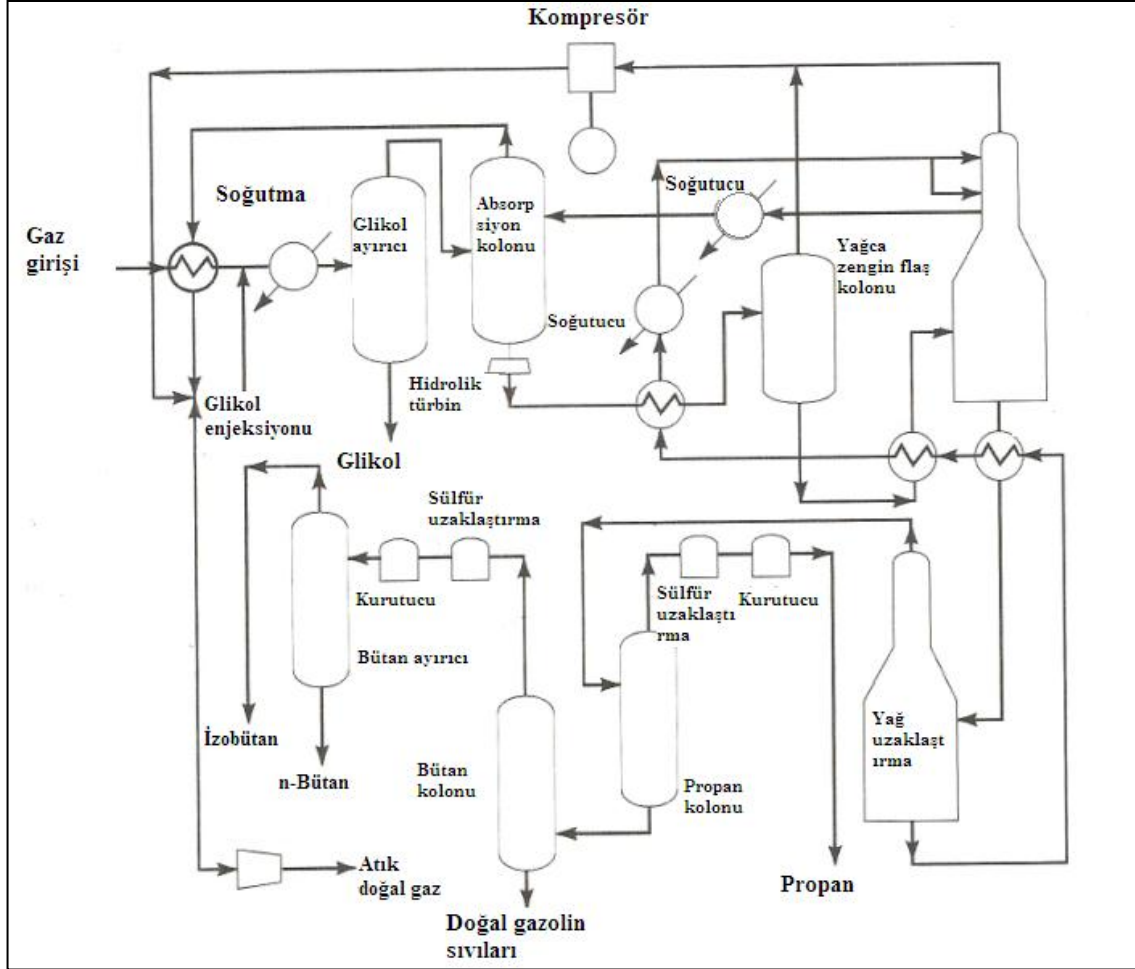
Şekil 3.2 Turbo genişleme süreci akış şeması [21]

Etanın %90-95 oranlarında geri kazanımı genişleme süreçlerinin kullanımıyla sağlanmaktadır. Kolondan ayrılan ve hacimsel olarak % 50 etan içeren dip ürün bir boru hattı yardımı ile merkez damıtma tesisine LPG ve sıvı gazolinin ayrılması için gönderilmektedir [21].

- **Absorpsiyon Süreci**

Doğal gazdan LPG ve sıvı doğal gaz geri kazanımı için kullanılan bir diğer süreç de yağ absorpsiyonudur. Geri kazanım, absorpsiyon yağının molekül ağırlığının 100'ün altında, sıcaklığın ise  $-45^{\circ}\text{C}$ 'nin altında tutulmasıyla geliştirilmiştir. Sistemde geri kazanımı sağlamak için ısı kullanılmaktadır. Enerji maliyetinin çok olmasından dolayı fazla tercih bir yöntem değildir. Absorpsiyon sürecinde akış şemasında görüldüğü gibi (Şekil 3.3), doğal gaz ısı değiştiricisine beslenmektedir. Antifriz olarak etilen glikol enjekte edilip, akım bir soğutucu yardımıyla  $-37^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulmaktadır. Soğutucudan çıkan gaz ve yüksek kaynama noktalı hidrokarbonlar glikol ayırıcıya girmekte ve su içeren glikol sıvı ürün olarak doğal gazdan ayrışmaktadır. Kuru glikol, enjeksiyon noktasında yapılan destilasyon ile sudan ayrılarak geri kazanılmaktadır. Buradan ayrılan gaz, absorpsiyon kolonuna gönderilmekte ve burada kolona  $-37^{\circ}\text{C}$ 'de tepeden beslenen yağ ile temas ettirilmektedir. Kolonda, propanın %85'i ve yüksek kaynama noktalı hidrokarbonların hepsi yağda absorbe edilmektedir. Absorpsiyon kolonundan ( $34^{\circ}\text{C}$ ) çıkan gaz atık ısı değiştiricisine,  $4^{\circ}\text{C}$  ve 4,24

MPa basınç altında gönderilmekte ve oradan da bir yükselticiye verilerek basıncı arttırılmakta ve atık doğal gaz olarak sistemden ayrılmaktadır [21].



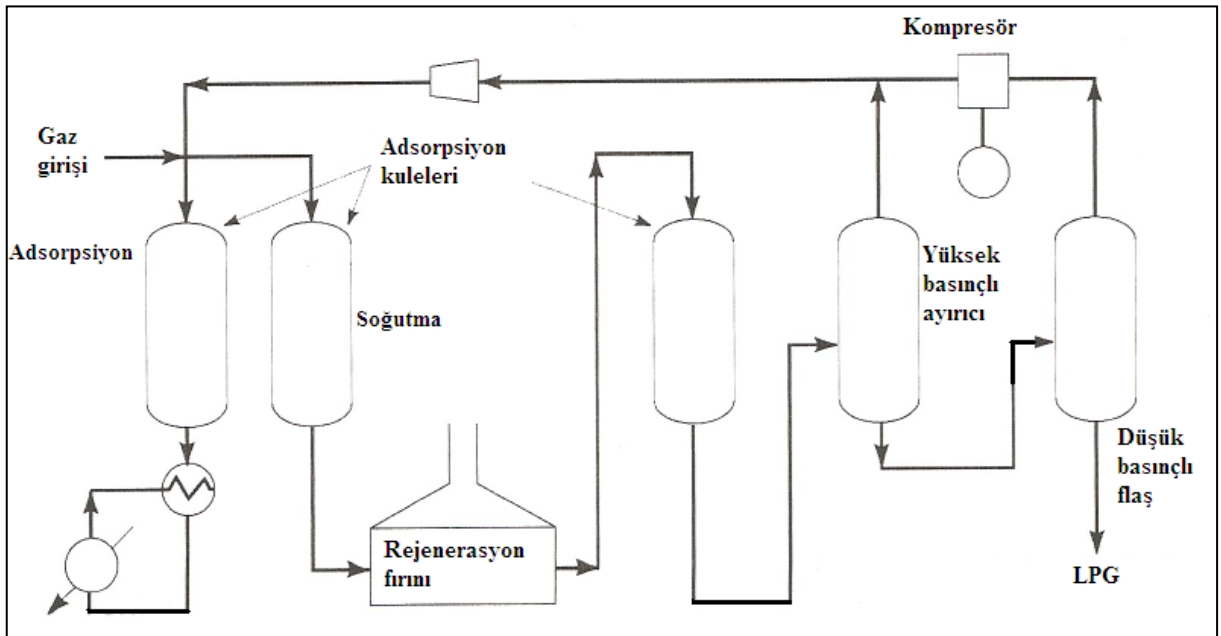
Şekil 3.3 Absorpsiyon süreci akış şeması [21]

Güç geri kazanımı için absorpsiyonda zenginleşmiş yağ, hidrolik türbinde genişletilmektedir. Türbin sıvısı bir flaş tankında 2,1 Mpa basıncında ve  $-32^{\circ}\text{C}$ ' de ayırma işlemine tabi tutulmaktadır. Flaş buharı giriş basıncına gelene kadar sıkıştırılarak geri beslenmektedir. Yağ fazı ise ısı değiştiriciden geçerek zengin yağ demethanizer'e beslenmektedir. Buradan ayrılan ve etanca zengin olan gaz akımı sıkıştırılarak atık gaz akımına eklenmekte ya da petrokimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Dip ürün ise yağsızlaştırma damıtıcısına beslenmektedir. LPG ve sıvı doğal gaz buradan üst akım olarak ayrılmaktadır. Alt akım ise bir kaç ısı değiştiricisinden geçtikten sonra soğutucuya verilip sıcaklığı  $-37^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürülmektedir. Bu akımın bir kısmı zengin yağ demethanizer'e geri

beslenmektedir. Propan ve ağır hidrokarbonları içeren üst akım depropanizer'e verilmekte, buradan çıkan tepe ürün ise, sülfür ve su uzaklaştırma işlemlerinden geçmekte ve propan olarak sistemi terk etmektedir. Depropanizer' in alt ürünü ise bütan olup, yüksek kaynama noktalı hidrokarbonları içermekte ve sırasıyla sülfür, uzaklaştırma, kurutma işlemlerinden geçerek sistemi bütan ve izobütan olarak terk etmektedir [21].

- **Adsorpsiyon Süreci**

Bu yöntem doğal gazın bünyesinde bulunan etandan daha ağır olan hidrokarbonları ayırmak için kullanılabilir. Bu yöntemle elde edilen LPG miktarı absorpsiyon ve turbo genişleme sürecine göre daha azdır.



Şekil 3.4 Adsorpsiyon süreci akış şeması [21]

Adsorpsiyon sürecinin basitleştirilmiş akış diyagramı Şekil 3.4'te görülmektedir. Aktif karbon, alümina jel ve silika jel adsorban olarak kullanılabilirler. Adsorpsiyon kulesinin içine koyulan yalıtım maddesi sayesinde çevrimin gerçekleştiği zaman kısalmaktadır. Bütün süreç çevrimi üç ana bölümden meydana gelmektedir; rejenerasyon, soğutma ve adsorpsiyon. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi giriş gazı ikiye bölünmektedir. Miktarı fazla olan akım adsorpsiyon kulesine, az olan ise önce soğutma kulesine ardından rejenerasyon çevrimine beslenmektedir. Soğutucudan çıkan gaz rejenerasyon kulesine girmeden alevli ısıtıcıda 260–315°C'ye ısıtılmaktadır. Rejenerasyon kulesinden çıkan akım adsorbansa bağlanmış yoğunlaştırılabilir hidrokarbon içermektedir. Bu akım soğutucuda

soğutulduktan sonra yüksek basınçlı ayırıcıdan geçmekte ve böylece adsorbans ve hidrokarbonlar birbirinden ayrılabilir. Yüksek basınçlı ayırıcıdan çıkan sıvı akım düşük basınçlı flaş kolonuna beslenerek hafif hidrokarbonların ayrılması sağlanmaktadır. Flaş kolonundan çıkan üst akım (buhar) önce sıkıştırılmakta daha sonra ise yüksek basınçlı ayırıcıdan çıkan buharla karıştırılmakta ve böylelikle basıncının girişteki gaz basıncına eşit olması sağlanmakta ve adsorpsiyon kulesine geri beslenmektedir.

Düşük basınçlı flaş kolonunun alt ürünü, LPG ve sıvı doğal gaz bileşenlerini içermektedir. Seri halindeki distilasyon kulelerine gönderilerek de propan, bütan ve doğal gazolin halinde elde edilebilmektedir [21].

### **3.3 LPG'nin Kullanım Alanları**

LPG, temiz ve çevreci bir yakıt olması sebebiyle bir çok sektörde kullanımda tercih edilmektedir.

#### **3.3.1 Oto gaz**

Ülkemizde LPG kullanımı ilk olarak evlerde başlamıştır. Günümüzde ise yaygın olarak otomobil yakıtı şeklinde kullanılmaktadır. Oto gaz kullanımı açısından Türkiye dünyada 2. sıradayken, Avrupada 1. sırada yer almaktadır. LPG'li araç sayısı 3 milyonu aşan Türkiye, gaz kullanımı açısından ülke sıralamasında Güney Kore'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye aynı zamanda, oto gaz kullanan araç sayısı bakımından da dünya 2.'si olup istasyon sayısı bakımından ise dünya lideri konumunda bulunmaktadır.

Geçmiş yıllarda İtalya ve diğer bazı Avrupa ülkelerinden LPG sistemi ithal eden Türkiye artık kendi markasını yaratarak ihracat yapar duruma gelmiştir ve 40 farklı ülkeye oto gaz sistemi ihracatı yapmaya başlamıştır.

Türkiye, LPG tüketimi açısından 2000 yılında zirveye ulaşmıştır. Bu tarihte, Rusya haricinde, Avrupa'nın en büyük pazarı Türkiye olmuştur. Türkiye, dünyanın en büyük 14. LPG pazarıdır. Avrupa'da ise 3. sırada yer almaktadır [19].

Çizelge 3.2 Avrupa ülkelerinde mevsime göre LPG bileşimleri [18]

Ülke	Propan/Bütan Oranları (%)	
	Yaz	Kış
Türkiye	30/70	50/50
Almanya	Propan	Propan
Danimarka	30/70	70/30
İngiltere	Propan	Propan
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	Propan

Ülkemizde otomotiv yakıtı olarak kullanılan karışım sabittir ve %70 oranında bütan, %30 oranında propan ihtiva etmektedir. Avrupa, Amerika ve Kanada'da propan gazı oransal olarak ağırlıklı olmakla beraber; Fransa, İspanya, İtalya ve Yunanistan gibi ülkelerde ülkemizdeki oranlara yakın değerlerde karışımlar kullanılmaktadır. Zira özellikle soğuk iklimli ülkelerde propan oranını artırarak sıvı fazdan gaz faza geçiş kolaylaştırılmaktadır [18]. Avrupa ülkelerinde otomobillerde kullanılan LPG'nin propan ve bütan karışım oranları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Nispeten soğuk olan bölgelerde propan oranının yüksek tutulmasında fayda vardır. Mevsimsel sıcaklık değişimlerine göre bu oranı değiştirmek mümkündür [18].

### 3.3.2 Eysel kullanım

Ev ve endüstriyel kullanımda, Türkiye dünyada 17. sırada yer almaktadır. Aynı kategoride Türkiye Avrupa'nın en büyük beşinci pazarı konumundadır. Mufak gazı olarak evlerde yemek pişirme, banyo ve diğer amaçlı su ısıtma, sobalarda, aydınlatmada, çok sınırlı olarak ise buzdolabı vb. soğutma cihazlarında LPG kendisine kullanım alanı bulabilmektedir. Ülkemizde ev ve endüstriyel kullanımda da karışım sabittir ve %70 oranında bütan, %30 oranında propan ihtiva etmektedir [22].

### **3.3.3 Hizmet sektöründe kullanım**

Otel, lokanta, hastane, okul vb. sosyal yaşam alanlarında su ısıtma, yemek pişirme, ısınma vb. amaçlarla LPG kullanımı yaygındır [23].

### **3.3.4 Diğer sanayi kollarında dökme LPG kullanım**

Metallerin tavlama, kesme, sertleştirme işlemlerinde, cam ve seramik endüstrisinde şekil verme, tuz kurutma fırınları, ergitme ocakları, endüstriyel mutfak cihazları gibi alanlarda LPG kullanılabilmektedir [23].

### **3.3.5 Tavuk çiftliklerinde kullanım**

Tavukçuluk alanında civcivlerin gelişiminin daha hızlı ve sağlıklı olması için kümeslerin ısıtılmasında LPG'den faydalanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri, LPG'nin yanma sonucunda kümesin havasını kurutmamakta, LPG ile çalışan radyant sistemlerde dışkıdan ve suluktan oluşan nem, ışınlarla kurutulmakta ve dolayısıyla civcivlerin altlığı sürekli kuru kalmaktadır ki bu da verim ve hijyen sağlamaktadır. Aynı zamanda LPG ile çalışan radyant ısıtıcılarla homojen ısı dağılımı sağlanarak yığılmalardan kaynaklanan civciv ölümlerinin önüne geçilmektedir [22].

### **3.3.6 Tarım ve seracılıkta kullanım**

Tütün, ot, mısır, pirinç, hububatların kurutulması ve zararlı otların yakılması gibi alanlarda LPG kullanımı tercih edilmektedir. Tarım sektöründe daha çok temiz yakıt kullanımıyla çevrenin korunması, tahıl kurutmada kullanılan yakıtların ürün üzerinde oluşturdukları kalite bozucu olumsuz etkilerin (hijyen, kararma, koku, vb.) ortadan kaldırılması ve yakıt veriminin artırılıp kurutma maliyetlerinin azaltılması amacıyla LPG kullanılmaktadır. Seralarda ise bitki gelişimi için istenen nem ve homojen ısı dağılımı LPG sistemleriyle elde edilebilmektedir. Propan gazının yanması sonucu ortaya su buharı çıkmakta ve böylece ısıtma sırasında hava kurumamaktadır. Bunun sonucunda da bitki gelişimi için uygun ortamlar elde edilebilmektedir [23].

## **3.4 LPG Pazarlama Faaliyetleri**

Dökme LPG, tüplü satıştan farklı olarak LPG'nin tüketiciye kamyon ve tankerlerle ulaştırılması ve kullanım yerindeki tanklarda depolanması esasına dayanan satış şeklidir.



Dökme LPG küçük tanklı sistemler ve büyük tanklı sistemler olmak üzere iki şekilde satılmaktadır. Küçük tanklı sistemde hizmet verilen müşteriler konut, turizm, küçük endüstri, tarım ve hayvancılık başlıkları altında toplanmaktadır. Bu müşterilerin ihtiyacını karşılamak için 0,5-10 m<sup>3</sup> arasında değişen tanklar kullanılmaktadır. Yakıt tüketimi yüksek olan sanayi kuruluşlarına enerji ihtiyacına uygun olarak 35 – 180 m<sup>3</sup> arasında değişen büyük tanklı sistemlerle hizmet verilmektedir [17].

### 3.5 LPG Depolama Sistemleri

Ülkemizde kimyasalların depolanmasına ilişkin 'Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik', 'İşçi Sağlığı İş Güvenliği Tüzüğü', 'PARPAT Tüzüğü', 'Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik' gibi mevzuatta çeşitli hükümler yer almaktadır [21].

LPG dağıtım şirketlerinin depolama tesisleri dışındaki tesisleri sektörde genellikle "Büyük dökme" ve "Küçük dökme" olarak ikiye ayrılmaktadır. Büyük dökme şeklinde tabir edilen sınıfa giren sanayi kuruluşlarının kullandığı depolama tankları genellikle 30 m<sup>3</sup> hacmin üstünde olup bunlarda mevcut "LPG Depolama Kuralları" Türk standardına (TS 1446, TS 1449) tabi olmaktadır. Bu hacimdeki tanklar otogaz istasyonları hariç, emniyet ve kullanım güvenliği açısından yer üstüne tesis edilmektedirler. Küçük depolama sistemleri ise 500 litre ile 10.000 litre su hacmi olan tanklardır [12].



Şekil 3.5 Yerüstü tankları [18]

Tankların tesisi yine yer altı ve yer üstü olarak ikiye ayrılmaktadır. Yeraltı ve yerüstü depolama tanklarına ait örnek birer gösterim Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Yer altı tankları kullanılan metoda göre kendi içinde de iki sınıfa ayrılmaktadır:

- Tamamen toprak altı sistemi
- Kısmen açıkta toprak altı sistemi.



Şekil 3.6 Yeraltı tankları [26]

Yer üstü ve yer altı tank sistemleri, belirtilen emniyet tedbirleri alındığı takdirde, aynı derecede emniyetli ve güvenlidir, ancak değişik şartlar altında avantajları veya dezavantajları da bulunmaktadır [12].

### 3.5.1 Yer altı (örtülü) LPG depolama sistemleri

Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik'e göre yeraltına tamamen gömülen tanklara yeraltı tankı denmektedir [26]. Tankların yer altına yerleştirilmesi genellikle üç sebepten tercih edilmektedir:

- LPG'yi kış mevsiminde veya soğuk havalarda nispeten uygun bir sıcaklıkta tutmak
- Yer darlığı dolayısıyla emniyet mesafelerini en az düzeye indirmek

- Estetik görünüş bakımından tankı gözlerden uzakta saklamak

Bu maksatlarla toprak altına alınan tanklar, daha önce belirtildiği gibi iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Temel tesis kuralları ikisinde de aynı olmakla beraber birkaç ufak farklı detayları bulunmaktadır [12].

- **Tamamen toprak altında kalan LPG depolama sistemleri**

Tank tamamen gömülü durumda olup tankın üstü 15 ile 60 cm arasında toprak altında bulunmaktadır. Bağlantı nozülleri bir menhol üzerine toplanmıştır ve bu menhol (adam deliği) çapında bir baca, işletme fonksiyonlarını sağlamak üzere toprağın üzerinde bulunmaktadır [12].

- **Kısmen açıkta kalan toprak altı LPG depolama sistemleri**

Tankın bir kısmı gömülü olup toprak üstünde kalan kısım ise toprak veya başka yanmayan bir malzeme ile örtülü değildir. Yer altı tanklarının yerleştirilmesi esnasında toprak meylinin tank bacalarına su girmeyecek şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca baca kapları su sızdırmazlığı sağlayacak yabancı madde ve böceklerin girmesini önleyecek şekilde olmalıdır. Aksesuarlara girecek yabancı madde, böcek ve su, hatalı çalışmaya ve bozulmaya sebep olabilmektedir. Kış aylarında vanalara, regülatöre giren suyun donması da ayrı bir problem oluşturmaktadır [12].

- Tankın gömülmeden önce hazırlanması:

LPG tankı, basınçlı kaplar kod ve standardına göre tasarlanmış, söz konusu kod ve standartlarda öngörülen malzemedir, imalatçı tarafından aynı kod ve standarda göre imal edilmiş olmalı ve akredite bir kurum tarafından kontrol edilmiş olmalıdır.

Tank, toprak altına indirilmeden önce basınç verilerek sızdırmazlık mutlaka teyit edilmelidir. Basınç deneyinden sonra tankın içindeki hava tamamen tahliye edilmelidir. Bunun için azot kullanılabilir. Tankın yüzeyindeki pas, kir, hadde çapağı vb. gibi bütün yabancı maddeler temizlenmeli ve gözle muayene edilerek hiçbir göçük, çökme, kesik, oyuk gibi arızalar bulunmadığından emin olunmalıdır. Rutubete ve toprağın korozyona sebebiyet vermesine karşı, tank uygun bir şekilde kaplanmalıdır. Bu kaplama epoksi boya, poliester veya 4 mm kalınlığında bitüm ile sağlanabilmektedir.

Tankın gömüleceği mevki seçilirken yakında su, kanalizasyon hatlarının ve foseptik çukuru bulunmamasına özellikle dikkat edilmelidir [12].

➤ Tank çukuru açılması ve tankın yerleştirilmesi:

Tank çukuru kazılırken toprak; kayma/göçme eğilimi gösteriyorsa, kenarlara tuğla örerek veya beton duvar yaparak göçme önlenmekte ve rahat çalışma imkânı sağlanmaktadır.

Tankın oturacağı zemin, sağlam olmalı, taşlık olmamalıdır. Zemin sağlam değilse, tankın çökmesini önlemek için su dolu ağırlığa göre hesaplanarak temeli yapılmakta ve ayakların ayrı çalışmasını önlemek için birbirine bağlanmaktadır. Temel yapılmayan tank çukurlarında, toprak sert olup taş, kaya gibi zedeleyici madde bulunmamasına özellikle dikkat edilmelidir. Zemin taşlık/kayalık ise dibe 15-30 cm kalınlığında kum döşenmelidir. Toprak altı tank ve borular katodik koruma sistemiyle korozyona karşı korunmaları sağlanmalıdır. Ancak toprak tahlili yapıp korozif olmadığı tespit edilen yerlerde yetkililerin izni ile katodik koruma yapılmayabilmir. Katodik koruma ile teçhiz edilmiş yer altı tank ve boruları topraklanmamalıdır. Yer altı tankı ve pompası tesisin yer üstü kısmından iletken olmayan malzeme ile ayrılmalıdır.

Yer altı tankının etrafı en az 30 cm eninde dere kumu ile veya toprakla doldurulup sıkıştırılmaktadır. Ancak toprak kullanılması halinde, içinde taş veya izolasyon malzemesine zarar verecek herhangi başka yabancı bir madde bulunmamalıdır.

Toplam kapasitesi 50 m<sup>3</sup>'e ulaşan yer altı, örtülü veya kısmen örtülü sistemler için de saha çevresine konacak yangınla mücadele hidrantlarına ilave olarak yer üstü tanklarında olduğu gibi soğutma maksatlı yağmurlama sistemi yapılmalıdır [12].

### **3.5.2 Yer üstü LPG depolama sistemleri**

Yer altı tanklarında olduğu gibi yer üstü LPG tankları da basınçlı kaplar koduna göre ve standartlarda öngörülen malzeme ve şartlarda, bir milletler arası ölçücü firma nezaretinde, bir tank imalatçısı tarafından imal edilir. İmalatçıdan alınan tank, yerine tesis edilip aksesuarları takıldıktan sonra, bağlantılarda sızıntı olmadığını tespit etmek için işletme basıncında denenir. Kontrol sabun köpüğü ile yapılmaktadır. Tankın içindeki hava uygun bir metotla tahliye edilmektedir.

Tankın üzerine oturacağı ayaklar, tankın su yüklü ağırlığını çekecek, ayrı ayrı çalışmaya imkan vermeyecek şekilde ve yangına dayanıklı olarak tasarlanmaktadır. Tankın ayak yastıkları bunların üzerine oturtulmaktadır.

Tankların altı ve tank yan cidarından itibaren 3 m mesafede zemin, yanıcı maddelerden temizlenmiş olarak tutulmalıdır. Bu şart, zemini betonlama, parke taşı döşeme, stabilize ile sıkıştırma gibi usullerle yerine getirilebilmektedir. Tanklar, dış kısmı korozyondan koruma amaçlı boyanmalı ve bakımlı tutulmalıdır.

Tanklar konumlandırılırken yatay eksenlerin istikameti mümkün olduğu kadar boş araziye doğru veya bina ve insan topluluklarının en uzak olduğu yöne doğru olmalıdır.

Tankların konumlandırılmalarında standartlarda belirtilen emniyet mesafeleri uygulanmalıdır. Tankların içinin kontrol edilebilmesi için en az 560 mm çapında bir adam deliğinin bulunması gerekmektedir. Tankın konulacağı mevki seçilirken mümkün olduğu kadar yüksek irtifada yer aranmalı ve yakında foseptik çukuru, kuyu gibi düşük seviyede herhangi bir yerin bulunmamasına dikkat edilmelidir [12].

### **3.5.3 Yer altı ve yer üstü LPG depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları**

#### **• Yer altı LPG depolama sistemlerinin avantajları**

- Emniyet mesafeleri yer üstü tanklara göre daha az olduğundan arazi alanı bakımından tasarruf sağlamaktadır.
- Estetik görünüş bakımından daha muntazam bir görünüş sağlamaktadır. Ortalıkta görünen hantal bir kütle bulunmamaktadır. Toplam hacmi 50 m<sup>3</sup>'ü bulmayan tank gruplarında yağmurlama sistemi maliyeti ortadan kalkmaktadır.
- Yakınında çıkması muhtemel bir yangında, alevlerin ve sıcaklığın etkisi altında kalma ihtimali daha az olmaktadır [12].

#### **• Yer altı LPG depolama sistemlerinin dezavantajları**

Tesis kurulumu yer üstüne göre çok daha fazla yatırım gerektirmektedir. Emniyet mesafelerinden yapılacak kazanç, saha durumu ve civarındaki yapılaşma mecbur kalmıyorsa, fazla bir avantaj olmamaktadır. Ancak oto gaz istasyonu gibi çok faal ve yer kısıtlaması olan durumlarda tankların üstü beton ile kaplanarak araçlara hareket sahası açmak bakımından yararlı olabilmektedir. Bu takdirde de iç basınca göre tasarlanmış

tanka söz konusu araç hareketleri dolayısıyla bir dış basınç oluşmaması için tank çukuru duvarlarının da yük taşıyacak şekilde betondan yapılması gerekmektedir.

Yer altı sistemi standartların öngördüğü periyodik kontrollerin yapılması ve zaman zaman katodik koruma anotlarının değiştirilmeleri söz konusu olduğundan pratik olmamakla birlikte emniyet kurallarının ihlaline yok açabilmektedir.

Yer altı tanklı sistemlerden sıvı transferi gerektiren hallerde, örneğin oto gaz istasyonları gibi, kullanılan transfer pompası genellikle dalgıç pompasıdır. Bu pompa da tankların üstüne monte edilmektedir. Pompa, çalışan bir aksam olduğundan zamanla bağlantı yerlerinden kaçak yapabilmektedir. Bunun alev alması halinde tankın üstünde ve belki de tank sahasına vuran yangın meydana gelmekte, kontrol edilmezse patlamaya dahi sebebiyet verebilmektedir.

Sistemde gaz kaçağı olması halinde doğrudan toprak tarafına yayılacağından havayla karışık yanma limiti sınırları içine girmesi daha zor olmaktadır.

Tanka yapılan boru irtibatları ve boru hatları da toprak altı olabileceğinden bunların da korozyona karşı korunmaları gerekmekte ve bu da ilave yatırım ve kontrol zorluğunu beraberinde getirmektedir.

Dalgıç pompa arızalarında veya bakımı gerektiğinde kovan dibi giriş vanası pislik, kaynak çapağı gibi yabancı maddelerin girmesi sebebi ile tam kapama yapamaz ise tankın içinde LPG varsa pompa sökülmemektedir veya sökülürse oldukça büyük bir risk alınarak sökülebilmektedir.

Yer altında tanktan ve boru bağlantılarından dolayı oluşabilecek bir gaz kaçağının nereden toprak tarafına çıkıp tehlike oluşturabileceği hiçbir şekilde belli olmamaktadır [12].

- **Yer üstü LPG depolama sistemlerinin avantajları**

Yatırım maliyeti yer altı tanklarına göre daha az olmaktadır. Herhangi bir gaz sızması durumu derhal fark edilebilmektedir. Ayrıca insan hatasını önlemek bakımından da dedektör konulabilmektedir. İşletme, bakım, tamir gibi işlemlerin gerçekleştirilmesi çok daha kolay olmaktadır. Emniyet ve kontrol aksesuarları göz önünde bulunmaktadır. Standartların öngördüğü periyodik kontroller kolaylıkla yapılabilmektedir. Transfer

pompası gibi gaz kaçağı yapabilecek aksam, tanktan asgari 3 m uzakta olacağından doğrudan tankta tehlike oluşturma ihtimali oldukça azdır.

Bütün kontrol vanaları göz önünde ve çabuk erişilebilir olduğundan tesiste olabilecek herhangi bir sızıntıda, LPG yangınla mücadele kurallarının ilk kaidesi olan “kaçağı kesme” işlemi kolaylıkla ve süratle yapılabilmektedir. Pompa arızalarında bakım veya yenileme hiçbir riske girmeden ve kısa zamanda yapılabilmektedir. Herhangi bir tehlike anında tank içindeki gazı tahliye etmek daha emniyetli ve kolaydır [12].

- **Yer üstü LPG depolama sistemlerinin dezavantajları**

Tank soğutması için yapılması gerekli yağmurlama sistemi ilave maliyet gerektirmektedir. Zamanla tank kirleneceği için birkaç senede bir boya ve bakım masrafı çıkmaktadır. Tank ve çevresi emniyet bakımından 3 m eninde beton ile çevreleneceğinden yatırım maliyeti ister istemez yükselecektir.

İnsanların can ve mal güvenliğini sağlamak, çevreyi korumak bakımından, emniyet kaidelerine uyulduğu müddetçe, yer altı ve yer üstü tanklar arasında bir fark bulunmamaktadır; hatta kontrol ve iletme kolaylığı bakımından yer üstü tanklar, özellikle uzun sürede, yer altı tanklardan daha emniyetlidir. Ancak şu husus unutulmamalıdır:

Tank, bir LPG sisteminin en sağlam ve güvenilir unsurudur. Dikkat edilirse hiçbir patlama olayı veya tank yakınında LPG yangını, tanklar nedeniyle çıkmamıştır. Mutlaka tank dışında yanlış yapılan veya emniyet kaidesine aykırı bir hareketten veya bakımsızlıktan çıkmıştır. Bu gibi durumlar ise hem yer altı hem de yer üstü tanklar için geçerli olmaktadır.

Yapılacak hataların getireceği zararı asgariye indirmek düşüncesiyle tankı yer altına indirmek, hem hatalara daha fazla neden olmakta hem de zararı azaltmayacağı gibi tehlikeyi bir an evvel görebilme avantajını ortadan kaldırmaktadır.

Büyük sinai tesislerde (20 m<sup>3</sup> ve üstünde tank kullananlar), zirai tesislerde (sera tavukçuluk, tahıl kurutma vb.) ve arazisi müsait küçük dökme gaz sistemi kullanan tüketicilerde LPG tankları genellikle yer üstündedir. Oto gaz istasyonlarında ise geniş ve müsait arazisi olanlarda LPG tankları yine yer üstündedir [12].

### 3.6 LPG Kazaları ve Meslek Hastalıkları

LPG tesislerinde çevresel ya da kişisel hatalar sonucu büyük patlamalar meydana gelebilmekte, ayrıca kişilerde LPG sebepli meslek hastalıkları görülebilmektedir.

#### 3.6.1 Büyük LPG kazaları

Dünyada günümüze kadar birçok LPG kazası meydana gelmiştir. Bunlardan en önemlileri ve meydana geldikleri bölgeyi tehdit altında bırakanlar aşağıda anlatılmaktadır.

➤ 23 Temmuz 1978'de Romeoville Illinois'te çatlayan tanktan propan patlamasında 7'si itfaiye eri 17 ölü ve 500 milyon dolarlık hasar meydana gelmiştir. 34 m<sup>3</sup> kapasitesindeki küresel deponun patlaması sonucu depo parçaları 1,5 mil (yaklaşık 2 km) mesafeye yayılmış, oluşan ateş topu yüzlerce metre yüksekliğe fırlamış, bu patlamadan sonra yakındaki LPG tankları da havaya uçmuş ve pek çok insan hayatını kaybetmiştir.

➤ Mexico City'de 19 Kasım 1984'te bir LPG deposu patlamış ve 500 kişi hayatını yitirmiş, 4000 kişi ise yaralanmıştır.

➤ 27 Haziran 1993'te Kanada Quebec'te propan tankının patlaması sonucu ortaya çıkan şarapnel parçaları dört itfaiyecinin ölümüne sebep olmuştur.

➤ 15 Mart 1996'da Treviso Paese'de propan sızıntısıyla yangın ve patlama meydana gelmiş, 2 kişi ölüp 15 kişi yaralanmıştır.

➤ Burnside Illinois'te 2 Ekim 1997 tarihinde 1000 galonluk (sadece 3,78 m<sup>3</sup>) LPG tankının havaya uçması sonucu iki itfaiyeci ölmüş, ikisi de ağır yaralanmıştır.

➤ 9 Nisan 1998'de Indiana Albert City'de, bir tavuk çiftliğindeki propan tankına giden boru hattına kamyon çarpması sonucu oluşan alevler tanka sıçramış ve 18.000 galon (68m<sup>3</sup>)'lük tankın infilak etmesi sonucu iki itfaiye eri ölmüş, yedi kişi de yaralanmıştır.

➤ 17 Ağustos 1999 tarihinde Doğu Marmara Depremi'nden sonra TÜPRAŞ'ta başlayan yangının LPG depolarına sıçraması ihtimaline karşılık 5 km çapında bir alan boşaltılmak zorunda kalınmış ve bu alan içinde enkaz altında kalan yurttaşlarımız kaderlerine terk edilmiştir.



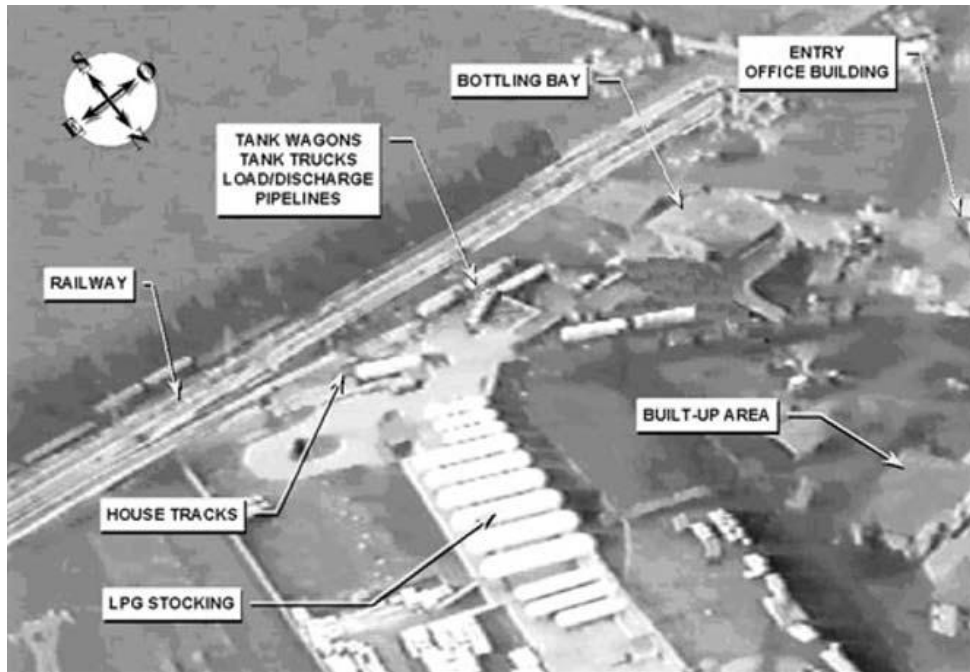
➤ 1999 yılında Dörtüyl Bizimgaz Tesisinde LPG depolama ve dolun tesisinde 3 adet 115m<sup>3</sup>'lük 3 adet tank BLEVE patlaması sonucu yok olmuş ve 2 kişi hayatını kaybetmiştir.

➤ 2002 yılında Yarımca Akçagaz Tesisinde meydana gelen LPG yangınında tesis tümüyle yanarak çevrede büyük tehlike oluşturmuş ve 1 kişi hayatını kaybetmiştir [27].

- **Örnek Bir LPG Yangını ve Patlaması Analizi**

Bu kaza, 15 Mart 1996'da İtalya'nın Treviso şehrinin Paese kasabasında gerçekleşmiştir. LPG yangını sonucu iki kişi ölmüş, beş kişi ise ciddi şekilde yaralanmıştır ve cam kırıklarının ortalama 300m'lik bir alana yayıldığı gözlenmiştir.

Sabah saat 7.00 sularında, 50m<sup>3</sup>'lük 18 ton propan taşıyan tanker depolama tesisine giriş yapmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi bu yerin yakınlarında 6 tane 15m<sup>3</sup>'lük tank, başka bir 50m<sup>3</sup>'lük yol tankeri ve bünyesinde yaklaşık 800 ton LPG barındıran depolama tankı ile toplamda 170 ton propan taşıyan 5 demiryolu tankeri bulunmaktadır [7].



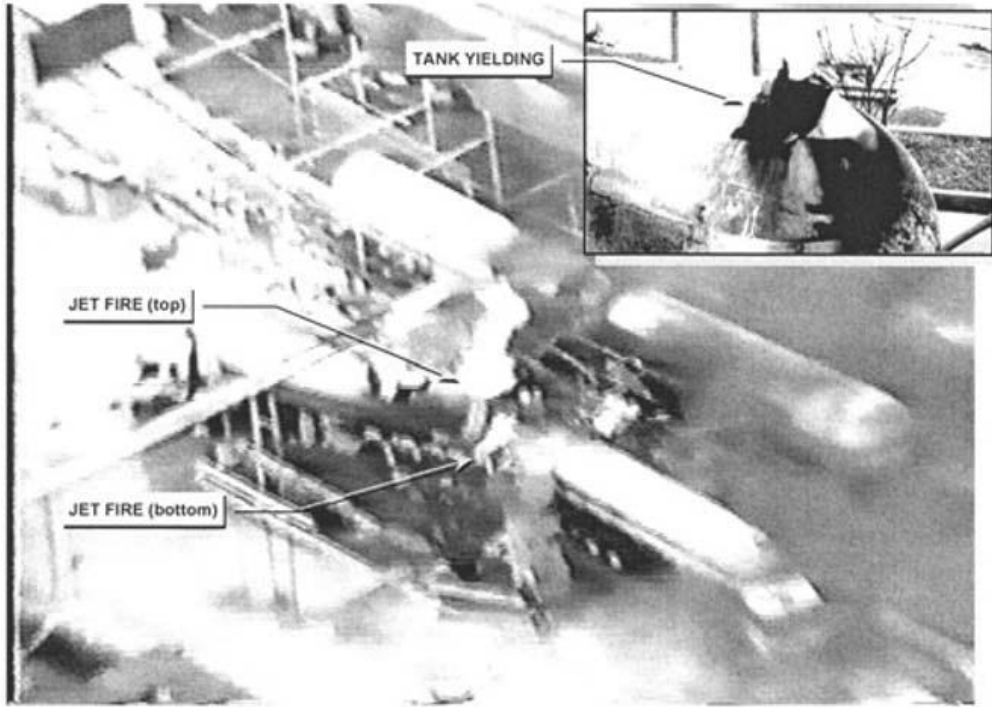
Şekil 3.7 Kazanın meydana geldiği Paese'deki LPG depolama tesisi [7]

Transfer durumunda operatör, hortumu tanka bağlayarak propanı boşaltmaya başlamıştır. Bu durum doğru bir şekilde gerçekleştirilmemiştir, öyle ki tabandaki akış dedektörü akış boşaltım hızının yavaş olduğunu belirlemiştir. Hatanın nedeni, sıvı

durum valfinin yetersiz oranda açılması olarak gösterilmektedir. Bu durum ise, dışarı akışı azaltmış ve valfin tamamıyla kapanıp tankın içeriğinin sabit kalmasını sağlamıştır. Operatör, valfin kontrol mekanizmasını tamir etme amacı ile sökmeye başlamıştır. Tanker ise hala tamamıyla yakıt ile dolu olup hortum ile tankere bağlı bulunmaktadır. Operatör valfin mührünü doğrulama konusunda yeterli değildir. Son civata çıkartıldığında, tankın içerisindeki kuvvetli basınç ile valfin mekanizması dışarıya doğru püskürmüş, propan çıkışı gerçekleşmiş ve operatörün yüzünde ve ellerinde soğuk yanığına neden olmuştur.

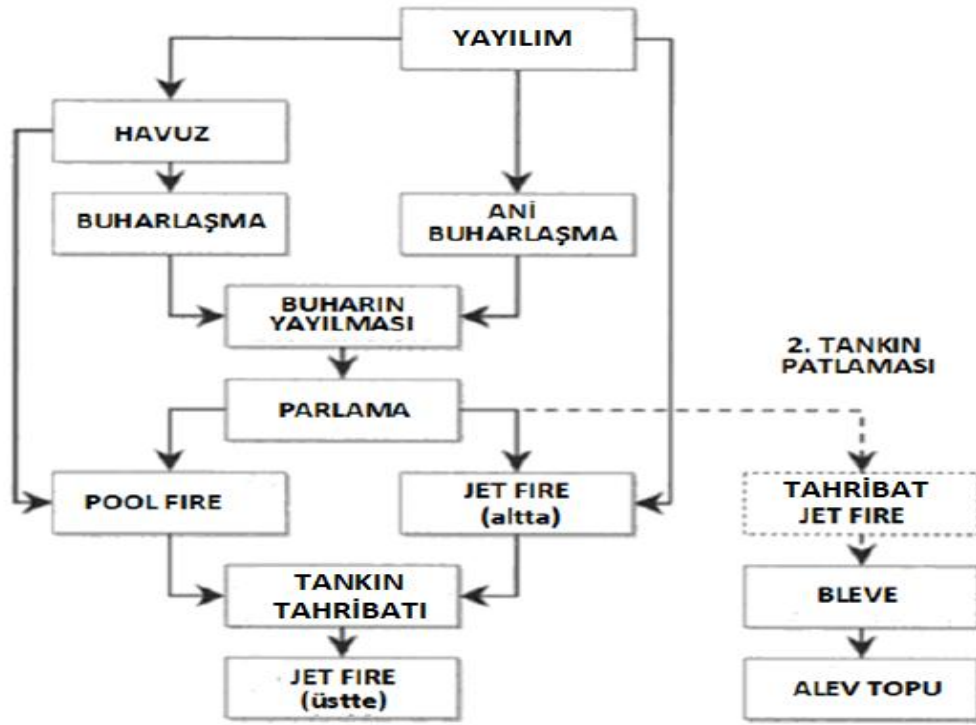
Açığa çıkan sıvı propan buharlaşarak bir buhar bulutu şeklinde çevreye yayılmaya başlamıştır. İtfaiye ekibi çağırılmış ve iki yangın mühendisi birkaç dakika içerisinde olay yerine gelmiş ve dış avlu bölgesinde bulutu su yardımıyla dağıtmaya çalışmışlardır.

Propanın serbest kalmasından yaklaşık 20 dakika sonra, propan bulutu itfaiyecileri ve olaya karışan çalışanları içine alacak şekilde parlamış ve yangın başlamıştır. Bu sırada iki itfaiyeci ölmüş ve ofis binalarının belli bir kısmı hasar görmüştür. LPG depolama tankı çevresinde, “havuz tipi (pool fire)” yangın başlamıştır (Şekil 3.8, Şekil 3.9). Aynı anda tank valfi çıkışında da yangın başlamıştır. Valf çıkışındaki “jet fire” tipi yangın alevleri tankerin arkasını yalayarak tankın içerisinde bulunan propanı ısıtmaya başlamıştır [7].



Şekil 3.8 “Jet fire” anında ve sonrasında tankın görüntüsü [7]

Tankin iç basıncı yüksek sıcaklıktan dolayı artmıştır. 15 dakika sonra, tankın bir bölümü alevlere teslim olmuş ve kabuğun üst kısmı silindirik tabaka ve yarı silindirik alt katman arasında kalan kaynak bölgesi ayrılmıştır. Yüksek iç basınç oldukça hızlı bir akışa yol açmış ve anlık yangına sebep olmuştur (Şekil 3.8, Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Yangın ve patlama oluşum akım şeması [7]

Propan bulutunun parlaması aynı zamanda transfer istasyonlarından birisi ile olan bağlantıyı hasara uğratmıştır ve bunun sonucunda bir başka anlık yangına sebep olmuştur. Öyle ki içerisinde 0,8 tonluk ürün bulunan 15m<sup>3</sup>'lük tank kasası alev topunu oluşturan BLEVE ile tamamıyla yok olmuştur (Şekil 3.10). Çevrede bulunan evlerin camları ezilmiş ve tank metalinin parçaları yaklaşık 600m mesafeye savrulmuştur [7].

İtfaiyeciler fabrikadan çevreye yayılmış birkaç yangını söndürmüşler ve demiryolu kamyonlarını ve ilk tankerin kendisinin yanmasıyla sonuçlanan anlık yangından etkilenmeyen tankları soğutmuşlardır.

Ateş topu, ilk tankın çözülmesi sonucunda meydana gelen olaylardan etkilenen ikinci tankın patlaması sonucu meydana geldiği helikopterden gözlenmiştir. Bu şekilde filme alınan görüntü dijital ortama aktarılmış ve ilerlemenin incelenebilmesi adına her bir

adım tek tek resim haline getirilmiştir. Ray tankerinin uzunluğu kullanılarak oluşan ateş topunun çapı belirlenmiştir (yaklaşık 15m civarındadır). Zamanla bu durumun değişmesi; bir alevden bir diğer aleve 40m/s'lik aralıklar referans alınarak kararlaştırılmıştır.



Şekil 3.10 BLEVE anında ve sonrasında tankın görünümü [7]

Ateş topunun kendi çapı ve gövdesi sırasıyla 50m ve 17m civarındadır ve yalnızca 1 saniye içerisinde yerden yüksekliği 30m'den 45-50m'ye çıkmıştır [7].

### 3.6.2 Meslek hastalıkları

Meslek hastalıkları, belirli bir meslekteki koşulların zamanla, tekrarlayıcı ve devamlı etkileri sonucu olan hastalıklardır. Dolayısıyla da meslek hastalığı ile işçinin yaptığı iş arasında nedensellik bağı bulunmaktadır. İş kazalarında olduğu gibi, meslek hastalıklarında da hastalık etkeni, insan vücudunun dışında bulunmaktadır. Bu nedenle iş kazaları ve meslek hastalıkları beraber ele alınabilmektedir. Meslek hastalıklarının iş kazalarında farkı, hastalık etkeninin devamlı olması, hastalığın ilerleyici oluşu ve başlangıç tarihinin kesin olarak saptanamamasıdır. Örneğin bir patlama sonucu meydana gelen işitme bozuklukları "iş kazasıdır" olarak tanımlanmaktadır. Buna

karşılık, yıllarca, yüksek şiddette gürültülü ortamda çalışmış bir işçinin işitme kaybı ise "meslek hastalığıdır" olarak tanımlanmaktadır [28].

LPG dolun tesisleri ÷lkemizde yeni yeni kurulan tesisler oldukları için buralarda daha belirgin meslek hastalıklarını gözlemleyebilmemiz için uzun yıllar geçmesini beklememiz gerekebilmektedir. Zira LPG'nin insan vücuduna olan etkisini birkaç yılla sınırlandırmak onun etkisini anlayabilmemiz için çok kısa bir süre olarak kabul edilmektedir. Yapılan araştırmalarda daha çok işitme kaybı, bel incinmesi, alerji, varis oluşumu gibi rahatsızlıklar göze çarpmaktadır.

Tüplerin ağır olması ve yanlış bir biçimde kaldırılması, belin haddinden fazla zorlanmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu zorlanma omurilik zedelenmesine dahi sebep olabilmektedir ki omurlar arasına et girmesi kısmi felce kadar ilerleyebilmektedir.

Omurganın rahatsızlıkları; doğuştan omurga anormallikleri (Skolyoz, Kifoz, Spina bifida, Diastomatomiyele) sonradan gelişen omurga rahatsızlıkları (İdiopatik skolyoz, Spondilozis, Spondilolistezis, Disk rahatsızlıkları, Spinal stenoz, Omurganın romatizmal rahatsızlıkları), omurga travmaları ve omurga tümörleri şeklinde sınıflandırılabilir [29].

## BÖLÜM 4

---

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Örnek bir LPG dolum tesisine ait şematik gösterim Ek A'da verilmiştir. Şekilde gösterilen 4 LPG tankından biri seçilmiş ve tüm hesaplamalar tek bir tank üzerinden yapılmıştır. Bir LPG tankında olası bir sızıntı durumunda meydana gelebilecek bir yangının hangi çapta ne kadar etkili olabileceği araştırılmış ve bu amaçla Amerikan Çevre Korunma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) tarafından geliştirilmiş olan ALOHA 5.4.1.2 programı kullanılmıştır. Bir LPG depolama tankında olası bir yangının boyutlarını etkileyen en önemli faktörlerin hava sıcaklığı, rüzgar hızı ve tankın doluluk oranı olduğu belirlenmiştir. Programda kullanılan atmosferik şartlar ve tanka ait veriler Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Farklı atmosfer şartları ve tank doluluk oranları için hesaplanan tehlike bölgesi değerleri deneysel tasarım metodu kullanılarak modellenmiştir.

Çizelge 4.1 Atmosferik şartlar ve tanka ait veriler

Parametre	Birim/Değer
Hava Sıcaklığı	(-15 °C)-50 °C
Rüzgar Hızı ve Yönü	4-16 m/sn, Güney
Bağıl Nem (atmosfer)	%60
Tankın LPG İçeriği	%100 propan
Tank Tipi	Yatay Silindirik
Tank Hacmi	115 m <sup>3</sup> (Φ:3m; L:16,2m)
Tank İç Sıcaklığı	(-15 °C)-50 °C
Tankın Doluluk Oranı	%20-%80
Sızıntı Bölgesi Çapı	15 cm

#### 4.1 ALOHA 5.4.1.2 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)

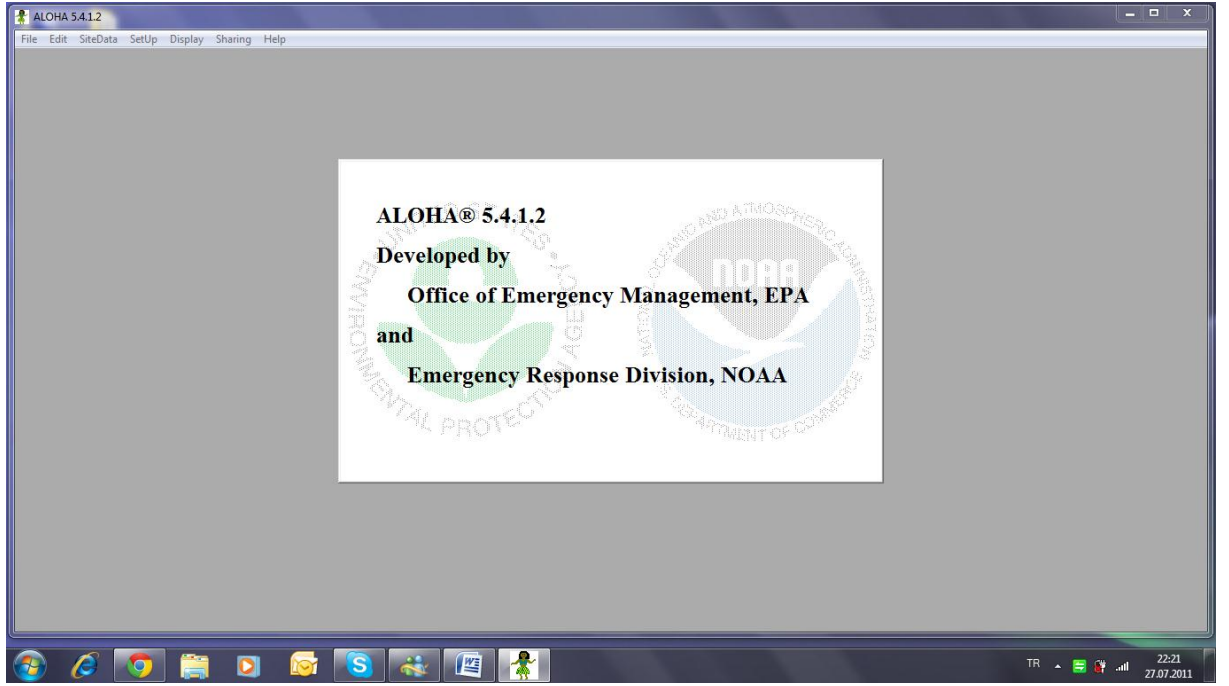
ALOHA programı, Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi (NOAA) tarafından kimyasalların yayılımını modellemek için geliştirilmiş bir yazılımdır [30]. ALOHA programı ayrıca zehirli ve yanıcı maddelerin serbest kalma anındaki tehlike mesafelerini ve yanıcı maddelerin yanma/patlama anındaki etki alanlarını hesaplar. Açığa çıkan kimyasal maddelerin özelliklerini kullanarak gerçek zamanlı modeller oluşturur. Program kendi kütüphanesine sahiptir fakat sadece saf kimyasal maddeleri ve bazı karışımları modellemek için tasarlanmıştır. ALOHA programı Gaussian dağılım modeli ve yoğun gazların dağılım modeli olmak üzere iki tip dağılım modeli içerir [31]. Programın vereceği sonuçlar kimyasal maddenin türü, atmosferik veriler ve modellenecek buhar bulutunun toksisitesi gibi birçok duruma göre değişebilir. ALOHA programından alınan sonuçlar değerlendirilirken özellikle çok düşük rüzgar hızlarında, çok kararlı atmosferik koşullarda, rüzgarın yön değişimleri ve meyilli arazilerin olduğu durumlarda ve ayrıca sızıntı kaynağına yakın noktalardaki konsantrasyon düzensizliklerine karşı dikkatli olunmalıdır. ALOHA programı kimyasal reaksiyonlar, parçacıklar, kimyasal karışımlar ve arazi faktörlerinin etkilerini hesaba katmaz. Ayrıca ALOHA programı, 10 kilometreden daha uzak mesafelerde etkin olan,

bulut oluşumuna neden olan kimyasal yayılımlarında ve bir saatin üzerinde devam eden kimyasal yayılımlarında kullanılmaz [30].

#### 4.1.1 ALOHA 5.4.1.2 Programının Kullanımı

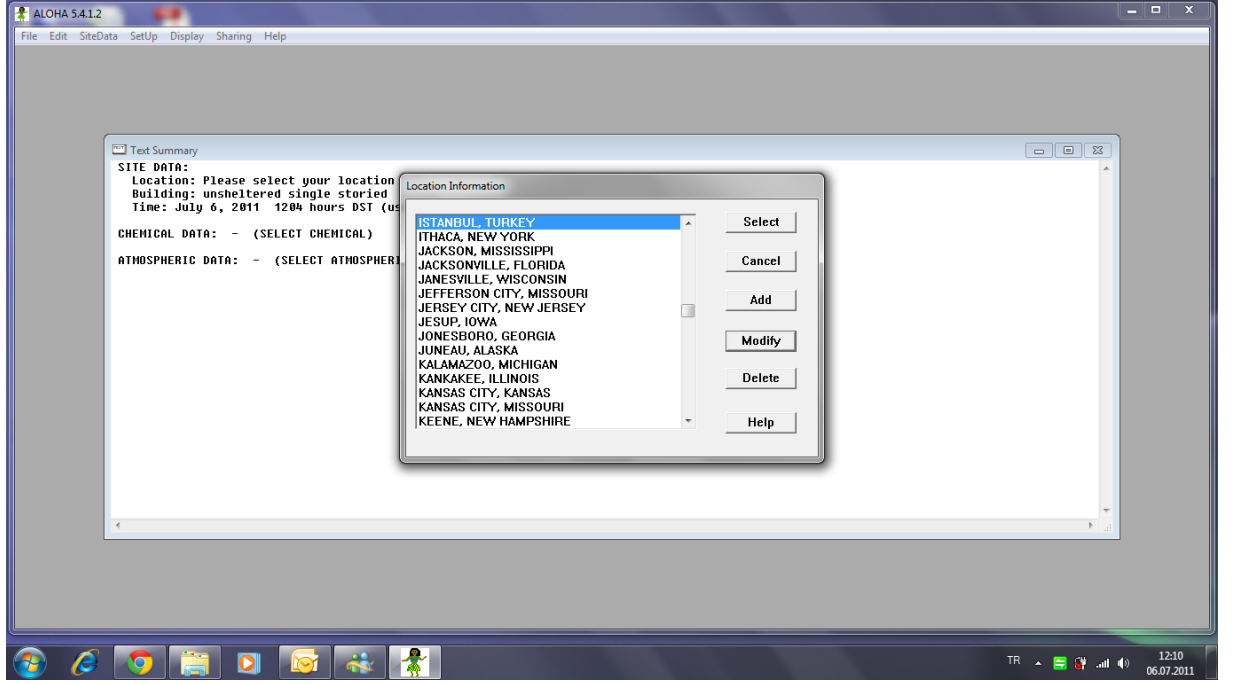
ALOHA programının daha iyi anlaşılabilmesi için deneysel tasarım için kullanılan yirmi deneme içinden bir tanesi seçilmiş ve bu seçilen deneme için programın kullanımına ait tüm adımlar bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

ALOHA programı açılmış (Şekil 4.1) ve Side Data menüsü kullanılarak İstanbul-Hadımköy'ün matematiksel konumu, ortalama yüksekliği ve Greenwich Gözlem İstasyonu'na göre saat dilimi eklenmiştir. Tüm veriler girildikten sonra İstanbul, programın kütüphanesine kaydedilmiş olur (Şekil 4.2).



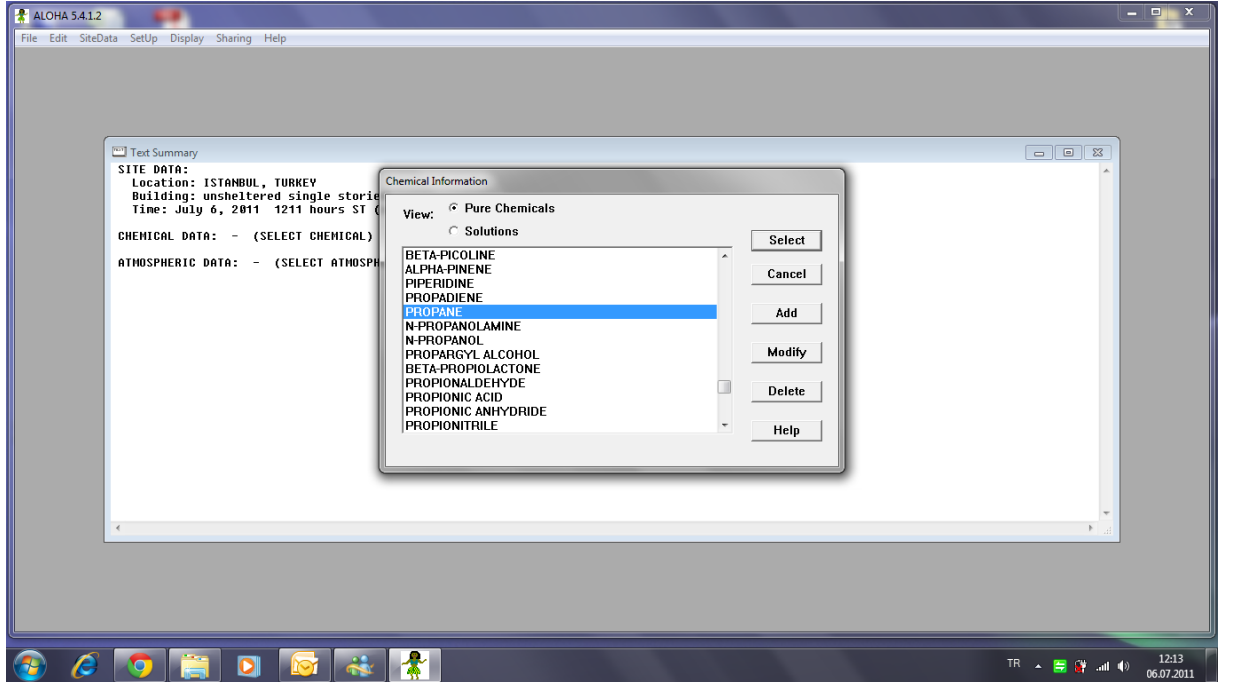
Şekil 4.1 ALOHA programı açılış penceresi





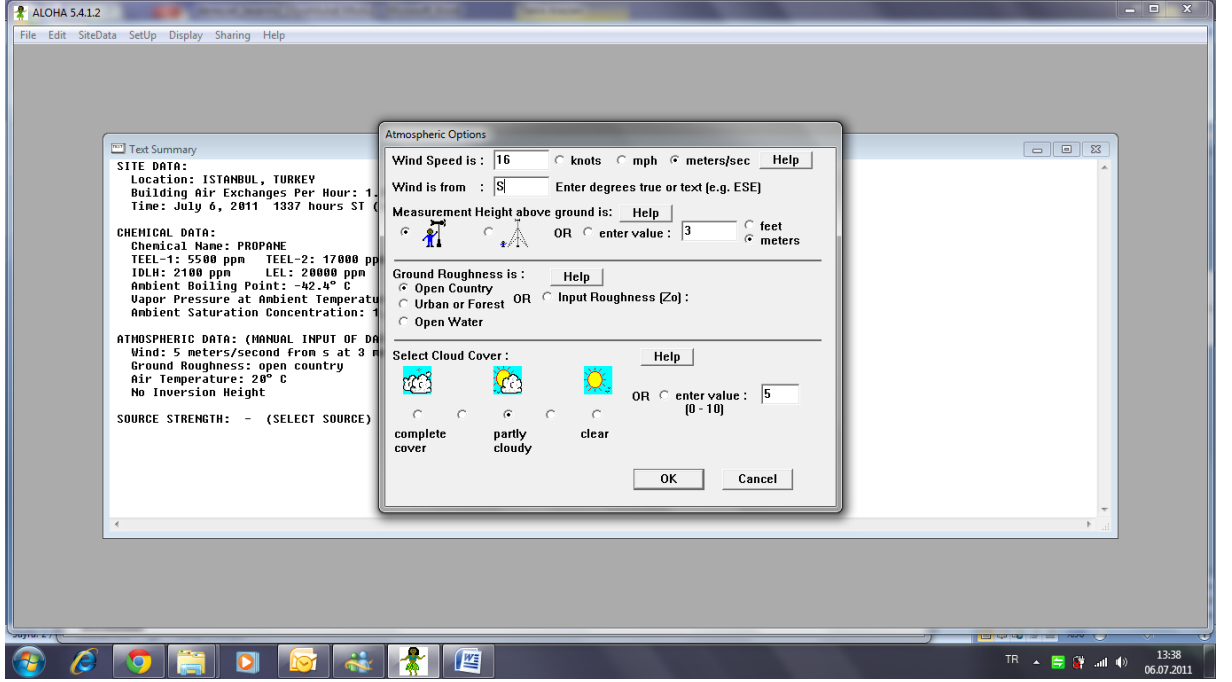
Şekil 4.2 ALOHA programı İstanbul konumu tanımlanmış penceresi

Konumun programa kaydedilmesinden sonra çalışılacak kimyasal seçilmelidir. Bu işlem Set Up-Chemical menüsünden yapılır. LPG, %100 sıvı propan olarak depolandığından menüden Şekil 4.3'teki gibi propan seçilmiştir.



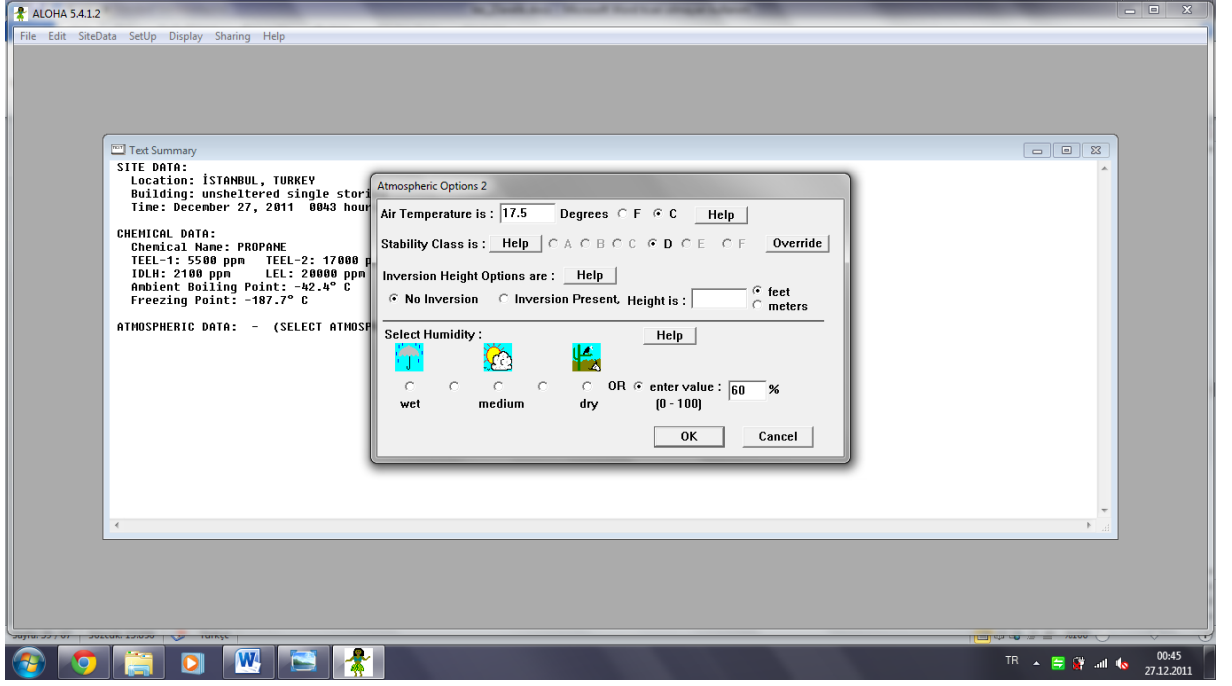
Şekil 4.3 ALOHA programında kimyasal seçimi penceresi

Temel bilgiler programa kaydedildikten sonra artık deneysel veriler girilerek program çalıştırılabilir. Set Up-Atmospheric-User Input menüsüne girilerek rüzgar hızı (m/sn) ve rüzgar yönü değerleri programa girilmiştir (Şekil 4.4). Çalışmada kullanılan rüzgar hızı değerleri 4-16m/sn arasında olacak şekilde seçilmiştir [32].



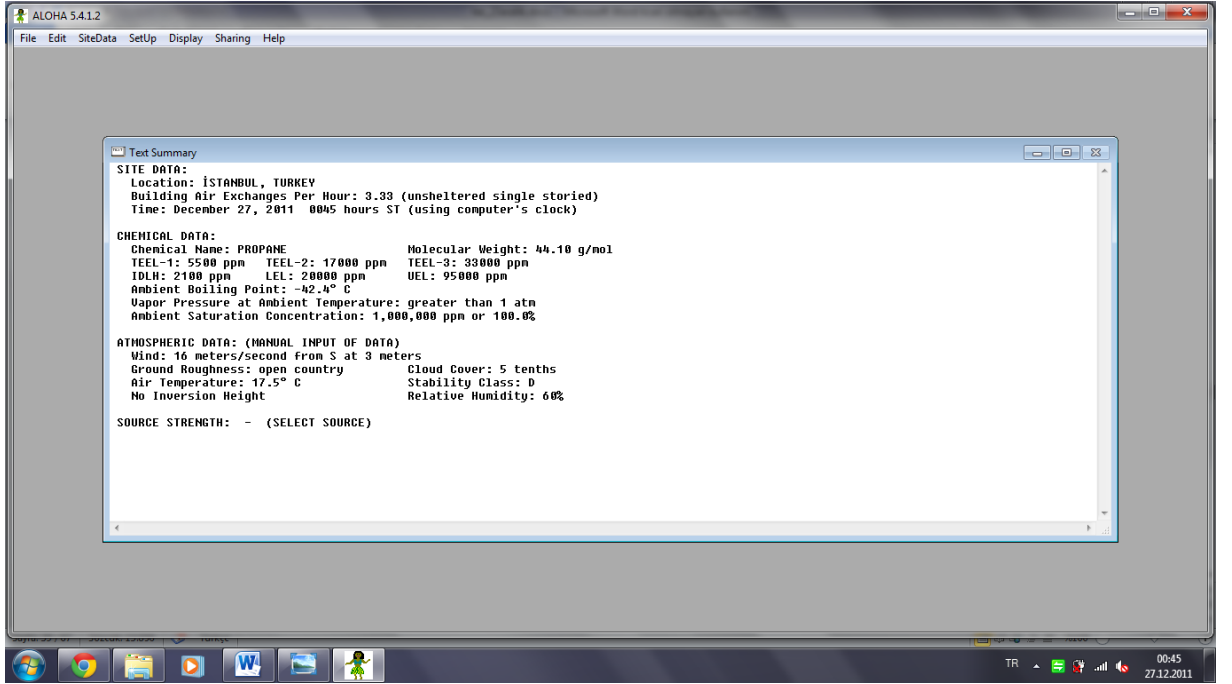
Şekil 4.4 ALOHA programında atmosferik verilerin girilmesi 1

Daha sonra sırasıyla hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri Şekil 4.5'teki gibi programa girilmiştir. Hava sıcaklığı  $-15^{\circ}\text{C}$  ile  $50^{\circ}\text{C}$  arasında seçilmiş ve bağıl nem %60 değerinde sabit tutulmuştur [32].



Şekil 4.5 ALOHA programında atmosferik verilerin girilmesi 2

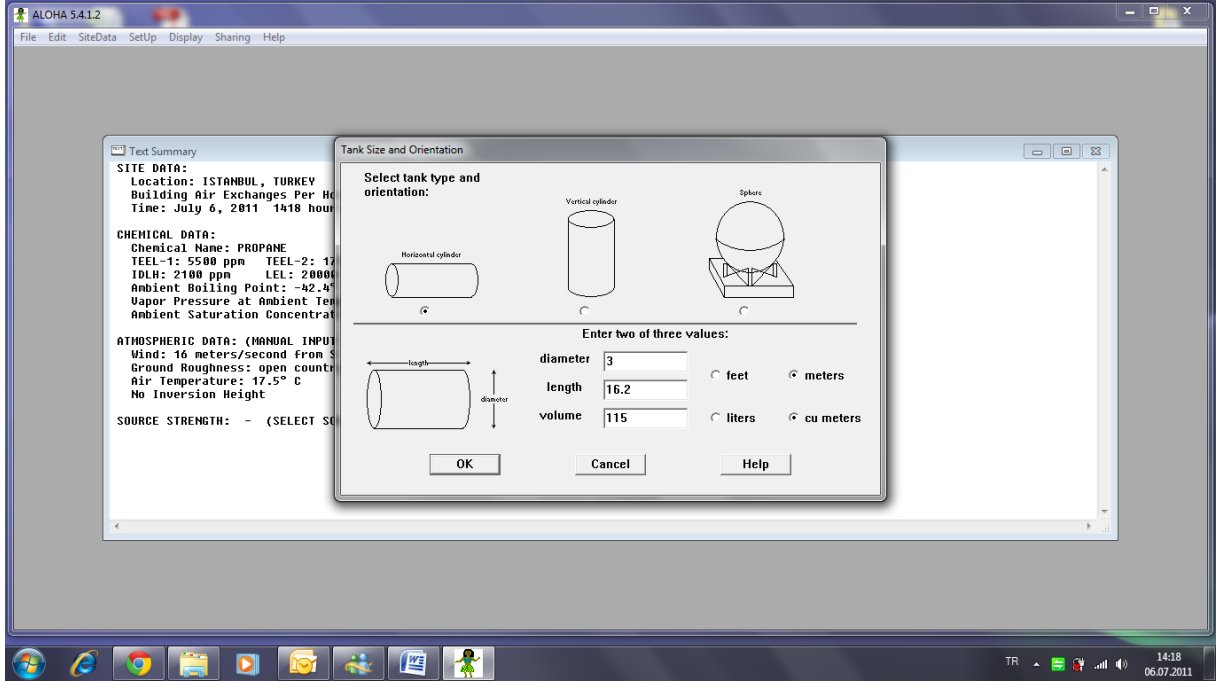
Bu aşamaya kadar programa girilen tüm veriler konum tanımı, kimyasalın özellikleri ve tüm atmosferik şartlar Şekil 4.6'daki sonuç penceresinde gösterilmektedir.



Şekil 4.6 ALOHA programı konum, kimyasal madde ve atmosferik şartların tanımlanmış penceresi

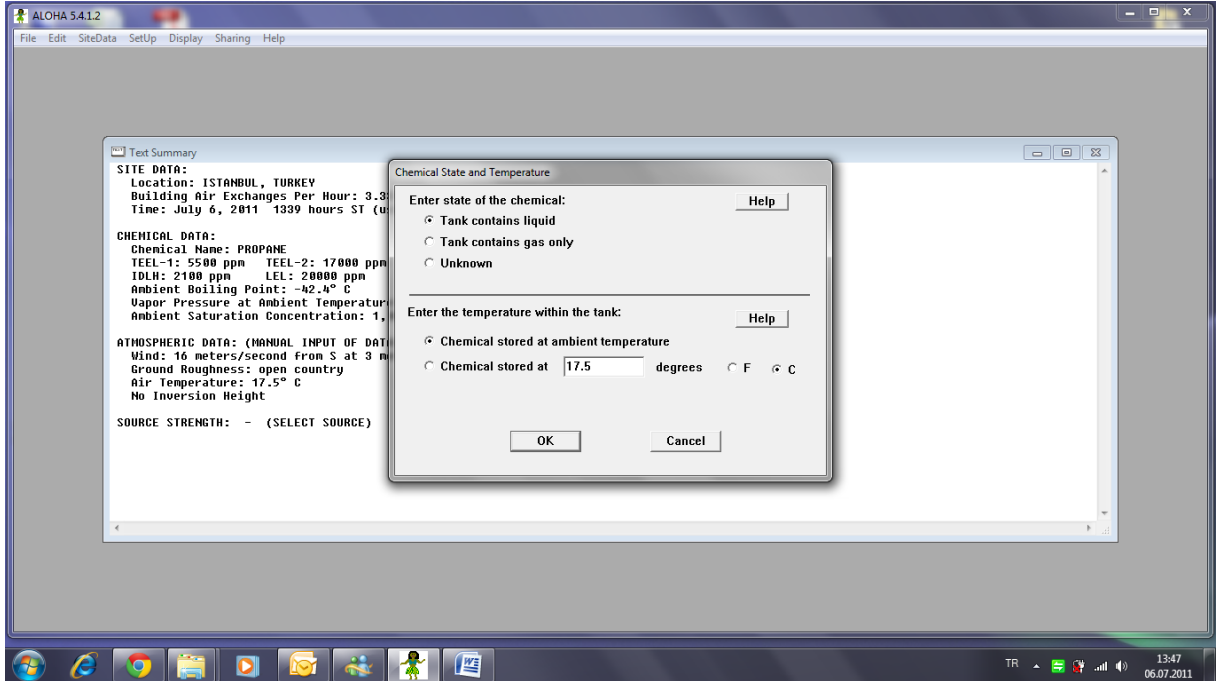
Tank boyutlarının seçimi için Set Up menüsünden Source ve Tank adımları takip edilir. LPG dolun tesislerinde kullanılan depolama tankları genelde yatay silindirik tipte

olduğu için çalışmada  $115\text{m}^3$  hacminde yatay silindirik tipte tanklar kullanılmıştır (Ek A). Tank boyutlarının 3m çapında ve 16,2m uzunluğunda olduğu varsayılmıştır (Şekil 4.7).



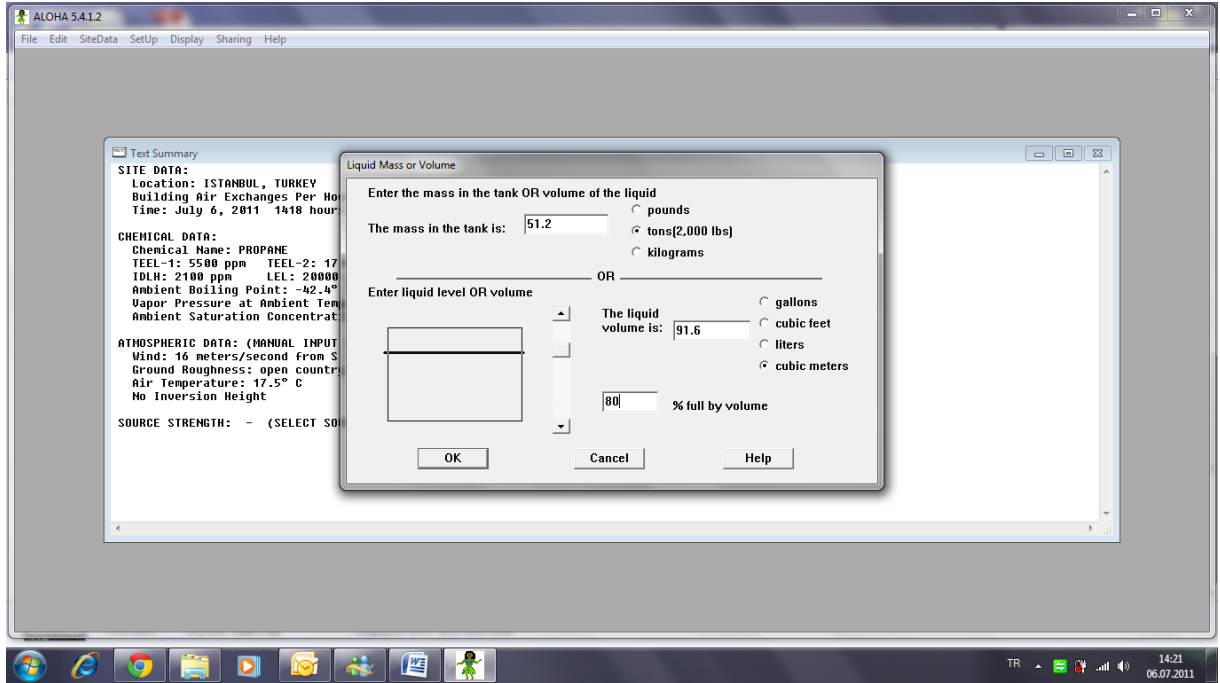
Şekil 4.7 ALOHA programı tank tipi ve boyut seçimi penceresi

Şekil 4.8'deki pencerede, propanın hangi fiziksel halde depolandığı programa girilmiştir. Propanın seçilen atmosfer sıcaklığında depolandığı varsayılmıştır.



Şekil 4.8 ALOHA programı tank içi fiziksel hal tanımlama penceresi

Bir sonraki menü Şekil 4.9'da görüldüğü gibi tankın doluluk oranı ile ilgilidir ve bu değer % 20 ile %80 aralığında seçilmiştir. Program tank içindeki propan kütlesini otomatik olarak hesaplamaktadır.



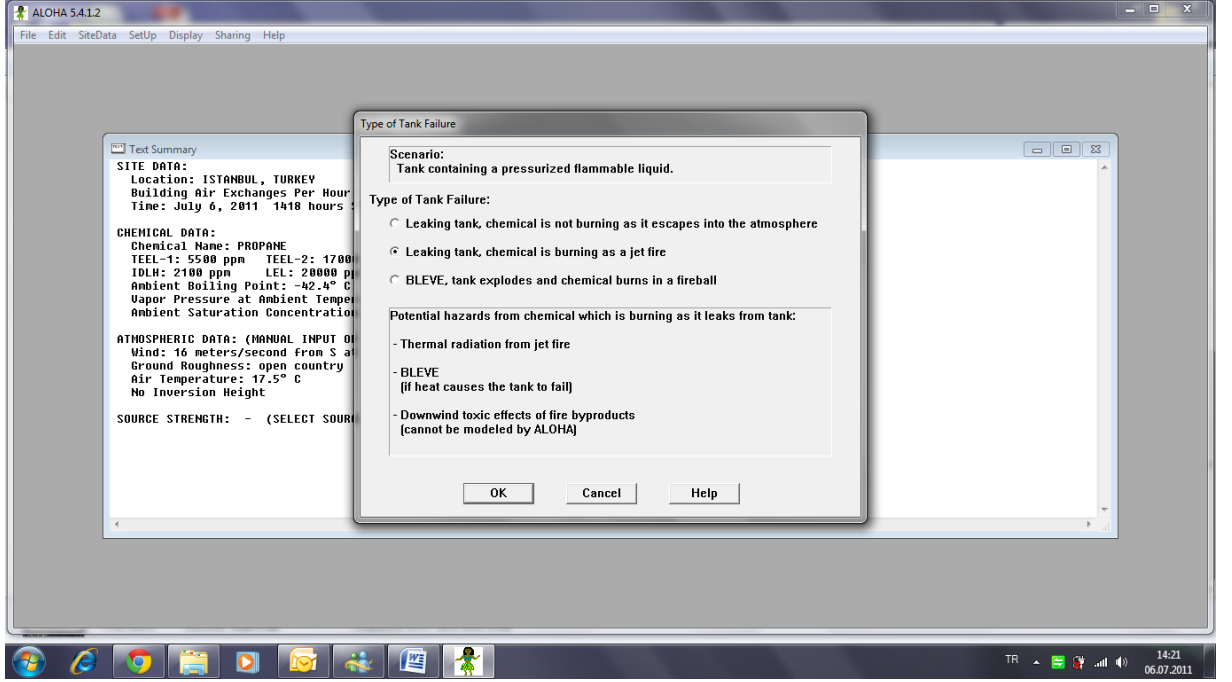
Şekil 4.9 ALOHA programı tank içi doluluk oranı seçimi penceresi

Önemli adımlardan birisi de meydana gelebilecek bir sızıntı durumunda ne tür bir yanma reaksiyonunun gerçekleşeceğinin belirlenmesidir (Şekil 4.10). Bu aşamada, ALOHA programı üç farklı senaryo sunar. Birinci senaryo sızan kimyasalın herhangi bir yanma reaksiyonuna girmeden atmosfere yayılması durumudur. İkinci senaryoda propan gazı sızıntı noktasında hava ile karışır ve yanma reaksiyonu başlar. Bu durum "Jet fire" olarak isimlendirilir. Üçüncü senaryo ise tankın patlayarak tank içindeki tüm propanın şiddetli bir yanma reaksiyonu vermesi şeklindedir. Bu durum BLEVE olarak isimlendirilir. BLEVE terimi boiling (kaynama), liquid (sıvı), expanding (genleşme), vapour (buhar) ve explosion (patlama) kelimelerinin ilk harflerinden oluşur.

Bu çalışmada, olası bir sızıntı durumunda ikinci (Jet fire) ve üçüncü (BLEVE) senaryoların meydana geleceği varsayılmıştır. Seçilen her iki senaryo için de hesaplamalar ayrı ayrı yapılmış ve deneysel tasarım metodu kullanılarak sonuçlar ayrı ayrı modellenmiştir.

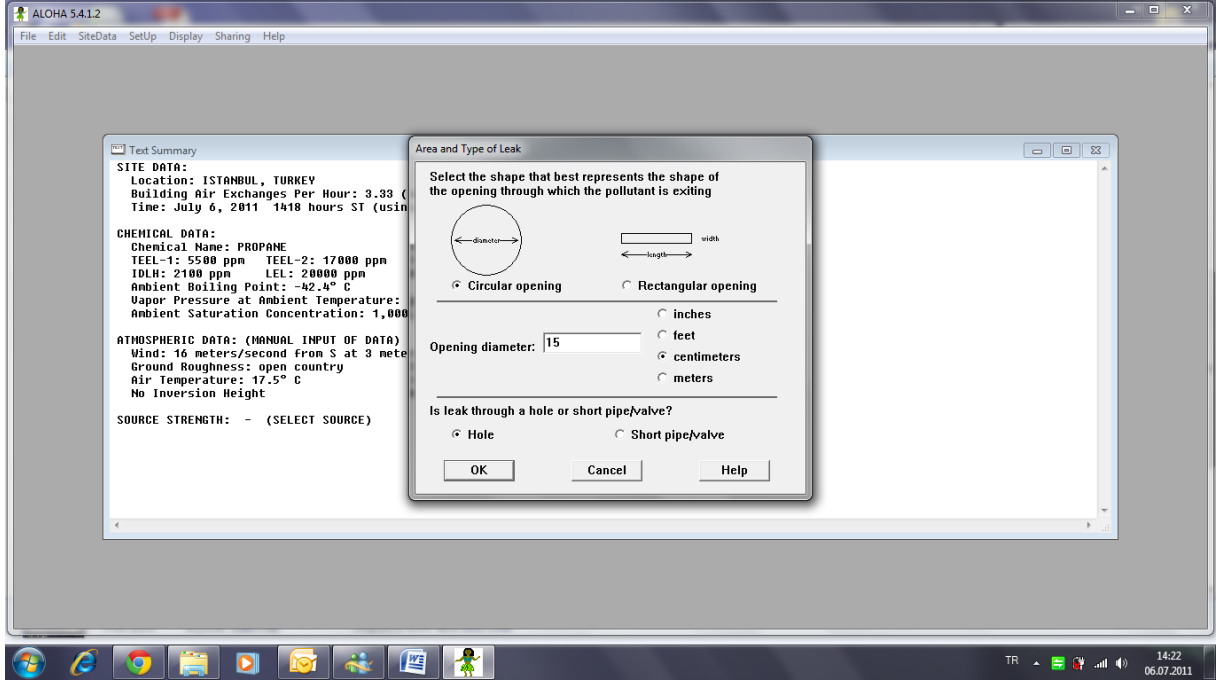
BLEVE yani tankın patlaması ancak tank iç basıncının çok fazla arttığı ve tankın tahliye açıklıklarının artan basıncı tahliye edemediği durumda meydana gelen ve nadir

rastlanan bir durumdur. Bu durum genelde tanktan sızıntıyla başlayan “Jet fire” tipi bir yangın sonrası tankın kendi kendini ısıtması veya yakındaki başka bir tankta meydana gelen bir yangının ışıma ve konveksiyon yoluyla o tankı ısıtması sonucu gerçekleşir. Bu nedenle bu çalışmada öncelikli olarak sızıntı noktasında yanma reaksiyonunun gerçekleşeceği (Jet fire) varsayılmıştır (Şekil 4.10).



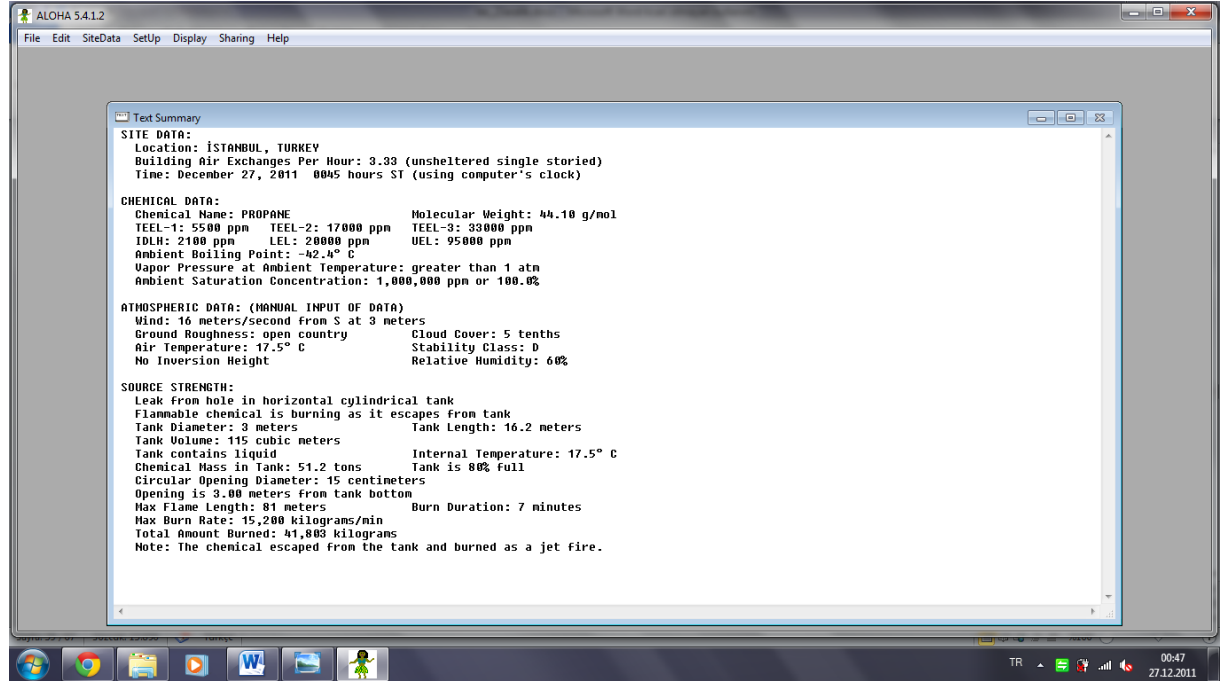
Şekil 4.10 ALOHA programı yangın senaryosu seçim penceresi

Programda çalışmaya devam edebilmek için sızıntının gerçekleşeceği açıklığın şekli ve boyutları belirlenmelidir (Şekil 4.11). Bir depolama tankında en zayıf noktalar dolum ve tahliye açıklıkları olduğu için olası bir sızıntının dolum ve tahliye noktalarından gerçekleşeceği düşünülmektedir. LPG depolama tanklarında dolum ve tahliye açıklıklarının çapları her 50 m<sup>3</sup> tank hacmi için yaklaşık olarak 5cm'dir [33]. Tasarlanan tesisteki depolama tanklarının hacmi 115 m<sup>3</sup> olduğu için sızıntının gerçekleşeceği açıklık çapı 15 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 ALOHA programı tank dolun-tahliye açıklığı boyutları seçim penceresi

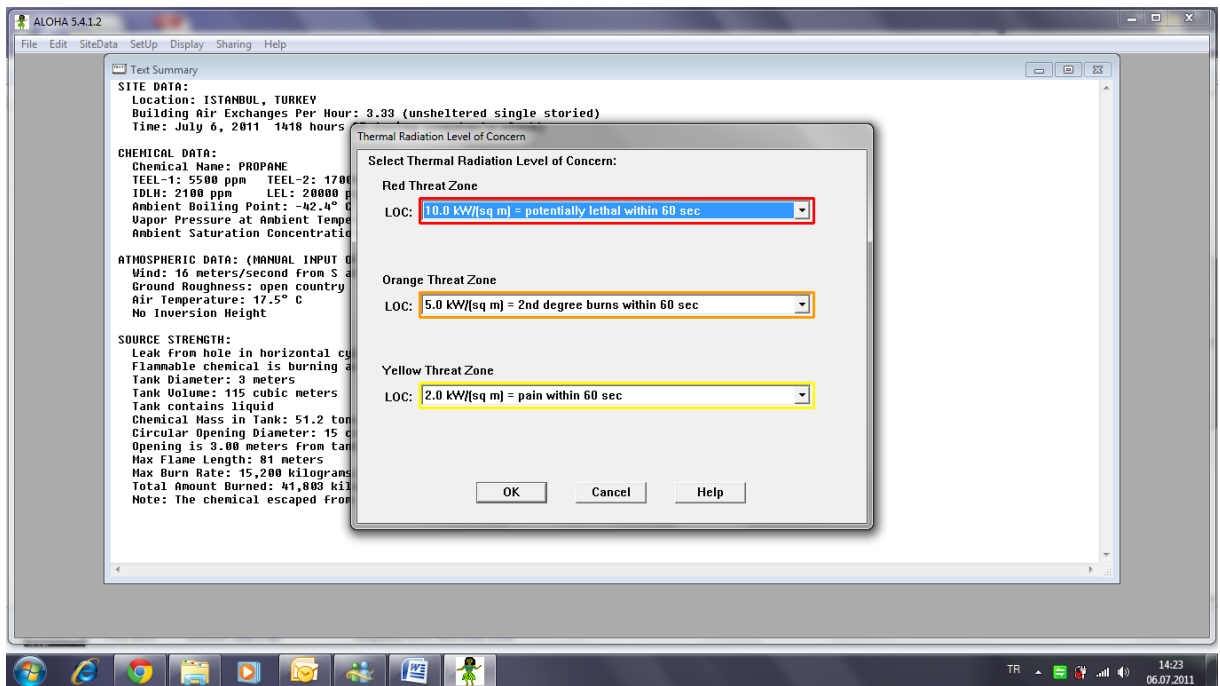
Bu aşamaya kadar programa girilen konum, propanın özellikleri, atmosferik şartlar ve seçilen tank ile ilgili verilerle birlikte olası bir sızıntı sonucu meydana gelebilecek yangına ait bir kısım bilgiler Şekil 4.12'deki sonuç penceresinde görülmektedir.



Şekil 4.12 ALOHA programında veriler ve sonuçların özet gösterimi

Bütün veriler girilip sonuçlar alındıktan sonra grafik çizmek için Display-Threat Zone menüsüne girilir. Programda, yangın sırasında tank çevresinin ne derece risk taşıdığı, yaydığı termal radyasyon seviyesiyle belirlenmektedir ve bu tehlike bölgeleri kırmızı, turuncu ve sarı olmak üzere üç farklı renkte ifade edilmiştir (Şekil 4.13). En tehlikeli bölge kırmızı, en az tehlikeli bölge ise sarı bölgedir. Kırmızı tehlike bölgesi termal radyasyonun  $10 \text{ kW/m}^2$ 'nin üzerinde olduğu ve 60 saniye maruz kalındığında ölümlerle sonuçlanan bölgedir. Turuncu tehlike bölgesinde termal radyasyon  $5-10 \text{ kW/m}^2$  arasındadır ve 60 saniyelik maruziyet ikinci derecede yanık riski taşır. Termal radyasyonun  $2-5 \text{ kW/m}^2$  arasında olduğu sarı tehlike bölgesinde ise 60 saniye içinde yanık oluşma riski vardır.

ALOHA programının renklerle sınıflandırdığı tehlike bölgeleri bu çalışmada rakamlarla ifade edilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde Kırmızı, Turuncu ve Sarı Tehlike Bölgeleri terimleri yerine sırasıyla "Tehlike Bölgesi 1", "Tehlike Bölgesi 2" ve "Tehlike Bölgesi 3" ifadeleri kullanılacaktır.

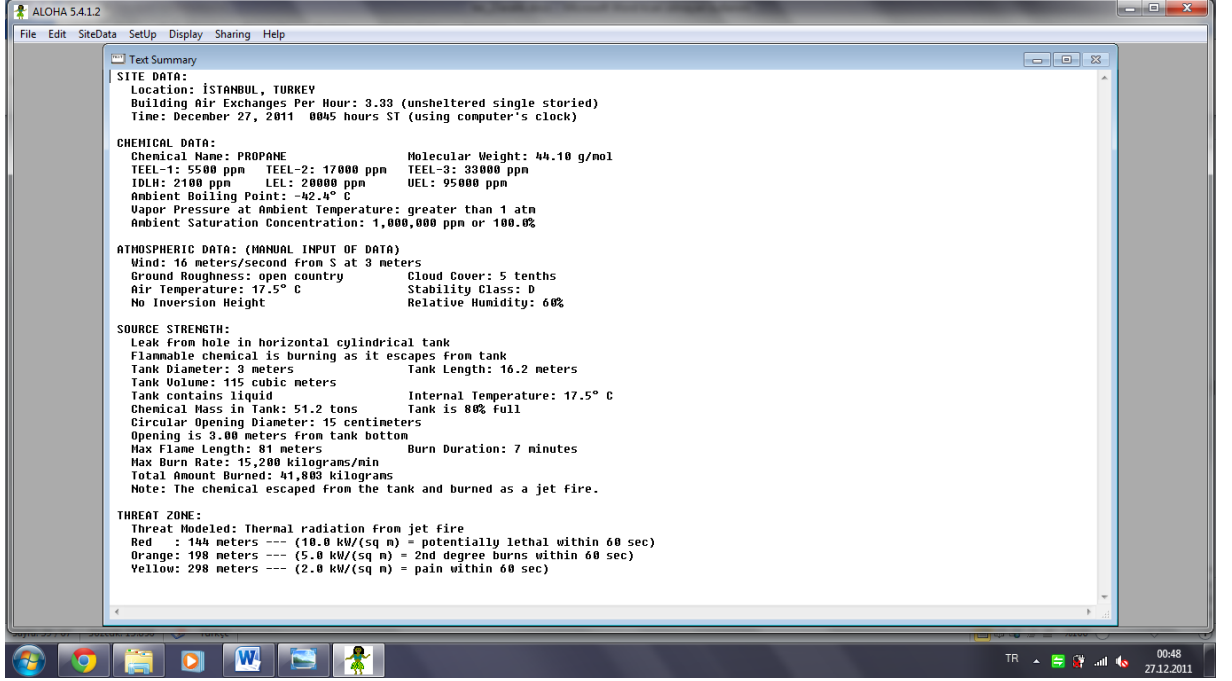


Şekil 4.13 ALOHA programı tehlike bölgelerinin tanımı

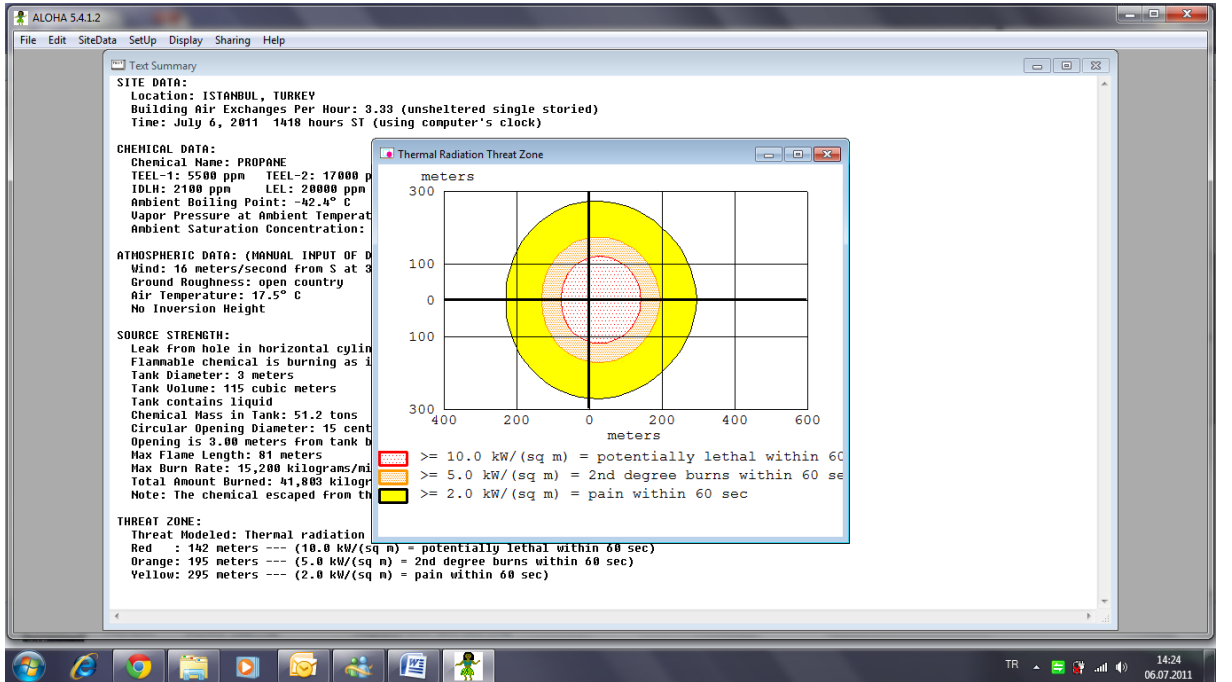
Şekil 4.14'teki sonuç penceresinde programa girilen tüm veriler ve ayrıca kırmızı, turuncu ve sarı tehlike bölgelerinin çapları metre cinsinden gösterilmektedir. Ayrıca, tanktaki propanın hangi debiyle açığa çıkacağı ve yanacağı, maksimum alev boyutu ve



yanma süresi gibi bilgiler de mevcuttur. Kırmızı, turuncu ve sarı tehlike bölgelerini Şekil 4.15'teki gibi grafikte göstermek de mümkündür. Deneysel tasarım uygulanarak incelenen her bir durum için ALOHA programından elde edilen grafikler EK B'de verilmiştir.



Şekil 4.14 ALOHA programında tehlike bölgesi mesafelerinin gösterimi



Şekil 4.15 ALOHA programında tehlike bölgelerinin grafiksel gösterimi

## 4.2 Deneysel Tasarım

Deneysel tasarım; deneysel süreci etkileyen faktörlerin belirlenmesi, tanımlanması ve tasarımın deneysel modelinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan çok önemli bir istatistiksel analiz yöntemidir. Bu teknik sayesinde minimum deney sayısı ile maksimum bilgi sağlanır. Deneysel tasarım yöntemi ile daha az deney yapılarak kullanılan malzemeden ve en önemlisi de zamandan büyük ölçüde tasarruf sağlandığı bilinmektedir.

Deneysel tasarım yöntemlerinden en yaygın olanları 4 grup altında toplanabilir [34]:

- Tam Faktöriyel ve Kısmi Faktöriyel Deneysel Tasarımlar
- Box-Behnken Tasarımı
- Üç Seviyeli Faktöriyel Tasarım
- Merkezi Bileşik Tasarım

Bu çalışmada Merkezi Bileşik Tasarım yöntemi kullanılmıştır. Model oluşturmak için gerekli katsayıların hesaplanması amacıyla kullanılan regresyon analizinde, Design Expert yazılım programı kullanılmıştır.

## 4.3 Merkezi Bileşik Tasarım

Merkezi Bileşik Tasarım,  $3^k$  Faktöriyel Tasarımlara alternatif olarak Box ve Wilson tarafından 1951 yılında geliştirilmiş ve daha sonra Box ve Hunter tarafından iyileştirilmiş bir deneysel tasarım yöntemidir [34]. Çok seviyeli faktöriyel tasarımlardan elde edilen sonuca daha az deney yapılarak ulaşılabildiğinden [35], yüzey cevap denkliklerinin oluşturulmasında çok sık kullanılmaktadır [36]. Merkezi bileşik tasarım deneyleri üç ayrı bölümden oluşur; i) -1 ve +1 olarak kodlanmış tam faktöriyel tasarım deneyleri, ii) merkezden eşit uzaklıktaki eksenel noktalardaki deneyler, iii) deneysel hataları belirlemek amacıyla merkez noktada yapılan tekrar deneyleri [37]. Merkezi Bileşik Tasarım, iki seviyeli tam faktöriyel tasarımlar ele alındığında, k çalışılacak faktör sayısı olmak üzere,  $2^k$  sayıda faktöriyel nokta deneyleri, merkezden eşit uzaklıklarda olmak üzere  $2k$  sayıda eksenel nokta deneyleri ve  $n_0$  sayıda merkez nokta tekrar deneylerinden oluşur [38].

#### 4.4 Cevap Yüzey Analizi

Cevap Yüzey Analizi, 1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilmiş olup, deneylerin tasarlanmasında, bunlara modeller türetilmesinde ve bu deneylerden alınacak cevaplar için en iyi şartların belirlenmesinde kullanılan istatistiksel ve matematiksel metotlardan derlenmiş bir yöntemdir [34]. Cevap Yüzey Analizi, klasik olarak tasarımın tek bir değişkenin tek seferde incelenmesiyle tanımlanmaya çalışıldığı yöntemlere alternatif, önemli avantajlara sahip olan çok değişkenli bir yöntemdir. Cevap yüzey analizi ile sınırlı sayıda deneyle süreç üzerine etkili faktörlerin optimize edilmesi sağlanır [39]. Ayrıca, tek değişkenli yöntemde bağımsız parametreler arasındaki etkileşimler incelenemezken Cevap Yüzey Analizinde bağımsız parametreler arasındaki etkileşimin cevap üzerindeki etkisini gözlemlemek mümkündür [34].

#### 4.5 Model Denklemler

DeneySEL tasarım kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen cevapların model denklemlerinin oluşturulması için çeşitli polinom modelleri kullanılır. Bu polinomlar, elde edilen sistem cevabının parametre değerlerinin aynı anda değiştirilmesinden nasıl etkilendiğini gösterir [27].

Üç değişkenli ikinci dereceden bir model denklem, katsayı değerlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi verilebilir:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j>i}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (4.1)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad (4.2)$$

Elde edilen model denklemlerin uygunluk dereceleri korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve % hata değerleri kullanılarak araştırılmıştır. Korelasyon katsayıları Design Expert programında yapılmış ANOVA analizinden alınmıştır. Hata değerleri ise Denklem 4.3'teki gibi hesaplanmıştır.

$$\% Hata = 100 \cdot (R_{model} - R_{ALOHA}) / R_{ALOHA} \quad (4.3)$$

Korelasyon katsayılarının 1'e yakın, hata değerlerinin ise sifıra yakın olması model denklemlerin uygunluğunu gösterir.

#### 4.6 Merkezi Bileşik Tasarımın Deneysel Verilere Uygulanması

Merkezi bileşik tasarım metodu uygulanarak farklı atmosfer şartları ve tank doluluk oranları için tehlike bölgesi değerleri ALOHA programı ile hesaplanmıştır. Tehlike bölgesinin çapını etkileyen en önemli parametreler sıcaklık (°C), rüzgar hızı (m/sn) ve tankın doluluk oranı (%) olarak belirlenmiştir. Sıcaklık ve rüzgar hızının çalışma aralıkları seçilirken Devlet Meteoroloji Enstitüsünün Florya bölgesinde 2011 senesine ait verilerdeki minimum ve maksimum değerler göz önüne alınmıştır. Rüzgar hızı 4-6m/sn, sıcaklık ise -15 ila 50 °C arasındadır [32]. Tankın doluluk oranı %20 ila %80 arasında seçilmiştir [33]. Çalışmada kullanılan kodlara karşılık gelen; sıcaklık, rüzgar hızı ve tank doluluk oranlarının değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Deneysel değerlerin kodlanmış değerleri Denklem 4.4'ten faydalanılarak hesaplanmıştır.

$$x_1 = \frac{T - 17,5}{16,25} \quad x_2 = \frac{RH - 10}{3} \quad x_3 = \frac{TDO - 0,5}{0,15} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.2 Merkezi bileşik tasarım için kodlar ve gerçek değerler

<i>Kodlar</i>	<i>x<sub>1</sub> (T, °C)</i>	<i>x<sub>2</sub> (Rüzgar Hızı, m/sn)</i>	<i>x<sub>3</sub> (Tank Doluluk Oranı, %)</i>
-2	-15	4	20
-1	1,25	7	35
0	17,5	10	50
1	33,75	13	65
2	50	16	80

Merkezi bileşik tasarım uygulanarak ALOHA programından elde edilen sonuçlar “Jet fire” durumu için Çizelge 4.3'te, BLEVE durumu için ise Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgelerde her bir parametre için gerçek değerler kodlu değerlerin yanında parantez içinde verilmiştir.

Çizelge 4.3 incelendiğinde tehlike bölgesi 1'in yarıçapı değerlerinin 101 m ile 139 m arasında değiştiği görülmektedir. ALOHA programı, birinci derecede riskli olan bu bölgeyi kırmızı ile ifade etmiş olup yangın sırasında bu bölgede çıkan enerjiye 60 saniye

maruz kalınması ölümle sonuçlanır. Tehlike bölgesi 2'nin yarıçapları ise seçilen koşullar aralığında 138 m ile 190 m değerleri arasında değişmekte olup, ikinci dereceden riskli bölge statüsündedir. ALOHA programında turuncu renkle ifade edilen bu bölgede 60 saniye kalınması 2. dereceden yanıklara sebebiyet verir. Tehlike bölgesi 3'ün yarıçap değerleri 212 m ile 290 m değerleri arasında değişmekte olup, 3. dereceden riskli bölge statüsündedir. ALOHA programında sarı renkle gösterilen bu bölgede 60 saniye kalınması birinci dereceden yanıklarla sonuçlanır.

Çizelge 4.3 "Jet fire" durumu için merkezi bileşik tasarım ile elde edilen sonuçlar

<i>Deneme</i>	$X_1 (T, ^\circ C)$	$X_2$ (Rüzgar Hızı, m/sn)	$X_3$ (Tankın Doluluk Oranı, %)	<i>Tehlike</i> <i>Bölgesi1</i> (r,m)	<i>Tehlike</i> <i>Bölgesi2</i> (r,m)	<i>Tehlike</i> <i>Bölgesi3</i> (r,m)
1	0 (17,5)	2 (16)	0 (50)	130	179	269
2	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	123	169	259
3	-1 (1,25)	-1 (7)	1 (65)	118	166	253
4	-2 (-15)	0 (10)	0 (50)	105	145	222
5	-1 (1,25)	1 (13)	1 (65)	127	172	265
6	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	123	169	259
7	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	123	169	259
8	0 (17,5)	0 (10)	-2 (20)	101	138	212
9	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	123	169	259
10	1 (33,75)	1 (13)	-1 (35)	122	166	254
11	0 (17,5)	-2 (4)	0 (50)	113	162	252
12	-1 (1,25)	1 (13)	-1 (35)	111	151	231
13	0 (17,5)	0 (10)	2 (80)	136	188	287
14	1 (33,75)	-1 (7)	1 (65)	131	183	279
15	2 (50)	0 (10)	0 (50)	131	180	275
16	1 (33,75)	-1 (7)	-1 (35)	114	160	243
17	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	123	169	259
18	-1 (1,25)	-1 (7)	-1 (35)	103	144	220
19	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	123	169	259
20	1 (33,75)	1 (13)	1 (65)	139	190	290

Çizelge 4.4 BLEVE durumu için merkezi bileşik tasarım ile elde edilen sonuçlar

<i>Deneme</i>	$X_1$ (T, °C)	$X_2$ (Rüzgar Hızı, m/sn)	$X_3$ (Tankın Doluluk Oranı, %)	<i>Tehlike Bölgesi1</i> (r,m)	<i>Tehlike Bölgesi2</i> (r,m)	<i>Tehlike Bölgesi3</i> (r,m)
1	0 (17,5)	2 (16)	0 (50)	409	577	900
2	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	409	577	900
3	-1 (1,25)	-1 (7)	1 (65)	471	665	1000
4	-2 (-15)	0 (10)	0 (50)	461	652	1000
5	-1 (1,25)	1 (13)	1 (65)	471	665	1000
6	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	409	577	900
7	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	409	577	900
8	0 (17,5)	0 (10)	-2 (20)	315	444	693
9	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	409	577	900
10	1 (33,75)	1 (13)	-1 (35)	349	492	766
11	0 (17,5)	-2 (4)	0 (50)	409	577	900
12	-1 (1,25)	1 (13)	-1 (35)	389	550	858
13	0 (17,5)	0 (10)	2 (80)	471	665	1000
14	1 (33,75)	-1 (7)	1 (65)	415	586	913
15	2 (50)	0 (10)	0 (50)	363	512	796
16	1 (33,75)	-1 (7)	-1 (35)	349	492	766
17	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	409	577	900
18	-1 (1,25)	-1 (7)	-1 (35)	389	550	858
19	0 (17,5)	0 (10)	0 (50)	409	577	900
20	1 (33,75)	1 (13)	1 (65)	415	586	913

Çizelge 4.4 incelendiğinde ise BLEVE durumunda tehlike bölgesi 1'in yarıçapı değerlerinin 315 m ile 471 m arasında değiştiği görülmektedir. Tehlike bölgesi 2 ve 3'ün yarıçap değerleri ise sırasıyla 444-665 m ve 693-1000 m değerleri arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi 115m<sup>3</sup>lük bir LPG depolama tankının patlaması yaklaşık bir kilometrelik alanda etkili olabilmektedir. Ayrıca, çizelge 4.4'ten açıkça görüleceği üzere BLEVE patlaması anında tanka 300-475 metrelik bir mesafede (tehlike bölgesi 1) bulunan tüm canlılar ölüm riski altındadır.

---

### DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde her bir tehlike bölgesine ait model denklemler “Jet Fire” ve BLEVE durumu için ayrı ayrı geliştirilmiştir.

#### 5.1 “Jet Fire” Durumu İçin Model Denklemlerin Geliştirilmesi

Merkezi bileşik tasarıma uygun olarak ALOHA programından alınan sonuçlar “Design Expert” programına aktarılmış ve üç farklı tehlike bölgesi için model denklemler elde edilmiştir.

Model denklemlerde her bir parametreye ait katsayılar Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelgede A, sıcaklık; B, rüzgar hızı; C ise tankın doluluk oranına ait katsayılardır.

Çizelge 5.1 "Jet fire" durumu için model denklemlere ait katsayılar

Tehlike Bölgesi 1 (R <sub>j1</sub> )		Tehlike Bölgesi 2 (R <sub>j2</sub> )		Tehlike Bölgesi 3 (R <sub>j3</sub> )	
Katsayı	Parametre	Katsayı	Parametre	Katsayı	Parametre
123,07		169,05		259,00	
6,19	A	8,50	A	12,69	A
4,19	B	3,75	B	4,94	B
8,44	C	11,88	C	18,06	C
-0,13	A*B	0,00	A*B	-0,12	A*B
0,38	A*C	0,50	A*C	0,63	A*C
0,13	B*C	0,00	B*C	0,13	B*C
-1,22	A <sup>2</sup>	-1,60	A <sup>2</sup>	-2,62	A <sup>2</sup>
-0,34	B <sup>2</sup>	0,40	B <sup>2</sup>	0,38	B <sup>2</sup>
-1,09	C <sup>2</sup>	-1,48	C <sup>2</sup>	-2,37	C <sup>2</sup>

Çizelgede verilen katsayılar model denklemler olarak ifade edildiğinde tehlike bölgesi 1, 2 ve 3 için sırasıyla aşağıdaki R<sub>j1</sub>, R<sub>j2</sub> ve R<sub>j3</sub> polinomları elde edilir:

$$R_{j1} = 123,07 + 6,19x_1 + 4,19x_2 + 8,44x_3 - 0,13x_1x_2 + 0,38x_1x_3 + 0,13x_2x_3 - 1,22x_1^2 - 0,34x_2^2 - 1,09x_3^2 \quad (5.1)$$

$$R_{j2} = 169,05 + 8,50x_1 + 3,75x_2 + 11,88x_3 - 0,50x_1x_3 - 1,60x_1^2 + 0,40x_2^2 - 1,48x_3^2 \quad (5.2)$$

$$R_{j3} = 259,00 + 12,69x_1 + 4,94x_2 + 18,06x_3 - 0,12x_1x_2 + 0,63x_1x_3 + 0,13x_2x_3 - 2,62x_1^2 + 0,38x_2^2 - 2,37x_3^2 \quad (5.3)$$

Model denklemler elde edilirken yapılan ANOVA analizine göre üç farklı tehlike bölgesi için güvenilirlik düzeyi %99,9 seviyesindedir. Hesaplanan korelasyon katsayıları (R<sup>2</sup>) tehlike bölgesi 1 için 0,9981; tehlike bölgesi 2 için 0,9968; tehlike bölgesi 3 için ise 0,9976 olarak bulunmuştur. Elde edilen R<sup>2</sup> değerlerinin 0,996'nın üzerinde olması her üç tehlike bölgesine ait model denklemin de oldukça uygun olduğunu göstermektedir.



Geliştirilen model denklemler kullanılarak her bir tehlike bölgesinin yarıçapı değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve ALOHA programından elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar hata değerleriyle birlikte Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çizelge 5.2 incelendiğinde tehlike bölgesi 1 için minimum hata %0,06, maksimum hata %0,99 ve ortalama hata %0,29; tehlike bölgesi 2 için minimum hata %0,03, maksimum hata %0,99 ve ortalama hata %0,38; tehlike bölgesi 3 için ise minimum hata %0,00, maksimum hata %0,78 ve ortalama hata %0,32 olarak bulunmuştur. Hata değerlerinin oldukça düşük olması deneysel tasarım yöntemiyle elde edilmiş model denklemlerin ALOHA programından alınan sonuçları oldukça iyi bir biçimde ifade ettiğini göstermektedir.

Çizelge 5.2 “Jet fire” tehlike bölgelerinin deneysel tasarım sonuçları ve hata değerleri

			Tehlike Bölgesi1 (r,m)			Tehlike Bölgesi2 (r,m)			Tehlike Bölgesi3 (r,m)		
$X_1$	$X_2$	$X_3$	ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)
0	2	0	130	130,09	0,07	179	178,15	0,47	269	270,40	0,52
0	0	0	123	123,07	0,06	169	169,05	0,03	259	259,00	0,00
-1	-1	1	118	117,84	0,14	166	165,50	0,30	253	253,94	0,37
-2	0	0	105	105,81	0,77	145	145,65	0,45	222	223,14	0,51
-1	1	1	127	126,74	0,20	172	173,00	0,58	265	264,32	0,26
0	0	0	123	123,07	0,06	169	169,05	0,03	259	259,00	0,00
0	0	0	123	123,07	0,06	169	169,05	0,03	259	259,00	0,00
0	0	-2	101	101,83	0,82	138	139,37	0,99	212	213,40	0,66
0	0	0	123	123,07	0,06	169	169,05	0,03	259	259,00	0,00
1	1	-1	122	121,72	0,23	166	166,24	0,14	254	253,08	0,36
0	-2	0	113	113,33	0,29	162	163,15	0,71	252	250,64	0,54
-1	1	-1	111	110,36	0,58	151	150,24	0,50	231	229,20	0,78
0	0	2	136	135,59	0,30	188	186,89	0,59	287	285,64	0,47
1	-1	1	131	131,24	0,18	183	183,50	0,27	279	280,82	0,65
2	0	0	131	130,57	0,33	180	179,65	0,19	275	273,90	0,40
1	-1	-1	114	113,86	0,12	160	158,74	0,79	243	243,70	0,29
0	0	0	123	123,07	0,06	169	169,05	0,03	259	259,00	0,00
-1	-1	-1	103	101,98	0,99	144	142,74	0,87	220	219,34	0,30
0	0	0	123	123,07	0,06	169	169,05	0,03	259	259,00	0,00
1	1	1	139	139,62	0,45	190	191,00	0,53	290	290,72	0,25

## 5.2 BLEVE Durumu İçin Model Denklemlerin Geliştirilmesi

Merkezi bileşik tasarıma uygun olarak ALOHA programından alınan sonuçlar “Jet Fire” durumunda olduğu gibi BLEVE durumunda da “Design Expert” programına aktarılmış ve üç farklı tehlike bölgesi için model denklemler elde edilmiştir.

Model denklemlerde her bir parametreye ait katsayılar Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelgede A, sıcaklık; B, rüzgar hızı; C ise tankın doluluk oranına ait katsayılarıdır.

Çizelge 5.3 BLEVE durumu için model denklemlere ait katsayılar

Tehlike Bölgesi 1 ( $R_{b1}$ )		Tehlike Bölgesi 2 ( $R_{b2}$ )		Tehlike Bölgesi 3 ( $R_{b3}$ )	
Katsayı	Parametre	Katsayı	Parametre	Katsayı	Parametre
409,05		577,11		899,66	
-24,25	A	-34,63	A	-47,88	A
0,00	B	0,00	B	0,00	B
38,00	C	53,75	C	74,50	C
0,00	A*B	0,00	A*B	0,00	A*B
-4,00	A*C	-5,25	A*C	1,25	A*C
0,00	B*C	0,00	B*C	0,00	B*C
0,77	A <sup>2</sup>	1,31	A <sup>2</sup>	-0,67	A <sup>2</sup>
0,02	B <sup>2</sup>	0,06	B <sup>2</sup>	-0,17	B <sup>2</sup>
-3,98	C <sup>2</sup>	-5,57	C <sup>2</sup>	-13,55	C <sup>2</sup>

Çizelgede verilen katsayılar model denklemler olarak ifade edildiğinde tehlike bölgesi 1, 2 ve 3 için sırasıyla aşağıdaki  $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$  ve  $R_{b3}$  polinomları elde edilir:

$$R_{b1} = 409,05 - 24,25x_1 + 38,00x_3 - 4,00x_1x_3 + 0,77x_1^2 + 0,02x_2^2 - 3,98x_3^2 \quad (5.4)$$

$$R_{b2} = 577,11 - 34,63x_1 + 53,75x_3 - 5,25x_1x_3 + 1,31x_1^2 + 0,06x_2^2 - 5,57x_3^2 \quad (5.5)$$

$$R_{b3} = 899,66 - 47,88x_1 + 74,50x_3 + 1,25x_1x_3 - 0,67x_1^2 - 0,17x_2^2 - 13,55x_3^2 \quad (5.6)$$

Model denklemler elde edilirken yapılan ANOVA analizine göre üç farklı tehlike bölgesi için güvenilirlik düzeyi %99,9 seviyesindedir. Hesaplanan korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) tehlike bölgesi 1 için 0,9995; tehlike bölgesi 2 için 0,9994; tehlike bölgesi 3 için ise 0,9981 olarak bulunmuştur. Elde edilen  $R^2$  değerlerinin 0,998'nin üzerinde olması her üç tehlike bölgesine ait model denklemlerin de oldukça uygun olduğunu göstermektedir. Geliştirilen model denklemler kullanılarak her bir tehlike bölgesinin yarıçapı değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve ALOHA programından elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar hata değerleriyle birlikte Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 BLEVE tehlike bölgelerinin deneysel tasarım sonuçları ve % hata değerleri

			Tehlike Bölgesi1 (r,m)			Tehlike Bölgesi2 (r,m)			Tehlike Bölgesi3 (r,m)		
$X_1$	$X_2$	$X_3$	ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)
0	2	0	409	409,14	0,03	577	577,34	0,06	900	898,98	0,11
0	0	0	409	409,05	0,01	577	577,11	0,02	900	899,66	0,04
-1	-1	1	471	472,11	0,24	665	666,54	0,23	1000	1006,40	0,64
-2	0	0	461	460,63	0,08	652	651,61	0,06	1000	992,74	0,73
-1	1	1	471	472,11	0,24	665	666,54	0,23	1000	1006,40	0,64
0	0	0	409	409,05	0,01	577	577,11	0,02	900	899,66	0,04
0	0	0	409	409,05	0,01	577	577,11	0,02	900	899,66	0,04
0	0	-2	315	317,13	0,68	444	447,33	0,75	693	696,46	0,50
0	0	0	409	409,05	0,01	577	577,11	0,02	900	899,66	0,04
1	1	-1	349	347,61	0,40	492	489,78	0,45	766	761,64	0,57
0	-2	0	409	409,14	0,03	577	577,34	0,06	900	898,98	0,11
-1	1	-1	389	388,11	0,23	550	548,54	0,27	858	859,90	0,22
0	0	2	471	469,13	0,40	665	662,33	0,40	1000	994,46	0,55
1	-1	1	415	415,61	0,15	586	586,78	0,13	913	913,14	0,02
2	0	0	363	363,63	0,17	512	513,09	0,21	796	801,22	0,66
1	-1	-1	349	347,61	0,40	492	489,78	0,45	766	761,64	0,57
0	0	0	409	409,05	0,01	577	577,11	0,02	900	899,66	0,04
-1	-1	-1	389	388,11	0,23	550	548,54	0,27	858	859,90	0,22
0	0	0	409	409,05	0,01	577	577,11	0,02	900	899,66	0,04
1	1	1	415	415,61	0,15	586	586,78	0,13	913	913,14	0,02

Çizelge 5.4 incelendiğinde tehlike bölgesi 1 için minimum hata %0,01, maksimum hata %0,68 ve ortalama hata %0,17; tehlike bölgesi 2 için minimum hata %0,02, maksimum hata %0,75 ve ortalama hata %0,19; tehlike bölgesi 3 için ise minimum hata %0,02, maksimum hata %0,73 ve ortalama hata %0,29 olarak hesaplanmıştır. Hata değerlerinin oldukça düşük olması deneysel tasarım yöntemiyle elde edilmiş model

denklemlerin ALOHA programından alınan sonuçları oldukça iyi bir biçimde ifade ettiğini göstermektedir.

### **5.3 Model Denklemlerden Elde Edilen Sonuçların Kontrol Deneylerinin Sonuçları ile Karşılaştırılması**

Model denklemlerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla elde edilen modellerin türetilmesinde kullanılmamış olan sıcaklık, rüzgar hızı ve tank doluluk oranı değerleri ALOHA programına girilip tehlike bölgesi yarıçapları hesaplanarak kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. ALOHA programından alınan bu sonuçlar model denklemlerden hesaplanan sonuçlarla hata değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.5 ve 5.6).

Çizelge 5.5 “Jet fire” için elde edilen model denklemlerin kontrol deneyleri ile karşılaştırılması

$T (^{\circ}C)$	Rüzgar Hızı (m/s)	Tank Doluluk Oranı (%)	Tehlike Bölgesi1 (r,m)			Tehlike Bölgesi2(r,m)			Tehlike Bölgesi3 (r,m)		
			ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)
29,69	12,25	61,25	136	135,91	0,07	184	185,92	1,04	283	283,53	0,19
5,31	7,75	38,75	108	107,68	0,30	151	149,73	0,84	230	230,00	0,00
21,56	10,75	53,75	127	127,63	0,50	174	174,95	0,54	267	267,67	0,25
10,94	9,25	46,25	117	118,22	1,05	162	162,88	0,54	248	249,83	0,74
21,56	10,00	53,75	126	126,61	0,48	174	173,98	0,01	266	266,42	0,16
10,94	10,00	46,25	118	119,29	1,09	163	163,79	0,49	249	251,04	0,82
29,69	10,00	61,25	133	132,96	0,03	182	182,88	0,49	279	279,61	0,22
5,31	10,00	38,75	112	111,01	0,88	153	152,31	0,45	235	233,49	0,64
-15,00	4,00	20,00	78	76,35	2,12	113	112,07	0,82	175	171,74	1,86
50,00	16,00	80,00	152	151,63	0,24	209	208,59	0,20	315	314,50	0,16
41,86	14,50	72,50	146	146,19	0,13	200	200,34	0,17	304	303,60	0,13
-6,88	5,50	27,50	91	89,73	1,39	130	127,95	1,58	199	196,53	1,24
17,50	13,00	65,00	134	134,40	0,30	183	183,60	0,33	280	280,14	0,05
17,50	7,00	35,00	110	109,14	0,78	153	152,34	0,43	234	234,14	0,06
33,75	10,00	65,00	135	135,77	0,57	186	186,85	0,46	284	285,39	0,49
1,25	10,00	35,00	107	106,51	0,46	147	146,09	0,62	226	223,89	0,93
33,75	13,00	50,00	132	131,76	0,18	179	180,10	0,61	274	274,27	0,10
1,25	7,00	50,00	111	111,00	0,00	156	155,60	0,26	239	239,01	0,00

Çizelge 5.5 incelendiğinde “Jet fire” durumu için hesaplanan ortalama hata değerlerinin tehlike bölgesi 1 için %0,60; tehlike bölgesi 2 için %0,55 ve tehlike bölgesi 3 için %0,45 olduğu görülmektedir. BLEVE durumu için ortalama hata değerleri tehlike bölgesi 1 için %0,39; tehlike bölgesi 2 için %0,43 ve tehlike bölgesi 3 için %0,65 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.6).

Her iki durum için de hesaplanan hata değerlerinin sıfıra yakın olması deneysel tasarım yöntemiyle elde edilmiş model denklemlerin güvenilirliğini göstermiştir.

Çizelge 5.6 BLEVE için elde edilen model denklemlerin kontrol deneyleri ile karşılaştırılması

$T (^{\circ}C)$	Rüzgar Hızı (m/s)	Tank Doluluk Oranı (%)	Tehlike Bölgesi1 (r,m)			Tehlike Bölgesi2 (r,m)			Tehlike Bölgesi3 (r,m)		
			ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)	ALOHA	Model	Hata (%)
29,69	12,25	61,25	415	415,32	0,08	585	586,13	0,19	912	912,23	0,03
5,31	7,75	38,75	396	394,69	0,33	559	557,45	0,28	873	872,30	0,08
21,56	10,75	53,75	412	412,04	0,01	581	581,30	0,05	906	905,49	0,06
10,94	9,25	46,25	409	405,16	0,94	578	571,74	1,08	901	892,18	0,98
21,56	10,00	53,75	412	412,04	0,01	581	581,30	0,05	906	905,50	0,05
10,94	10,00	46,25	409	405,16	0,94	578	571,74	1,08	901	892,19	0,98
29,69	10,00	61,25	415	415,31	0,07	585	586,10	0,19	912	912,33	0,04
5,31	10,00	38,75	396	394,68	0,33	559	557,42	0,28	873	872,40	0,07
-15,00	4,00	20,00	348	352,80	1,38	491	501,06	2,05	768	793,86	3,37
50,00	16,00	80,00	413	407,80	1,26	583	577,54	0,94	916	900,34	1,71
41,86	14,50	72,50	416	413,50	0,60	586	584,52	0,25	912	910,03	0,22
-6,88	5,50	27,50	372	372,25	0,07	526	527,16	0,22	822	830,17	0,99
17,50	13,00	65,00	442	443,09	0,25	624	625,35	0,22	973	960,44	1,29
17,50	7,00	35,00	368	367,09	0,25	520	517,85	0,41	811	811,44	0,05
33,75	10,00	65,00	415	415,59	0,14	586	586,72	0,12	913	913,31	0,03
1,25	10,00	35,00	389	388,09	0,23	550	548,48	0,28	858	860,07	0,24
33,75	13,00	50,00	385	385,59	0,15	544	543,85	0,03	847	850,94	0,47
1,25	7,00	50,00	434	434,09	0,02	613	613,11	0,02	957	946,70	1,08

#### 5.4 Model Denklemlerin Yorumlanması

“Jet fire” ve BLEVE durumu için merkezi bileşik tasarım kullanılarak her bir tehlike bölgesi için geliştirilmiş model denklemler Çizelge 5.7’de toplu olarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.7 “Jet fire” ve BLEVE durumu için geliştirilen model denklemler

---

**“Jet fire”**

---

$$R_{j1} = 123,07 + 6,19x_1 + 4,19x_2 + 8,44x_3 - 0,13x_1x_2 + 0,38x_1x_3 + 0,13x_2x_3 \\ - 1,22x_1^2 - 0,34x_2^2 - 1,09x_3^2$$

$$R_{j2} = 169,05 + 8,50x_1 + 3,75x_2 + 11,88x_3 - 0,50x_1x_3 - 1,60x_1^2 + 0,40x_2^2 \\ - 1,48x_3^2$$

$$R_{j3} = 259,00 + 12,69x_1 + 4,94x_2 + 18,06x_3 - 0,12x_1x_2 + 0,63x_1x_3 + 0,13x_2x_3 \\ - 2,62x_1^2 + 0,38x_2^2 - 2,37x_3^2$$

---

**BLEVE**

---

$$R_{b1} = 409,05 - 24,25x_1 + 38,00x_3 - 4,00x_1x_3 + 0,77x_1^2 + 0,02x_2^2 - 3,98x_3^2$$

$$R_{b2} = 577,11 - 34,63x_1 + 53,75x_3 - 5,25x_1x_3 + 1,31x_1^2 + 0,06x_2^2 - 5,57x_3^2$$

$$R_{b3} = 899,66 - 47,88x_1 + 74,50x_3 + 1,25x_1x_3 - 0,67x_1^2 - 0,17x_2^2 - 13,55x_3^2$$

---

**5.4.1 “Jet fire” durumu için elde edilen model denklemlerin yorumlanması**

“Jet fire” durumu için elde edilen model denklemlerde ana etkilerin ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ) katsayılarının pozitif değerlerde olması sıcaklık ( $x_1$ ), rüzgar hızı ( $x_2$ ) ve tankın doluluk oranının ( $x_3$ ) arttırılmasının tehlike bölgelerinin yarıçaplarında artışa neden olacağını göstermektedir. Her üç tehlike bölgesi için de en yüksek katsayıya sahip parametre (bir başka deyişle en etkili parametre) beklendiği gibi tankın doluluk oranıdır ( $x_3$ ) (Çizelge 5.7). Tanktaki propan miktarının fazla olması yüksek bir buhar basıncına neden olur ve böylece kaçak noktasından çıkan propan gazının debisi yüksek olur. Daha yüksek bir debiyle dışarı salınan propan daha geniş bir alana yayılarak yanar. Dolayısıyla tehlike bölgelerinin çaplarında ciddi bir artışa neden olur.

Tehlike bölgesinin yarıçapını arttıran ikinci parametre ise tehlike bölgesi 1, 2 ve 3 için sırasıyla 6,19; 8,50 ve 12,69 katsayılarına sahip sıcaklık parametresidir (Çizelge 5.7). Artan sıcaklıkla gaz moleküllerinin kinetik enerjilerindeki artış, yanma anında alevlerin daha büyümesini sağlayacağından tehlikenin boyutunu arttıracaktır. Bunun yanı sıra



daha yüksek sıcaklıkta depolanan propanın buhar basıncı daha fazladır. Bu durum, propanın sızıntı noktasından daha yüksek bir debiyle çıkıp daha geniş bir mesafeye yayılarak yanması ve böylece tehlike çapının artmasıyla sonuçlanır.

Rüzgar hızı, tankın doluluk oranı ve sıcaklık kadar olmasa da artışıyla birlikte tehlike bölgesinin genişlemesinde etkilidir. Ayrıca estiği yönde alevlerin yayılmasını hızlandırıp tehlikeyi o yöne kaydıracaktır.

#### 5.4.2 BLEVE durumu için elde edilen model denklemlerin yorumlanması

BLEVE durumu için elde edilen model denklemlerde ana etkilerden sıcaklığın ( $x_1$ ) katsayısının negatif değerinde, tankın doluluk oranına ( $x_3$ ) ait katsayısının ise pozitif değerinde olması tehlike bölgesi yarıçaplarının sıcaklıkla ters orantılı, tankın doluluk oranı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Buna karşın ana etkilerden rüzgar hızına ( $x_2$ ) ait katsayısının sıfır olması, bir tankta meydana gelebilecek BLEVE patlaması durumunda rüzgar hızının seçilen değer aralığı için etkisiz olduğunu ifade eder.

“Jet fire” durumuna benzer şekilde tehlike bölgelerinin çapını etkileyen en temel unsur, tankın doluluk oranına ait katsayıların oldukça yüksek olmasından anlaşılacağı gibi, tanktaki propan miktarıdır. Tanktaki propan miktarı ne kadar fazlaysa patlama anında itici kuvvet o kadar çok olacağından tehlike bölgesinin çapı doğru orantılı olarak artacaktır. Ayrıca daha fazla miktardaki yakıtın yanmasıyla daha fazla ısı açığa çıkacağı için oluşacak alev topu da aynı oranda geniş bir alana yayılacaktır.

BLEVE durumunda sıcaklığın artışıyla tehlike bölgelerinin çapının azaldığı gözlenmektedir (Çizelge 5.7). Bu durum kondüksiyon-konveksiyon ve radyasyonla kombine ısı transferi ile açıklanabilir. Propanın şiddetli bir şekilde yanması sırasında açığa çıkan ısı hem kondüksiyon, hem konveksiyon hem de radyasyonla aktarılır. Kondüksiyon- konveksiyon ve radyasyonla kombine ısı transferi,

$$\frac{q_t}{A} = \frac{q_c}{A} + \frac{q_r}{A} = h_c(T_w - T_s) + \sigma \epsilon_w(T_w^4 - T_s^4) \quad (5.7)$$

denklemlerle verilir [40].

Burada  $q_t/A$ , toplam ısı akısını;  $q_c/A$ , kondüksiyon-konveksiyonla ısı akısını;  $q_r/A$  radyasyonla ısı akısını;  $h_c$ , ısı transfer katsayısını;  $\sigma$ , Stephan-Boltzman sabitini;  $\epsilon_w$ , yüzey emisyonunu;  $T_w$ , yüzey sıcaklığını ve  $T_s$  ise çevre sıcaklığını göstermektedir.

ALOHA programı yangın anında açığa çıkan termal radyasyon seviyesine göre tehlike bölgelerini sınıflamaktadır. Program, tehlike bölgesi 1’de  $10\text{kW/m}^2$ , tehlike bölgesi 2’de  $5\text{kW/m}^2$  ve tehlike bölgesi 3’de ise  $2\text{kW/m}^2$ ’lik bir enerjinin açığa çıktığını kabul etmektedir.

Aynı miktar ısı akısı sağlamak için, gerek kondüksiyon, gerek konveksiyon, gerekse de radyasyonla ısı transferi durumunda tank sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı arasındaki fark ( $T_w - T$ ) ne kadar küçükse ısı aktarım alanı da o kadar küçük olacaktır (Denklem 5.7). Bir başka deyişle atmosfer sıcaklığının artmasıyla yanan tankın sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark azalacak ve böylece birim yüzey başına aktarılan ısı miktarının sabit kalması için ısı aktarım alanı azalacaktır. Dolayısıyla artan sıcaklıkla tehlike bölgelerinin çap değerleri azalmaktadır.

BLEVE durumunda rüzgar hızının tehlike bölgesi çapını artırma ya da azaltma yönünde herhangi bir etkisi yoktur. BLEVE saniyeler içinde gerçekleşen çok şiddetli bir patlama olduğu için rüzgar hızının etkisiz olması beklenen bir durumdur.

Türetilen tüm modellerdeki ana etkilerin katsayıları incelendiğinde (yani katsayıların mutlak değerlerinin büyüklük sıralaması göz önüne alındığında) gerek jet fire gerekse BLEVE durumunda, tüm tehlike bölgeleri için parametre etkinlik sıralamasının  $x_3 > x_1 > x_2$  şeklinde olduğu görülmektedir.

## **5.5 Cevap Yüzey Grafikleri**

Merkezi bileşik tasarım uygulanarak ALOHA programından elde edilen sonuçlar 3 boyutlu grafiklere taşınarak cevap yüzey grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler Statistica 8.0 programı kullanılarak çizilmiştir. Bu kısımda tehlike bölgesi 1’e ait cevap yüzey grafikleri incelenmiş, diğer bölgeler için elde edilen yüzey grafikleri ise Ek C’de verilmiştir.

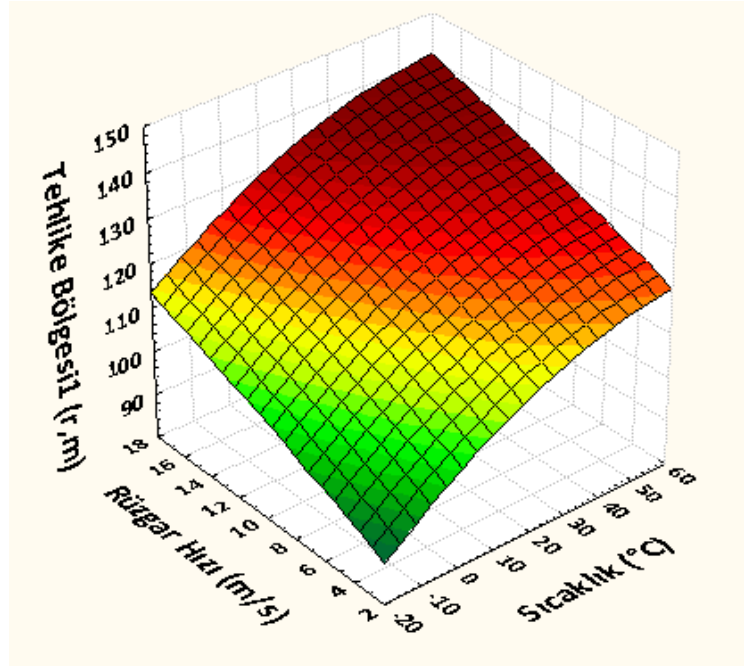
### **5.5.1 “Jet Fire” durumu için elde edilen cevap yüzey grafikleri**

Tehlike bölgesi 1’in yarıçapını sıcaklık ( $x_1$ ) ve rüzgar hızıyla ( $x_2$ ) ilişkilendiren cevap yüzey grafiği Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Sıcaklık ve rüzgar hızının birlikte artışıyla tehlike bölgesi sınırlarının genişlediği görülmektedir. Rüzgar hızı ve sıcaklığın

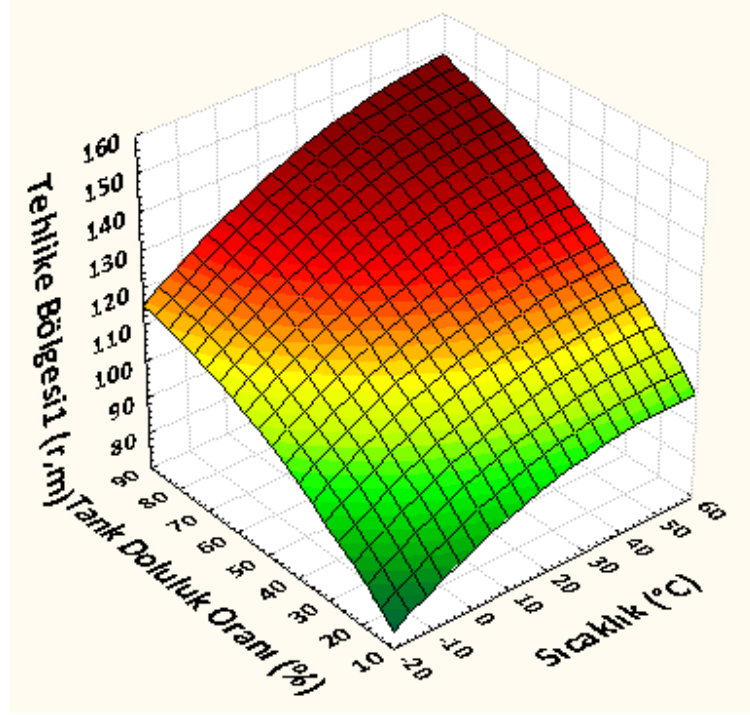
maksimum değerlerinde (16m/s ve 50°C) birinci tehlike bölgesinin yarıçapı değeri 140m'nin üzerine ulaşmıştır.

Tehlike bölgesi 1'in yarıçapını sıcaklık ( $x_1$ ) ve tankın doluluk oranıyla ( $x_3$ ) ilişkilendiren cevap yüzey grafiği Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Sıcaklık ve tankın doluluk oranının birlikte artışıyla tehlike bölgesi sınırlarının oldukça genişlediği görülmektedir. Tankın doluluk oranı ve sıcaklığın maksimum değerlerinde (%80 ve 50°C) birinci tehlike bölgesinin yarıçapı maksimum değerine (yaklaşık 150m) ulaşmıştır.

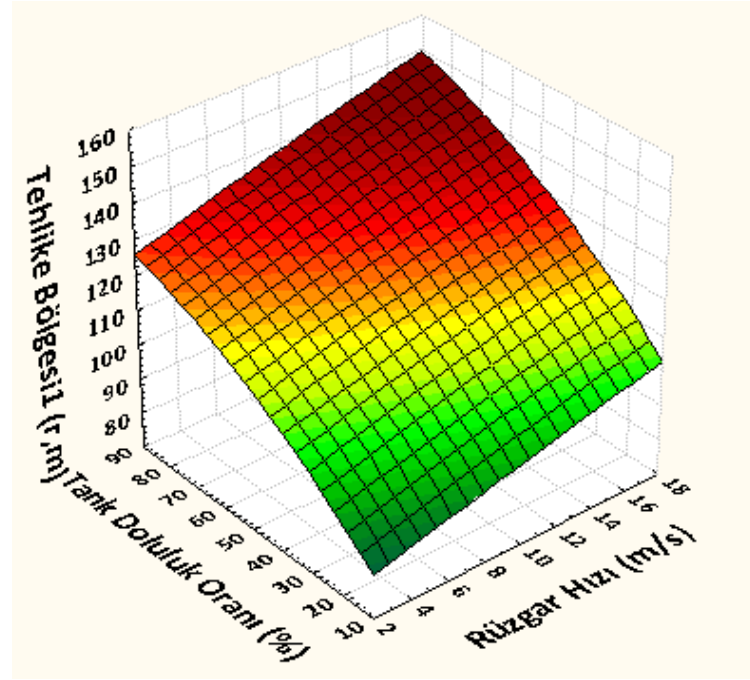
Tehlike bölgesi 1'in yarıçapını rüzgar hızı ( $x_2$ ) ve tankın doluluk oranıyla ( $x_3$ ) ilişkilendiren cevap yüzey grafiği Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Rüzgar hızı ve tankın doluluk oranının birlikte artışıyla tehlike bölgesi sınırlarının oldukça genişlediği görülmektedir.



Şekil 5.1 “Jet fire” durumu tehlike bölgesi 1 için rüzgar hızı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi



Şekil 5.2 “Jet fire” durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi

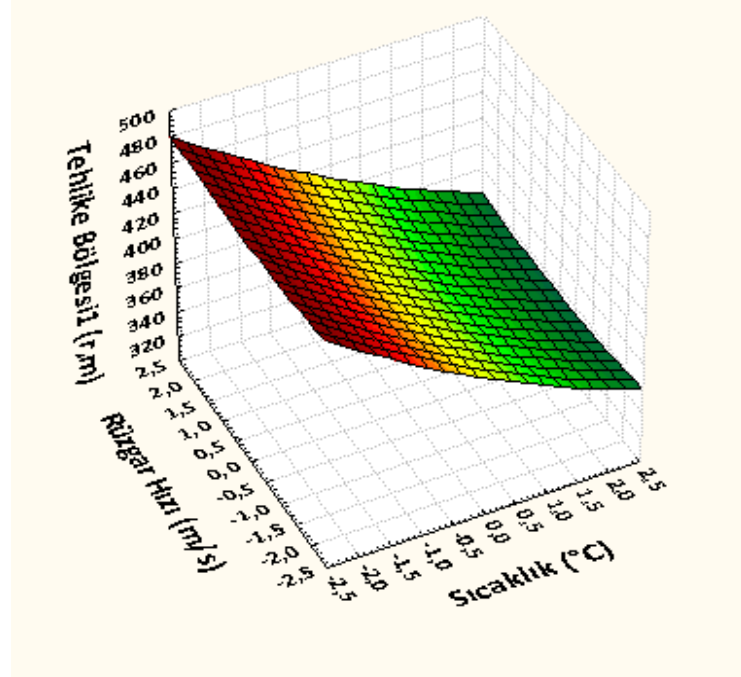


Şekil 5.3 “Jet fire” durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve rüzgar hızına bağlı cevap yüzeyi

Bir önceki duruma benzer şekilde tankın doluluk oranı ve rüzgar hızının maksimum değerlerinde (%80 ve 16m/s) birinci tehlike bölgesinin yarıçapı maksimum değerine (yaklaşık 150m) ulaşmıştır.

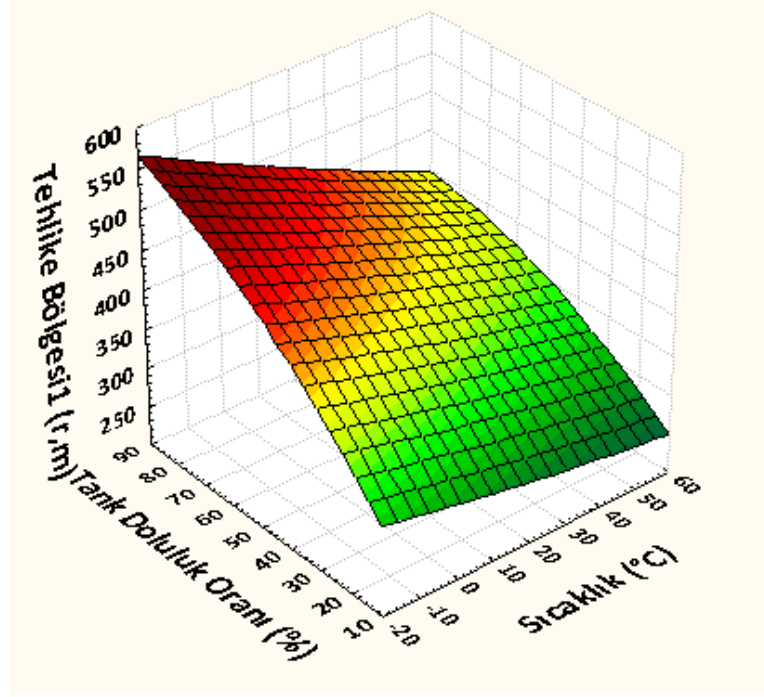
### 5.5.2 BLEVE durumu için elde edilen cevap yüzey grafikleri

BLEVE durumu için birinci tehlike bölgesinin yarıçapını sıcaklık ( $x_1$ ) ve rüzgar hızıyla ( $x_2$ ) ilişkilendiren cevap yüzey grafiği Şekil 5.4'de görülmektedir. Sıcaklık ve rüzgar hızının birlikte etkisi tehlike bölgesinin çapını azaltmaktadır. Model denklemler yorumlanırken de açıklandığı üzere sıcaklık tehlike bölgesinin çapını azaltırken, rüzgar hızı etkisiz kalmaktadır. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi sıcaklığın  $50^{\circ}\text{C}$ 'den  $-15^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmesiyle tehlike bölgesi yarıçapı yaklaşık 350m'den 460m'nin üzerine çıkmaktadır. Ayrıca, açıkça görüleceği üzere BLEVE patlaması anında yaklaşık 400 metrelik bir mesafede bulunan tüm canlılar ölüm riski altındadır.



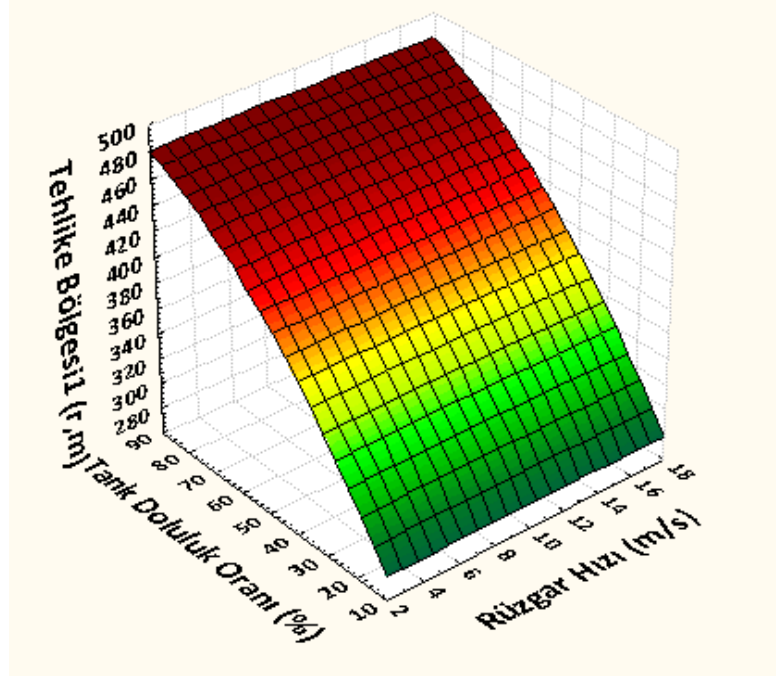
Şekil 5.4 BLEVE durumu tehlike bölgesi 1 için rüzgar hızı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi  
Tehlike bölgesi 1'in yarıçapını sıcaklık ( $x_1$ ) ve tankın doluluk oranıyla ( $x_3$ ) ilişkilendiren cevap yüzey grafiği Şekil 5.5'de gösterilmektedir. Tanktaki propan miktarının artışının tehlike bölgesi sınırlarını oldukça genişletmesine karşın, sıcaklığın artışı ile tehlike bölgesi sınırları daraltmaktadır. Elde edilen model denklemlerde (Çizelge 5.7) görüldüğü gibi tankın doluluk oranının etki katsayısı sıcaklık etki katsayısından fazla

olduğundan ikisinin birlikte artışı tehlike bölgesi çapını arttırmaktadır. Şekil 5.5'te görüldüğü gibi tanktaki propan miktarının %20'den %80'e çıkarılmasıyla tehlike bölgesi yarıçapı yaklaşık iki katı oranda artmaktadır. Ayrıca, açıkça görüleceği üzere  $-15^{\circ}\text{C}$  atmosfer sıcaklığında, %80 dolu bir tankta meydana gelebilecek bir BLEVE patlaması durumunda yaklaşık yarım kilometrelik bir alandaki tüm canlılar yok olacaktır.



Şekil 5.5 BLEVE durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve sıcaklığa bağlı cevap yüzeyi

Tehlike bölgesi 1'in yarıçapını rüzgar hızı ( $x_2$ ) ve tankın doluluk oranıyla ( $x_3$ ) ilişkilendiren cevap yüzey grafiği Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 BLEVE durumu tehlike bölgesi 1 için tank doluluk oranı ve rüzgar hızına bağlı cevap yüzeyi

Tanktaki propan miktarı arttıkça tehlike bölgesi sınırları oldukça genişlemekte olup, model denklemlerden (Çizelge 5.7) anlaşıldığı üzere rüzgar hızının tehlike bölgesi sınırlarına herhangi bir etkisi yoktur. Dolayısıyla Şekil 5.6’da da görüleceği gibi bu iki parametrenin birlikte artışı tehlike bölgesinin yarıçapını artırmaktadır.

## BÖLÜM 6

### LPG DOLUM TESİSİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI ve İŞ GÜVENLİĞİ

Yapılan deneysel tasarım ve bu deneysel tasarım sonucu elde edilen model denklemler ışığında güvelik açısından uygun bir tesis planı oluşturulmuştur. Ek A'da verilen bu tesis yerleşke planında da görüldüğü gibi tesis çok geniş bir alana yayılmıştır. Tesiste 4 adet 115 m<sup>3</sup> hacminde LPG depolama tankı mevcuttur. Birbirine yatay olarak konuşlandırılmış tanklar arası mesafe 6 metredir. Herhangi bir tehlike anında önlem olması açısından tank çevrelerinde yangın müdahale donanımları mevcuttur. Tesisin yönetim birimi hemen tesisin girişinde olup tanklara ve dolum ünitesine en uzak nokta olarak belirlenmiştir. Asıl tam teşekküllü yangın kurtarma donanımları yine tesisin girişinde belirlenen bir noktada muhafaza edilmektedir. Bu bölge ofislere ve yemekhaneye de oldukça yakındır. Olası bir yangın durumunda da gerekli su ihtiyacı da tanklara çok yakın bir noktaya kurulan su deposundan karşılanmaktadır. 300 m<sup>3</sup> hacmindeki depo tesisdeki diğer sulama amaçlı faaliyetlerde de kullanılabilir. Bu konuda küçük bir arıtma tesisi de kurulmuştur. Tesisin tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek bir jeneratöre sahip olması herhangi bir kesinti anında herhangi bir aksaklık yaşanmaması açısından bu ihtiyaca cevap verebilecek bir kapasitededir. Tesisin diğer bölgesinde piknik, ev tipi ve sanayi tipi tüplerin doluları yapılmaktadır. Firmalara ya da evlere dağıtılan ve geri dönen boş tüpler de hemen dolum ünitesinin yanında temizleme bölümünde temizlenmekte, boyası sökülen tüplerin boyama işlemleri de yine bu bölümde yapılmaktadır.

Risk değerlendirmesi çalışmasının temel amacı; işyerlerindeki çalışma koşulları, makine, tesisat, kullanılan hammaddeler, insan ve organizasyon hatalarından kaynaklanan



tehlikeler de dikkate alınarak çalışanların sağlık ve güvenliklerini etkileyebilecek tüm unsurların belirlenerek değerlendirilmesi ve olası tehlikelerin kontrol altına alınması için bir risk analizinin yapılmasıdır.

## **6.1 Risk Analizi ve Değerlendirme**

Risk değerlendirmeleri, tehlike kaynaklarını ve tehlikeleri belirleme olmak üzere 2 başlıkta incelenmelidir.

### **6.1.1 Tehlike kaynaklarının belirlenmesi**

Kurulan ekiple birlikte işyeri vaziyet planı ve iş akış şemaları da dikkate alınarak işyerindeki tehlike kaynakları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

#### **I. İşler (İşyerinde yapılan ya da yürütülen)**

- İşletme,
- Bakım onarım,
- Temizlik,
- Sosyal Tesisler (vb. faaliyetler)

#### **II. İşlemler (Operasyonlar)**

- Yürütülen operasyonlar,
- Mekanik işlemler,
- Kimyevi süreçler

#### **III. Kullanılan Maddeler**

İşyerinde kullanılan;

- Ham,
- Yarı mamul ve
- Mamul maddeler veya işlemler sırasında çıkan maddeler

#### **IV. Makine ve Donanımlar**

İşyerinde kullanılan her türlü;

- İş donanımları,
- Tesisat ve tertibatlar,
- Düzen ve sistemler vb.

#### **V. Kişiler**

İşyeri veya çevresinde bulunan kişiler;

- Çalışan,
- Stajyer,
- Ziyaretçi,
- İşveren veya vekilleri

#### **VI. Organizasyonlar**

İşyerinde oluşturulan organizasyonlar;

- Hiyerarşik yapı,
- Yönetim sistemleri,
- Eğitim organizasyonu,
- Yangın,
- Tahliye vb. organizasyonla

#### **VII. Çevre**

Çevrede yer alan unsurlardan;

- Çalışma çevresi,
- Fiziki çevre,
- Biyolojik çevre,
- Coğrafi çevre,
- Jeolojik çevre

## VIII. Etkileşimler

Unsurların birbirleri ile etkileşimlerden;

- Hammadde-insan,
- İnsan-iş donanımları,
- İş donanımı -malzeme,
- İnsan-organizasyon vb. [41].

### 6.1.2 Tehlikelerin belirlenmesi

- İşlemlerden çıkan tozlardan kaynaklanabilecek tehlikeler
- İşlemlerden çıkan gazlardan doğabilecek tehlikeler
- İşlemlerden çıkan gürültüden doğabilecek tehlikeler
- İşlemlerden çıkan titreşimden doğabilecek tehlikeler
- İşlemlerde çalışan hatasından kaynaklanabilecek tehlikeler
- İşlemlerde organizasyon hatasından doğabilecek tehlikeler
- Doğa olaylarından doğabilecek tehlikeler [33].

#### ➤ Patlama Anındaki Gürültü Sonucunun Değerlendirilmesi

Çok yüksek etkiye sahip patlamaların ölümcül etkileri bilinmekle birlikte, 2. dereceden tehlike riski oluşturan durumlarda patlamanın çalışanlar üzerinde uzun vadedeki etkileri aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

- Konsantrasyon, dikkat ve reaksiyon tepkisi zayıflar,
- Yorgunluk, uyku bozuklukları, geç uyuma,
- Merkezi sinir sistemi bozuklukları, baş ağrıları ve stresler,
- Metabolik ve hormonal bozukluklar oluşabilir.

Birden bire şiddetli bir gürültünün etkisinde kalındığında;

- Kan basıncı (tansiyon) yükselmesi,
- Kardiyo vasküler (dolaşım) bozukluğu,
- Solunum hızı değişmesi,

- Terlemenin artması görülebilmektedir.

Gürültü ayrıca;

- Konuşurken bağırma,
- Sinirli olma hali,
- Karşılıklı anlaşma zorluğu,
- Kişiler arasındaki ilişkilerde olumsuzluklar ve
- İş kazalarının artmasında etkin rol oynamaktadır [41].

### 6.1.3 Önlemlerin belirlenmesi

Oldukça büyük bir patlamanın etkisiyle ölümcül kazalar meydana gelebileceğinden, bunun sonuçlarını minimum düzeye indirebilmek adına patlamadan önce buna karşı alınması gereken önlemler aşağıda belirtilmiştir:

- İlk olarak tesiste gerekli her noktaya yangın söndürme donanımları konulmalıdır.
- Yangın söndürme konusunda bir ekip kurulmalı ve tüm çalışanlar bu konuda eğitime tabi tutulmalıdır.
- Standart çalışma zamanlarında da çalışanların İSG kurallarına göre her türlü özel koruyucu donanımlarla çalışmaları zorunludur.
- Çalışanlar kişisel koruyucu kullanımı konusunda eğitilmeli ve kullanım alışkanlığı kazandırılmalıdır.
- Çalışanların periyodik sağlık muayeneleri yapılmalı ve özellikle işyeri ortamında etkilenme durumları belirlenmelidir.
- Çalışanların, işyerinde en yüksek düzeydeki gürültüye verdikleri reaksiyondan yola çıkarak gürültüden etkilenme düzeyleri ölçümlerle tespit edilmelidir.
- Var ise gürültüye bağlı mesleki etkilenme başlamış olanlar kontrol ve tedavi altına alınmalıdır.
- İşe yeni alınacak kişilerin klinik muayeneleri yapılmalı, işitme seviyeleri belirlenmelidir ve daha önceki varsa rahatsızlıkları bilinmelidir.
- Makine ve donanımların tesis ve montajında gürültü azaltıcı yöntemler araştırılarak tercih edilmelidir, mümkünse gürültü çıkaran makine ve

ekipmanların diğer b6l6mlerden ayrılarak daha fazla kişinin etkilenmemesi yolları araştırılmalıdır.

- Kişisel koruyucu seğiminde işyerindeki g6r6lt6n6n şiddeti, frekansı s6releri ve çalışanların 6zellikleri dikkate alınmalıdır.
- Etkilenme tespit edilenler derhal b6l6mden ayrılmalı, gerekirse kontrol ve tedavi altına alınmalıdır.
- T6m bu çalışmalar iş Sağlığı ve G6venliği Y6netmeliğine uygun olarak yapılmalıdır [42].

#### **6.1.4 6nlemlerin uygulanması**

- Yukarıda belirlenen 6nlemlerin uygulanması için işyerinin kaynakları ve imkanları değerlendirerek bir eylem planı yapılmalı ve bir takvim oluşturulmalıdır.
- Eylem planında yapılacak işler detaylandırılmalı ve her bir safhasının sorumlulukları belirlenmelidir.
- Planın tamamının uygulanmasından bir 6st d6zey yetkili sorumlu olarak belirlenmelidir.
- Belirlenen takvim en kısa zamanda uygulamaya konulmalıdır [42].

#### **6.1.5 Uygulamanın izlenmesi ve değerlendirilmesi**

Kararlaştırılan uygulama planı gerçekleştirildikten sonra çalışmalar belirli bir s6re izlenmeli, aksaklıklar veya yetersizlikler tespit edilirse yeni iyileştirme planları yapılmalı ve uygulanmalıdır [42].

#### **6.1.6 Periyodik risk analizlerinin yapılması**

işyerindeki tehlikelerin b6y6kl6ę6, çalışan sayısı, çalışanların eğitim durumu, teknolojik değişmeler ve yasal şartlar da dikkate alınarak risk değerlendirmesi çalışmaları için bir periyot belirlenmeli ve bu çalışmalar t6m6yle tekrar edilmelidir.

Ayrıca;

- Yeni bir makine, donanım alınması durumunda,
- Teknoloji değişikliğinde,
- 6retim tarzı ve şekli değiştiğinde,

- Personel yapısında ciddi anlamda değişiklik olduğunda,
- İş kazası ve meslek hastalıkları durumunda,
- İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulu veya uzmanın gerek görmesi durumunda

Belirlenen alanlarda aynı konularda risk analiz ve değerlendirme çalışmaları yapılmalıdır [42].

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

LPG Türkiye'nin enerji politikaları içinde oldukça önemli bir noktada yer almaktadır. Çünkü hem çevreci hem de ekonomik olan LPG, aynı zamanda kolay taşınabilme ve depolanabilme özelliğiyle tercih sebebi olmaktadır.

Hali hazırda dünyada en fazla kullanılan alternatif yakıt olan LPG'nin, geleceğin ulaşım yakıtları arasında, iklim değişikliği ile mücadele de dahil olmak üzere pek çok avantajı olduğu ve sadece günümüzde değil ilerleyen yıllarda da üst sıralarda yer almasına kesin gözüyle bakılmaktadır.

LPG tankları basınç altında sıvılaştırılarak taşındıkları ve depolandıkları için yanma ve patlama riski taşımaktadır. Bu çalışmada LPG depolama tanklarının herhangi bir sızıntı sonucu yanması veya patlamasıyla meydana gelebilecek tehlikenin hem matematiksel hem de yaşamsal sonuçları ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

1. 115 m<sup>3</sup>lük bir LPG tankında meydana gelebilecek "Jet fire" tipi bir yangın durumunda tankın etrafında 100 ila 130 metrelik bir mesafede ölümcül riskin varlığı saptanmıştır. BLEVE durumunda ise ölüm riski taşıyan bölge 315 ila 470 metrelik bir mesafeye yayılmıştır. Bu değerler üzerinde "Jet fire" için yaklaşık 300 metre BLEVE içinse yaklaşık bir kilometrelik bir alandakiler yanma riskiyle karşı karşıyadır.
2. Merkezi bileşik tasarım uygulanarak ALOHA programından alınan sonuçlar Design Expert programına aktarılmış ve her tehlike bölgesine ait gerek "Jet

fire”, gerekse BLEVE durumu için model denklemler oluşturulmuştur. ANOVA analiziyle belirlenen korelasyon katsayıları “Jet fire” için 0,996; BLEVE için ise 0,998 değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Elde edilen tüm model denklemler %99,9 güvenilirlik düzeyindedir.

3. Geliştirilen model denklemlerden hesaplanan tehlike bölgesi çapı değerleri ile ALOHA programında hesaplanan tehlike bölgesi çapları arasında “Jet fire” durumunda en fazla %0,99; BLEVE durumunda ise en fazla %0,75 hata bulunmuştur. Yapılan kontrol deneylerinde % hata değerleri “Jet fire” için en fazla %2,12; BLEVE için ise en fazla %3,37 değerine çıkmıştır.  $R^2$  değerlerinin 1’e oldukça yakın olması ve % hata değerlerinin sıfıra yakın olması geliştirilen model denklemlerin son derece uygun olduğunu göstermiştir.
4. Elde edilen model denklemlere göre “Jet fire” durumu için; sıcaklık, rüzgar hızı ve tankın doluluk oranının artırılmasının tehlike bölgelerinin yarıçaplarında artışa neden olduğu görülmüştür. Her üç tehlike bölgesi için de en yüksek katsayıya sahip parametre tankın doluluk oranıdır. Tanktaki propan miktarının fazla olmasıyla buhar basıncı artar. Böylece kaçak noktasından çıkan propan gazının debisi yüksek olur. Daha yüksek bir debiyle dışarı salınan propan daha geniş bir alana yayılarak yanar. Dolayısıyla tehlike bölgelerinin çaplarında ciddi bir artışa neden olur. Sıcaklık ise artışıyla gaz moleküllerinin kinetik enerjilerini arttırıp yanma anında alevlerin daha büyümesini sağlayacağından tehlikenin boyutunu arttıracaktır. Yine yüksek sıcaklıkta buhar basıncının da artmasıyla debisi artan propan tehlike alanını büyütecektir.
5. Elde edilen model denklemlere göre BLEVE durumu için; sıcaklık katsayısının negatif değerde, tankın doluluk oranına ait katsayının ise pozitif değerde elde edilmesiyle tehlike bölgesi yarıçaplarının sıcaklıkla ters orantılı tankın doluluk oranı ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcaklığın etkisi kondüksiyon-konveksiyon ve radyasyonla kombine ısı transferi ile açıklanmıştır (Denklem 5.7). Diğer parametre olan rüzgar hızı katsayısı ise sıfır çıkmış ve herhangi bir etki göstermemiştir.



6. Türetilen tüm modellerdeki ana etkilerin katsayıları incelendiğinde (yani katsayıların mutlak değerlerinin büyüklük sıralaması göz önüne alındığında) gerek “Jet fire” gerekse BLEVE durumunda, tüm tehlike bölgeleri için parametre etkinlik sıralamasının; tank doluluk oranı > sıcaklık > rüzgar hızı şeklinde olduğu görülmektedir.
7. Elde edilen model denklemlerinin sonuçlarını daha ayrıntılı gözlemleyebilmek için Statistica 8.0 programı kullanılarak 3 boyutlu cevap yüzey grafikleri elde edilmiştir. Hem “Jet fire” durumu için, hem de BLEVE durumu için 3 tehlike bölgesinin sıcaklık-rüzgar hızı, sıcaklık-tank doluluk oranı ve rüzgar hızı- tank doluluk oranı parametrelerinin ikili değişimlerine göre tehlike bölgesinin alanının değişimi gözlenmiştir.
8. Bu çalışma LPG depolanan tüm iş yerlerinde uygulanabilir. Farklı LPG tank hacimleri için ALOHA programı kullanılarak ve deneysel tasarım uygulanarak model denklemler geliştirilebilir ve böylece işletmedeki LPG tankından kaynaklanabilecek riskler tek bir model denklem üzerinden izlenebilir. Böylelikle işletmenin risk analizinin yapılması ve alınacak önlemlerin belirlenmesi çok daha kolay bir biçimde gerçekleştirilecektir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Bi, M.S., Ren, J.J., Zhao, B. ve Che, W., (2011). "Effect of Fire Engulfment on Thermal Response of LPG Tanks", Journal of Hazardous Materials, 192:874-879.
- [2] Bubbico, R. ve Marchini, M., (2008). "Assessment of an Explosive LPG Release Accident:A Case Study", Journal of Hazardous Materials, 155:558-565.
- [3] Landucci, G., Molag, M. ve Cozzani, V., (2009). "Modelling the Performance of Coated LPG Tanks Engulfed in Fires", Journal of Hazardous Materials, 172:447-456.
- [4] Roberts, T., Gosse, A. ve Hawksworth, S., (2000). "Thermal Radiation From Fireball on Failure of Liquefied Petroleum Gas Storage Vessels", Trans IChemE, Part B, 78.
- [5] Shebeko, Y.N., Bolodian, I.A., Filippov, V.N., Navzenya, V.Y., Kostyuhin, A.K., Tokarev, P.M. ve Zamishevski, E.D., (2000). " A Study of the Behaviour of a Protected Vessel Containing LPG During Pool Fire Engulfment", Journal of Hazardous Materials, A77: 43-56.
- [6] Raj, P.K., (2005). "Exposure of a Liquefied Gas Container to an External Fire", Journal of Hazardous Materials, A122: 37-49.
- [7] Demichela, M., Piccinini, N. ve Poggio, A., (2004). "Analysis of an LPG Accidental Release", Process Safety and Environmental Protection, 82: 128-131.
- [8] Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, [http://www.pigm.gov.tr/petrol\\_nedir.php](http://www.pigm.gov.tr/petrol_nedir.php), 21 Şubat 2011.
- [9] Aksoy, A.H., (1984). "Petrol Rafinasyonunda Uygulanan Modern Üretim Yöntemleri", İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimyasal Teknolojiler Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- [10] Educational Electronics, <http://www.educationalelectronicsusa.com/c/fuels-IV.htm>, 7 Ocak 2012.
- [11] Parkash S. Dr., (2010). Petroleum Fuel Manufacturing Handbook, McGraw-Hill, ABD.

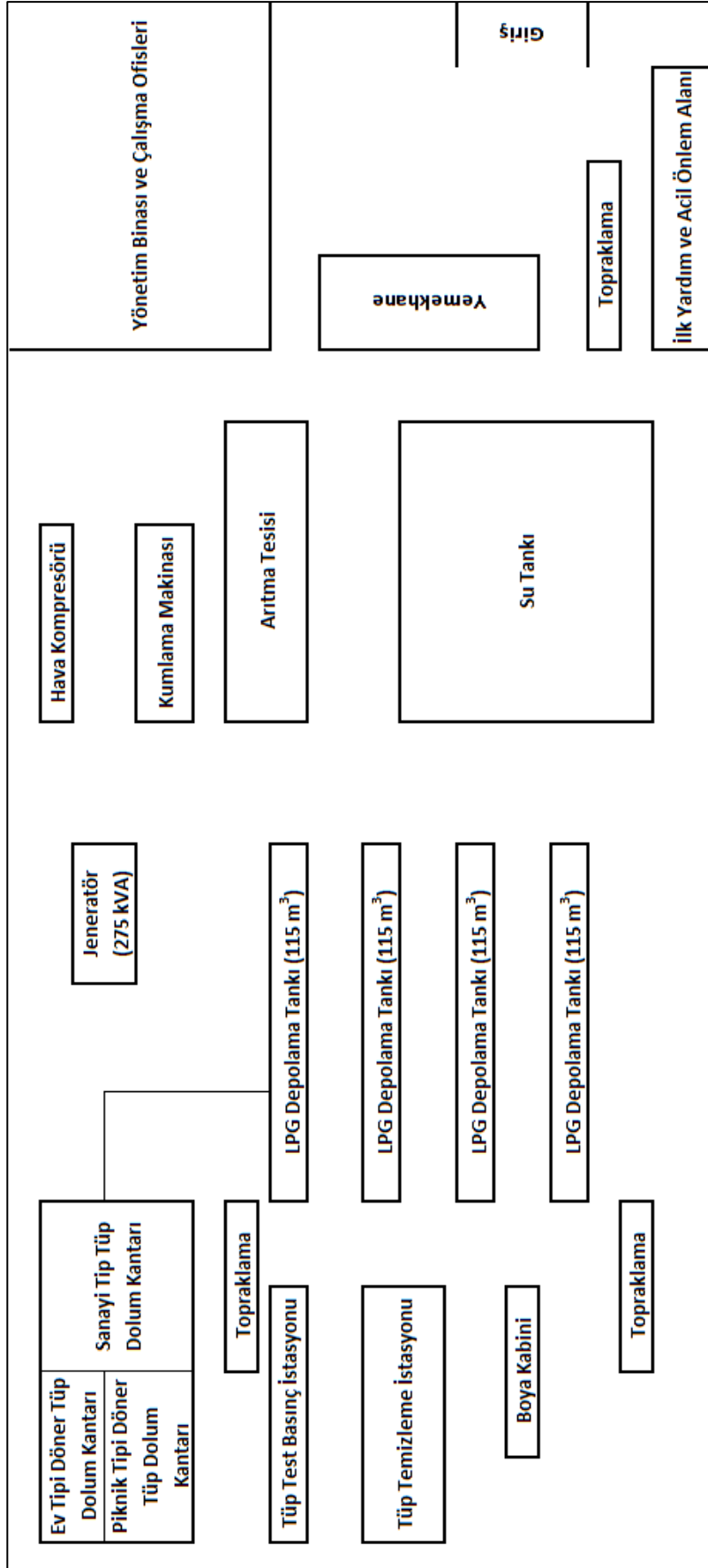
- [12] Hepbaşı, A., Karakuş, A.A., Erkek, M., (2003). "Liquefied Petroleum Gas in Turkey's Energy Sources", Energy Sources, 25, 373 – 382.
- [13] Fahim M. A., Alsahhaf T. A., Elkilani A., (2010). "Fundamentals of Petroleum Refining", Department of Chemical Engineering Kuwait University, Elsevier B. V.
- [14] Science Resources, [http://www.science-resources.co.uk/KS3/Chemistry/Chemical\\_Reactions/Hydrocarbons/Distillation.htm](http://www.science-resources.co.uk/KS3/Chemistry/Chemical_Reactions/Hydrocarbons/Distillation.htm), 7 Ocak 2012.
- [15] Çataltaş, A.İ., (1985). Kimyasal Proses Endüstrileri, İnkılap Yayınevi, 1.Baskı
- [16] Meyers R. A. (2004). Handbook of Petroleum Refining Processes, Chemical Process Technology Handbook Series, Third Edition, McGraw-Hill, ABD.
- [17] İstanbul Sanayi Odası, (2004). "Kimya Sektörü", İstanbul, İstanbul Sanayi Odası Yayınları No: 2004/20, Aralık 2004
- [18] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, (1999). LPG Uygulamaları Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, MMO Yayın No:225.
- [19] Çakar, A.E., (2003), "LPG Kurs Notları", MİEM (Mesleki Eğitim Merkezi) TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- [20] DoğalgazProjesi, [http://www.dogalgazprojesi.com/forum/forum\\_posts.asp?TID=%207553&get=\\_last](http://www.dogalgazprojesi.com/forum/forum_posts.asp?TID=%207553&get=_last), 21 Şubat 2011.
- [21] Kirk-Othmer, (1991). Encyclopedia of Chemical Technology, 4. Edition, Volume 15.
- [22] İpragaz, <http://www.ipragaz.com.tr/lpg-gercekleri.asp>, 21 Şubat 2011
- [23] Bizimgaz, [http://www.bizimgaz.com.tr/t\\_lpg\\_kullanım\\_alanı.php](http://www.bizimgaz.com.tr/t_lpg_kullanım_alanı.php), 21 Şubat 2011.
- [24] Küçük S., (2009). "Kimyasalların Depolanması ve Depolar-ı", Önlem Dergisi, Sayı 37, İstanbul.
- [25] Aygaz Dolun Tesisi, Yarımca-İzmit, 7 Şubat 2011.
- [26] Tanrıverdi Ç., Öztürk O., FULLPG, "Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) Otogaz İstasyonları Güvenlik ve Eğitim Kitapçığı.
- [27] Araç Bilgisi, <http://www.aracbilgisi.com/arac-yakitleri/37-otogaz-lpg/1020-dunyadaki-buyuk-lpg%20kazalari.html>, 21 Şubat 2011.
- [28] Şifa Zamani, [http://www.sifazamani.com/mesleki\\_hastaliklar.html](http://www.sifazamani.com/mesleki_hastaliklar.html), 20 Aralık 2011.
- [29] Acil Yardım, <http://www.acilyardim.8k.com/omurga.htm>, 20 Aralık 2011
- [30] Emergency Planning for Chemical Spills, <http://www.chemicalspill.org/OffSite/aloha.html>, 15 Aralık 2011.
- [31] Terzioğlu L., (2007). "Endüstriyel Patlamaların Modellenmesi, Özel Durum LPG Patlaması", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- [32] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.dmi.gov.tr/index.aspx>, 10 Mart 2011.
- [33] Karın M., (2011). Milangaz LPG Dolum Tesisi Teknik Müdürü ile İkili Görüşme.
- [34] Açıkalın K., (2010). Çeşitli Biyokütle Atık Maddelerinin Pirolyzi ve Elde Edilen Ürünlerin Analizi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- [35] Yongxi, M. A. ve Hong, Z., (2006). "Analysis of Heat Transfer Performance of Oscillating Heat Pipes Based on a Central Composite Design", Chinese J. Chem. Eng., 14(2):223-228.
- [36] Zhang, X., Wang, R., Yang, X. ve Yu, J., (2007). "Central Composite Experimental Design Applied to the Catalytic Aromatization of Isophorone to 3,5-Xylenol", Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 89:45-50.
- [37] Angelopoulos, P., Evangelaras, H. ve Koukouvinos, C., (2009). "Small, Balanced, Efficient and Near Rotatable Central Composite Designs", Journal of Statistical Planning and Inference, 139:2010-2013.
- [38] Cojocar C., Zakrzewska-Trznadel G. ve Jaworska A., (2009). "Removal of Cobalt Ions from Aqueous Solutions by Polymer Assisted Ultrafiltration Using Experimental Design Approach. Part 1: Optimization of Complexation Conditions", Journal of Hazardous Materials, 169:599–609.
- [39] Özdemir E., Duranoğlu D., Beker Ü. ve Avcı A.Ö., (2011). "Process Optimization for Cr(VI) Adsorption onto Activated Carbons by Experimental Design", Chemical Engineering Journal, Issue 1, Vol. 172, pp. 207-218.
- [40] McCabe, L.W., Smith, J., Harriot, P., (1985), "Unit Operations of Chemical Engineering" 4. Baskı, McGraw-Hill, Singapur.
- [41] Özkılıç Ö., (2007). "İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Risk Değerlendirmesi", Hanlar, Ankara İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, (2004). Sayı 22, Ankara.
- [42] Baysal, S., (2005). "İSG Yönetim Sistemlerinde Risk Yönetimi" T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.

**EK-A**

---

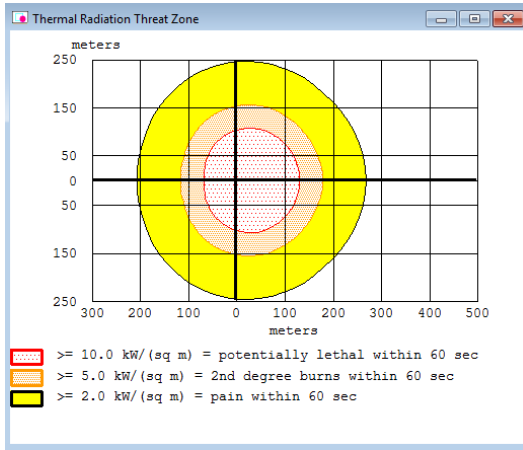
**TESİS**



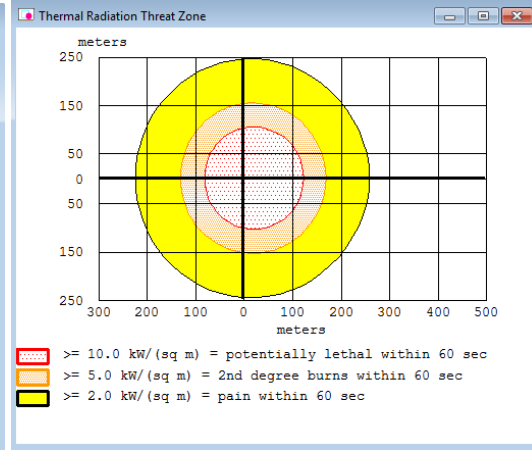
Şekil Ek A-1 Örnek bir LPG tesisi

## ALOHA 5.4.1.2 SONUÇ GRAFİKLERİ

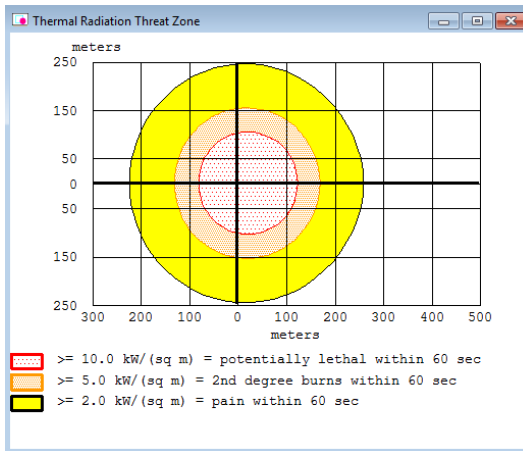
## B-1 "Jet Fire" Durumu İçin Elde Edilen Sonuç Grafikleri



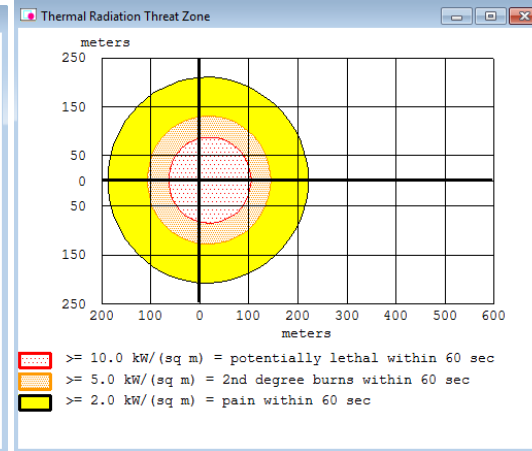
(1) 17,5°C; 16 m/sn; %50



(2) 17,5°C; 10 m/sn; %50

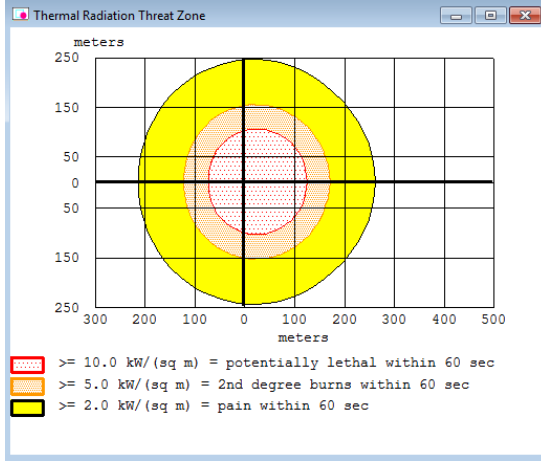


(3) 1,25°C; 7 m/sn; %65

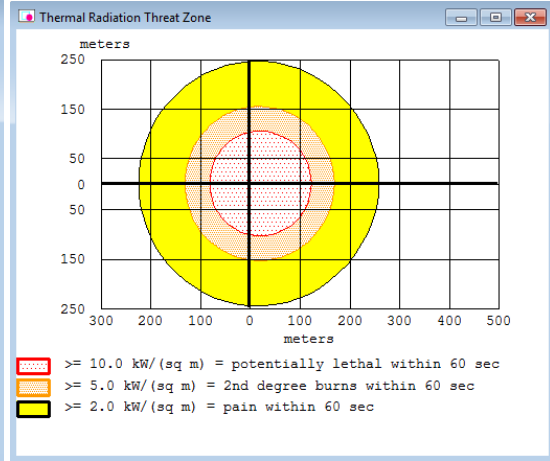


(4) -15°C; 10 m/sn; %50

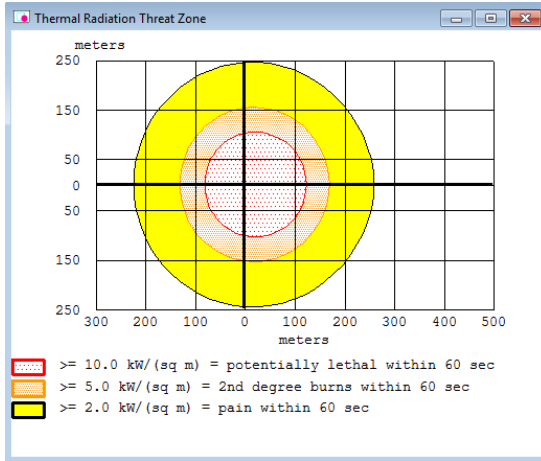
Şekil B-1 "Jetfire" durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri



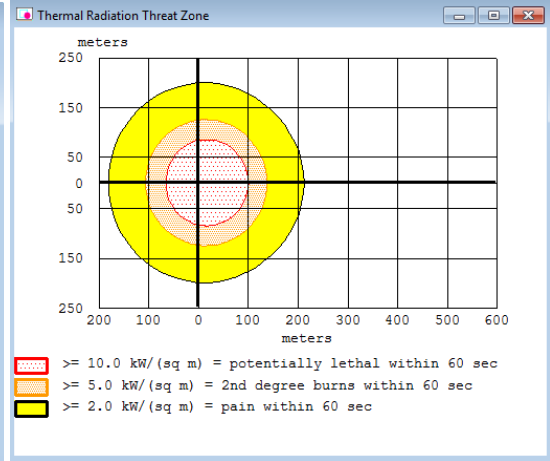
(5) 1,25°C; 13 m/sn; %65



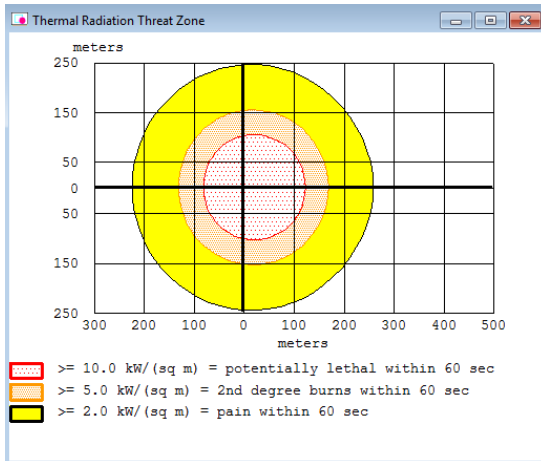
(6) 17,5°C; 10 m/sn; %50



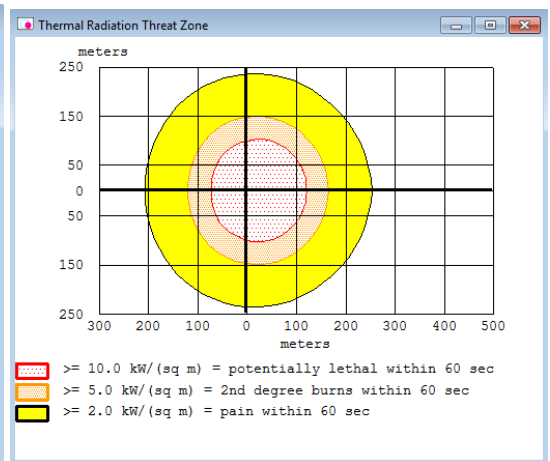
(7) 17,5°C; 10 m/sn; %50



(8) 17,5°C; 10 m/sn; %20



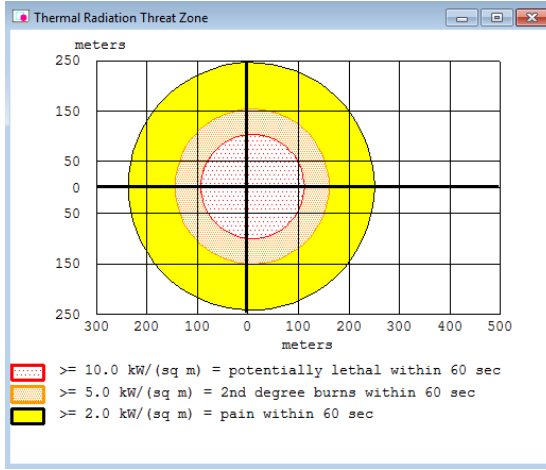
(9) 17,5°C; 10 m/sn; %50



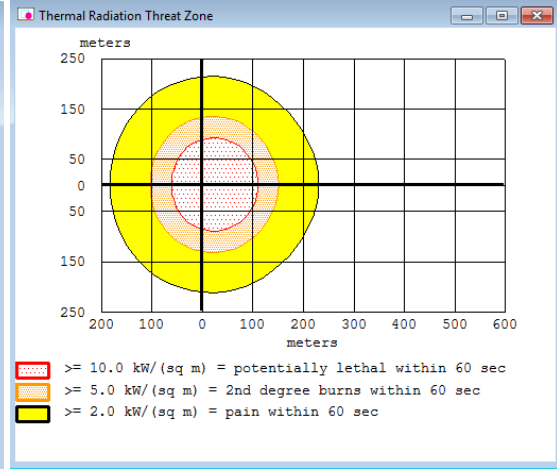
(10) 33,75°C; 13 m/sn; %35

Şekil B-1 (devamı) "Jetfire" durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri

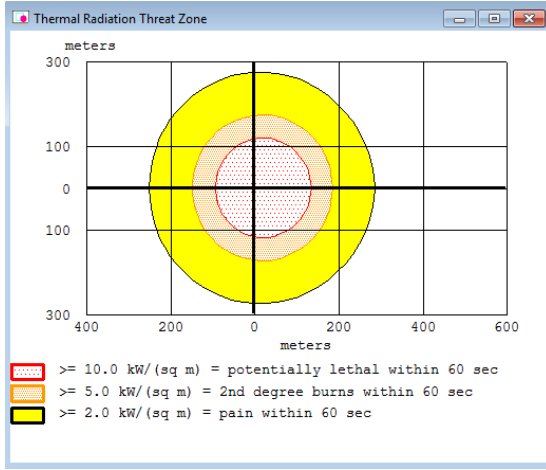




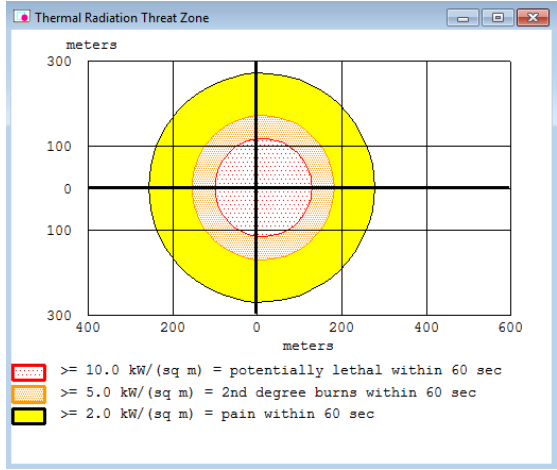
(11) 17,5°C; 4 m/sn; %50



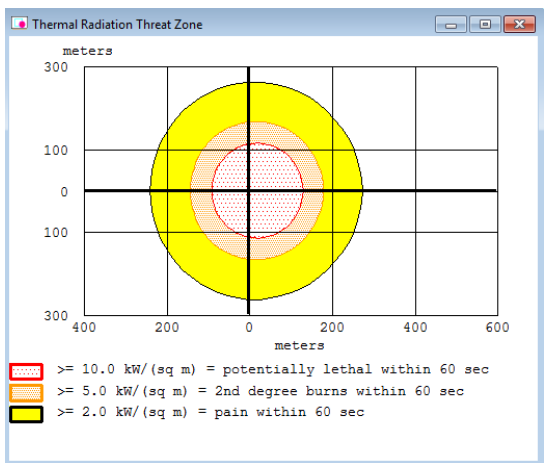
(12) 1,25°C; 13 m/sn; %35



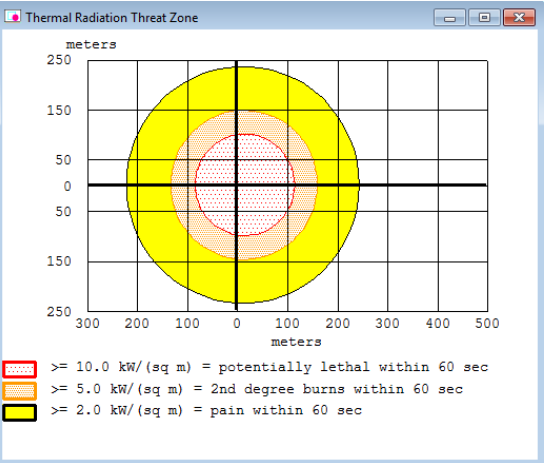
(13) 17,5°C; 10 m/sn; %80



(14) 33,75°C; 7 m/sn; %65

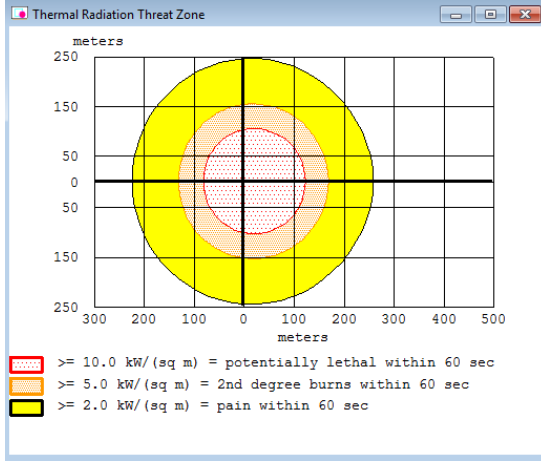


(15) 50°C; 10 m/sn; %50

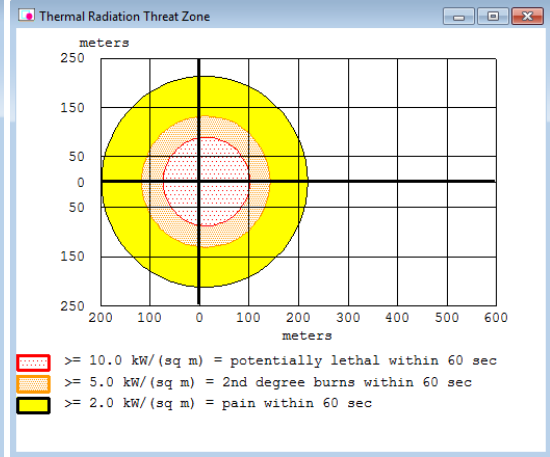


(16) 33,75°C; 7 m/sn; %35

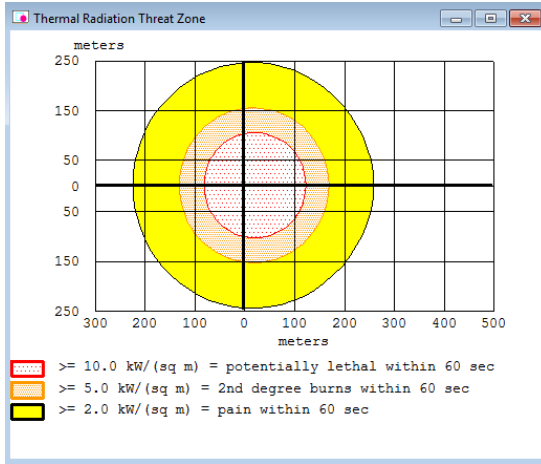
Şekil B-1 (devamı) "Jetfire" durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri



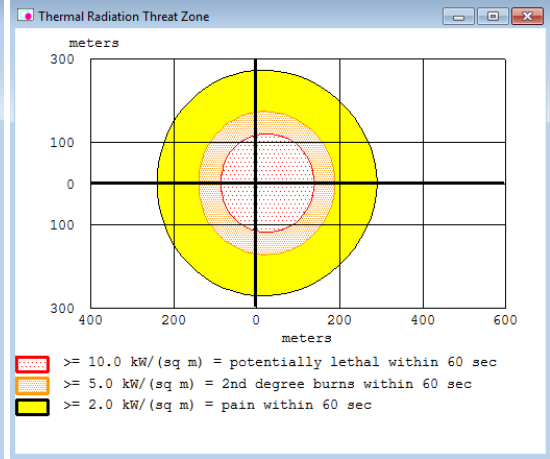
(17) 17,5°C; 10 m/sn; %50



(18) 1,25°C; 7 m/sn; %35



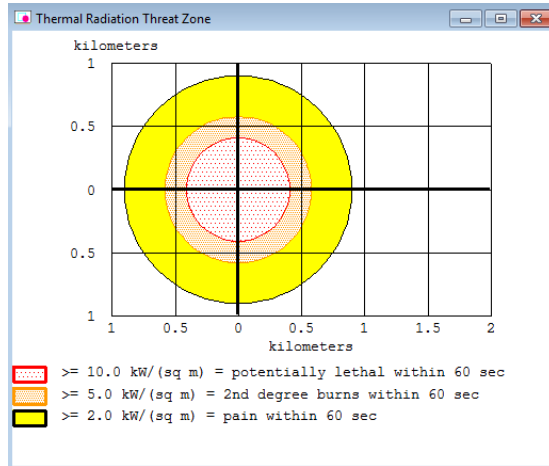
(19) 17,5°C; 10 m/sn; %50



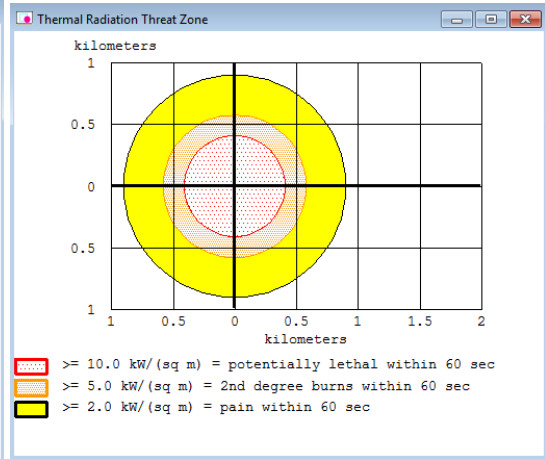
(20) 33,75°C; 13 m/sn; %65

Şekil B-1 (devamı) "Jetfire" durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri

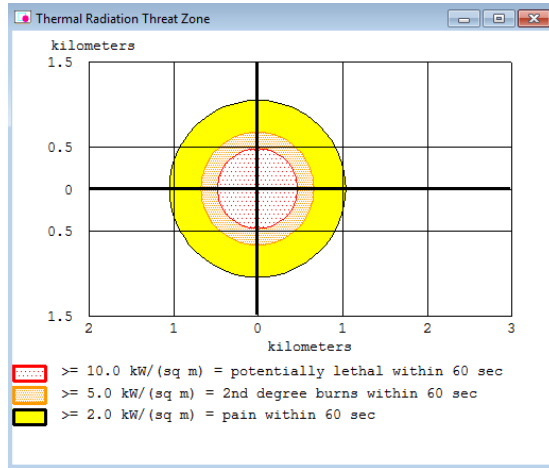
## B-2 BLEVE Durumu İçin Elde Edilen Sonuç Grafikleri



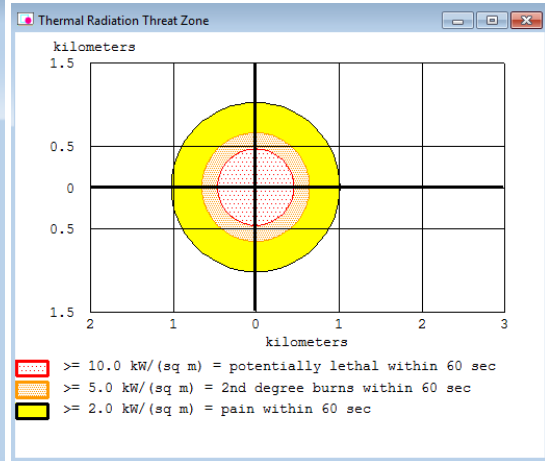
(1) 17,5°C; 16 m/sn; %50



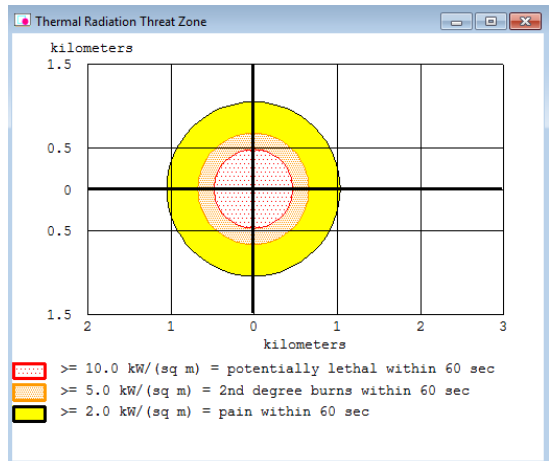
(2) 17,5°C; 10 m/sn; %50



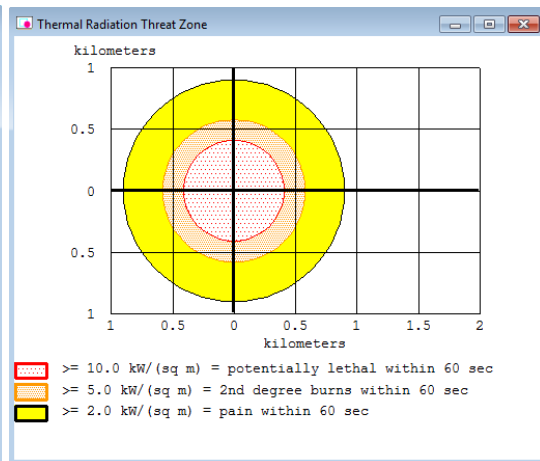
(3) 1,25°C; 7 m/sn; %65



(4) -15°C; 10 m/sn; %50

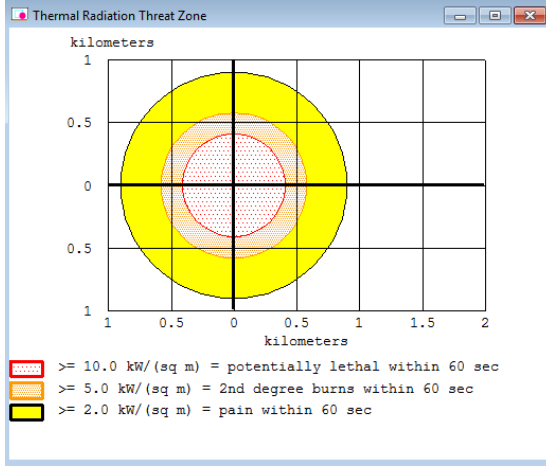


(5) 1,25°C; 13 m/sn; %65

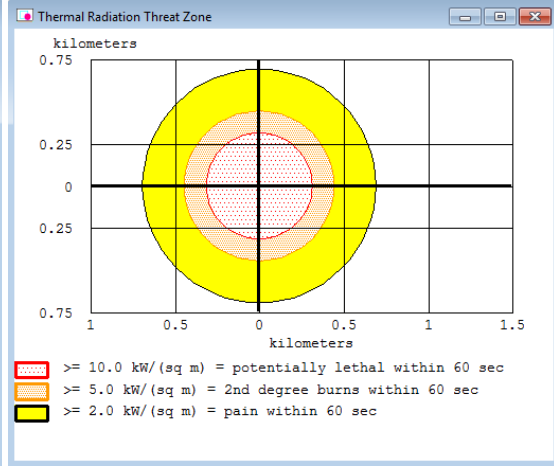


(6) 17,5°C; 10 m/sn; %50

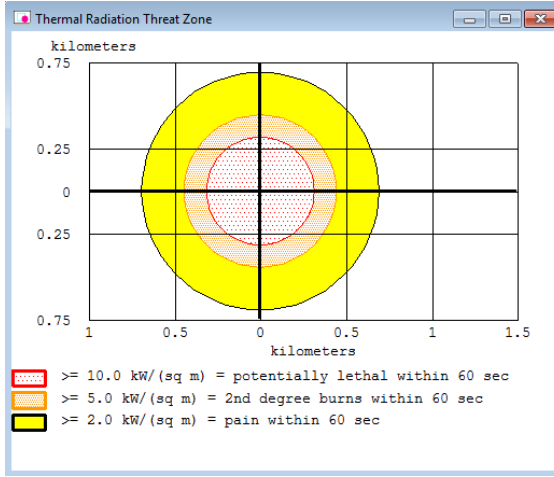
Şekil B-2 BLEVE durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri



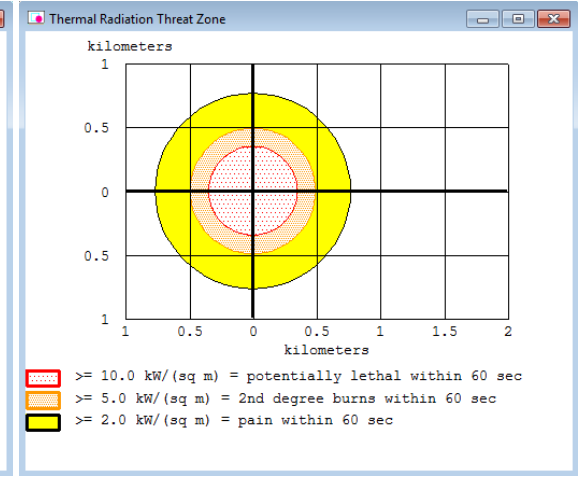
(7) 17,5°C; 10 m/sn; %50



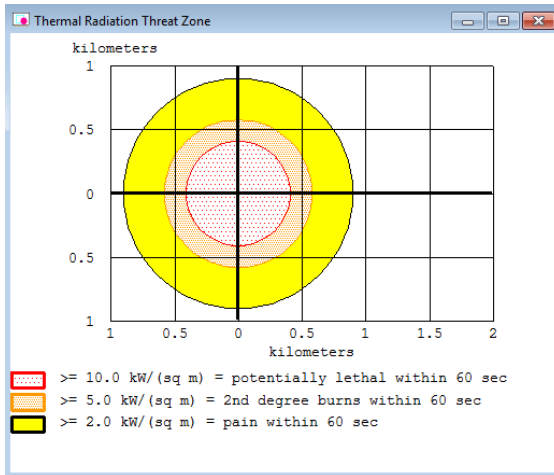
(8) 17,5°C; 10 m/sn; %20



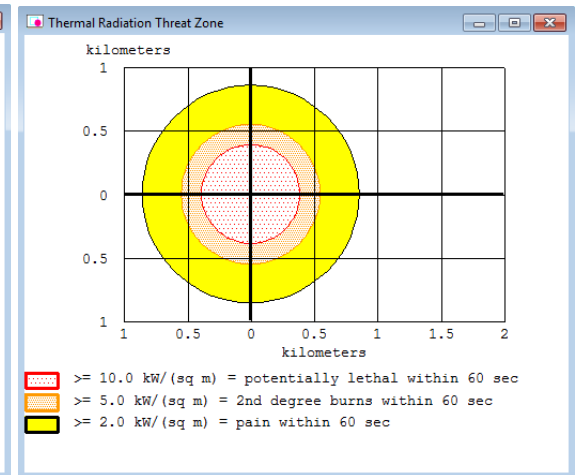
(9) 17,5°C; 10 m/sn; %50



(10) 33,75°C; 13 m/sn; %35

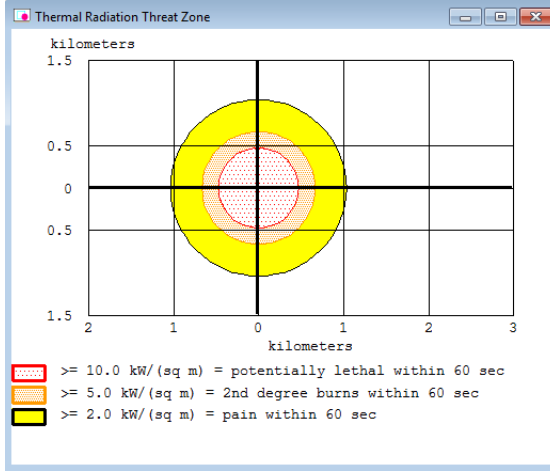


(11) 17,5°C; 4 m/sn; %50

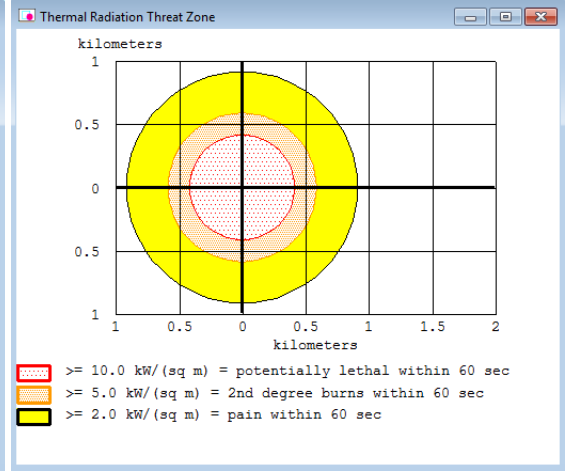


(12) 1,25°C; 13 m/sn; %35

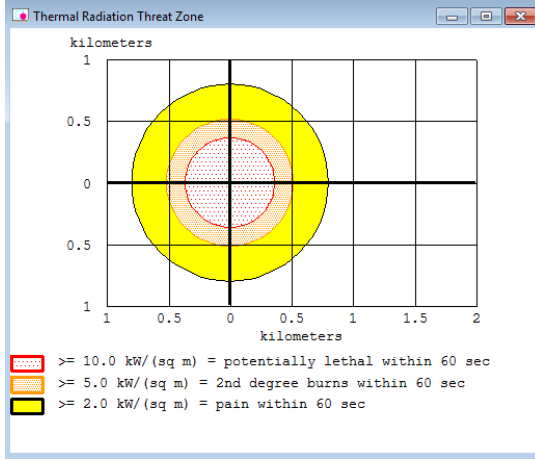
Şekil B-2 (devamı) BLEVE durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri



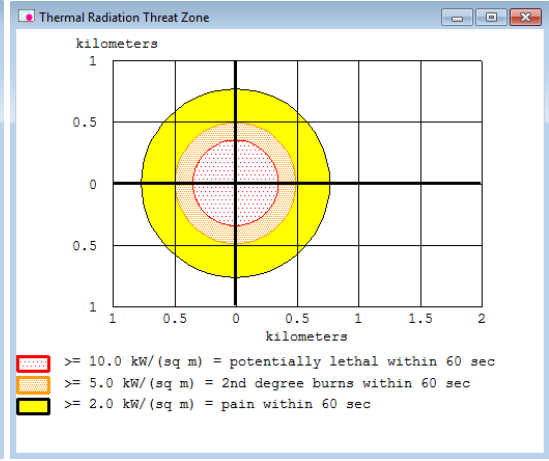
(13) 17,5°C; 10 m/sn; %80



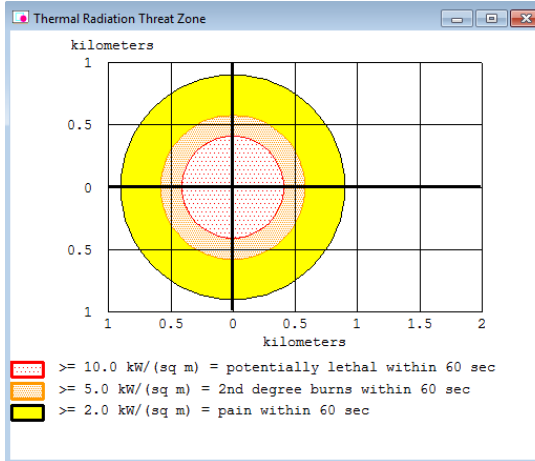
(14) 33,75°C; 7 m/sn; %65



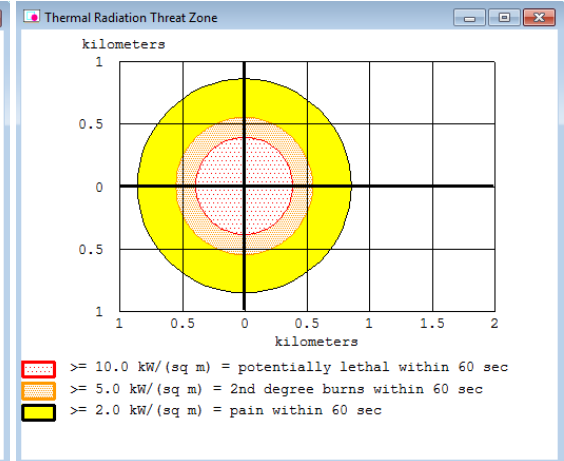
(15) 50°C; 10 m/sn; %50



(16) 33,75°C; 7 m/sn; %35

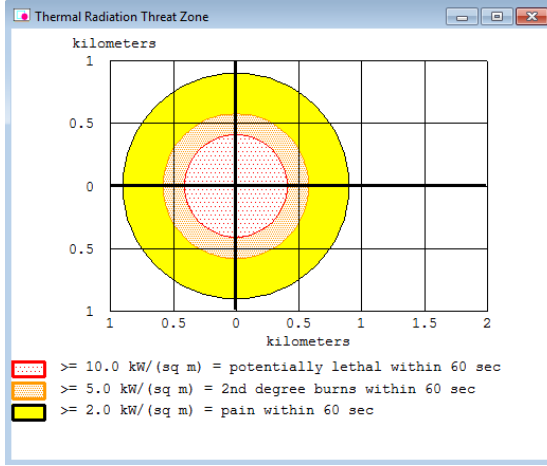


(17) 17,5°C; 10 m/sn; %50

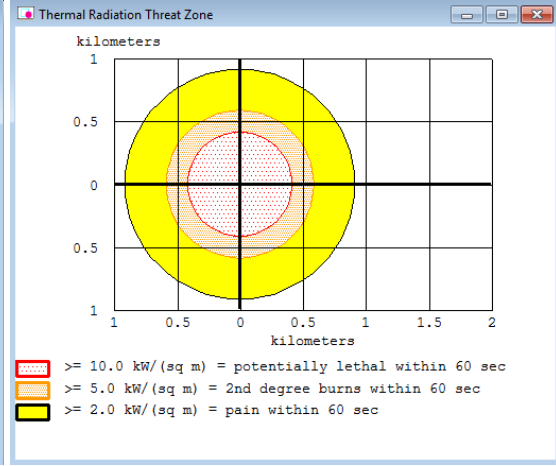


(18) 1,25°C; 7 m/sn; %35

Şekil B-2 (devamı) BLEVE durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri



(19) 17,5°C; 10 m/sn; %50



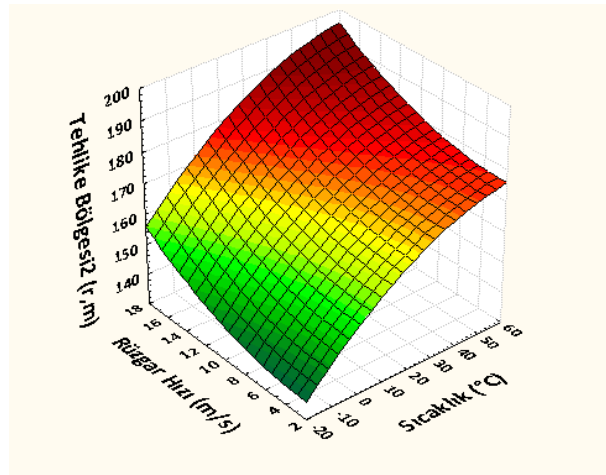
(20) 33,75°C; 13 m/sn; %65

Şekil B-2 (devamı) BLEVE durumu için ALOHA programından alınan sonuç grafikleri

## CEVAP YÜZEY GRAFİKLERİ

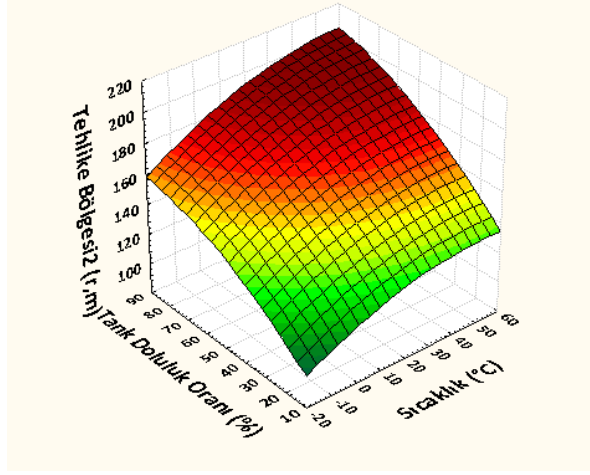
“Jet Fire” Durumu İçin Cevap Yüzey Grafikleri

C-1 Tehlike Bölgesi 2

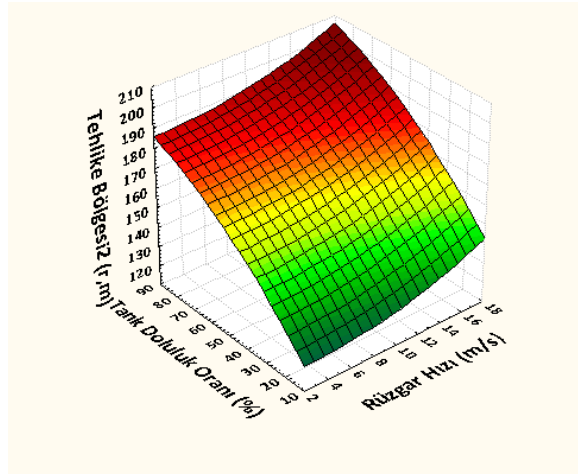


(1)

Şekil C-1 “Jet Fire” durumu tehlike bölgesi 2 için cevap yüzey grafikleri



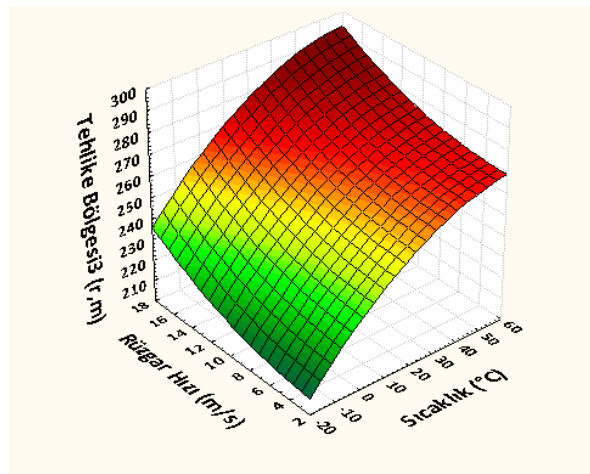
(2)



(3)

Şekil C-1 (devamı)“Jet Fire” durumu tehlike bölgesi 2 için cevap yüzey grafikleri

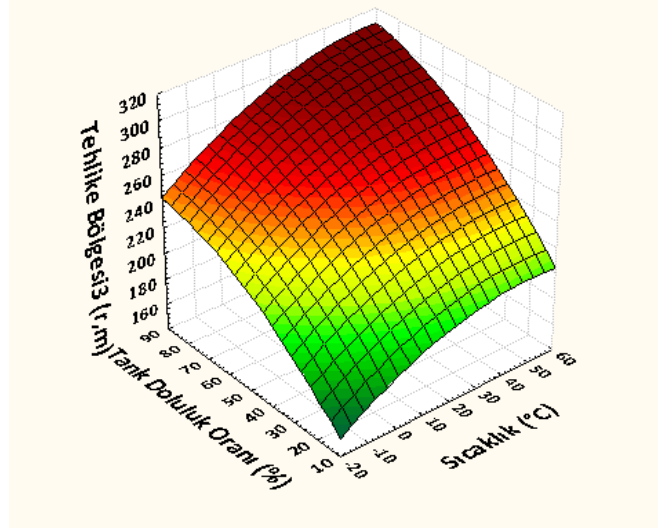
### C-2 Tehlike Bölgesi 3



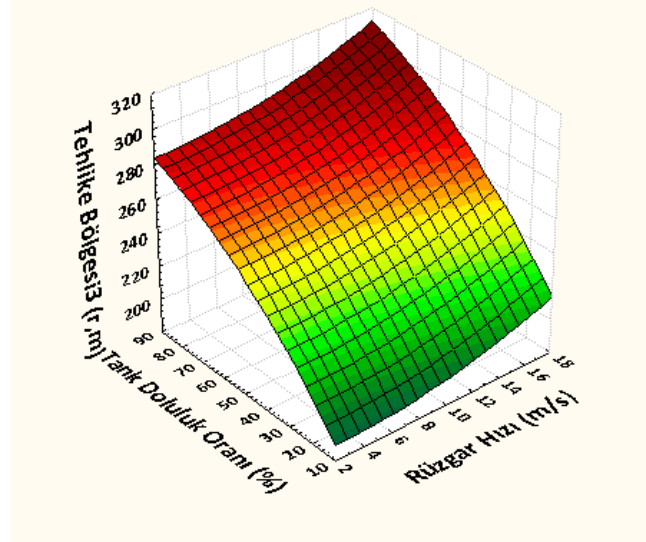
(4)

Şekil C-2 “Jet Fire” durumu tehlike bölgesi 3 için cevap yüzey grafikleri





(5)

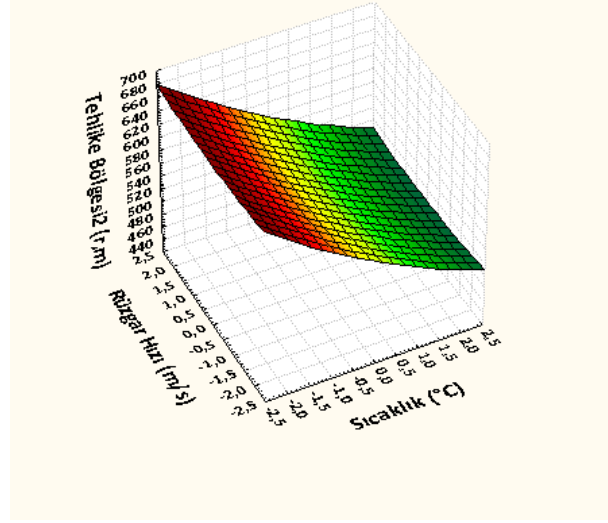


(6)

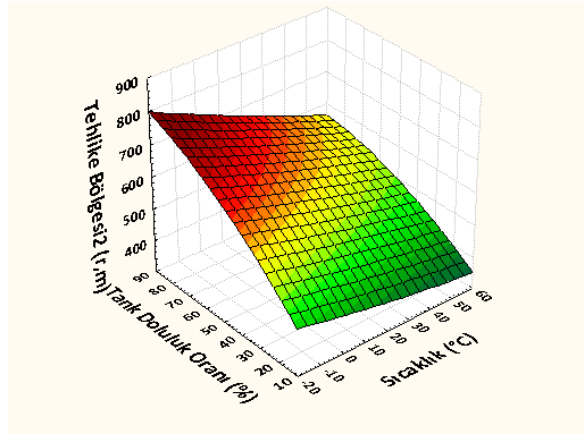
Şekil C-2 (devamı) “Jet Fire” durumu tehlike bölgesi 3 için cevap yüzey grafikleri

## BLEVE Durumu için Cevap Yüzey Grafikleri

### C-3 Tehlike Bölgesi 2

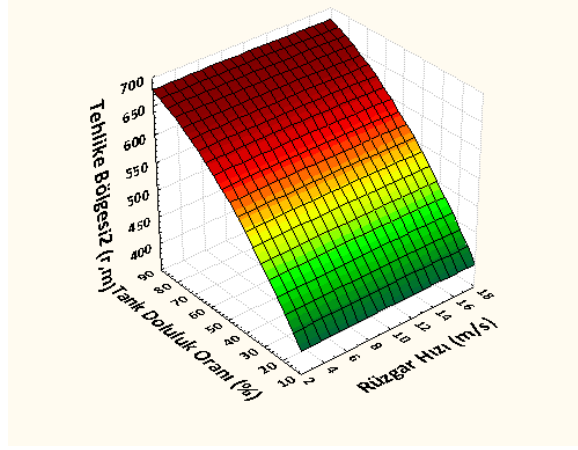


(1)



(2)

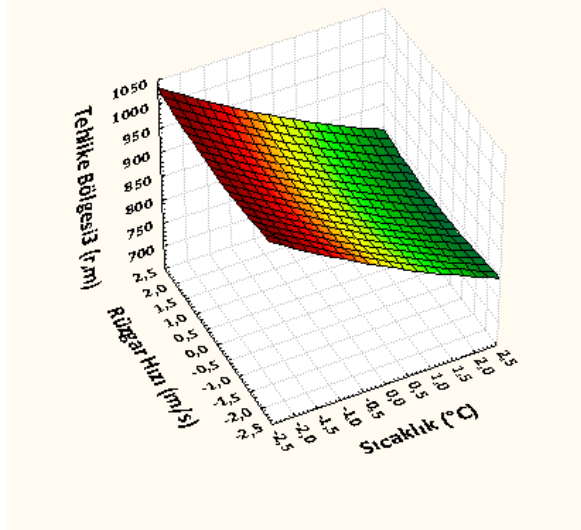
Şekil C-3 BLEVE durumu tehlike bölgesi 2 için cevap yüzey grafikleri



(3)

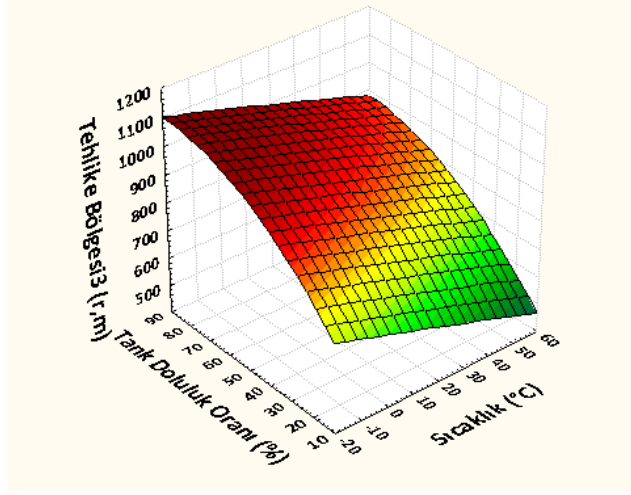
Şekil C-3 (devamı) BLEVE durumu tehlike bölgesi 2 için cevap yüzey grafikleri

#### C-4 Tehlike Bölgesi 3

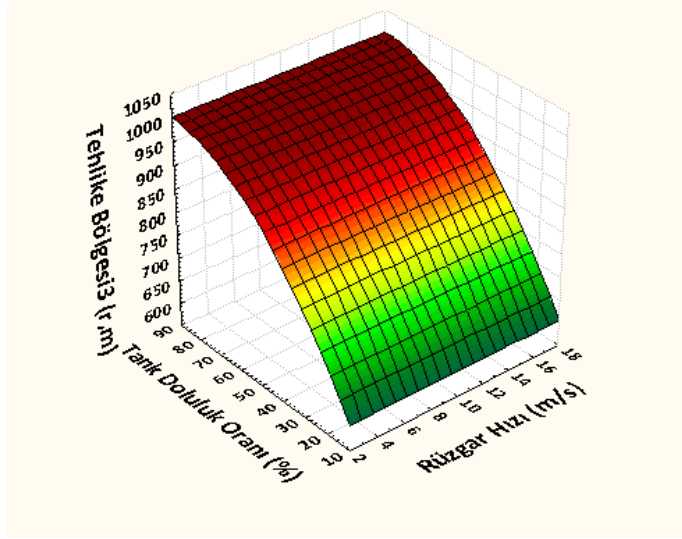


(4)

Şekil C-4 BLEVE durumu tehlike bölgesi 3 için cevap yüzey grafikleri



(5)



(6)

Şekil C-4 (devamı) BLEVE durumu tehlike bölgesi 3 için cevap yüzey grafikleri

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Volkan AÇIKGÖZ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 14.01.1986 / Edirne  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : volkan\_acikgoz54@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Babaeski Anadolu Lisesi	2004

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-2010	ISP	Ar-Ge Lab. Asistanı

### YAYINLARI

#### Makale

1. Açıkgöz V., (2009), "Geleceğin Enerjisi: Hidrojen(H<sub>2</sub>)", TMMOB Kimya Mühendisliği Dergisi, Sayı:173, Sayfa:34