



MAKİNE VE KİMYA ENDÜSTRİSİ KURUMU



**MKE BARUTSAN
ROKET VE PATLAYICI FABRİKASI**

Mayıs 2015

PARLAYICI, PATLAYICI VE YANICI MADDELERİN DEPO MODELLEMESİ

Yelda ALTINCI

Kimya Yüksek Mühendisi

MKE BARUTSAN ROKET ve PATLAYICI FABRİKASI



TEMEL BİLGİLER

MEVCUT DEPOLAMA

**TASARIMI YAPILAN DEPO MODELLEME
SİSTEMLERİ**

**DENEYSEL ÇALIŞMALAR
(LABORATUVAR)**

DENEYSEL ÇALIŞMALAR (PATLAMA)

**DENEYSEL ÇALIŞMALARIN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

AMAÇ

- Bu çalışmada yanıcı kimyasalların doğru bir şekilde depolanmasını sağlamak ve kimyasalların neden olduğu riskleri mümkün olduğunca azaltma ve herhangi bir tehlike anında çevreye zarar vermeyecek depolama yöntemi geliştirmektir.

HİPOTEZ

- Depo Modellemesi yapılarak can ve mal kaybının en aza indirilmesi ve BLEVE etkisinin yok edilmesi

TEMEL BİLGİLER

TEHLİKELİ MADDE

Doğal ürünlerden sentezlenen birçok kimyasal madde aslında normal durumlarda tehlikeli değildir. Ancak, yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında zararlı ve oldukça tehlikeli duruma gelirler. Bu kimyasal maddeler buharlaşır, patlar ya da alev alırlar.

Kimyasallar oldukça tehlikeli maddeler arasında yer alır ve çok ciddi hatta ölümcül kazalara sebep olabilirler.



TEMEL BİLGİLER

TEHLİKELİ MADDE SINIFLANDIRMA

DOT Tehlikeli Madde Sınıf Numarası	Malzemeler
1	Sınıf A, B ve C patlayıcılar
2	Alev almayan ve alev alan sıkıştırılmış gazlar
3	Alev alan sıvılar
4	Alev alan katılar, kendiliğinden yanan maddeler ve su reaktif maddeler
5	Oksidize olan maddeler, organik peroksitler dahil
6	Sınıf A ve B zehirli, iritant ve etyolojik maddeler
7	Radyoaktif maddeler
8	Korosif maddeler
9	Diğer tehlikeli maddeler



TEMEL BİLGİLER

Sınıf A, B ve C patlayıcılar

Sınıf A patlayıcılar, Nitrogliserin, kurşun azit ve kara barut sınıf A gibi maddeler

Sınıf B patlayıcılar çok çabuk ve kolay bir şekilde tutuşan maddeler, roket motorları gibi

Sınıf C patlayıcılar, minimum patlama tehlikesi içeren işaret fişeği, küçük askeri mühimmat gibi maddeler

Sınıf B ve Sınıf C patlayıcılar genelde, sadece aşırı durumlar ve sıcaklıklarda infilak ederler.



TEMEL BİLGİLER

Alev Alan ve Alev Almayan Sıkıştırılmış Gazlar

Sıkıştırılmış gaz; kendi kabı içinde;

21 °C de 40 psi

54.5 °C da 104 psi mutlak basıncı

37.7 C da 40 psi buhar basıncı aşmayacak şekilde bulunuyorsa



LPG, CNG ve LNG

Alev Alan ve Alev Almayan Sıkıştırılmış Gazlar

LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)

Basınç altında sıvılaştırılan, başlıca propan, bütan gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımından meydana gelen petrol gazı

LNG (Sıkıştırılmış Doğal gaz)

Atmosferik basınçta yaklaşık olarak -125°C sıcaklığına kadar soğutulduğunda sıvı hale geçen doğal gaz

CNG (Sıkıştırılmış Doğal Gaz)

2000-3600 psi basınca kadar sıkıştırılarak basınçlı kaplarda saklanan ve kullanıma sunulan doğal gaz



TEMEL BİLGİLER

Alev Alan Sıvılar

Çok Kolay Alevlenir Madde: 0 °C'den düşük parlama noktası ve 35 °C'den düşük kaynama noktasına sahip sıvı haldeki maddeler

Kolay alevlenir madde : Parlama noktası 21 °C 'nin altında olan sıvı haldeki

Alevlenir madde: Parlama noktası 21 °C - 55 °C arasında olan sıvı haldeki maddelerdir.



TEMEL BİLGİLER

Alev Alan Katılar, Kendiliğinden Yanan Maddeler ve Su Reaktif Maddeler

Alev alan katılar, sürtünme ile kendi kendine alev alabilen, nem içeren ve kendiliğinden meydana gelen kimyasal değişimler neticesinde ısı açığa çıkarması sebebiyle muhtemel yangına sebebiyet veren malzemeler içerirler.



TEMEL BİLGİLER

Oksidize Olan Maddeler

Oksitleyiciler oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda kendiliğinden oksijen meydana getirirler ve şok ile ısıtma altında şiddetle patlayabilirler. Farklı kimyasal kararsızlıklarından dolayı oksitleyici aktif maddeler beklenmedik şekilde patlayıcı olup bu yüzden tehlike tehdidi gösterirler.



TEMEL BİLGİLER

A ve B Sınıfı Zehirli, İrritant ve Etyolojik maddeler

Toksik maddeler, az miktarlarda solunduğunda, ağız yoluyla alındığında, deri yoluyla emildiğinde insan sağlığı üzerinde akut veya kronik hasarlara veya ölüme neden olan maddelerdir.



TEMEL BİLGİLER

Radyoaktif Maddeler

Herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla ise; bu tür maddeler kararsız bir yapı göstermekte ve çekirdeğindeki nötronlar alfa, beta, gama gibi çeşitli ışınlar yaymak suretiyle parçalanmaktadırlar. Çevresine bu şekilde ışın saçarak parçalanan maddelere radyoaktif madde denir. Radyoaktif maddelere uranyum örnek olarak verilebilir.



TEMEL BİLGİLER

Korosif (Aşındırıcı) Maddeler

Aşındırıcı maddeler, canlı doku ile temasında, dokunun tahribatına neden olabilen maddelerdir.

Gazlar, sıvılar ve katılar tehlikeli aşındırıcılık özelliği gösterebilirler.

Korozif maddeler deriyi yakar, kaşınmaya yol açar. Solunum veya ağız yoluyla alındığında akciğer ve mide dokusu etkilenir.

Korozif gazlar deri teması ve solunum yoluyla hemen vücuda absorplanır. Laboratuarda sık kullanılan korozif sıvıların vücutta dış hasara neden olma riskleri bulunur.



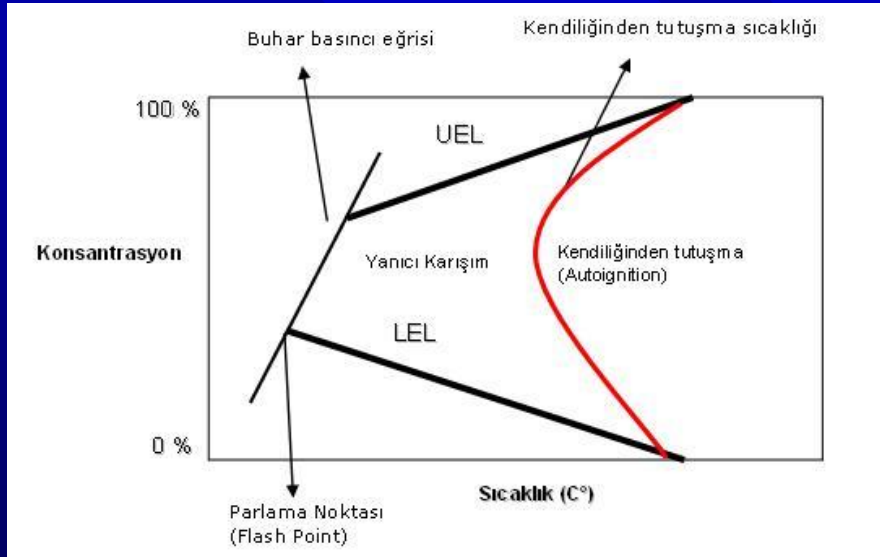
Diğer Tehlikeli Maddeler

Diğer Tehlikeli Maddeler

DOT tehlike sınıflandırması, sınıf 9 olarak ifade edilen ve sınıf 1 ile sınıf 8 arasında yer alan malzemeler gibi özel tehlike sınıfı arz etmeyen fakat uluslararası düzenlemelerde bulunan maddeler çeşitli tehlikeli maddeler olarak adlandırılır. Örnek olarak kuru buzu verebiliriz. Bu madde çevresel olarak tehlikeli maddedir.



Parlama Noktası, LEL, UEL ve Tutuşma Sıcaklığı



Parlama Noktası: Yanıcı ve parlayıcı madde buharlarının, yanmanın başlaması için hava ile oluşturduğu yeterli karışımın, yanma için gerekli eşik değere ulaştığı sıcaklık derecesidir.

LEL (Lower Explosion Limit) (Alt Patlama Sınırı): Yanıcı bir madde de, parlamanın oluşması için hava içinde olması gereken minimum oranını ifade eder.

UEL (Upper Explosion Limit) (Üst Patlama Sınırı): Yanıcı bir maddenin hava içinde yanmasını sürdürebileceği en üst sınırı tanımlamaktadır.

Tutuşma Sıcaklığı : Yeterli orandaki yakıt ve hava karışımın yanması veya patlaması için gerekli olan en küçük sıcaklık değeridir.



Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması

BLEVE (Boiling Liquid Expand Vapor Explosion), basınç altında sıvılaştırılmış gazlarda meydana gelen bir patlamadır. LPG gibi, basınçlı tanklarda depolanan parlayıcı maddeler, herhangi bir nedenle meydana gelen ani sıcaklık artışında, kabın ısınması sonucu buharlaşır.

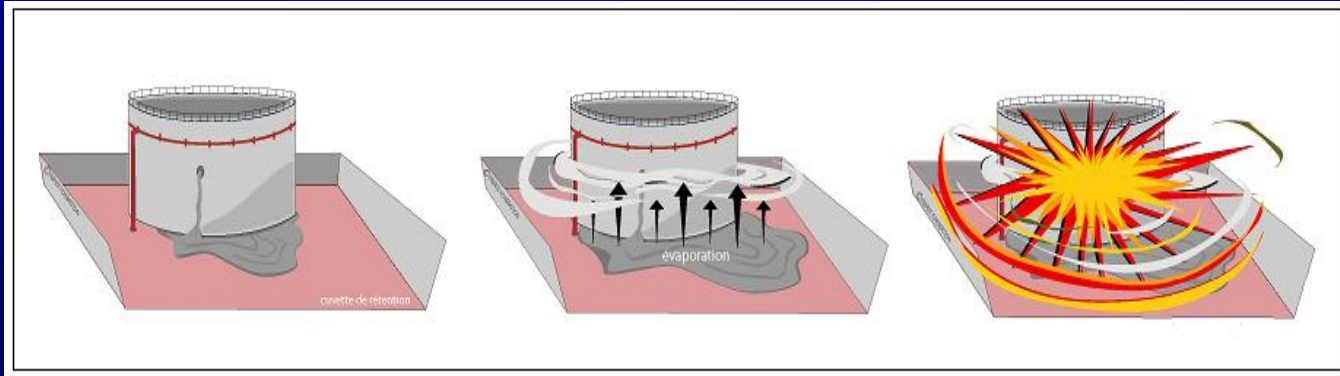
Buharlaşan sıvı kap çeperlerine basınç uygular, ısı etkisi ile yumuşayan kabın dayanımı azalır ve artan iç basınç kabın aniden yırtılarak dışarıdan alevi içine çekerek infilak etmesine neden olur. Patlama sonucu, tank parçaları çok uzaklara fırlayabilir.



Sınırlandırılmayan Buhar Bulutu Patlaması (UVCE)

UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion), atmosferde, yanıcılık sınırları içindeki gaz bulutunun bir enerji ile karşılaşması sonucu oluşan ani yanma veya patlama ile sonuçlanan olaydır.

Bu durumda gazlar ve buharlar sınırlandırılmaz ve enerjinin çoğu ısı olarak açığa çıkar. Örnek olarak, belli bir alanda birikmiş olan gazın ateş kaynağı ile teması sonucu aniden patlaması (evde gaz kaçağı sonrası gaz bulutunun patlaması vs.) UVCE de BLEVE gibi şiddetli ve tehlikeli bir patlama türüdür.



TEMEL BİLGİLER

Toz Patlaması

Toz patlaması, gaz patlamalarından çok daha şiddetli etkilere sahip bir patlama türüdür. Hava ile patlamaya yetecek oranda karışım oluşturan tozun bu sırada herhangi bir ateş kaynağı ile temas kurması sonucu aniden alev alması ile patlama meydana gelir.



MEVCUT DEPOLAMA

Türkiye de kullanılan LPG tankları hacimlerine göre 2 ana grupta toplanmaktadır.

a) 5 - 10 m³ arası tankların bulunduğu sistemler "Küçük Dökme Sistemleri"

b) 10 m³ 'ün üzerindeki tankların bulunduğu sistemler ise "Büyük Dökme Sistemleri" olarak adlandırılır.



MEVCUT DEPOLAMA

Ayrıca evlerde ve araçlarda kullanılan standartlar ise

12 kg'lık ev tüpü %75

2 kg'lık piknik tüpü %14

45 kg'lık sanayi tüpü %11

35 lt simit tank ve silindir tank

50 lt simit tank ve silindir tank

75 lt simit tank ve silindir tank



MEVCUT DEPOLAMA

CNG ve LNG Depoları ise Őu Őekildedir.

CNG (Compressed Natural Gas): Minimum 2 bar maksimum 20 bar basınçta doğal gaz Őebekesinden gelen gazın CNG kompresörü ile 200 bar basınca sıkıştırılarak çelik tüplerde kullanılır.

Sıvılaştırılmış Halde (LNG) Depolama: LNG daha az yer kaplaması nedeniyle gerek depolamada ve gerekse taŐımada tercih edilir. LNG yerüstü veya yeraltına gömülü deđiŐik kapasitedeki büyük tanklarda depolanır.



TASARIMI YAPILAN DEPO MODELLEME SİSTEMLERİ

"6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun" 30.maddesi uyarınca "30 Nisan 2013 tarih ve 28633 sayılı Resmi Gazetede" yayınlanarak yürürlüğe giren "Çalışanların, Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik" dokümanı EK-2 bölümünün (Çalışanların Sağlık Ve Güvenliklerinin Patlayıcı Ortam Risklerinden Korunması İçin Asgari Gereker) 2.5.maddesinde

"Patlama riskini en aza indirmek ve olası bir patlamada, patlamayı kontrol altına almak, işyerine ve iş ekipmanlarına yayılmasını en aza indirebilmek için; işyerleri, iş ekipmanları ve bunlarla bağlantılı tüm cihazların tasarımı, inşası, montajı ve yerleştirilmesi, bakım, onarım ve işletilmesinde gerekli tüm önlemler alınır"

hükmü yer almaktadır. Depo Modellemesi, EN-1127 sayılı standartta da belirtildiği üzere patlama önleyici güvenlik teknolojisi olması nedeniyle, patlayıcı ortam oluşması ve patlama meydana gelmesi ihtimali olan işyerlerinde kullanılması uygun olacaktır.



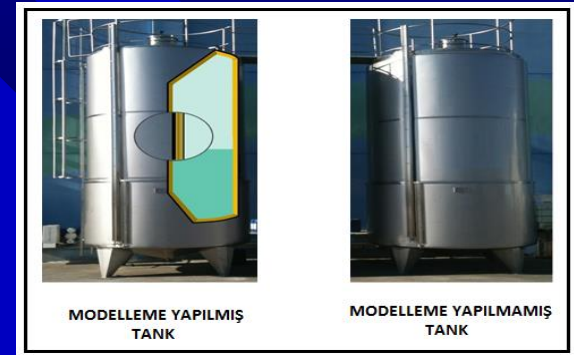
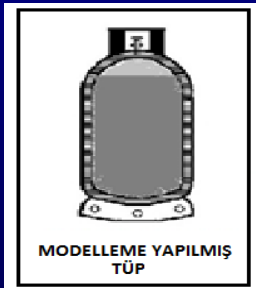


TASARIMI YAPILAN DEPO MODELLEME SİSTEMLERİ

1) Depo içini hacimsel olarak dolduracak belirli bir biçim et kalınlığı ve boyutta alüminyum yüzükler konulması



2) Depo iç çeperinin alev tutma özelliğine sahip bir malzeme ile kaplanması,



TASARIMI YAPILAN DEPO MODELLEME SİSTEMLERİ

Öngörüler:

- Deponun hacmini doldurmaması
- Stoklanan sıvı ile reaksiyona girmemesi ve sıvının kimyasal özelliğini bozmaması
- Depo içinde uzun süre bozulmadan kalabilmesi
- Deponun yarılması söz konusu olduğunda, iç basıncı dışarıya aktaracak şekilde gözenekli yapı da olması
- Depo imalatında uygulanmasının yanında, mevcut depolara da adapte edilebilmesi
- Korozyona uğrayan kontrol edilemeyen depoların kontrolsüz patlamalarını engellemesi,
- Taşıma sırasında tanker dengesini sağlaması



TASARIMI YAPILAN DEPO MODELLEME SİSTEMLERİ

- Depoların aşırı sıcakta kalarak patlaması söz konusu olduğunda şarapnel etkisini engellemesi
- Tamir bakım ihtiyacında depoya tekrar adapte edilir şekilde olması
- Depoda BLEVE etkisinden kaynaklı yırtılmayı engellenmesi

Bu nedenle hem malzemenin seçimi hem de şekil itibariyle modellemesi ayrı ayrı önem arz etmektedir.



Depo Modelleme Sistemi 1

Malzeme seçiminde,

1. yakıtlarla reaksiyona girmeyecek,
2. mekanik dayanımı yüksek,
3. ısıya karşı dirençli
4. aynı zamanda ekonomik ve
5. bant üretimine uygun yapıda malzemeler araştırılmıştır.

Araştırma neticesine alüminyum malzemesinin istenilen kıstaslara en uygun malzeme olduğu belirlenmiştir.

Optimum malzeme boyutu ve şekli açısından malzemenin depo içinde hacimsel olarak yer kaplamaması için alüminyum rulo et kalınlığının minimum olması gerekmektedir. Depo dış çeperinin yarılması neticesinde meydana gelecek olan alev geri tepmesi ve depo içine oksijen girişini engelleyecek yapıda olması için ise rulo çapının ve et kalınlığının optimizasyonunun BLEVE oluşmasını engel LEL ve UEL değerleri dışında tutmayı sağlayacak büyüklükte olması gerekmektedir.



Depo Modelleme Sistemi 2

Karşılaştırmalı yapılan malzeme analizlerinden Depo modelleme sistemi 2 için öngörülen koşullara uygun malzemenin, cam elyaf veya karbon elyaf olarak olduğu belirlenmiştir.

Hem karbon elyaf hem de cam elyaf

1. yüksek mukavemet,
2. yüksek ısı direnci,
3. yüksek kopma direnci

gibi mekanik özellikler açısından diğer malzemelere göre üstün özelliklere sahiptir.

Özellikle yangın ortamında kalma ihtimalinin yüksek olduğu düşünülürse, yüksek ısı direnci en önemli seçim parametreleri arasında yer almaktadır.



Bu nedenle hem malzemenin seçimi hem de şekil itibariyle modellemesi ayrı ayrı önem arz etmektedir. Malzeme seçiminde, bu çalışmada irdelenen yakıtlarla reaksiyona girmeyecek, mekanik dayanımı yüksek, ısıya karşı dirençli aynı zamanda ekonomik ve bant üretimine uygun yapıda malzemeler araştırılmıştır. Araştırma neticesine alüminyum malzemesinin istenilen kısıtlara en uygun malzeme olduğu belirlenmiştir.

Optimum malzeme boyutu ve şekli açısından malzemenin depo içinde hacimsel olarak yer kaplamaması için alüminyum rulo et kalınlığının minimum olması gerekmektedir. BLEVE etkisi sebebiyle depo dış çeperinin yarılması neticesinde meydana gelecek olan alev geri tepmesi ve depo içine oksijen girişini engelleyecek yapıda olması için ise rulo çapının ve et kalınlığının optimizasyonunun BLEVE oluşmasını engel LEL ve UEL değerleri dışında tutmayı sağlayacak büyüklükte olması gerekmektedir.



Depo Modelleme Sistemi teknik ve uygulama bilgileri:

Depo Modellemesi yapılacak stok tank depo özelliğine göre, Rulo formda Al alaşımdan 20, 30, 40 mm çapında değişen ölçülerde şerit rulo halinde uygulanan bir ağ şeklinde ve uygulanacak stok tank depo özelliğine göre özel ölçülerde üretilmektedir.

Yanıcı ve parlayıcı, sıvı ve gazlarda stoklama tank ve depolarında depo modelleme uygulanmasında, ürünün depo iç çeperlerine elyaftan veya depo içine Al rulo formu uygun olması halinde %100 dolduracak şekilde uygulanmaktadır.

Depo Modelleme sisteminin, tank veya depolama kaplarının özelliğine göre uygulama ağırlığı, her bir litre için 35, 45, 55 veya 65 gr kadar olmaktadır.

Depo Modellemesi uygulanan tank veya depolama kaplarında meydana gelebilecek hacim daralması, bu tank veya kapların özelliğine göre %1 - %1,5 arasında değişmektedir.



Depo Modelleme Sistemi teknik ve uygulama bilgileri:

Tank veya depolama kaplarının giriş ağzının dar olması halinde depo modelleme uygulamasında misket formu kullanılmaktadır. küre formunda dolum, kompresör ve aparatı yardımı ile 8-10 barda yapılmaktadır ve her bir litre için 35 veya 45 gr uygulanmaktadır. Manüel olarak elle dolum uygulanacak miktar her bir litre için 35 veya 45 gr kadar olmaktadır.

Depo modelleme uygulaması tank veya depolama kaplarının giriş ağzı geniş ise rulo formunda yapılır. Rulo veya küre formu, Uygulanan alanın özelliğine göre, özel ölçülerde ve litre başına 45, 55 veya 65 gr olacak şekilde üretilmektedir.

Depo modelleme uygulaması; LPG ile çalışan araçlarda simit ve silindir tanklarda LPG dönüşüm kiti kullanılarak yapılır. Sistemin LPG tanklarına montajında, montajın özel olarak tasarlanmış çalışma tezgâhında yapılması ve depo modelleme sistemine uygun olarak üretilmiş şamandıra ile yapılması zorunludur.



DENEYSEL ÇALIŞMALAR (LABORATUVAR)

Depo modelleme sistemleri için ilk seçilen metot olan Sistem 1, alüminyum yüzüklerden oluşan malzemenin, depo içine adaptasyonu ile sağlanmaktadır. Bu sistemde mevcut depolara adaptasyon maliyeti çok düşüktür. Bununla beraber Sistem 2 depo iç çeperinin cam yada karbon elyaf malzemesi ile 360° kaplanması ise ancak yeni imal edilen ve büyük hacimli tankerler ve depo tanklarında mümkün olmaktadır. Test maliyeti açısından Sistem 1'in uygulanabilirliğinin daha ekonomik ve test çalışmaları açısından daha kolay olması sebebiyle, bu çalışmada Depo Modelleme Sistemi 1 üzerine odaklanılmış olup, uygulanan testler başlıklar halinde sunulmaktadır





DENEYSEL ÇALIŞMALAR (LABORATUVAR)

Testlerde kullanılan yakıtlar:

Testlerde, Jet A1, Benzin, Etanol ve Motorin kullanılmaktadır.

Testler, yukarıda belirtilen yakıtların ilgili standartlarına göre

- Depo modelleme sistemi yakıt tutulumu
- Oksidasyon kararlılığı
- Destilasyon
- Bakır şerit korozyon
- Mevcut Gum
- Termal kararlılığın belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır

Testi yapılan yakıtlar, 14 gün boyunca içinde depo modellemesi yapılan ve yapılmayan kaplarda bekletilmiştir ve testler bu süre sonunda yapılmıştır.



Motorin ile Yapılan Testler ve Sonuçları

Test	Birim	ANALİZ METODU	TSE EN 590		Depo modellemesi yapılmış kap motorin	Depo modellemesi yapılmamış kap motorin
			En az	En çok		
Yoğunluk	Kg/m ³	TS EN ISO 12185	820	845	825	825
Oksidasyon Kararlılığı	Kg/m ³	TS EN ISO 12205	-	25	3	3
Destilasyon (250°C de elde edilen)	% (V/V)		-	<65	24,7	24,3
Destilasyon (350°C de elde edilen)	% (V/V)		85	-	93,7	93,5
%95 in elde edildiği sıcaklık	°C	TS EN ISO 3405	-	360	354,2	353,3
Bakır şerit korozyonu	--	TS 2741 EN ISO 2160	-	1	1a	1a



Benzin ile Yapılan Testler ve Sonuçları

Test	Birim	ANALİZ METODU	TS EN 228 Sınır Değerleri		Depo modellemesi	
			En Az	En Çok	yapılmış kap benzin	yapılmamış kap benzin
Yoğunluk	Kg/m ³	TS ISO 12185	720	775	743	742
Mevcut Gum	mg/100 ml	TS EN ISO 6246	-	5,0	0,2	0,2
Oksidasyon kararlılığı	dk	TS 2646 EN ISO 7536	360	-	=>360	=>360
Kaynama noktası sonu	°C	TS 1232 EN ISO 3405	-	210	181,5	184,3
Damıtma kalıntı oranı	% (V/V)		-	2,0	1,1	1,0
Buharlaşma yüzdeleri	Buharlaşma % (E70)		20,0(yaz)	48,0 (yaz)	40,2	40,0
	Buharlaşma % (E100)		22,0(kış)	50,0(kış)		
	Buharlaşma % (E150)		46,0	71,0	62,0	61,9
			75,0	-	91,6	91,5
Bakır şerit korozyonu	-	TS 2741 EN ISO 2160	Sınıf 1		1a	1a



JET A1 Yakıtı ile Yapılan Testler ve Sonuçları

Test	Birim	ANALİZ METODU	Depo modellemesi yapılmış kap JET-A1	Depo modellemesi yapılmamış kap JET-A1
Yoğunluk	Kg/m ³	ASTM D 4052	799	799
Destilasyon		ASTM D 86		
(ilk kaynama noktası)	°C		151,5	152,7
%10,	°C		171,0	171,2
%50,	°C		200,0	200,1
%90)	°C		246,7	247,2
(Son kaynama noktası)	°C		267,9	268,3
(Destilasyon kalıntısı)	% (V/V)		1,3	1,3
(Destilasyon kaybı)	% (V/V)		0,6	0,4
Bakır şerit korozyonu	% (V/V)	ASTM D 130	1a	1a
Mevcut Gum	mg/100 ml	ASTM D 381	2	2
Termal Kararlılık		ASTM D 3241		
Kontrol sıcaklık 200°C (min)	°C		450	450
Basınç farkı	mm Hg		1	1
Isıtma borusu torlu sınıfı	Gözle		1	1



Etanol ile Yapılan Testler ve Sonuçları

Test	Birim	ANALİZ METODU	Depo modellemesi yapılmış kap Etanol	Depo modellemesi yapılmamış kap etanol
Yoğunluk	Kg/m ³	TS ISO 12185	794	794
Mevcut Gum	mg/100 ml	TS EN ISO 6246	0,2	0,2
Oksidasyon kararlılığı	dk	TS ISO 7536	>360	>360
Kaynama noktası başlangıcı	°C	EN ISO 3405	76,4	76,3
Kaynama noktası sonu	°C	EN ISO 3405	80,0	78,5
Bakır şerit korozyonu	% (V/V)	EN ISO 2160	1a	1a

DENEYSEL ÇALIŞMALAR (PATLAMA)

Test yapılacak 216 litrelik çelik varil, 60 litrelik çelik kaplar, LPG tankları ve LPG tüpü içerisine %100 depo modelleme materyali doldurulduktan sonra, bu kaplara belirlenen miktarlarda yakıt konularak parlama ve patlama testine 9 Ocak 2015 tarihinde MKE Bedesten Tesislerinde ve MKE ve TSE kurum personeli nezaretinde başlanmış ve sonuçları kayıt altına alınmıştır.

Hacimsel olarak Yakıt buhar miktarları UEL ve LEL değerleri arasında kalacak şekilde Jet A1(gaz yağı), 95 oktan Kurşunsuz Benzin, Motorin Etanol, Sentetik Tiner, Tolüen (solvent) türü yakıt bulunan, depo modelleme materyalleri ile doldurulmuş olan sırasıyla 216 litrelik ve 60 litrelik çelik varil üzerinde;

- Mermi ile delme: (G3 piyade tüfeği 7,62x51 mm çapında mermi kullanılarak.)
 - Elektrik ark kaynağı uygulaması,
 - Jet taşı ile kesim,
 - Oksi-asetilen kaynağı ile varilin kesilmesi ve kesilen kısmın tekrar doldurulması
- testleri yapılarak yakıt varillerin patlama davranışları incelenmiştir.



DENEYSEL ÇALIŞMALAR (PATLAMA)

Hacimsel olarak Yakıt buhar miktarları UEL ve LEL değerleri arasında kalacak şekilde LPG bulunan, depo modelleme materyalleri ile doldurulmuş oto LPG tankları ve 12 kg kapasiteli LPG tüpü (Mutfak tipi) üzerine, mermi duyarsızlık testi ve yangın ortam testi yapılmıştır.



Patlama testlerinde kullanılan yakıtların özellikleri

Kimyasal Madde	CAS No	Parlama Noktası (C ⁰)	Kaynama Noktası (C ⁰)	Tutuşma Sıcaklığı (C ⁰)	Alt Patlama Sınırı (%)	Üst Patlama Sınırı (%)
95 oktan benzin ⁽¹⁾	86290-81-5	<-40	30-260	275-445	1	8
Motorin ⁽¹⁾	68334-30-5	>55	163-357	225-230	0,6	7,5
Gazyağı (JET A1) ⁽¹⁾	8008-20-6	>29	150-290	250	1	6
LPG ⁽²⁾	68476-85-7	- 100	--	--	2	9
Etanol ⁽³⁾	64-17-5	12	78	400	3,1	29
Toluen ⁽³⁾	108-88-8	4	111	530	1	7,8
Sentetik Tiner ⁽⁴⁾	64742-88-7	>33	145-210	230	0,6	8

(1) Shell tarafından düzenlenen Güvenlik Bilgi Formu

(2) TÜPRAŞ tarafından düzenlenen Güvenlik Bilgi Formu

(3) EN 60079-20-1

(4) POLİSAN tarafından düzenlenen Güvenlik Bilgi Formu



Mevcut Mevzuatta Kullanılan Depolarda Mermi Duyarsızlık Testi



DEPO MODELLEMESİ YAPILMIŞ DEPOLARDA MERMİ DUYARSIZLIK TESTİ



15 metre mesafeden G3 tüfek ve 7,62x51 kalibre mermi ile sistem modellemesi yapılmış LPG deposuna yapılan atış düzeneği gösterilmektedir.



Mermi duyarsızlık testi hazırlık aşamalarından biri olan, depo üzerinde atış hedefinin belirlenmesi gösterilmektedir. Bu aşamada mermi atışının depo da buharlaşmanın olduğu üst noktalardan birinde olması önem arz etmektedir.





YAPILAN ATIŞ SONRASI YÜKSELEN GAZ BASINCININ ARKA YÜZEYİ

Depoda atış sonrası başlayan basınçlı alevlenmenin çok kısa bir sürede, sıcaklığın yükselmesi sonucunda depo içinde oluşan buharlaşmanın artmasına bağlı olarak yüksek hızlı yanmaya (jet fire) dönüşmesi gösterilmektedir.





YAPILAN ATIŞ SONRASI ARKA YÜZEYDEDE BAŞLAYAN BASINÇLI ALEVLENME



YAPILAN ATIŞ SONRASI ÖN VE ARKA DELİKLERDEN ISININ YÜKSELMESİ VE BASINCIN ARTMASI İLE YÜKSEK HIZLI YANMA





YAPILAN ATIŞ SONRASI DEPO İÇ BASINCININ MAKSİMUM DÜZEYE ULAŞTIĞI NOKTA



YAPILAN ATIŞ SONUNDA İÇ BASINCIN YAVAŞLAYARAK ALEVLERİN AZALMASI





ATIŞ SONRASI MERMİNİN YAPTIĞI TAHRİBAT 12 MM ÇAPINDA



YAPILAN ATIŞ SONUNDA MERMİNİN ÇIKIŞ BÖLGESİ TAHRİBAT 12 MM ÇAPINDA



DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Mermi Duyarsızlık Test Sonuçları

Yakıtın cinsi	Depo Modeli ve hacmi	Gözlem sonuçları
95 oktan benzin	60 lt Çelik Varil	Yanma ve patlama olmamıştır.
Motorin	60 lt Çelik Varil	Yanma ve patlama olmamıştır.
Gaz yağı (Jet A1)	216 lt Çelik Varil	Yanma ve patlama olmamıştır.
Etanol (Etil Alkol)	60 lt Çelik Varil	Yanma ve patlama olmamıştır.
Tolüen (solvent)	60 lt Çelik Varil	Yanma ve patlama olmamıştır.
Sentetik Tiner	60 lt Çelik Varil	Yanma ve patlama olmamıştır.
LPG	61 lt silindirik tip oto LPG tankı	Yanma ve patlama olmamıştır.
LPG	52 lt simit tip oto LPG tankı	Yanma ve patlama olmamıştır.
LPG	12 kg LPG tüpü	Yanma ve patlama olmamıştır.



Sıvı yakıt kaplarındaki mermi deliklerinin elektrik kaynağı ile doldurulma testi ve sonuçları

Yakıt kaplarının elektrik kaynağı ile doldurulması sırasında oluşacak yüksek ısı (3.000 °C) nedeniyle, kaplar içinde bulunan yakıtın buharlaşması ve sıcaklığın yakıtın tutuşma sıcaklığı üzerine çıkması nedeniyle patlama meydana getirip getirmediğinin gözlem sonuçları

Yakıtın cinsi	Çelik Varil Hacmi (lt)	Gözlem sonuçları
95 oktan benzin	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Motorin	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir
Jet A1	216	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir
Etanol (Etil Alkol)	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir
Tolüen (solvent)	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir
Sentetik Tiner	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir



Sıvı yakıt kaplarının spiral taşlama aleti ile kesilmesi testi



Sıvı yakıt kaplarının spiral taşlama aleti ile kesilmesi test sonuçları

Sıvı yakıt tanklarının spiral taş ile kesilmesi sırasında, elektrik kaynağı işlemi sonrası kap içinde oluşan yakıt buharının taşlama esnasında sürtünmeden dolayı meydana gelen kıvılcımlar ve yüksek ısı ile teması sonucu, sıvı yakıt - hava karışımının patlayıp patlamadığının gözlem sonuçları

Yakıtın cinsi	Çelik Varil Hacmi (lt)	Gözlem sonuçları
95 oktan benzin	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Motorin	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Gaz yağı (Jet A1)	216	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Etanol (Etil Alkol)	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Tolüen (solvent)	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Sentetik Tiner	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.



Sıvı yakıt kaplarının jet taşı ile kesilen kısımlarının oksijen-LPG kaynak aparatı ile doldurulması testi



Sıvı yakıt kaplarının jet taşı ile kesilen kısımlarının oksijen-LPG kaynak aparatı ile doldurulması test sonuçları

Yakıtın cinsi	Çelik Varil Hacmi (lt)	Gözlem sonuçları
95 oktan benzin	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Motorin	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Gaz yağı (Jet A1)	216	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Etanol (Etil Alkol)	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Tolüen (solvent)	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.
Sentetik Tiner	60	Patlama olmamıştır, saman alevi şeklinde yanma meydana gelmiştir.



LPG tankları ve tüpünün yangın ortamında bırakılması testi

Yakıtın cinsi	Depo Hacmi ve Modeli	Gözlem sonuçları
LPG	61 lt silindirik tip oto LPG tankı	Yangın ortamında tankın emniyet valfi açılması sonucu jet fire şeklinde yanma meydana gelmiştir. Tankta patlama olmamıştır.
LPG	52 lt simit tip oto LPG tankı	Yangın ortamında tankın emniyet valfi açılması sonucu jet fire şeklinde yanma meydana gelmiştir. Tankta patlama olmamıştır.
LPG	12 kg LPG tüpü	Yangın ortamında tüpün emniyet valfi açılması sonucu jet fire şeklinde yanma meydana gelmiştir. Tüpte patlama olmamıştır.



LPG tankları ve tüpünün yangın ortamında bırakılması testi



Depo Modellemesi yakıt tutulumu

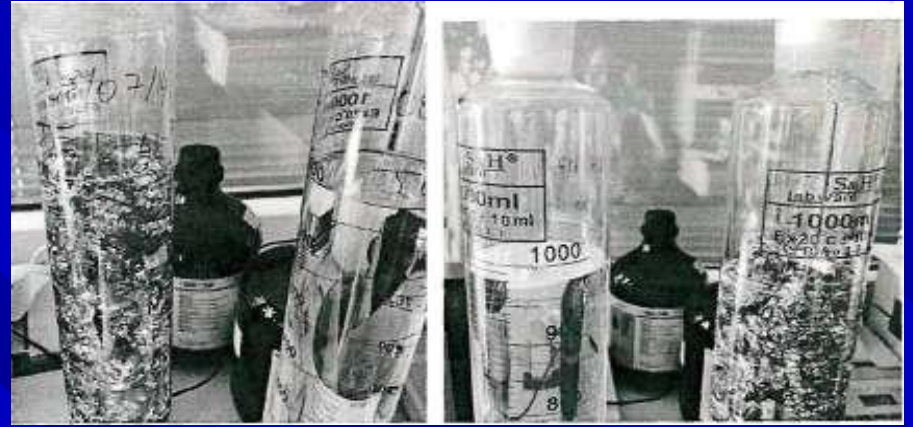
Bir litrelik ağız kapaklı cam mezürlere 1 litre seviyesine gelinceye kadar depo modelleme sistemi rastgele yerleştirilmiştir. Yapılan dört farklı ölçüm sonucunda depo modelleme yığın yoğunluğunun ortalama 44,7 gr/lt olduğu tespit edilmiştir.

Daha sonra depo modelleme materyalleri üzerine 1 lt yakıt eklenmiştir. Ağız sıkıca kapatılan mezürler oda sıcaklığında 14 gün boyunca bekletilmiştir.

Bu sonuçlara göre söz konusu yakıt numunelerinde belli yığın yoğunluğuna sahip Depo Modelleme materyallerinin yakıt tutulumunun % 3,5-% 4,1 arasında değiştiği tespit edilmektedir.



Resim de yakıt tutulumu testi test aparatı ve de Depo Modelleme materyallerinin 14 gün sonunda farklı yakıtlardaki hacimsel değişim ve Depo Modelleme materyallerinin yakıt tutulum sonuçları sunulmaktadır.



Yakıtın cinsi	Depo modellemesi yapılmış kap yakıt hacmi (Lt)	Depo modellemesi yapılmamış kap yakıt hacmi (Lt)	Yakıt tutulumu (%)
Jet A1	0,965	1	3,5
Motorin	0,960	1	4,0
Benzin	0,940	0,980	4,1
Etanol	0,960	1	4,0



Depolarda Sıvıların alkalanma Testleri

alkalanma testi için 20⁰ C sıcaklıkta 2 adet, 20 litrelik cam çalkalama ekipmanı kullanılmaktadır.

Testte, cam kaplardan birine 10 litre sıvı yakıt konulur. Diğer cam kaba manüel olarak sistem 1 depo modelleme materyali doldurulduktan sonra 10 litre sıvı yakıt eklenir. Her iki cam kap yan yana konularak belli bir hızda çalkalanmaya başlanır. Burada sıvı yakıtın dalgalanması gözlenmektedir.



Depolarda Sıvıların alkalanma Testler Sonuçları

Hızla çalkalanan iki cam kaptan sistem 1 depo modelleme materyali doldurulmamış durumdaki cam kapta yakıtın yüksek miktarlarda dalgalandığı hatta yakıtın bir bölümünün cam kaptan dışarı dkldėđ gözlemlenmektedir. Sistem 1 depo modelleme materyali ile doldurulduktan sonra yakıt konulan cam kap da ise, çalkalanma sonucu %90 dalgalanma olmadığı gözlenmektedir.



DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mevcut depo standartlarında yer alan ve birçok durumda, ölümcül kazalara sebep olan yakıt tank patlamalarının önüne geçmek ve bu patlamanın oluşturduğu can ve mal kayıplarını yok etmek veya azaltmak için tasarlanmış depo modelleme sistemlerinin uygunluğu ve uygulanabilirliği, depo modelleme sistemi testlerinde açıklanmıştır.

Depo modelleme testlerinde öncelikle patlama testleri gerçekleştirilmiştir. Patlama testlerinde anlatılan ve patlamaya sebep olan ortamların oluşturulması ve yangın ortamının hazırlanması temel alınmıştır. Patlamaya ve yangına sebep olan ortamların oluşturulmasının amacı, yakıt deposu patlama ortamını simule etmektir. Bu nedenle depo modellemesi yapılmış yakıt tanklarında patlama ve yangın ortamı hazırlanarak sistemin uygunluğu ispatlanabilmektedir.

Patlama testlerinde sırasıyla, patlamanın meydana gelmesini sağlamak için, yakıt deposu içinde, yakıt buharı oranının LEL ve UEL değerleri arasında kalması sağlanmış ve yakıt deposuna G 3 piyade tüfeği ile ateş edilmiştir. Mevcut depo standartlarında üretilen yakıt depolarında, depoya isabet eden bir mermi, depo üzerinde BLEVE etkisine sebep olurken, depo modellemesi yapılmış depolarda, bu etki kendini, depo üzerinde meydana gelen mermi deliğinde, yakıt buharı bitene kadar oluşan yangın olarak kendini göstermektedir. Bu durumda BLEVE etkisi ile meydana gelen maddi ve manevi zararlar engellenmektedir.



DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Depo modellemesi yapılmış yakıt tanklarında yine yakıt tankı içinde LEL ve UEL değerleri arasında yakıt buharı bulunurken jet taşı ile kesilmiş ve ardından yakıt deposu üzerinde oluşan yarık oksijen kaynağı ile doldurularak, patlamanın oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Bu testte de patlama oluşmadığı yani BLEVE etkisinin gözlemlenmediği ispatlanmıştır.

Patlama testi olarak en son depo modellemesi yapılmış ve LEL ve UEL değerleri arasında tutularak yakıt ile doldurulmuş yakıt tankı, yangın ortamında bırakılmıştır. Yangın ortamında bırakılmış bir yakıt deposunda BLEVE etkisi gözlenirken, depo modellemesi yapılmış yakıt tankında herhangi bir patlama meydana gelmemiştir.



DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Depo modelleme sisteminde, yakıt tutulumu testi ile yakıt stoklamakta ne kadar kayıp olacağı hesaplanmıştır. Depo kaplama malzemesi ve depo içinin alüminyum rulolarla doldurulması ile yakıt tutulumunda meydana gelen kayıpların, çok fazla olmadığı depo modelleme malzemelerinin yakıt tank içindeki oranının sadece % 3,5 olduğu, yapılan testlerle desteklenmektedir.

Çalkalanma testlerinde ise, hızla çalkalanan iki cam kaptan sistem 1 depo modelleme materyali doldurulmamış durumdaki cam kapta yakıtın yüksek miktarlarda dalgalandığı hatta yakıtın bir bölümünün cam kaptan dışarı döküldüğü gözlemlenmektedir. Sistem 1 depo modelleme materyali ile doldurulduktan sonra yakıt konulan cam kap da ise, çalkalanma sonucu %90 dalgalanma olmadığı gözlenmektedir.



DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Laboratuvar testlerinde; mevcut yakıt standartlarında yapılan testler ve yakıtın kullanımı ve depolanması sırasında bu özelliklerini koruması beklenmektedir. Bu nedenle mevcut test standartları kullanılarak, yakıtın depo modellemesi ile depolanması sırasında özelliğini ve fonksiyonunu kaybedip kaybetmediği karşılaştırılmıştır. Laboratuvar test sonuçlarında, depo modelleme sistemi ile depolanan yakıtların özelliklerinde mevcut yakıt standartlarına göre herhangi bir değişiklik meydana gelmediği gözlemlenmiştir.





SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- LPG ile çalışan otomobil üretimi miktarı, LPG oto depolarında meydana gelmesi muhtemel patlamaların ölümcül kazalara yol açması sebebiyle, artmamaktadır. Güvenli depo modellemesi otomotiv sektöründe LPG ile çalışan otomobil üretimini de artıracaktır. Bu nedenle güvenli depolama son derece önem arz etmektedir.
- LPG ile çalışan otomobillerin kapalı garaj park yerine alınması kanunen yasaktır. LPG ile çalışan otomobillerde yakıt deposunun herhangi bir darbeye maruz kalması patlama riskini artırdığı için, LPG 'li araçlar kapalı alana park edememektedir. Güvenli depo tasarımı yani, patlamanın (BLEVE etkisi) engellenmesi LPG 'li araçlarında diğer araçlar gibi rahatlıkla kapalı alanlarda park edilmesine olanak sağlayacaktır.
- Karayolları güvenliği açısından da yine LPG, CNG ve LNG ile çalışan araçlarda güvenli yakıt tanklarının modellenmesi, yol emniyetini de artıracığı gibi, meydana gelmesi muhtemel şehir içi ve şehir dışı kazalarda, tehlike riskini azaltmaktadır.
- Şehir içi yakıt istasyonları da bilindiği üzere saatli bomba olarak şehir merkezinde yerini almaktadır. Yakıt istasyonlarında depo modellemesi yapılmış yer altı ve yerüstü yakıt depoları şehir güvenliğini artıracaktır.
- Petrol rafinerileri, maruz kalması muhtemel kazalara karşı depo sistemlerini güvenli duruma getirmek durumundadır. Örnek olarak 1997 yılında MKE Mühimmat fabrikasında meydana gelen mühimmat kazasının, rafineriye sıçraması durumunda ortaya çıkma ihtimali yüksek maddi ve manevi kayıp, bir şehrin ortadan kalkması olarak ödenebilirdi.
- Mevcut depo sistemlerinde depo modellemesinin yapılması ve bunun yanında depo üretimlerinde bu çalışmada anlatılan modellemenin uygulanması güvenli bir yaşam için önem arz etmektedir.

MAKİNE VE KİMYA ENDÜSTRİSİ KURUMU

BARUTSAN
ROKET ve PATLAYICI FABRİKASI
MÜDÜRLÜĞÜ

TEŞEKKÜRLER