



**YILDIZ TEKNİK  
ÜNİVERSİTESİ  
KİMYA-METALURJİ  
FAKÜLTESİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ  
BÖLÜMÜ**

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

# İÇERİK

GİRİŞ

PETROL

LPG

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

DENEYSEL ÇALIŞMALARIN  
DEĞERLENDİRİLMESİ

LPG TESİSİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI  
ve İŞ GÜVENLİĞİ

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

# GİRİŞ

## AMAÇ

- LPG depolama tankında sızıntı sebebiyle oluşacak yangın ya da patlama durumlarında ne kadarlık bir alanın ne ölçüde etkileneceğinin belirlenmesidir.

## HİPOTEZ

- Deneysel tasarım ile ALOHA programından alınan sonuçların sistemin cevabına etkileri model denklemler şeklinde ifade edilmiştir.

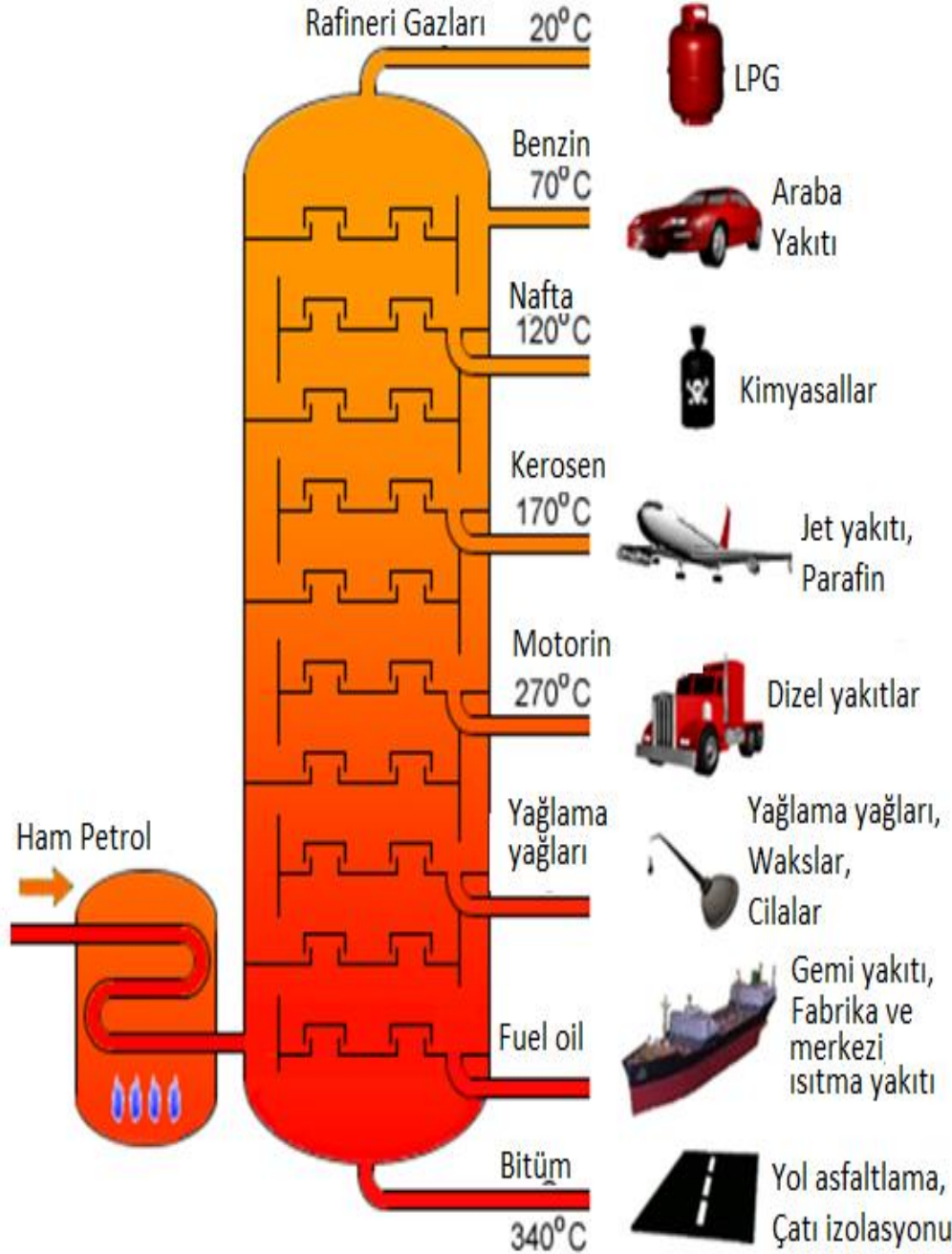
# PETROL



- Petrol sözcüğü Latince "Petro" (Taş) ve "Oleum" (Yağ) kelimelerinin birleşmesiyle oluşmuştur.
- Ham petrolün bulunuşu ilk olarak M.Ö. 450 yıllarına rastlamaktadır.
- Avrupa'da ham petrolün kullanılması 15. yüzyılda başlamıştır.
- 1900 yılından itibaren ise, benzin ve dizel yağı üretimi ile ham petrol yeni kullanım alanlarına kavuşmuştur.

# Petrolün Rafinasyonu

- Petrol rafinasyonunun temel amacı; ham petrolün ekonomik süreçler kullanılarak tüketici ürünlerine dönüştürülmesini sağlamaktır.
- Rafineriye giren ham petrole uygulanan ilk işlem, ham petrolün destilasyon kolonundan geçirilmesiyle değişik yoğunluktaki kısımlarına ayrılmasıdır.
- Destilasyon kolonunun tabanından tepesine doğru sıcaklık azaldığından en alt kısımda en ağır hidrokarbonlar, en üst kısımda da en hafif hidrokarbonlar buharlaşır.

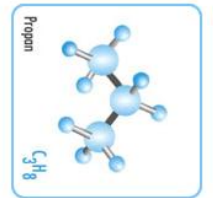
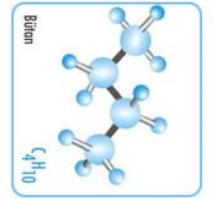


Rafinasyon sırasında ham petrolden 20-70°C ayrılan propan ve bütan gazları, kolayca sıvılaştırılabildikleri için geniş çapta kullanım alanına sahiptirler.

Bu sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) genellikle propan ve bütan gazı karışımı olarak, çelik tüplere doldurularak satılmaktadır.

## LPG

- ➔ LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı), ham petrolün destilasyonunun yanısıra doğal gazın ayrıştırılması sonrasında da 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.



**LPG**



- ➔ **LPG İlk tarafından 1910 yılında Dr. Walter Snelling üretildi.**
- ➔ **İlk ticari ürünler 1912 yılında ortaya çıktı.**



## LPG

- ➔ Petrol gazları normal koşullarda gaz halde olduklarından bu fazda depolanmaları ve taşınmaları maliyetlidir.
- ➔ Bu nedenle petrol gazları kapalı kaplar içerisinde ve basınç altında sıvılaştırılarak depolanır.
- ➔ Bütan ve propan gazları  $15^{\circ}\text{C}$  6 ile 8 atm gibi düşük basınçlar altında sıvılaştırılır.
- ➔ Bu suretle ince cidarlı kaplarda sıvı halde kolayca depolanabilir.
- ➔ Düşük basınçlar altında sıvılaştırılabildiklerinden işletme maliyetleri de düşüktür.
- ➔ Buna karşılık sıvı fazın viskozitesi düşük olduğundan sızıntı ihtimali yüksektir.



## LPG

- ➔ LPG sıvı halde sudan yaklaşık iki kat hafif, gaz halde havadan iki kat ağırdır.
- ➔ Gaz kaçağı olduğunda alta çöker. Aşağıdan süpürülerek tahliye edilmelidir.
- ➔ Bir litre LPG gaza dönüştüğünde ~300 litre yer kaplar.
- ➔ Isıl değeri 23.600 kcal/m<sup>3</sup>
- ➔ ~% 90 verimle yakılabilir,  
➔ ~24 kat hava ile yanar.
- ➔ Tutuşma sıcaklığı 530°C dir.

# LPG



- ➔ Normal şartlar altında ( $15^{\circ}\text{C}$  ve 1 atm basınçta) gaz fazında bulunan LPG, basınç uygulandığında sıvı faza geçer.
- ➔ Basınç kaldırıldığında tekrar gaz haline geri döner.
- ➔ LPG, sıvı fazda taşınabilmekte, ölçülebilmekte ve depolanabilir; gaz fazda ise tüketime sunulmaktadır.

# LPG'nin Özellikleri

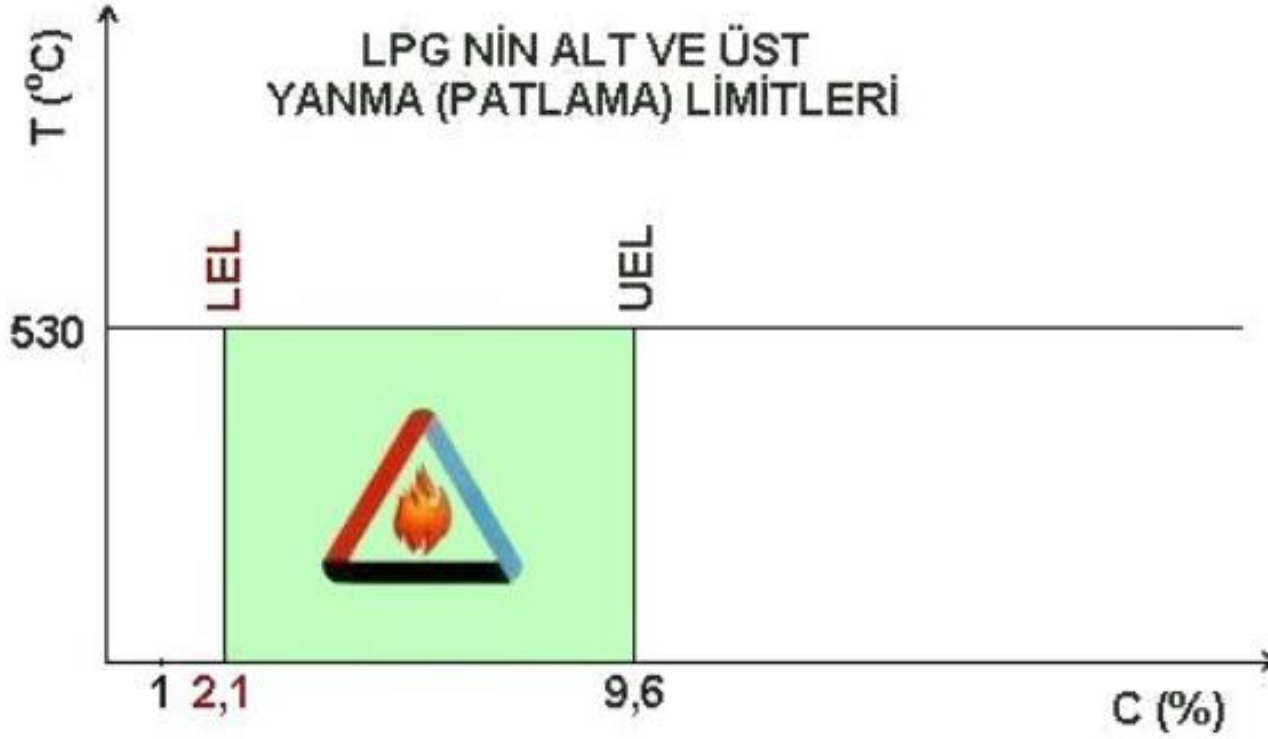


ÖZELLİK (SIVI)	DEĞERİ
Kaynama Noktası	-13°C
Erime Noktası	-154°C
Özgül Kütle (15°C)	0,56 kg/L
Üst Isıl Değer	11.798 kcal/kg
Alt Isıl Değer	10.965 kcal/kg

ÖZELLİK (GAZ)	DEĞERİ
Alev Sıcaklığı	2.000°C
Buhar Basıncı (20°C)	3,98 kg/cm <sup>2</sup>
Özgül Kütle (15°C)	2,28 kg/L
Üst Isıl Değer	26.899 kcal/kg
Alt Isıl Değer	25.000 kcal/kg

Patlama Limitleri:

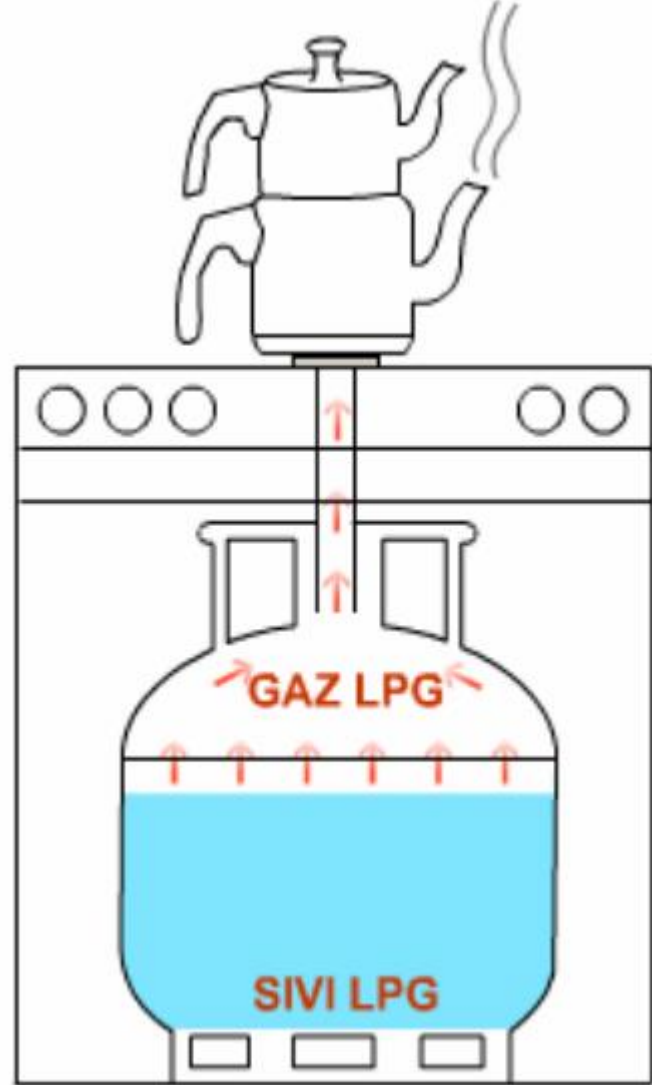
%2,1-%9.6



Alt Patlama Sınırı (LEL): % 2,1

Üst Patlama Sınırı (UEL): % 9,6 dır.

**LPG mükemmel yanma özellikleri depolama kolaylığı taşınabilir olması yüksek ısı değeri ve temiz bir yakıt olması ile ülkemizde giderek daha çok kullanılan bir yakıt türüdür.**



- İçerdiği enerji miktarı bakımından benzin ve dizel yakıtlarına oranla LPG'nin birim kütlesinin alt ısı 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 kütlesinin 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 gerçekleştirmektedir.
- Gerçek yakıt tüketimlerindeki artış teorik hesaplamalara oranla daha az olmaktadır





# LPG Depolama Sistemleri

- ➡ 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) tabii 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.



**Yerüstü tankları**

Yer altı tankları ise, kullanılan metoda göre kendi içinde 3 sınıfa ayrılmaktadır:

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



## Yer altı (örtülü) LPG depolama sistemleri

Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik'e göre yeraltına tamamen gömülen, üzerindeki toprak tabakası en az 60 cm olan ve yer üstünde de en az 10 cm'lik beton tabakası ile kapatılan tanklara yeraltı tankı denmektedir.

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

## **Tamamen toprak altında kalan LPG depolama sistemi**

Tankın üstü 15 ile 60 cm arasında toprak altında bulunmaktadır. Bağlantı nozülleri bir menhol üzerine toplanmıştır ve bu menhol çapında bir baca, işletme fonksiyonlarını sağlamak üzere toprağın üzerinde bulunmaktadır.

## **Örtülü toprak altı LPG depolama sistemleri**

Tank kısmen gömülmüş veya toprak üstünde sağlam zemine oturtulmuş olup, toprak dışındaki kısmı ve üstü dahil olmak üzere belirli kalınlıkta (50 cm) toprak veya başka bir yanmaz madde ile kaplanmıştır. Bu durumdaki tanklarda, işletme kolaylığı bakımından bütün bağlantılar genellikle tankın bir ucunda toplu bir şekilde bulunup açıkta durmaktadırlar.

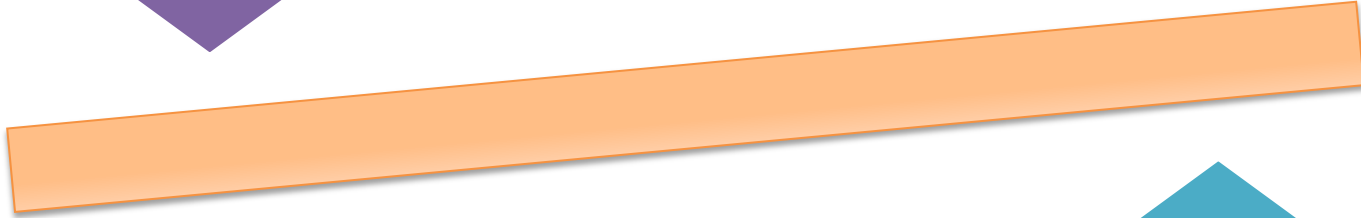
## **Kısmen açıkta toprak altı LPG depolama sistemleri**

Tankın bir kısmı gömülü olup toprak üstünde kalan kısım ise toprak veya başka yanmayan bir malzeme ile örtülü değildir. Aşağıdaki bilgiler aksi belirtilmedikçe her üç hal için de geçerlidir.

# Yeraltı Tanklarının Avantaj ve Dezavantajları



- \* Alan bakımından tasarruf sağlar
- \* Estetik açıdan daha muntazamdır
- \* Herhangi bir yangında alevlerden daha az etkilenir



- \* Maliyeti fazladır
- \* Periyodik kontrol açısından pratik değildir
- \* Sızıntı tespiti zordur

**DEZAVANTAJ**



# Yerüstü Tanklarının Avantaj ve Dezavantajları



**AVANTAJ**

- \* Maliyeti düşüktür
- \* Sızıntı tespiti kolaydır
- \* Periyodik kontrol açısından pratiktir.



**DEZAVANTAJ**

- \* Boya ve bakım giderleri maliyetlidir
- \* Duşlama ünitesi ekstra maliyet gerektirir

# **LPG Kaynaklı Yangın Tipleri**

- **JET YANGINI – BLEVE**
- **UVCE**



## **Sınırlandırılmayan Buhar Bulutu Patlaması**

UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion), atmosfere karışmış ve yanıcılık sınırları içinde olan gaz bulutunun, bir enerji kaynağı ile buluşması sonucu meydana gelen, patlama veya hızlı yanma ile sonuçlanan olaya verilen isimdir.

UVCE de bazen BLEVE kadar tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Hacim patlaması olarak da bilinen bu olay medya ve kamuoyunda 'gaz sıkışması sonucu patlama' gibi yanlış bir tabirle gündeme getirilmektedir.



**Amuay UCVE Olayı**  
**25 Ağustos 2012 (Cumartesi)**  
**Saat 01:10**

Disclaimer: RMG has developed the following material based on detailed analysis of information freely available on the net, our data bases, and from our industry contacts. We believe that an accurate event simulation and fact sheet has been developed, describing to the best of our knowledge the facts and consequences without warranties or judgments of any kind



**cat kraking ve koklaşma işlemleri ile olefin üretmektedir.**

**Olefinler, oktan iyileştirmede benzin katkısı olarak kullanılan alkilat üretmek için kullanılmaktadır. Olefinler, yüksek buhar basıncı ve düşük kaynama noktası nedeniyle küresel tanklarda depolanmaktadır.**



Mühendisler bir olefin pompasında sızıntı olduğunu bildirdi ... belki de bir pompa problemi ?

Wind

Olefin pompa  
sızıntısı günlerce  
sabitlenemedi.

AMUAY tesisi içinde yılın çoğu zamanı  
güçlü esen rüzgarlar vardır.

Bunlar tasarım anahtarı ve  
operasyonel faktörlerdir.



Olefin pompa sızıntısı günlerce sabitlenemedi.

Ekipman korumak ve üretimi sürdürmek için, sızan buharları dağıtmak için rüzgarın davranışına dayanan bir durum seçilmesi operasyonel karar gibi görünüyor

Böylece ağırlıkça 2% 'nin altındaki konsantrasyonlar (LEL) sağlanacaktır.



Wind

Sızıntı kaynağı

Önceki gün buhar sızıntı tesisin çevresine yayılmıştı

Ortamda izin verilen LEL (patlayıcı özelliği) aşan konsantrasyonlar tespit edildi

Cuma günü, komşu bir madeni yağ üretim tesisinin kötü hava durumu nedeniyle tahliye edilmesi gerekiyordu

Urbanización Los Jardines

Brisas del Valle

Urbanización Los Medanos

Wind

Sızıntı kaynağı

Cuma gecesi rüzgar yavaşlar.  
Olefin buharlarının dağılmasına  
Yardımcı olamadığı için buharlar  
birikmeye başlar.

Olayların trajik bir tesadüf olarak,  
Sızıntı aniden çok daha büyük olur

AP Proyectos

Brisas del Valle

Urbanización Los Medanos

Urbanización Los Jardines



Wind

Sızıntı kaynağı



Wind

çukur seviye/ patika

Sızıntı kaynağı

Düşük seviye/yol



AP Proyectos

Edif. Don Antonino

Calletera

Brisas del Valle

Urbanización Los Medanos

Urbanización Los Jardines

Kavimda Bolivar

Rüzgar

Sızıntı kaynağı

Düşük seviye/yol

Düşük seviye/yol



Wind

Sızıntı kaynağı





Wind

Sızıntı kaynağı

AP Proyectos

Avenida Bolívar

Edif. Don Antonino

Calle 10  
Calle 11  
Calle 12  
Calle 13  
Calle 14  
Calle 15  
Calle 16  
Calle 17  
Calle 18  
Calle 19  
Calle 20  
Calle 21  
Calle 22  
Calle 23  
Calle 24  
Calle 25  
Calle 26  
Calle 27  
Calle 28  
Calle 29  
Calle 30  
Calle 31  
Calle 32  
Calle 33  
Calle 34  
Calle 35  
Calle 36  
Calle 37  
Calle 38  
Calle 39  
Calle 40  
Calle 41  
Calle 42  
Calle 43  
Calle 44  
Calle 45  
Calle 46  
Calle 47  
Calle 48  
Calle 49  
Calle 50  
Calle 51  
Calle 52  
Calle 53  
Calle 54  
Calle 55  
Calle 56  
Calle 57  
Calle 58  
Calle 59  
Calle 60  
Calle 61  
Calle 62  
Calle 63  
Calle 64  
Calle 65  
Calle 66  
Calle 67  
Calle 68  
Calle 69  
Calle 70  
Calle 71  
Calle 72  
Calle 73  
Calle 74  
Calle 75  
Calle 76  
Calle 77  
Calle 78  
Calle 79  
Calle 80  
Calle 81  
Calle 82  
Calle 83  
Calle 84  
Calle 85  
Calle 86  
Calle 87  
Calle 88  
Calle 89  
Calle 90  
Calle 91  
Calle 92  
Calle 93  
Calle 94  
Calle 95  
Calle 96  
Calle 97  
Calle 98  
Calle 99  
Calle 100

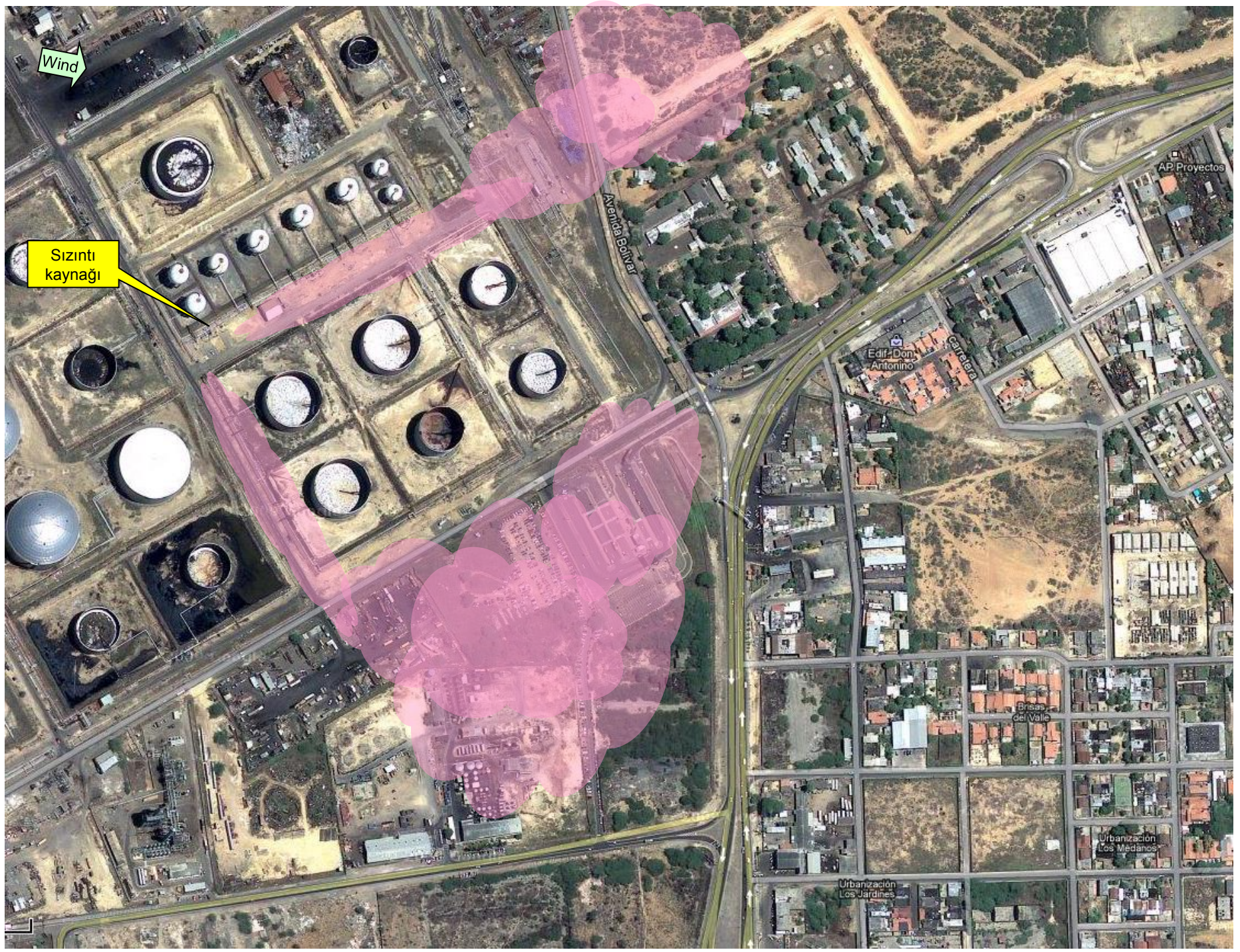
Brisas del Valle

Urbanización Los Medanos

Urbanización Los Jardines

Wind

Sızıntı kaynağı



AP Proyectos

Edif. Don Antonino

Callejón

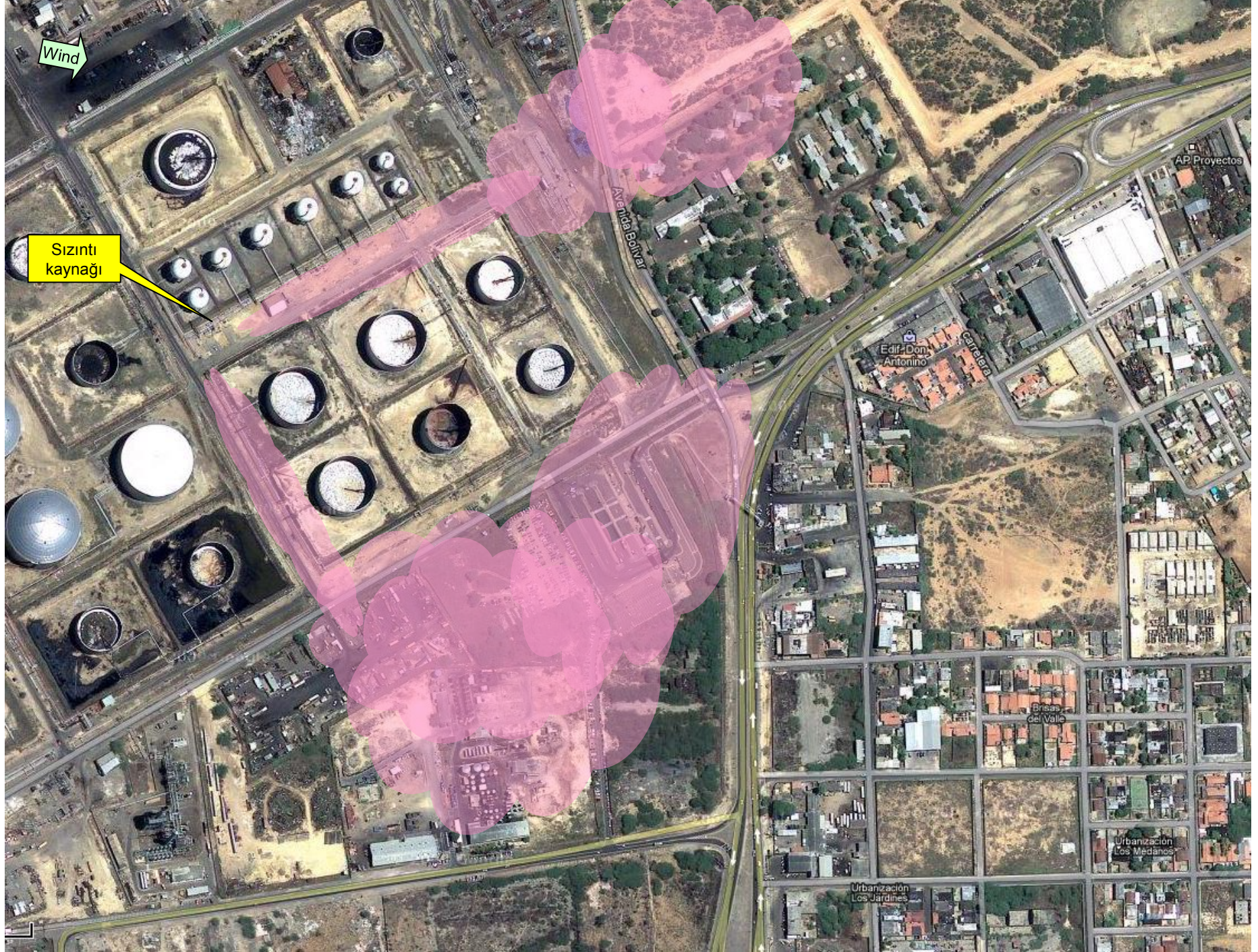
Brisas del Valle

Urbanización Los Jardines

Urbanización Los Jardines

Wind

Sızıntı kaynağı



Wind

Sızıntı kaynağı

Avenida Bolívar

Edif. Don Antonino

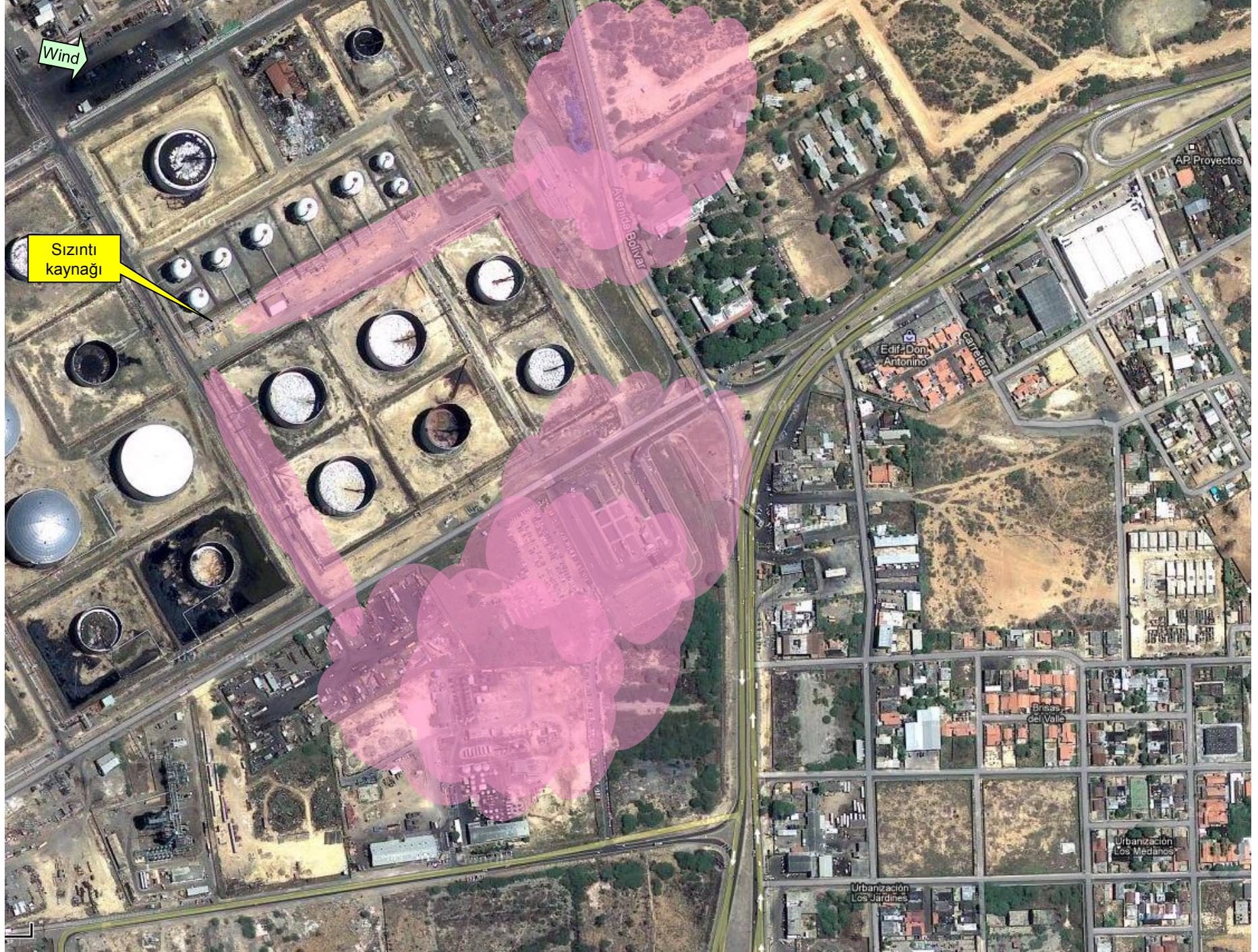
Calletera

Brisas del Valle

Urbanización Los Medanos

Urbanización Los Jardines

AP Proyectos



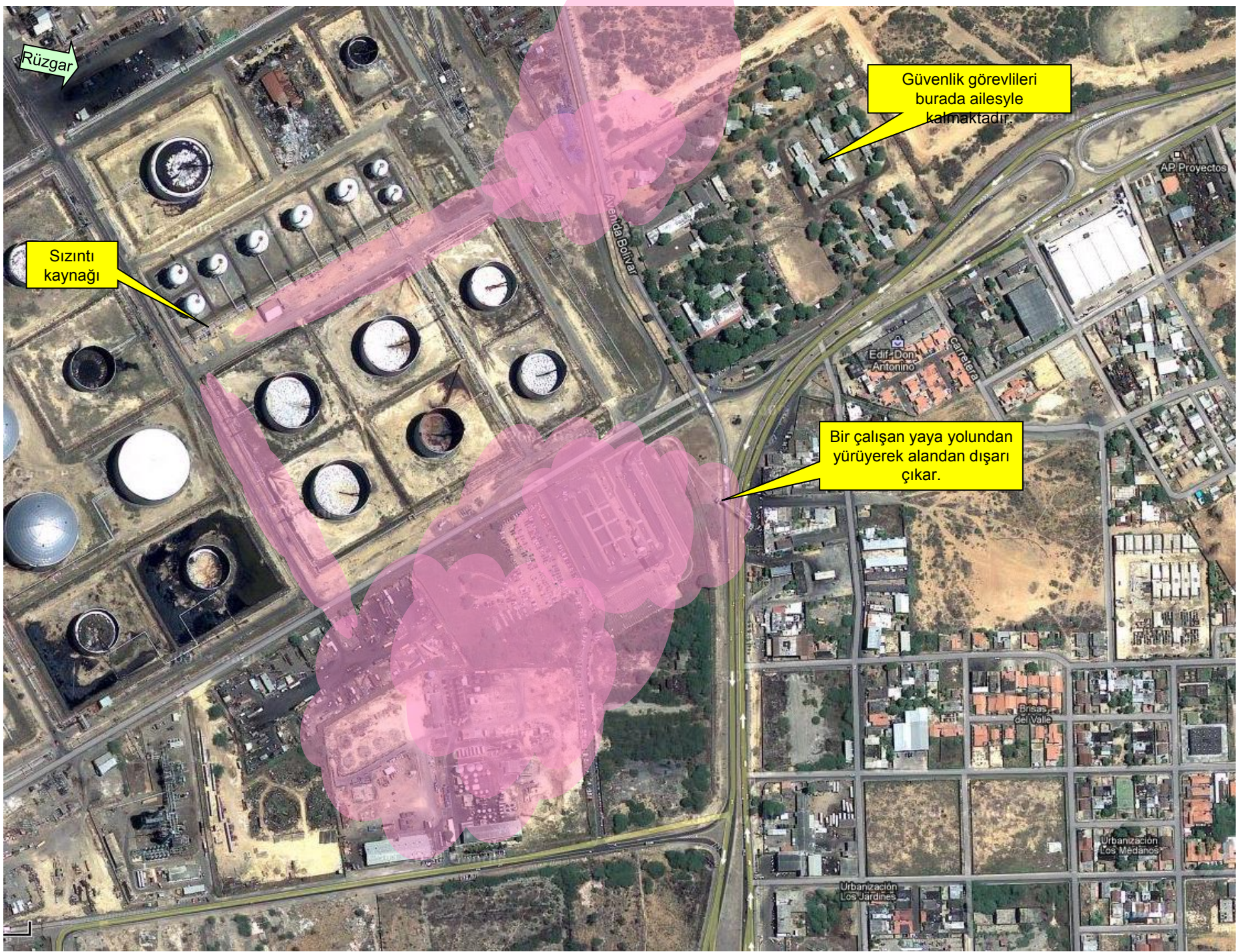


Rüzgar

Sızıntı kaynağı

Güvenlik görevlileri burada ailesyle kalmaktadır.

Bir çalışan yaya yolundan yürüyerek alandan dışarı çıkar.



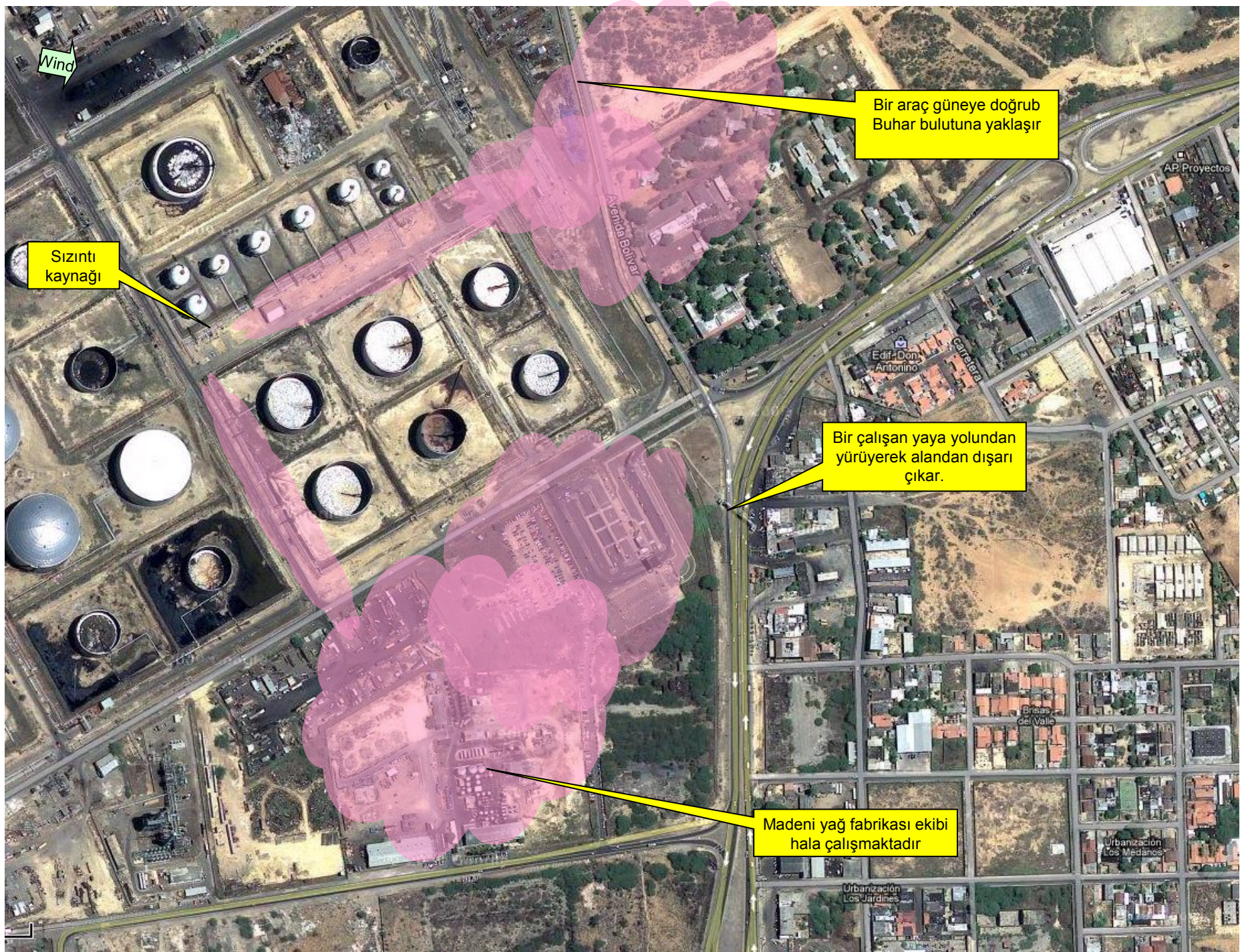
Wind

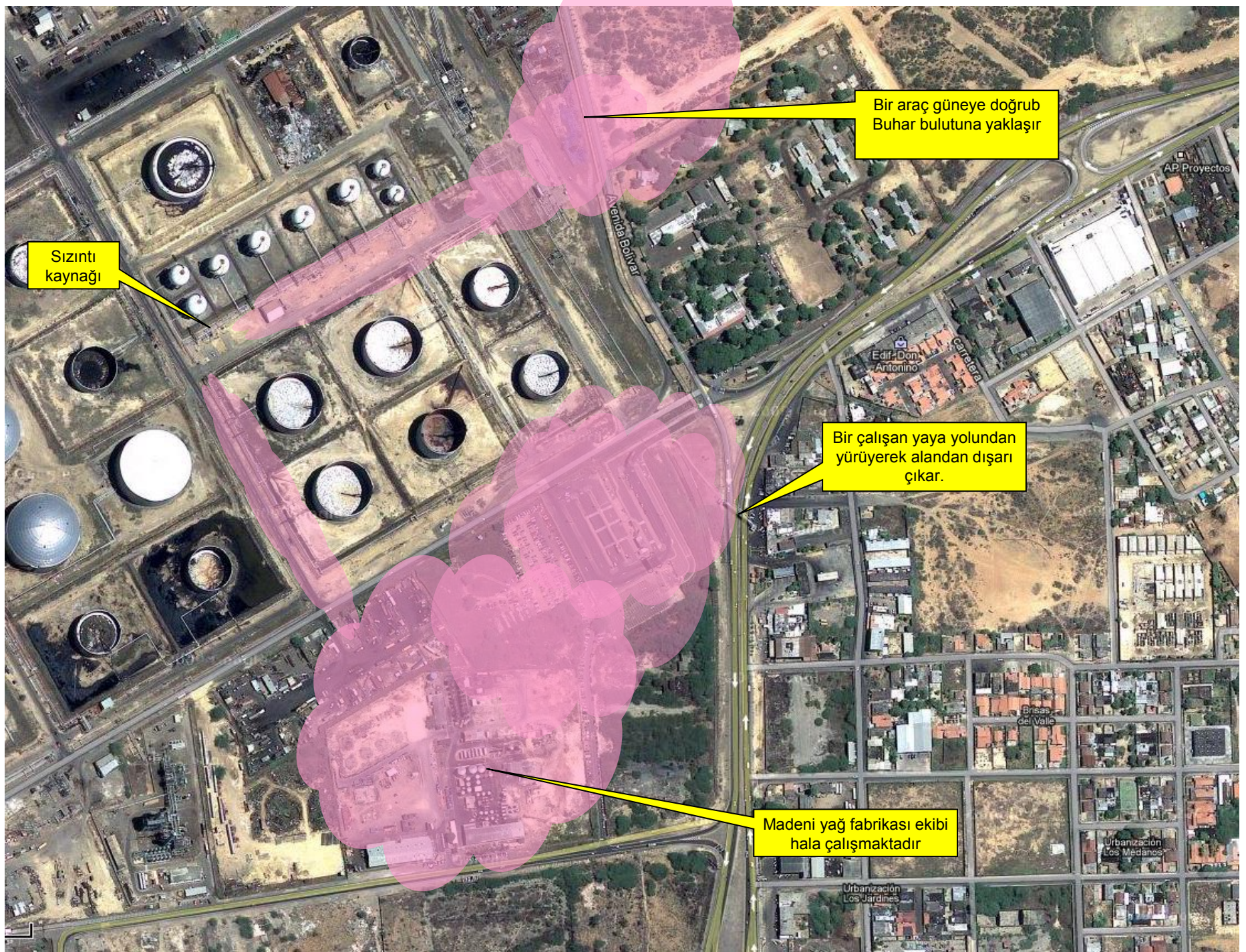
Sızıntı kaynağı

Bir araç güneye doğru  
Buhar bulutuna yaklaşır

Bir çalışan yaya yolundan  
yürüyerek alandan dışarı  
çıkıyor.

Madeni yağ fabrikası ekibi  
hala çalışmaktadır





Sızıntı kaynağı

Bir araç güneye doğru buhar bulutuna yaklaşır

Bir çalışan yaya yolundan yürüyerek alandan dışarı çıkar.

Madeni yağ fabrikası ekibi hala çalışmaktadır

Kentde Bolívar

Edif. Don Antonino

Calletera

Brisas del Valle

Urbanización Los Medanos

Urbanización Los Jardines

AP Proyectos

Wind

Sızıntı kaynağı, şimdi ateşlendi, sonraki fotoğraflarda görülebilir

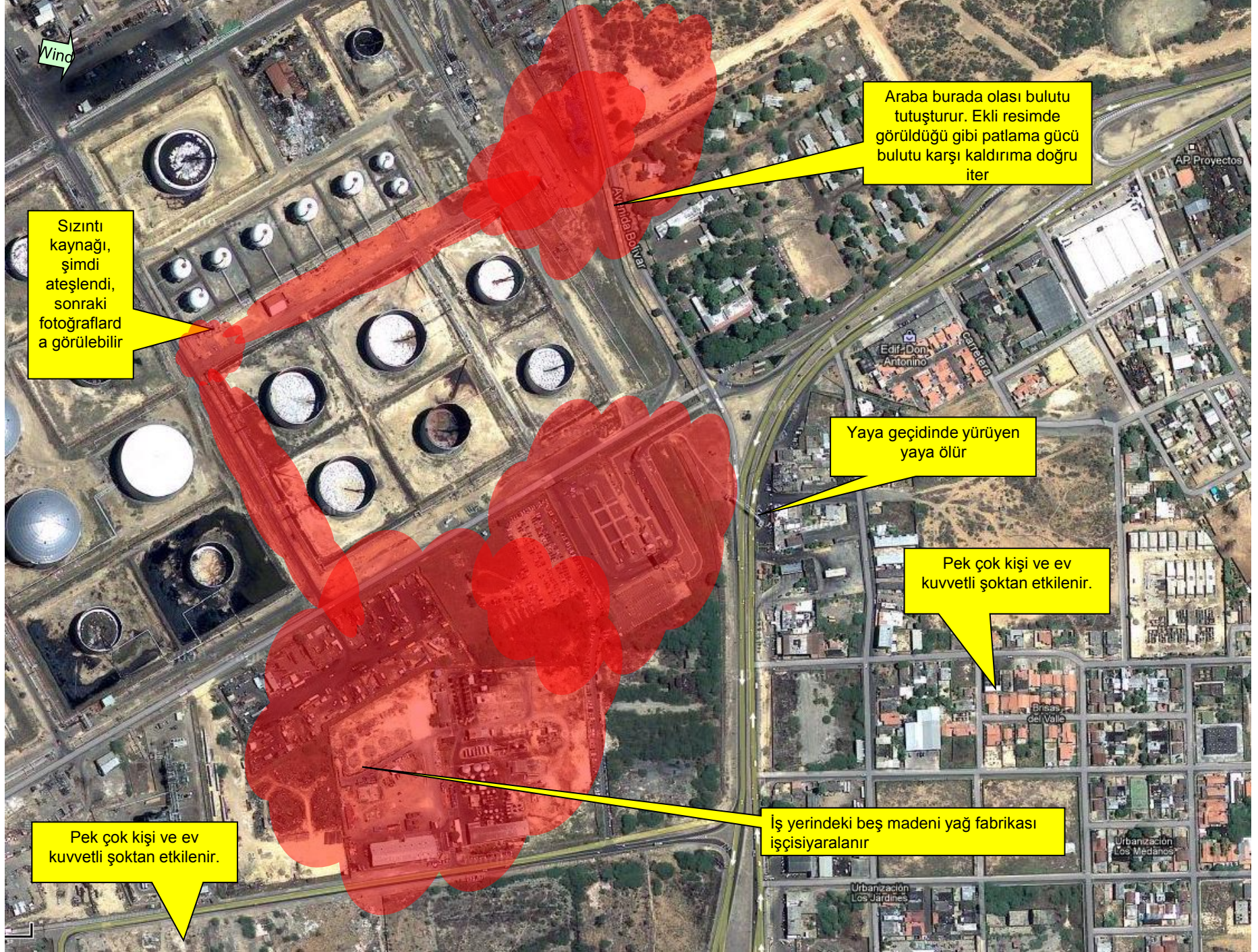
Araba burada olası bulutu tutuşturur. Ekli resimde görüldüğü gibi patlama gücü bulutu karşı kaldırma doğru iter

Yaya geçidinde yürüyen yaya ölür

Pek çok kişi ve ev kuvvetli şoktan etkilenir.

Pek çok kişi ve ev kuvvetli şoktan etkilenir.

İş yerindeki beş madeni yağ fabrikası işçisiyaranılır





**Olefin pompaları  
bölümü**



**Olefin  
pompaları  
bölümü**



Rüzgar

Resim 1 deki ev

Resim 3

Resim 2

Resim 4

Madeni yağ Fb. Resim 5

Madeni yağ Fb. Resim 6

Kemalpaşa Bulvarı

Edif. Don Antonino

Callejón

Brisas del Valle

Urbanización Los Medanos

Urbanización Los Jardines

AP Proyectos





1



2



3





5



6



**Ekipman korumak ve üretimi sürdürmek için,  
sızan buharları dağıtmak için rüzgarın davranışına dayanan  
bir durum seçilmesi zayıf operasyonel karardır.**

**51 kişi yanarak öldü...**

## **BLEVE**

Etrafa yayılan propanın alev almasıyla bir başka tankın bağlantı noktasında Jet fire tipi bir yangın başlatır.

Jet fire sonucu tank kendi kendini ısıtır ve ayrıca komşu tanktaki yangından kaynaklı radyasyon ve konveksiyon yoluyla aşırı derecede ısıtır. Böylece tanktaki propanın buhar basıncı çok artar.

Tanktaki tahliye açıklıkları bu basıncı boşaltmaya yetmez ve ardından BLEVE meydana gelir.

LPG gibi yanıcı maddelerde şiddetli buhar bulutu parlamasıyla meydana gelen bu olay BLEVE olarak adlandırılmaktadır. Bu olay sonucu, tank parçaları kilometrelerce uzağa kadar dağılabilir.



- Sızıntı kapalı bir tankta meydana gelmiş ise yanma giderek tankı ısıtır ve tank içinde ısınarak kaynamaya başlayan sıvı tank basıncını yenerek tankı yırtar ve patlama ile birlikte **BLEVE** olayı gerçekleşir.



**Bleve gerçekleşmesi**

# BLEVENİN MEYDANA GELMESİ





# Büyük LPG Kazaları

- 23 Temmuz 1978 - Romeoville (Illinois-ABD)
  - Tanktan propan sızıntısı, 17 ölü, 2km'lik alan
- 19 Kasım 1984 - Mexico City (Meksika)
  - 500 ölü, 4000 yaralı
- 27 Haziran 1993 – Quebec (Kanada)
  - Propan tank patlaması, 4 ölü
- 15 Mart 1996 - Paese (Treviso-İtalya)
  - Propan sızıntısı, 2 ölü, 15 yaralı, 300m'lik alan

# Büyük LPG Kazaları

- 2 Ekim 1997 - Burnside (Illinois-ABD)
  - Propan tank patlaması, 2 ölü, 2 yaralı
- 9 Nisan 1998 - Albert City (Indiana-ABD)
  - Boru hattına kamyon çarpması, 2 ölü, 7 yaralı
- 1999 yılında Dörtüol Bizimgaz Tesisi
  - 3 adet tank BLEVE patlaması sonucu yok olmuş, 2 ölü
- 2002 yılında Yarımca Akçagaz Tesisi
  - Tesis tümüyle yanmış, 1 ölü

# KAYNAYAN SIVI GENLEŞEN BUHAR PATLAMASI (BLEVE) PATLAMASI



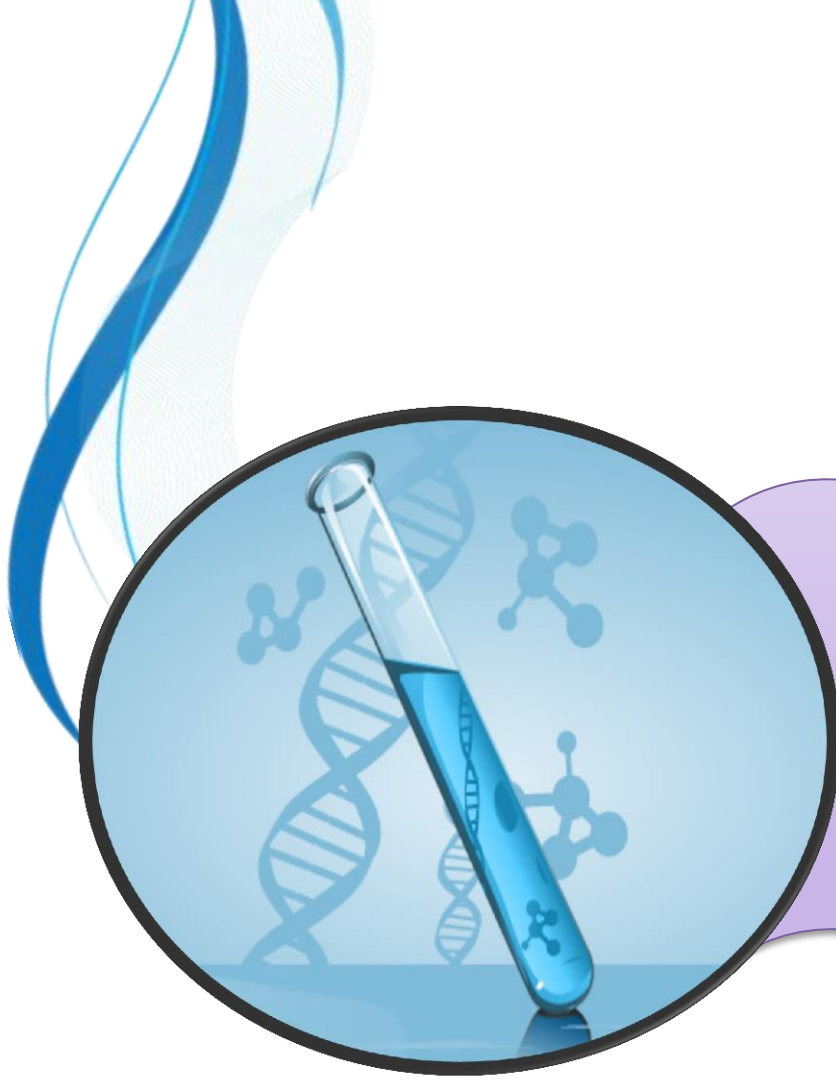
# KAYNAYAN SIVI GENLEŞEN BUHAR PATLAMASI (BLEVE) PATLAMASI











# DENEYSEL ÇALIŞMALAR

- Bir LPG tankında meydana gelebilecek bir yangının hangi çapta ne kadar etkili olduğu ALOHA 5.4.1.2 programı kullanılarak hesaplanmıştır.

- Hava Sıcaklığı
- Rüzgar Hızı ve
- Tankın Doluluk Oranı

- Farklı şartlar için hesaplanan tehlike bölgesi değerleri merkezi bileşik deneysel tasarım metodu kullanılarak modellenmiştir.

# Kullanılan Veriler

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

**ALOHA 5.4.1.3**  
**(Areal Locations of Hazardous Atmospheres)**

**Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA)**  
**Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi (NOAA)**

- Kimyasalların yayılımının modellenmesi
- Zehirli ve yanıcı maddelerin serbest kalma anındaki tehlike mesafelerinin hesaplanması
- Yanıcı maddelerin yanma/patlama anındaki etki alanlarının hesaplanması

ALOHA programı, Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi (NOAA) tarafından kimyasalların yayılımını modellemek için geliştirilmiş bir yazılımdır .

ALOHA programı ayrıca zehirli ve yanıcı maddelerin serbest kalma anındaki tehlike mesafelerini ve yanıcı maddelerin yanma/patlama anındaki etki alanlarını hesaplar. Program, açığa çıkan kimyasal maddelerin özelliklerini kullanarak gerçek zamanlı modeller oluşturur.

ALOHA programı 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 2 tip dağılım modeli içerir.

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.

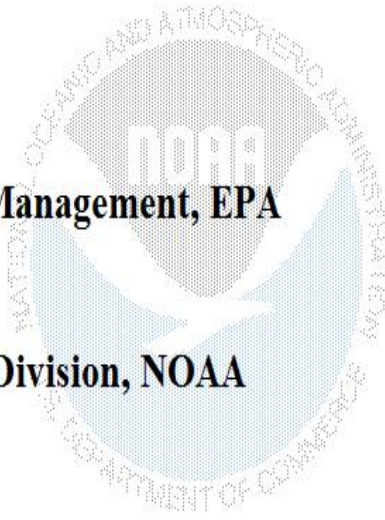
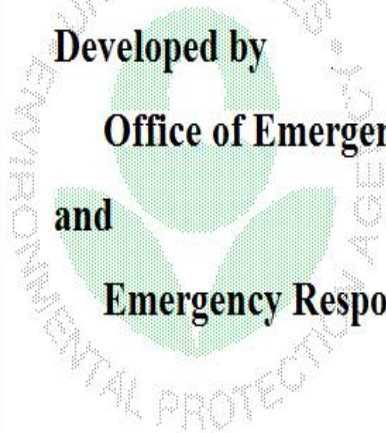
# **ALOHA 5.4.1.3**

## **Programının Kullanımı**

- T: 17,5 °C
- Rüzgar hızı: 16 m/sn
- Tank Doluluk Oranı: % 80



**ALOHA® 5.4.1.2**  
**Developed by**  
**Office of Emergency Management, EPA**  
**and**  
**Emergency Response Division, NOAA**



**Text Summary**

**SITE DATA:**  
Location: Please select your location  
Building: unsheltered single storied  
Time: July 6, 2011 1204 hours DST (us

**CHEMICAL DATA:** - (SELECT CHEMICAL)

**ATMOSPHERIC DATA:** - (SELECT ATMOSPHERIC)

**Location Information**

- ISTANBUL, TURKEY
- ITHACA, NEW YORK
- JACKSON, MISSISSIPPI
- JACKSONVILLE, FLORIDA
- JANESVILLE, WISCONSIN
- JEFFERSON CITY, MISSOURI
- JERSEY CITY, NEW JERSEY
- JESUP, IOWA
- JONESBORO, GEORGIA
- JUNEAU, ALASKA
- KALAMAZOO, MICHIGAN
- KANKAKEE, ILLINOIS
- KANSAS CITY, KANSAS
- KANSAS CITY, MISSOURI
- KEENE, NEW HAMPSHIRE

Select  
Cancel  
Add  
Modify  
Delete  
Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
Location: ISTANBUL, TURKEY  
Building: unsheltered single storie  
Time: July 6, 2011 1211 hours ST (

**CHEMICAL DATA:** - (SELECT CHEMICAL)

**ATMOSPHERIC DATA:** - (SELECT ATMOSPHERIC)

Chemical Information

View:  Pure Chemicals  
 Solutions

- BETA-PICOLINE
- ALPHA-PINENE
- PIPERIDINE
- PROPADIENE
- PROPANE**
- N-PROPANOLAMINE
- N-PROPANOL
- PROPARGYL ALCOHOL
- BETA-PROPIOLACTONE
- PROPIONALDEHYDE
- PROPIONIC ACID
- PROPIONIC ANHYDRIDE
- PROPIONITRILE

Select  
Cancel  
Add  
Modify  
Delete  
Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
 Location: ISTANBUL, TURKEY  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.0  
 Time: July 6, 2011 1337 hours ST (C)

**CHEMICAL DATA:**  
 Chemical Name: PROPANE  
 TEEL-1: 5500 ppm TEEL-2: 17000 ppm  
 IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm  
 Ambient Boiling Point: -42.4° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 10.3 kPa  
 Ambient Saturation Concentration: 10.3 ppm

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**  
 Wind: 5 meters/second from S at 3 m  
 Ground Roughness: open country  
 Air Temperature: 20° C  
 No Inversion Height



**SOURCE STRENGTH: - (SELECT SOURCE)**

### Atmospheric Options

Wind Speed is :   knots  mph  meters/sec

Wind is from :  Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is:

   OR  enter value :   feet  meters




---

Ground Roughness is :

Open Country  
 Urban or Forest OR  Input Roughness [Z<sub>0</sub>]:  
 Open Water

---

Select Cloud Cover :

OR  enter value :  (0 - 10)

complete cover      partly cloudy      clear

Empty text area for output or notes.

**Text Summary**

**SITE DATA:**  
Location: İSTANBUL, TURKEY  
Building: unsheltered single stor  
Time: December 27, 2011 0043 hour

**CHEMICAL DATA:**  
Chemical Name: PROPANE  
TEEL-1: 5500 ppm TEEL-2: 17000 p  
IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm  
Ambient Boiling Point: -42.4° C  
Freezing Point: -187.7° C

**ATMOSPHERIC DATA:** - (SELECT ATMOSP

**Atmospheric Options 2**

Air Temperature is:  Degrees  F  C




Stability Class is:   A  B  C  D  E  F

Inversion Height Options are:

No Inversion  Inversion Present, Height is:   feet  meters

---

Select Humidity:

     OR  enter value:  %  
(0 - 100)

**Text Summary**

**SITE DATA:**  
 Location: ISTANBUL, TURKEY  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1  
 Time: July 6, 2011 14:18 hours

**CHEMICAL DATA:**  
 Chemical Name: PROPANE  
 TEEL-1: 5500 ppm TEEL-2: 17000 ppm  
 IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm  
 Ambient Boiling Point: -42.4°C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 12.75 psi  
 Ambient Saturation Concentration: 11.5 g/m³

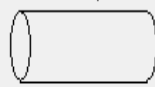
**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT)**  
 Wind: 16 meters/second from S  
 Ground Roughness: open country  
 Air Temperature: 17.5° C  
 No Inversion Height

**SOURCE STRENGTH: - (SELECT SOURCE)**


**Tank Size and Orientation**

Select tank type and orientation:

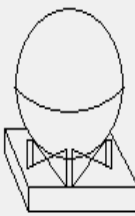
Horizontal cylinder



Vertical cylinder

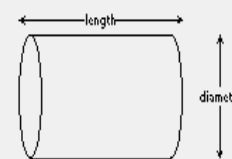


Sphere



---

Enter two of three values:



diameter

length

volume

feet  meters

liters  cu meters

**Text Summary**

**SITE DATA:**  
 Location: ISTANBUL, TURKEY  
 Building Air Exchanges Per Hour: [blank]  
 Time: July 6, 2011 14:18 hours

**CHEMICAL DATA:**  
 Chemical Name: PROPANE  
 TEEL-1: 5500 ppm TEEL-2: 17000 ppm  
 IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm  
 Ambient Boiling Point: -42.4°C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: [blank]  
 Ambient Saturation Concentration: [blank]

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT)**  
 Wind: 16 meters/second from S  
 Ground Roughness: open country  
 Air Temperature: 17.5°C  
 No Inversion Height

**SOURCE STRENGTH: - (SELECT SOURCE)**

**Liquid Mass or Volume**

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: 
 pounds  
 tons(2,000 lbs)  
 kilograms

\_\_\_\_\_ OR \_\_\_\_\_

Enter liquid level OR volume

gallons  
 cubic feet  
 liters  
 cubic meters

% full by volume

OK Cancel Help

**Text Summary**

**SITE DATA:**  
 Location: ISTANBUL, TURKEY  
 Building Air Exchanges Per Hour:  
 Time: July 6, 2011 1418 hours

**CHEMICAL DATA:**  
 Chemical Name: PROPANE  
 TEEL-1: 5500 ppm TEEL-2: 1700  
 IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm  
 Ambient Boiling Point: -42.4° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature:  
 Ambient Saturation Concentration:

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OR MEASUREMENT)**  
 Wind: 16 meters/second from S at  
 Ground Roughness: open country  
 Air Temperature: 17.5° C  
 No Inversion Height

**SOURCE STRENGTH: - (SELECT SOURCE)**

**Type of Tank Failure**

Scenario:  
 Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

- Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere
- Leaking tank, chemical is burning as a jet fire
- BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

Potential hazards from chemical which is burning as it leaks from tank:

- Thermal radiation from jet fire
- BLEVE  
(if heat causes the tank to fail)
- Downwind toxic effects of fire byproducts  
(cannot be modeled by ALOHA)

OK Cancel Help





**Text Summary**

**SITE DATA:**  
 Location: ISTANBUL, TURKEY  
 Building Air Exchanges Per Hour: 3.33 ( )  
 Time: July 6, 2011 1418 hours ST (using )


**CHEMICAL DATA:**  
 Chemical Name: PROPANE  
 TEEL-1: 5500 ppm TEEL-2: 17000 ppm  
 IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm  
 Ambient Boiling Point: -42.4° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature:  
 Ambient Saturation Concentration: 1,000

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**  
 Wind: 16 meters/second from S at 3 meters  
 Ground Roughness: open country  
 Air Temperature: 17.5° C  
 No Inversion Height

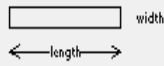
**SOURCE STRENGTH: - (SELECT SOURCE)**

**Area and Type of Leak**

Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting



Circular opening



Rectangular opening

---

Opening diameter:

inches

feet

centimeters

meters

---

Is leak through a hole or short pipe/valve?

Hole

Short pipe/valve

OK

Cancel

Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
Location: ISTANBUL, TURKEY  
Building Air Exchanges Per Hour: 3.33 (unsheltered single storied)  
Time: July 6, 2011 1418 hours

**CHEMICAL DATA:**  
Chemical Name: PROPANE  
TEEL-1: 5500 ppm TEEL-2: 17000 ppm  
IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm  
Ambient Boiling Point: -42.4° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 10.0 bar  
Ambient Saturation Concentration: 10000 ppm

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT)**  
Wind: 16 meters/second from S a  
Ground Roughness: open country  
Air Temperature: 17.5° C  
No Inversion Height

**SOURCE STRENGTH:**  
Leak from hole in horizontal cy  
Flammable chemical is burning a  
Tank Diameter: 3 meters  
Tank Volume: 115 cubic meters  
Tank contains liquid  
Chemical Mass in Tank: 51.2 ton  
Circular Opening Diameter: 15 c  
Opening is 3.00 meters from tan  
Max Flame Length: 81 meters  
Max Burn Rate: 15,200 kilograms  
Total Amount Burned: 41,803 kil  
Note: The chemical escaped from

Thermal Radiation Level of Concern

Select Thermal Radiation Level of Concern:

Red Threat Zone  
LOC: 10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec

Orange Threat Zone  
LOC: 5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec

Yellow Threat Zone  
LOC: 2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec

OK Cancel Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
 Location: İSTANBUL, TURKEY  
 Building Air Exchanges Per Hour: 3.33 (unsheltered single storied)  
 Time: December 27, 2011 0045 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**  
 Chemical Name: PROPANE                      Molecular Weight: 44.10 g/mol  
 TEEL-1: 5500 ppm    TEEL-2: 17000 ppm    TEEL-3: 33000 ppm  
 IDLH: 2100 ppm    LEL: 20000 ppm    UEL: 95000 ppm  
 Ambient Boiling Point: -42.4° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**  
 Wind: 16 meters/second from S at 3 meters  
 Ground Roughness: open country              Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 17.5° C                      Stability Class: D  
 No Inversion Height                              Relative Humidity: 60%

**SOURCE STRENGTH:**  
 Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
 Flammable chemical is burning as it escapes from tank  
 Tank Diameter: 3 meters                      Tank Length: 16.2 meters  
 Tank Volume: 115 cubic meters  
 Tank contains liquid                              Internal Temperature: 17.5° C  
 Chemical Mass in Tank: 51.2 tons              Tank is 80% full  
 Circular Opening Diameter: 15 centimeters  
 Opening is 3.00 meters from tank bottom  
 Max Flame Length: 81 meters                  Burn Duration: 7 minutes  
 Max Burn Rate: 15,200 kilograms/min  
 Total Amount Burned: 41,803 kilograms  
 Note: The chemical escaped from the tank and burned as a jet fire.

**THREAT ZONE:**  
 Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire  
 Red : 144 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)  
 Orange: 198 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)  
 Yellow: 298 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)

Önemli adımlardan birisi de meydana gelebilecek bir sızıntı durumunda ne tür bir yanma reaksiyonunun gerçekleşeceğinin belirlenmesidir.

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.

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.

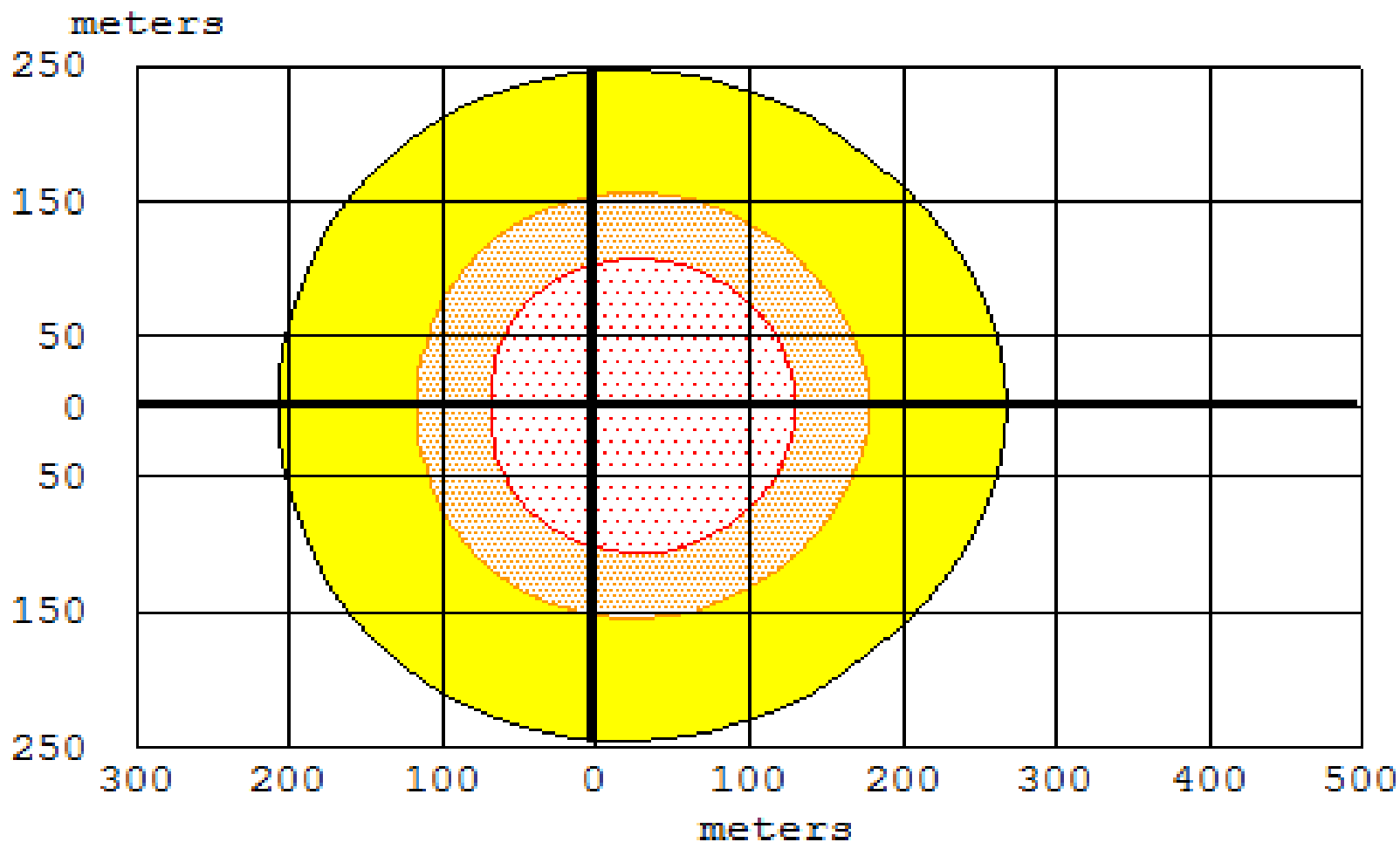
Bu durum genelde tanktan sızıntıyla başlayan "Jet fire" tipi bir yangın sonrası tankın kendi kendini ısıtması veya yakındaki başka bir tankta meydana gelen bir yangının ışıma ve konveksiyon yoluyla o tankı ısıtması sonucu gerçekleşir. Bu nedenle bu çalışmada öncelikli olarak sızıntı noktasında yanma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




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.

En tehlikeli bölge kırmızı, en az tehlikeli bölge ise sarı bölgedir. Kırmızı tehlike bölgesi termal radyasyonun 10 kW/m<sup>2</sup>'nin üzerinde olduğu ve 60 saniye maruz kalındığında ölümlerle sonuçlanan bölgedir.

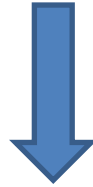
Turuncu tehlike bölgesinde termal radyasyon 5-10 kW/m<sup>2</sup> arasındadır ve 60 saniyelik maruziyet ikinci derecede yanık riski taşır. Termal radyasyonun 2-5 kW/m<sup>2</sup> arasında olduğu sarı tehlike bölgesinde ise 60 saniye içinde yanık oluşma riski vardır.



-   $\geq 10.0 \text{ kW/ (sq m)}$  = potentially lethal within 60 sec
-   $\geq 5.0 \text{ kW/ (sq m)}$  = 2nd degree burns within 60 sec
-   $\geq 2.0 \text{ kW/ (sq m)}$  = pain within 60 sec

# Deneysel Tasarım

AMAÇ



- Minimum deney sayısı ile maksimum bilgi
- Daha az deney, malzeme ve zamandan tasarruf



# **Deneyisel Tasarım**

- Tam Faktöriyel ve Kısmi Faktöriyel Tasarım
- Box-Behnken Tasarımı
- Üç Seviyeli Faktöriyel Tasarım

# Merkezi Bileşik Tasarım

Box ve Wilson tarafından 1951 yılında geliştirilmiş olan merkezi bileşik tasarım yöntemi, daha sonra Box ve Hunter tarafından geliştirilmiştir.

Merkezi bileşik tasarım deneyleri üç ayrı bölümden oluşur;

- i) -1 ve +1 olarak kodlanmış tam faktöriyel tasarım deneyleri
- ii) merkezden eşit uzaklıktaki aksenel noktalardaki deneyler
- iii) deneysel hataları belirlemek amacıyla merkez noktada yapılan tekrar deneyleri.

# Cevap Yüzey Analizi

- Cevap Yüzey Analizi, tek bir değişkenin tek seferde incelenmesiyle tanımlanmaya çalışıldığı yöntemlere alternatif olarak, önemli avantajlara sahip olan çok değişkenli bir yöntemdir.
- Tek değişkenli yöntemde bağımsız parametreler arasındaki etkileşimler incelenemezken Cevap Yüzey Analizinde bağımsız parametreler arasındaki etkileşimin cevap üzerindeki etkisini gözlemlemek mümkündür.

# Model Denklemler

Üç değişkenli ikinci dereceden bir model denklem

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

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

# Model Denklemler

- Elde edilen model denklemlerin uygunluk dereceleri korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) ve % hata değerleri kullanılarak araştırılmıştır.
- Korelasyon katsayılarınının 1'e yakın, % hata değerlerinin ise 0'a yakın olması model denklemlerin uygunluğunu göstermektedir.

# Merkezi Bileşik Tasarımın Seçilen Verilere Uygulanması

- 3 faktör 5 seviye
- 20 deneme
- İki farklı senaryo (Jet fire ve BLEVE)
- Üç farklı tehlike bölgesi
  - Tehlike Bölgesi 1: Kırmızı
  - Tehlike Bölgesi 2: Turuncu
  - Tehlike Bölgesi 3: Sarı
- Design Expert

**TEK BİR  
MODEL  
DENKLEM**

## Merkezi bileşik tasarım için kodlar ve gerçek değerler

Kodlar	$x_1$ (T, °C)	$x_2$ (Rüzgar Hızı, m/s)	$x_3$ (Tank Doluluk Oranı, %)
-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 Tasarımın Deneysel Verilere Uygulanması

<i>Kodlar</i>	$x_1$ ( $T$ , °C)	$x_2$ (Rüzgar Hızı, $m/sn$ )	$x_3$ (Tank Doluluk Oranı, %)
-2	-15	4	20
-1	1,25	7	35
0	17,5	10	50
+1	33,75	13	65
+2	50	16	80

$$x_1 = \frac{T - 17,5}{16,25}$$

$$x_2 = \frac{RH - 10}{3}$$

$$x_3 = \frac{TDO - 0,5}{0,15}$$



# **“Jet fire” Durumu İçin Merkezi Bileşik Tasarım ile elde Edilen Sonuçlar**

<i>Deneme</i>	<i>X<sub>1</sub> (T, °C)</i>	<i>X<sub>2</sub> (Rüzgar Hızı, m/sn)</i>	<i>X<sub>3</sub> (Tankın Doluluk Oranı, %)</i>	<i>Tehlike Bölgesi1 (r,m)</i>	<i>Tehlike Bölgesi2 (r,m)</i>	<i>Tehlike Bölgesi3 (r,m)</i>
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
8	0 (17,5)	0 (10)	-2 (20)	<b>101</b>	<b>138</b>	<b>212</b>
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)	<b>136</b>	<b>188</b>	<b>287</b>
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
18	-1 (1,25)	-1 (7)	-1 (35)	103	144	220
20	1 (33,75)	1 (13)	1 (65)	139	190	290

# **BLEVE Durumu İçin Merkezi Bileşik Tasarım ile elde Edilen Sonuçlar**

<i>Deneme</i>	<i>X<sub>1</sub> (T, °C)</i>	<i>X<sub>2</sub> (Rüzgar Hızı, m/s)</i>	<i>X<sub>3</sub> (Tankın Doluluk Oranı, %)</i>	<i>Tehlike Bölgesi1 (r,m)</i>	<i>Tehlike Bölgesi2 (r,m)</i>	<i>Tehlike Bölgesi3 (r,m)</i>
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
8	0 (17,5)	0 (10)	-2 (20)	<b>315</b>	<b>444</b>	<b>693</b>
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)	<b>471</b>	<b>665</b>	<b>1000</b>
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
18	-1 (1,25)	-1 (7)	-1 (35)	389	550	858
20	1 (33,75)	1 (13)	1 (65)	415	586	913



**DENEYSEL  
ÇALIŞMALARIN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

# “Jet Fire” Durumu İçin Model Denklemler

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

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

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

<b>Korelasyon Katsayıları (R<sup>2</sup>)</b>	
Tehlike Bölgesi 1	0,9981
Tehlike Bölgesi 2	0,9968
Tehlike Bölgesi 3	0,9976

Güvenilirlik düzeyi: %99,9

# **“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	<b>0,06</b>	169	169,05	<b>0,03</b>	259	259,00	<b>0,00</b>
-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	-2	101	101,83	0,82	138	139,37	<b>0,99</b>	212	213,40	0,66
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	<b>0,78</b>
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	183,5	0,27	279	280,82	0,65

	<b>Min Hata (%)</b>	<b>Max. Hata (%)</b>	<b>Ort. Hata (%)</b>
Tehlike Bölgesi 1	0,06	0,99	0,29
Tehlike Bölgesi 2	0,03	0,99	0,38
Tehlike Bölgesi 3	0,00	0,78	0,32

# BLEVE Durumu İçin Model Denklemler

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

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

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

<b>Korelasyon Katsayıları (R<sup>2</sup>)</b>	
Tehlike Bölgesi 1	0,9995
Tehlike Bölgesi 2	0,9994
Tehlike Bölgesi 3	0,9981

Güvenilirlik düzeyi: %99,9

# **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	<b>0,01</b>	577	577,11	<b>0,02</b>	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	<b>0,73</b>
-1	1	1	471	472,11	0,24	665	666,54	0,23	1000	1006,40	0,64
0	0	-2	315	317,13	<b>0,68</b>	444	447,33	<b>0,75</b>	693	696,46	0,50
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	586,7	0,13	913	913,14	<b>0,03</b>

	<b>Min Hata (%)</b>	<b>Max. Hata (%)</b>	<b>Ort. Hata (%)</b>
Tehlike Bölgesi 1	0,01	0,68	0,17
Tehlike Bölgesi 2	0,02	0,75	0,19
Tehlike Bölgesi 3	0,02	0,73	0,29

# 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.



**“Jet fire”  
Elde Edilen Model  
Denklemlerin Kontrol  
Deneyleri ile Karşılaştırılması**

			Tehlike Bölgesi1 (r,m)			Tehlike Bölgesi2(r,m)			Tehlike Bölgesi3 (r,m)		
<i>T</i> (°C)	<i>Rüzgar Hızı</i> (m/s)	<i>Tank Doluluk Oranı (%)</i>	<i>ALOH A</i>	<i>Model</i>	<i>Hata (%)</i>	<i>ALOH A</i>	<i>Model</i>	<i>Hata (%)</i>	<i>ALOHA</i>	<i>Model</i>	<i>Hata (%)</i>
29,69	12,25	61,25	136	135,9 1	0,07	184	185,92	1,04	283	283,5 3	0,19
5,31	7,75	38,75	108	107,6 8	0,30	151	149,73	0,84	230	230,0 0	<b>0,00</b>
21,56	10,75	53,75	127	127,6 3	0,50	174	174,95	0,54	267	267,6 7	0,25
10,94	9,25	46,25	117	118,2 2	1,05	162	162,88	0,54	248	249,8 3	0,74
21,56	10,00	53,75	126	126,6 1	0,48	174	173,98	<b>0,01</b>	266	266,4 2	0,16
10,94	10,00	46,25	118	119,2 9	1,09	163	163,79	0,49	249	251,0 4	0,82
29,69	10,00	61,25	133	132,9 6	0,03	182	182,88	0,49	279	279,6 1	0,22
5,31	10,00	38,75	112	111,0 1	0,88	153	152,31	0,45	235	233,4 9	0,64
-15,00	4,00	20,00	78	76,35	<b>2,12</b>	113	112,07	0,82	175	171,7 4	<b>1,86</b>
50,00	16,00	80,00	152	151,6 3	0,24	209	208,59	0,20	315	314,5 0	0,16
				146,1						303,6	

	<b>Min Hata (%)</b>	<b>Max. Hata (%)</b>	<b>Ort. Hata (%)</b>
Tehlike Bölgesi 1	0,00	2,12	0,60
Tehlike Bölgesi 2	0,01	1,58	0,55
Tehlike Bölgesi 3	0,00	1,86	0,45

**BLEVE**  
**Elde Edilen Model**  
**Denklemlerin Kontrol**  
**Deneyleri ile Karşılaştırılması**

			Tehlike Bölgesi1 (r,m)			Tehlike Bölgesi2 (r,m)			Tehlike Bölgesi3 (r,m)		
T (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)	Tank Doluluk Oranı (%)	ALOH A	Model	Hata (%)	ALOH A	Model	Hata (%)	ALOH A	Model	Hata (%)
29,69	12,25	61,25	415	415,32	0,08	585	586,13	0,19	912	912,23	<b>0,03</b>
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	<b>0,01</b>	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	<b>1,38</b>	491	501,06	<b>2,05</b>	768	793,86	<b>3,37</b>
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	0,03	613	613,11	<b>0,03</b>	957	946,79	1,08

	<b>Min Hata (%)</b>	<b>Max. Hata (%)</b>	<b>Ort. Hata (%)</b>
Tehlike Bölgesi 1	0,01	1,38	0,39
Tehlike Bölgesi 2	0,02	2,05	0,43
Tehlike Bölgesi 3	0,03	3,37	0,65

- Her iki durum için de hesaplanan hata değerlerinin sıfıra yakın olması deneysel tasarım yöntemiyle elde edilmiş model denklemlerin uygunluğunu göstermektedir.


# “Jet fire” Durumu İçin Elde Edilen Model Denklemlerin Yorumlanması

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

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

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



- Tankın doluluk oranı  
Yüksek buhar basıncı  
Yüksek propan çıkış debisi
- Sıcaklık etkisi  
Kinetik enerji  
Yüksek sıcaklık  
yüksek debi
- Rüzgar hızının etkisi   
Yön ve hız

# BLEVE Durumu İçin Elde Edilen Model Denklemlerin Yorumlanması

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

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

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

- BLEVE durumunda sıcaklığın artışıyla tehlike bölgelerinin çapının azaldığı gözlemlenmiştir. 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,

$$\frac{q_t}{A} = \frac{q_c}{A} + \frac{q_r}{A} = h_c(T_w - T_s) + \varepsilon_w(T_w^4 - T_s^4)$$

denklemleriyle verilir.

- ALOHA programı yangın anında açığa çıkan termal radyasyon seviyesine göre tehlike bölgelerini sınıflamaktadır.
- Aynı miktar ısı akısı sağlamak için, gerek kondüksiyon, gerek konveksiyon, gerekse de radyasyonla ısı transferi durumunda tank sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı arasındaki fark ( $T_w - T_s$ ) ne kadar küçükse ısı aktarım alanı da o kadar küçük olacaktır.

- Yani 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 saniyeler içinde gerçekleşen çok şiddetli bir patlama olduğu için rüzgar hızının etkisiz olması beklenen bir durumdur.

# 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.
- Tehlike bölgesi 1 için elde edilen grafikler:

## **“Jet Fire” Durumu İçin Cevap Yüzey Grafikleri**

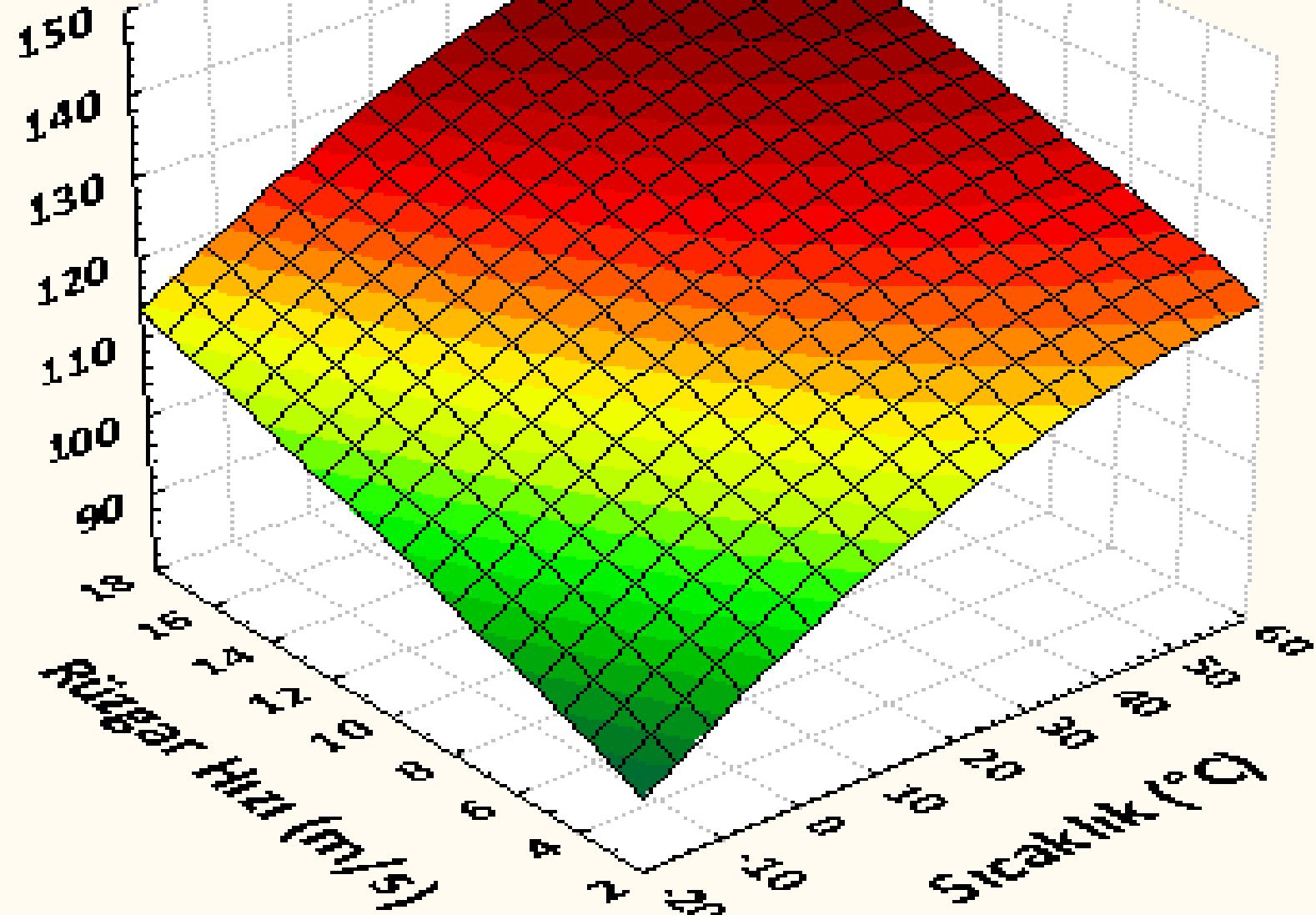
Yemlike Bölgesi (r, m)

150  
140  
130  
120  
110  
100  
90

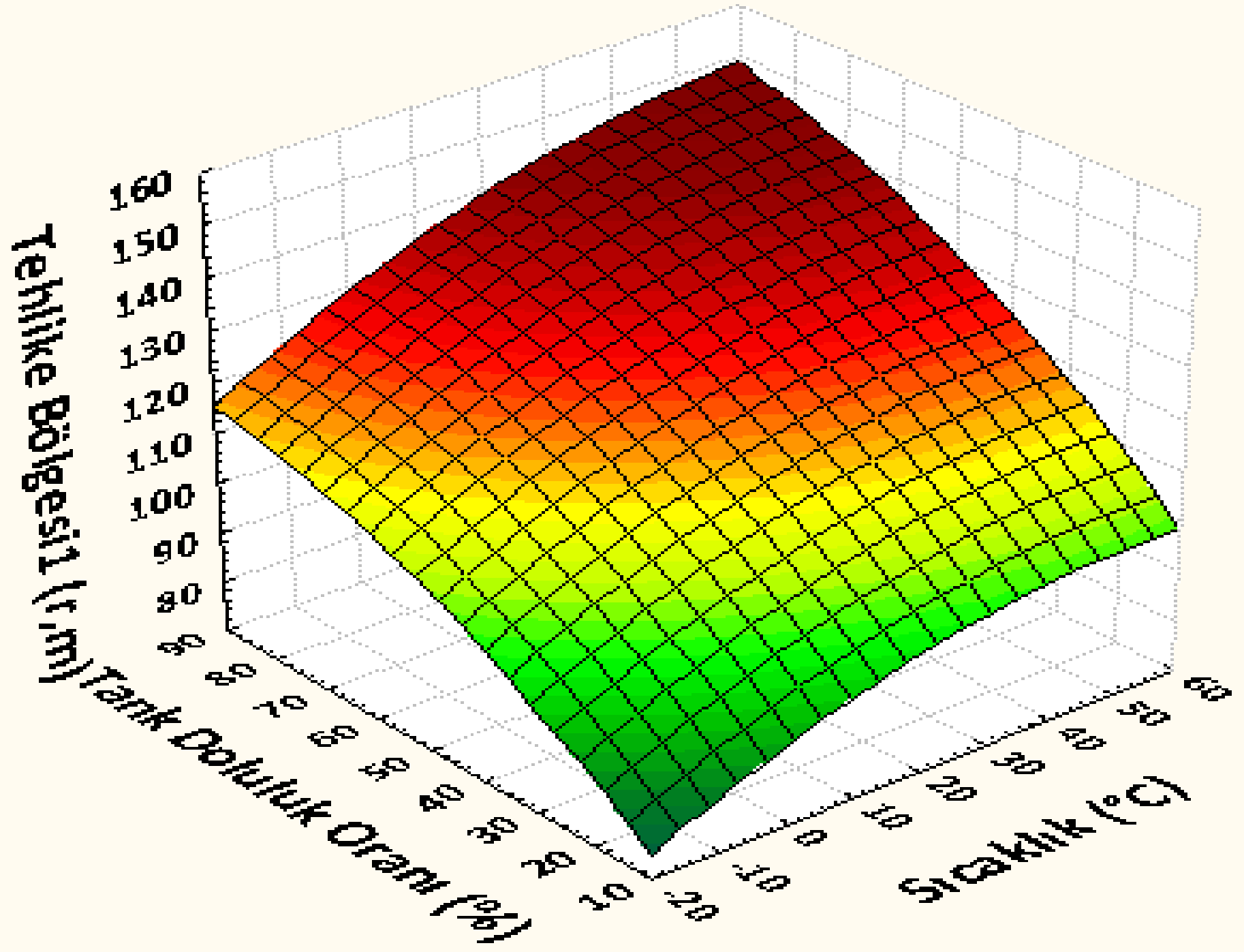
16  
14  
12  
10  
8  
6  
4  
2

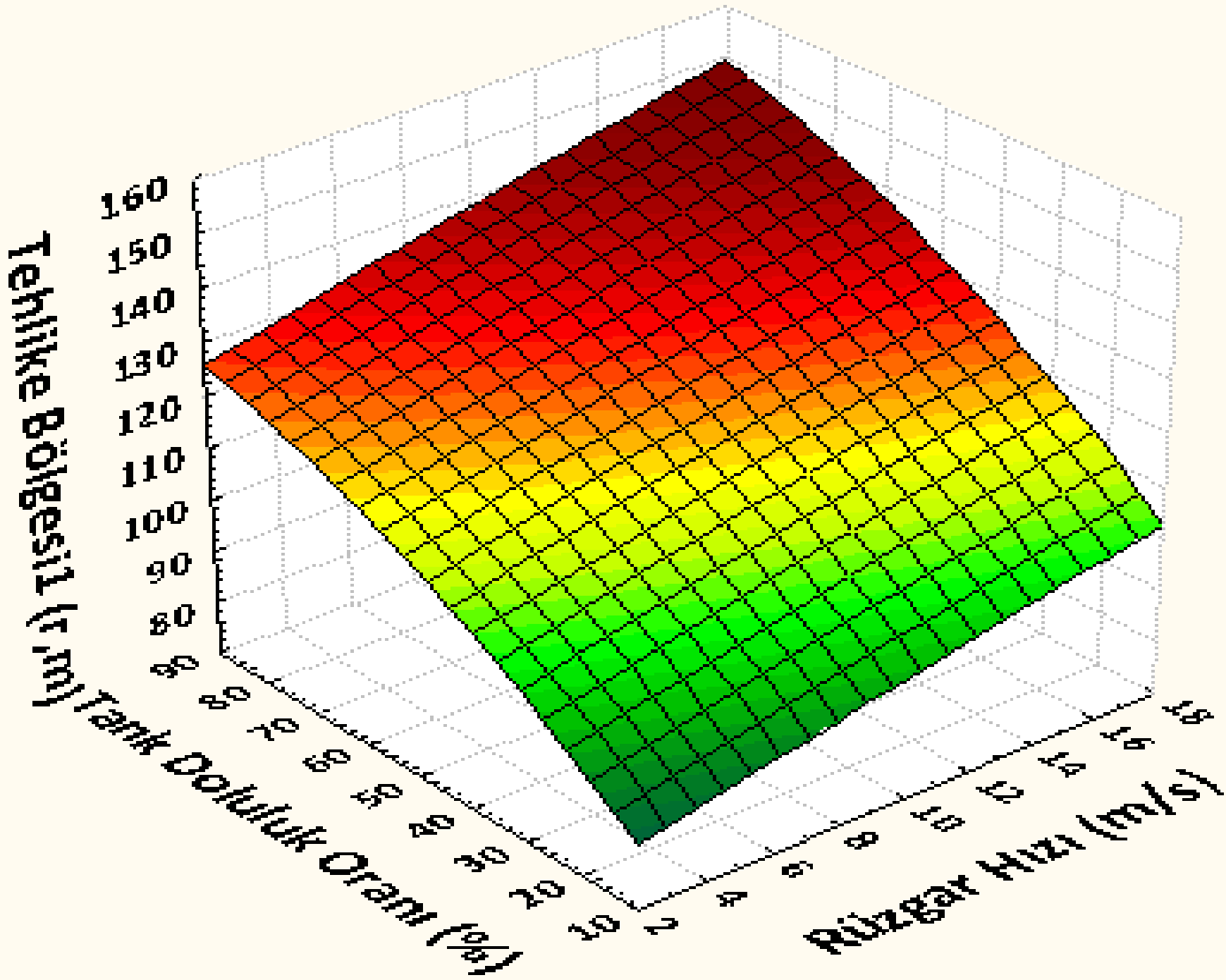
0 20 30 40 50 60

0 20 30 40 50 60

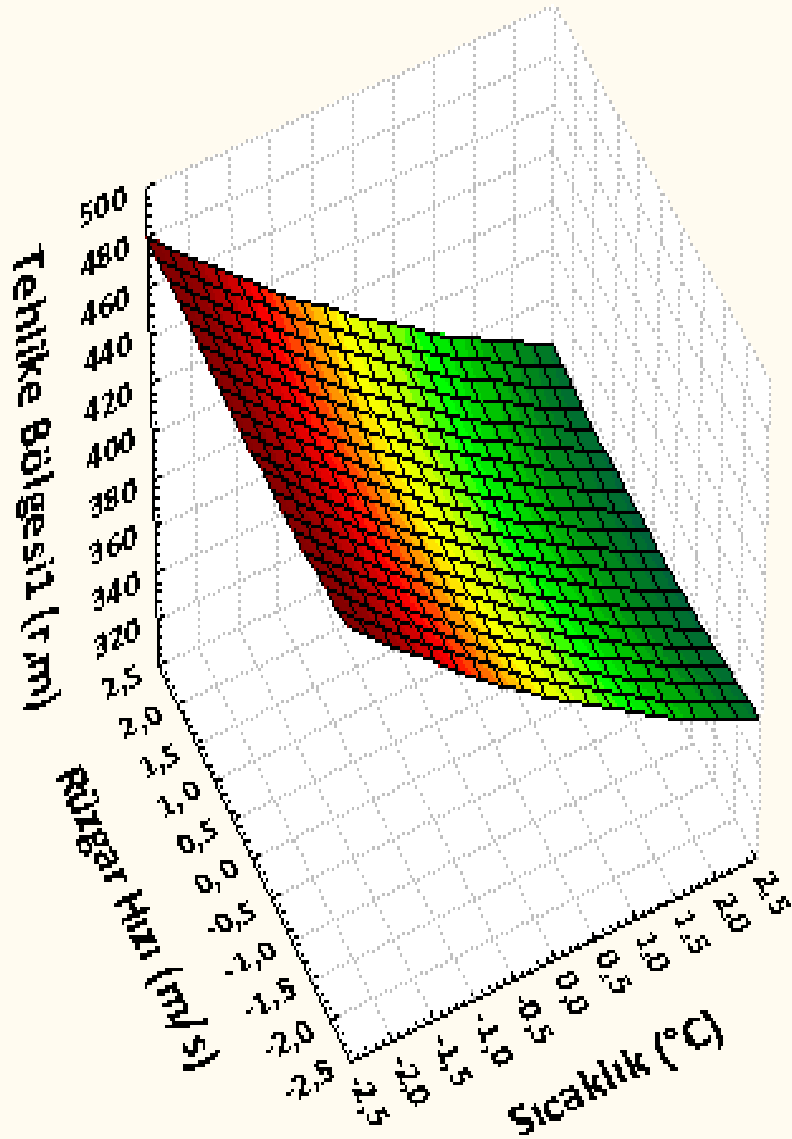








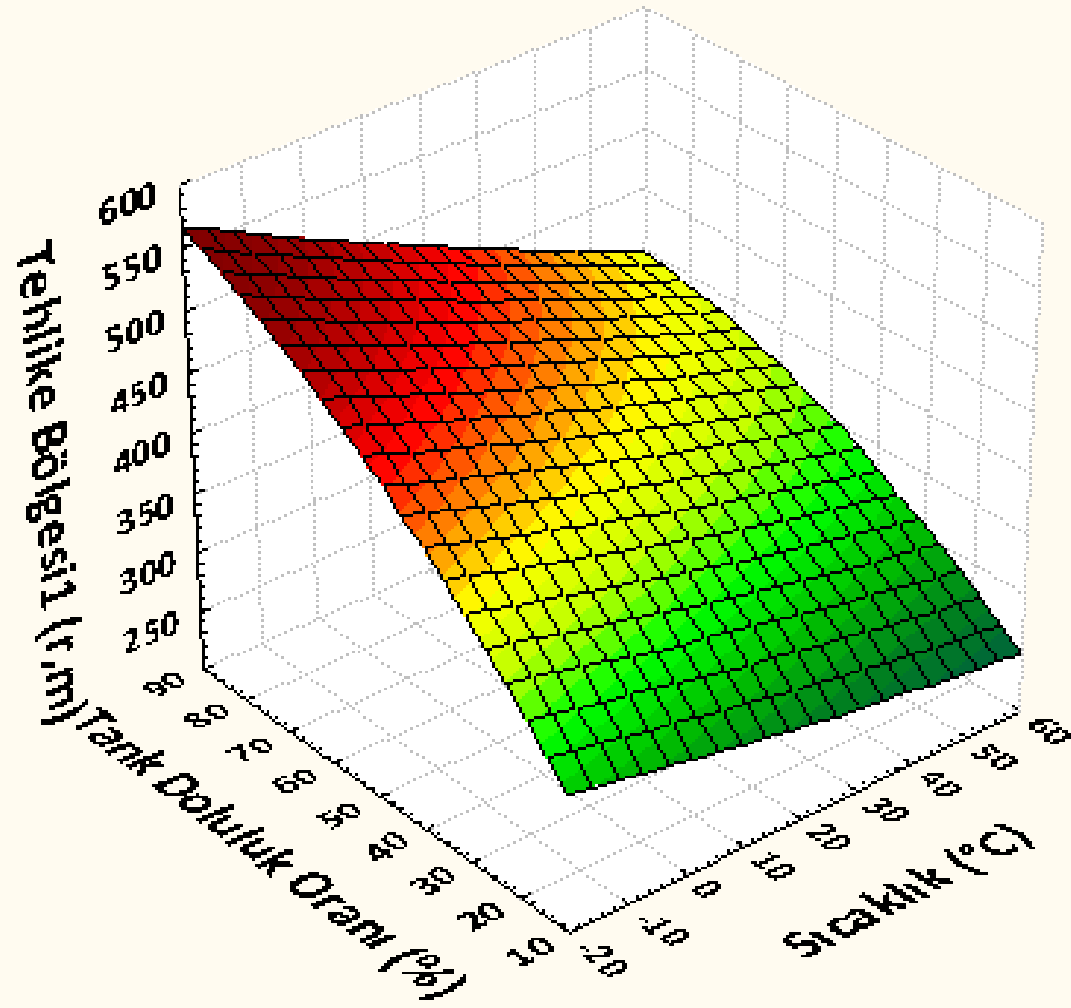
# **BLEVE Durumu İçin Cevap Yüzey Grafikleri**



Sıcaklık ve rüzgar hızının birlikte etkisi tehlike bölgesinin çapını azaltmaktadır.

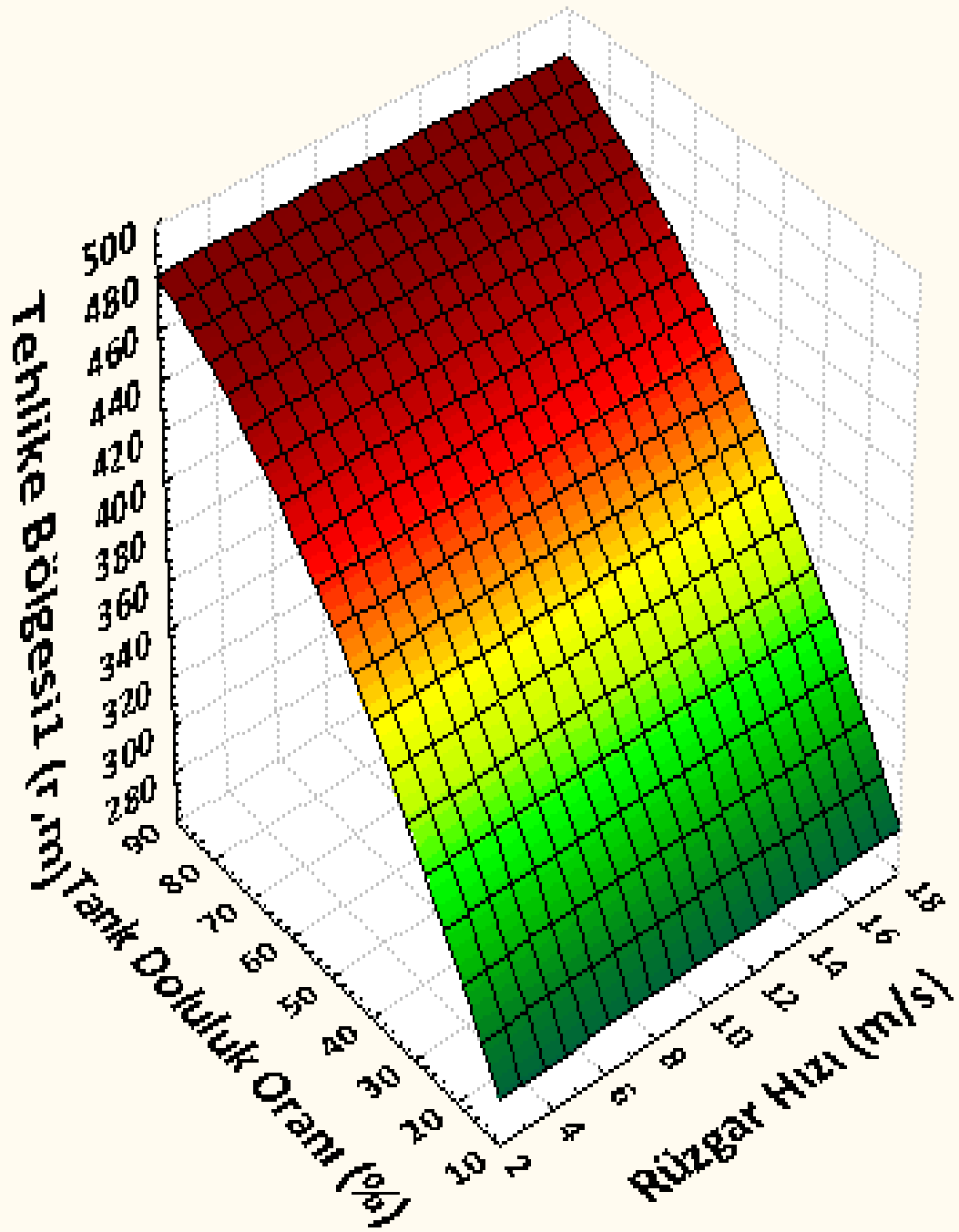
Model denklemler yorumlanırken de açıklandığı üzere sıcaklık tehlike bölgesinin çapını azaltırken, rüzgar hızı etkisiz kalmaktadır.

Sıcaklığın  $60^{\circ}\text{C}$ 'den  $-15^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmesiyle tehlike bölgesi yarıçapı yaklaşık  $360\text{m}$ 'den  $460\text{m}$ 'nin üzerine çıkmaktadır.



Tanktaki propan miktarının artışının tehlike bölgesi sınırlarını oldukça genişletmesine karşın, sıcaklığın artışı ile tehlike bölgesi sınırları daraltmaktadır.

Tankın doluluk oranının etki katsayısı sıcaklık etki katsayısından fazla olduğundan ikisinin birlikte artışı tehlike bölgesi çapını arttırmaktadır.



Tanktaki propan miktarı arttıkça tehlike bölgesi sınırları genişlemekte olup model denklemlerden elde edildiği üzere rüzgar hızının tehlike bölgesi sınırlarına herhangi bir etkisi yoktur.

Dolayısıyla bu iki parametrenin birlikte artışı tehlike bölgesinin yarıçapını artırmaktadır.



**LPG  
TESİSİNDE  
İSİG**

## Risk Analizi ve Değerlendirme

- 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.



# Risk Analizi ve Değerlendirme

- 

- 

- 

- 

- 

-

# **Tesis Planı**

Ev Tipi Döner Tüp  
Dolum Kantarı  
Piknik Tipi Döner  
Tüp Dolum  
Kantarı

Sanayi Tip Tüp  
Dolum Kantarı

Jeneratör  
(275 kVA)

Hava Kompresörü

Kumlama Makinası

Yönetim Binası ve Çalışma Ofisleri

Topraklama

Tüp Test Basınç İstasyonu

LPG Depolama Tankı (115 m<sup>3</sup>)

Arıtma Tesisi

Tüp Temizleme İstasyonu

LPG Depolama Tankı (115 m<sup>3</sup>)

LPG Depolama Tankı (115 m<sup>3</sup>)

Boya Kabini

LPG Depolama Tankı (115 m<sup>3</sup>)

Su Tankı

Yemekhane

Giriş

Topraklama

Topraklama

İlk Yardım ve Acil Önlem Alanı



# **SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

- Hem çevreci hem de ekonomik olan LPG, aynı zamanda kolay taşınabilme ve depolanabilme özelliğiyle tercih sebebi olmaktadır.
- LPG basınç altında sıvılaştırılarak taşındığı ve depolandığı için yanma ve patlama riski taşımaktadır.
- Bu çalışmada LPG depolama tanklarının herhangi bir sızıntı sonucu yanması veya daha büyük bir sebeple patlamasıyla meydana gelebilecek tehlikenin hem matematiksel hem de yaşamsal sonuçları ortaya çıkarılmıştır.

- LPG tankında meydana gelebilecek bir yangının hangi çapta ne kadar etkili olduğu ALOHA 5.4.1.2 programı kullanılarak hesaplanmıştır.

- 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 1 kilometrelik bir alandakiler yanık oluşma riskiyle karşı karşıyadır.

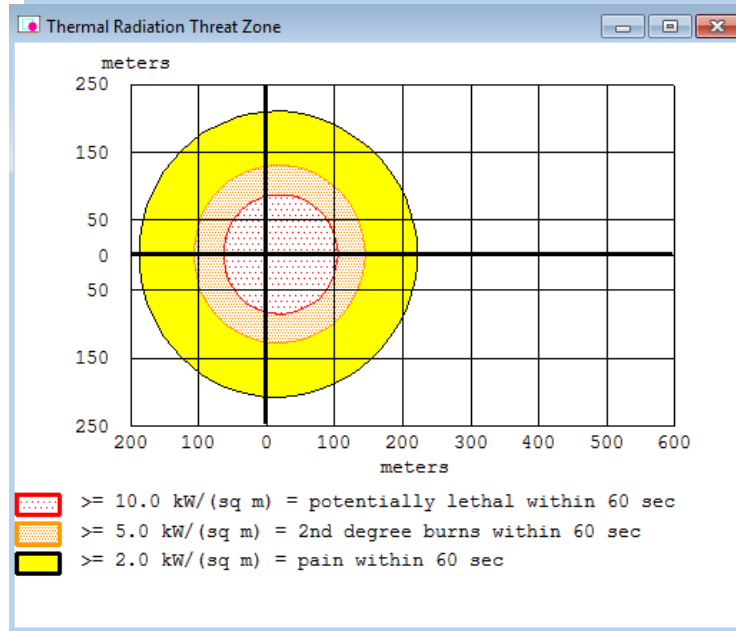
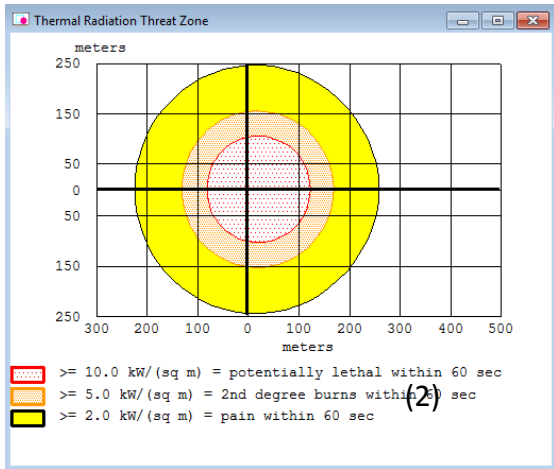
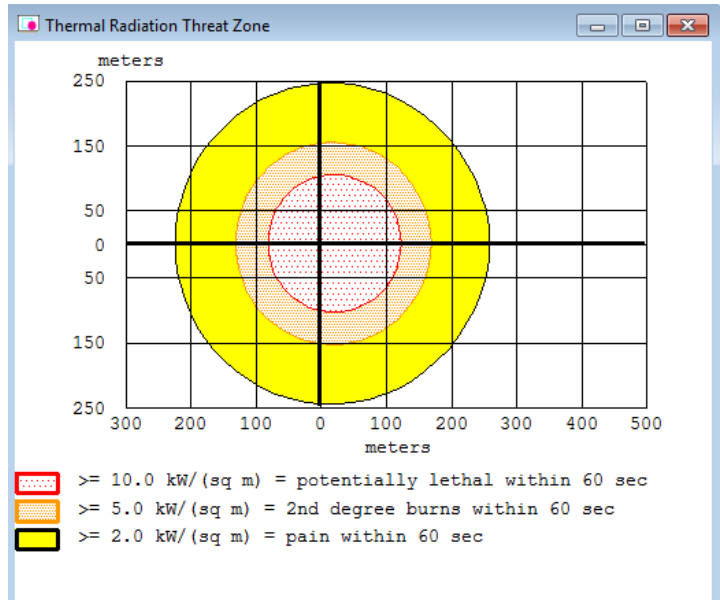
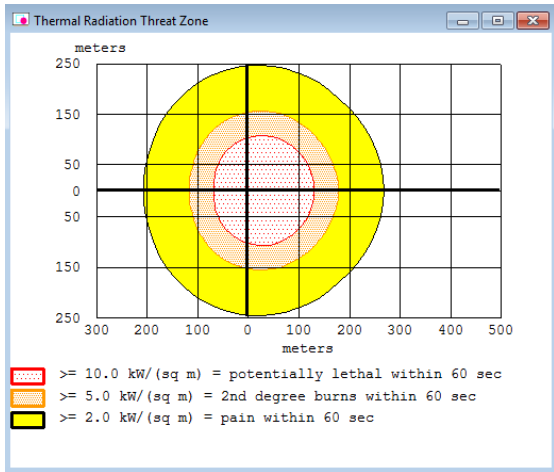
- ALOHA programından alınan tüm sonuçlar Design Expert programına aktarılarak hava sıcaklığı, rüzgar hızı ve tanktaki propan miktarına bağlı model denklemleri geliştirilmiştir.
- Böylece bir LPG depolama tankında meydana gelebilecek yangın ve patlama durumları **tek bir model** denklem ile ifade edilmiştir.



- “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. Bunu takiben sırasıyla sıcaklık ve rüzgar hızı tehlike bölgesi çapını artıran diğer parametrelerdir.

- BLEVE durumu için; tehlike bölgesi yarıçaplarının sıcaklıkla ters orantılı tankın doluluk oranı ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Bu durumun sebebi de kondüksiyon-konveksiyon ve radyasyonla kombine ısı transferi ile açıklanmıştır. Diğer parametre olan rüzgar hızı katsayısı ise sıfır çıkmış ve herhangi bir etki göstermemiştir.

- 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.



(1)

(2)

# ÖNERİLER

- 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.

**DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİM**

- Turbo genişleme: -73, -93; etan geri kazanımı
- Absorpsiyon: -45 altında Ma 100 altında, maliyetli
- Adsorpsiyon: etandan daha ağır CH ayrımı içindir, diğer ikisine göre daha az LPG,