



Petrol ve Petrol Ürünlerinin Güvenli Depolanması

Safe Storage Of Crude Oil And Crude Oil Products

Akın ER¹ Osman BOZDAĞ^{2,*} ¹ TÜPRAŞ Genel Müdürlüğü, Körfez, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-6039-9821² Kimya Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9734-6555

Derleme Makale

Gönderilme Tarihi : 05/05/2020

Kabul Tarihi : 26/10/2020

Anahtar Kelimeler

Ham Petrol
Akaryakıt
Depo Tankı
Yangın
Patlama
Yangın Üçgeni
Yangınla Mücadele

Özet

Ham petrol ve petrol ürünleri, petrokimya ürünleri, sıvılaştırılmış petrol gazları farklı form ve özelliğe sahiptir. Bu hidrokarbonların, üretilmesi, nakliyesi, depolanması sırasında yangın, patlama içerik kaybı, enerji salınımı nedeniyle cana, mal varlığına, çevreye ve itibara zarar verebilecek çeşitli tehlikeler ortaya çıkabilir. Bu çalışmada tanklarda yangın, patlama, içerik kaybı ve benzeri tehlikelerini önlemek, etkilerini azaltmak için farkındalık yaratılması amaçlandı. Hidrokarbon depolama tanklarının işletilmesi sırasında aşırı dolumu nedeniyle tank taşıma, vakum etkisi nedeniyle tankın burulması gibi çeşitli riskler incelendi. Ayrıca tankların tasarım ve imalat hataları, doğal olaylar, tank malzemesine ve borulamaya bağlı hatalar nedeniyle yangın ve patlama tehlikesi incelendi. Yangın ve patlamaların mekanizmaları ve çeşitli yangın tipleriyle mücadele ilkeleri açıklandı. Alevlenme özellikleri bir eşkenar üçgen diyagramında temsil edilerek alevlenme bölgesine inert madde etkisi incelendi.

Research Paper

Received Date : 05/05/2020

Accepted Date : 26/10/2020

Keywords

Crude Oil
Transport Fuel
Storage Tanks
Fire
Explosion
Fire Triangle
Fire Fighting

Abstract

Crude and crude oil products, petrochemicals, liquefied petrol products have various form and different properties. There are various risk and hazards harming lives, properties, environment and trade name due to fire, explosion and loss of containment during the production, transfer and storage of these hydrocarbons. The purpose of this work to create awareness to diminish the impact of fire, explosion and loss of containments. We have examined the potential risks and hazards depending on the mode of operating such as overfilling tank or deformation of hydrocarbon storage tanks due to vacuum impact. In addition, various other risks and hazards are examined due to faulty design and construction or use of improper materials of tank and piping or from natural disasters. The mechanism of fire and explosion, and various form of firefighting principle are explained. By representing the flammability properties in an equilateral triangle diagram, the inert substance effect on the flammability region is examined.

1. Giriş

Petrol, petrokimya ürünleri ve doğal gaz gibi hidrokarbonlar günümüzde başlıca enerji ve malzeme kaynağıdır. Bu hidrokarbonların fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Ortak özellikleriyse hepsinin yanıcı ve parlayıcı olmasıdır. Bu nedenle hidrokarbon depo tankları tank tipine bağlı olarak çok çeşitli yangın ve patlama tehlikesi taşımaktadır. Sıvı hidrokarbonlar atmosferik tanklarda depolanırken, gaz

halindeki hidrokarbonlar ise sıvılaştırılmış veya sıkıştırılmış olarak basınçlı tanklarda depolanırlar.

Hidrokarbon depo tanklarında işletmeye bağlı ya da işletmeden bağımsız çeşitli riskler olduğunun bilinmesi ve gerekli önlemlerin alınması son derece önemlidir. İşletmeye bağlı başlıca riskler tankların aşırı dolumu, tanklara vakum etkisi, tankın tasarım amacından farklı ürünlerin depolanması nedeniyle aşırı yüklenmesi olarak sıralanabilir. İşletmeden bağımsız risklere ise imalat hataları, yangın, patlama, doğal olaylar, tank malzemesine ve borulamaya bağlı durumlar (sünme, gerilme, çatlak oluşumu, ani kırılma, metal yorgunluğu) örnek verilebilir.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): obozdag@kocaeli.edu.tr



Aşırı dolum nedeniyle tank taşırma, basınç ve vakumun etkisiyle tank tavanının ve tank yan yüzeyinin hasar görmesi, sabit tavanlı tanklarda nefeslik yangını, yüzer tavanlı tanklarda rim-seal yangınları yaygın olarak görülen olaylardır. Yangınları önlemek için tank tipine ve yangının çıkış nedenine bağlı olarak geliştirilmiş farklı kontrol mekanizmaları bulunmaktadır. Tüm önlemlere rağmen meydana gelen yangın ve patlamalarla mücadele etme yöntemleri ise ayrıca önem taşıyan bir husustur [1,2].

Depolanan hidrokarbonların miktarları ve mali değerleri oldukça yüksektir. Bu ürünlerin sızması, dökülmesi, yanması ve benzeri nedenlerle olası kayıplar oldukça yüklü mali külfetler getirir. Ayrıca dökülme ve yangınlar çevreye oldukça büyük zararlar verirler. Bunların temizlenmesi ve çevreye verdikleri hasarların tazmin edilmesinin maliyeti oldukça yüksektir [3-5] Bu nedenle bu çalışmada petrol ve petrol ürünleri için güvenli depolamanın önemi vurgulanarak bu konuda farkındalık yaratmak için olası tehlikeler üzerinde durulacaktır.

2. Depo tankları

Atmosferik şartlarda kaynama noktasının altında bulunan petrol ve petrol ürünlerinin rafinerilerde depolanmasında kullanılan depo tankları, maliyet, tamir ve bakım kolaylığı nedeniyle yer üstünde yapılır ve atmosferik basınç altında çalışır. Depo tanklarının tiplerinin belirlenmesi, genel olarak tank buharlaşma kayıplarını önleyerek ekonomik ve emniyetli bir tank operasyonu sağlamak için, belirli ölçütlere göre belirlenir. Genel bir kural olarak kaynama noktaları atmosferik basınçta 0°C üzerinde bulunan petrol ürünleri, silindirik veya küre şeklinde basınçlı tanklarda depolanır. Parlama noktası 55°C'den küçük olan benzin, nafta, ham petrol vb. ürünler yüzer tavanlı tanklarda, parlama noktası 55°C'nin üzerinde olan ürünler sabit tavanlı tanklarda depolanır. Tank tiplerinin belirlenmesinde bir başka genel kural ise normal atmosferik sıcaklık ve basınç şartlarında alevlenebilir buhar hava karışımı meydana getiren petrol ürünlerinin yüzer tavanlı tanklarda saklanmasıdır [6,7,8].

Depo tankları, yüzeyinin hacmine göre küçük olması, mekanik mukavemetinin görece yüksek olması ve imalatının kolay olması nedenleri ile silindirik olarak yapılır. Tankların silindirik gövdesi genellikle dikdörtgen şeklinde sac plakaların imal edilecek tankın çapına göre bükülmesi ve bükülen sacların üst üste kaynatılması şeklinde imal edilir. Kaynak yerlerinin üst üste gelmemesine ve şaşırtmalı olmasına özen gösterilir. Tank dibinden yükseldikçe sac plakaların kalınlığı azaltılır. Yapılan tankın yüksekliğine bağlı olarak yan sacların kalınlığı 25-35 mm arasında değişir. Tank tabanları tek cidarlı veya çift cidarlı olarak yapılırlar. Çift cidarlı tanklar

özellikle çevre kirliliğini önleme bakımından büyük bir öneme sahiptirler.

Depolama tanklarının yerleşimi planlanırken normal işletme operasyonlarının, acil durum operasyonlarının ve yangın durumunda söndürme çalışmalarının gereklilikleri dikkate alınır. Tankların birbirlerine olan mesafeleri en az tank çapının yarısı kadar olacak şekilde yerleştirilir. Tanklar tutuşturucu kaynaklardan mümkün oldukça uzağa yerleştirilir. Sızıntı ya da taşma durumunda ürünün yayılmaması için tankların etrafı set yapıları (sedde veya duvar) ile çevrelenir. Set yapısının drenaj sistemi tahliyenin dışarıdan kontrol edilebilmesini sağlamalıdır.

2.1. Depo tanklarının tipleri

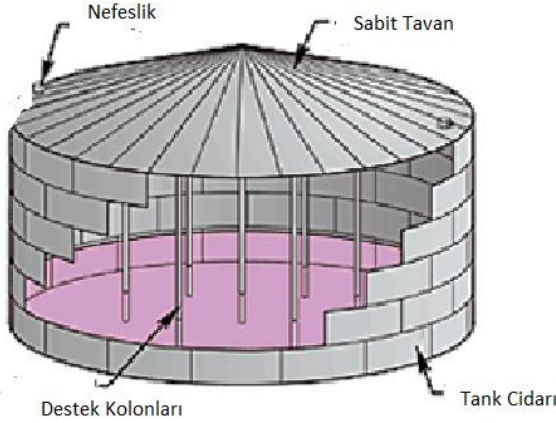
2.1.1. Tavansız tanklar

Su, tuzlu su, tank çamuru vb. ağır ürünlerin depolanmasında tavansız tanklar kullanılır. Ancak tavansız tankların kullanılmasına çevre kanunları ile önemli sınırlamalar getirilmektedir.

2.1.2. Sabit tavanlı tanklar

Bu tanklar fuel oil ve bitüm gibi parlama noktası yüksek olan ürünleri depolamak için kullanılır (Şekil 1). Tank hidrostatik basınca ve çevreden yayılabilecek radyan ısıya dayanıklı olarak yapılır. Sabit tavanlı tanklarda silindirik çelik gövdenin en üst kısmına taşıyıcı çelik kirişler kaynatılır. Kirişlerin üzerlerine sac kaynatılarak tank tavanı düz, konik veya kubbe şeklinde kapatılabilir. Tank tavanı çelik kirişler veya çelik kolonlar üzerine yerleştirilerek desteklenebilir. Tank tavan sacları tank yan saclarına kaynatılması bilinçli olarak zayıf yapılır. Tank herhangi bir nedenle yanlış olarak tam doldurulur ve basınç altında kalırsa açılmanın bu noktalardan olması istenir.

Sabit tavanlı tankların dezavantajlarından biri, bu tankların boşaltılması sırasında emiş borusunun ağzı civarında girdap oluşmasıdır. Tankın boşaltılması sırasında girdap oluşmasını önlemek için emiş borusunun önüne girdap kırıcı denen bir plaka konur. Ayrıca tank dibinde her zaman belirli bir seviyede sıvı tutulur. Sabit tavanlı tanklarda depolanan ürün buharlaşma neticesinde tavadaki nefeslikler vasıtasıyla hava ile temas halinde olur. Bu sebeple hava ile karıştığında düşük parlama sıcaklığı gösteren ürünler için yüzer tavanlı tanklar tercih edilmelidir.

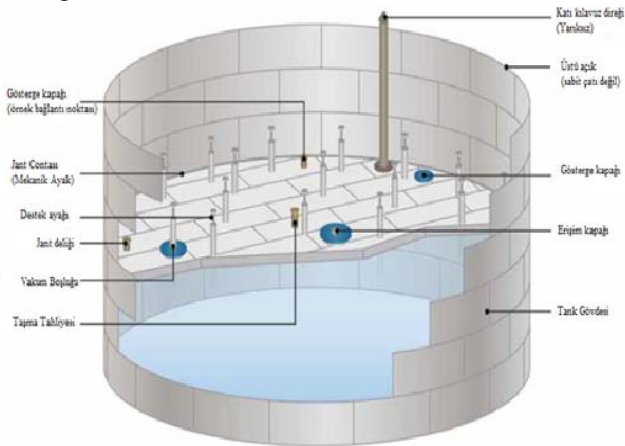


Şekil 1. Sabit tavanlı depo tankları

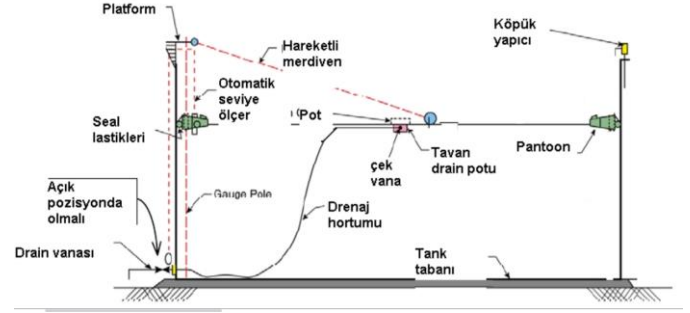
2.1.3. Yüzer tavanlı tanklar

Yüzer tavanlı tanklarda buharlaşma kayıplarını önlemek için silindirik tank içinde bulunan sıvının yüzeyinde serbest olarak yüzen bir tavan yerleştirilir (Şekil 2a, 2b). Yüzer tavan çift cidarlı tavan veya içinde pantoon adı verilen hava gözleri sayesinde tavan, tank içindeki hidrokarbon üzerinde yüzer. Burada temel düşünce sıvı ile havanın temasını minimuma indirmektir. Yüzer tavanın ayakları tank boş olduğu zaman tabana tavanın oturmasını önler. Genel olarak iki tip yüzer tavanlı tank vardır.

Dıştan yüzer tavanlı tanklar: Yüzer tavan üstü atmosfere açıktır. Yüzer tavan ile tank iç cidarı arasındaki boşluktan buharlaşmayı önlemek için rim-seal adı verilen kenar lastikleri yerleştirilir. Bu tanklar büyük miktarda nafta, kerosen ve gasoil gibi parlama noktası çok yüksek veya çok yüksek olmayan ürünlerin depolanmasında kullanılır. Bu tür tanklar buhar basıncı yüksek olan ürünlerin buhar kayıplarını azaltır. Bu ürünlerin ekonomik olarak depolanmasını sağlar. Dezavantajları yağmur suyu ve karın yüzer tavan üzerinde birikmesi nedeniyle yüzer tavanın tank dibine batma riski taşımasıdır. Dıştan yüzer tavanlı tankların en önemli dezavantajlarından biri de yıldırım nedeniyle rim-seal civarında yangın çıkma olasılığıdır.



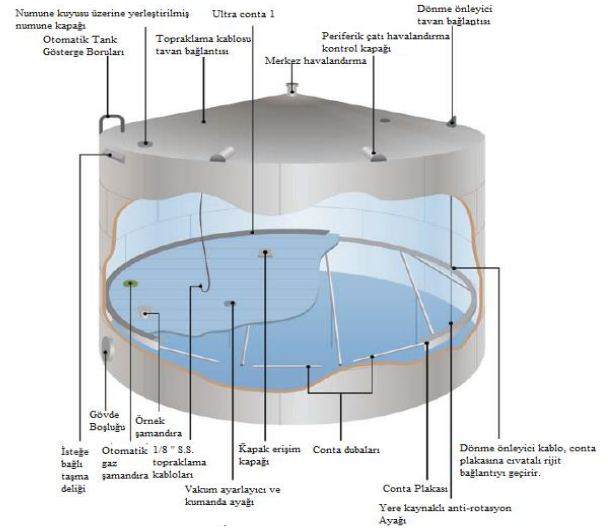
Şekil 2.a. Yüzer tavanlı depo tankının tavanı



Şekil 2.b. Yüzer tavanlı depo tankının genel donanımı

İçten yüzer tavanlı tanklar: Yüzer tavanlı tanklarda tank yan saclarına sabit ikinci bir tavan monte edilerek buharlaşma kayıpları asgariye indirilmektedir (Şekil 3). Bu tür tanklara içten yüzer tavanlı tanklar denir. Bu tip tanklar özellikle etanol, benzen gibi buhar basıncı nispeten yüksek ve çevreye zararlı ürünlerin depolanmasında kullanılır. Bu tanklar yağmur kar gibi atmosferik etkilerin risklerini ortadan kaldırır. Ayrıca yıldırım nedeniyle rim-seal yangını önler. Sabit tavanlı tanklara göre nispeten daha pahalıdır.

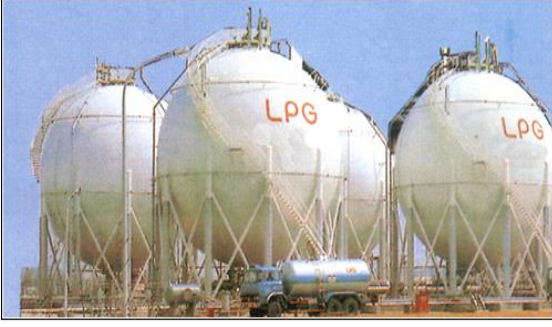
Yüzer tavanın avantajları: Ürünün buharlaşıp parlayabilir bir atmosfer oluşturacağı hacim kalmaz. Buharlaşma kayıpları en aza iner. Hava kirleticiler azalır. Tank ateşe maruz kaldığında koruyucu etki sağlar.



Şekil 3. İçten yüzer tavanlı depo tankları

2.1.4. Basınçlı depo tankları

Atmosferik basınçta kaynama noktasının üzerinde bulunan ürünlerin depolanmasında kullanılır (Şekil 4,5). LPG ve benzeri ürünlerin depolanmasında basınca dayanıklı ya fişek ya da küre şeklinde tanklar yapılır.



Şekil 4. Küre Tanklar



Şekil 5. Fişek Tanklar

2.2 Tank ekipmanları

Depo tanklarında tankların dolumu, boşaltılması ve çeşitli tank operasyonları için çeşitli bağlantı ve fitting elemanları bulunur. Başlıca tank elemanları; ürün giriş, ürün çıkış ve su tahliye nozulları, menholler, nefeslikler (ventler), topraklama elemanları, numune alma boruları ve yangın mücadele sistemleridir. Tanklar döküntü ve kaçakların yayılmasını önlemek için beton duvarla veya sıkıştırılmış toprakla çevrilir. Sedde duvarları içinde bir veya birden fazla tank bulunabilir. Genel bir kural olarak sedde hacmi, sedde içindeki en büyük tankın hacminin %110 fazlası olmalıdır. Sedde tank içindeki maddeye geçirgen olmamalı ve hidrostatik basınca dayanıklı olmalıdır. Sedde yüksekliği zeminden 1,5-2 metre yükseklikte olmalıdır.

3. Depo Tanklarının İşletme Riskleri

Hidrokarbonlarla çalışanların can güvenliği bakımından tank operasyonlarında her türlü emniyet kurallarını bilmesi ve uygulaması yaşamsal önem taşımaktadır. Hidrokarbon depo tanklarının dolumu ve tahliyesi sırasında sık karşılaşılan başlıca tehlikeler tank taşırma, nefeslik yangını, rimseal yangınları, tank tavan çökmesi ve tankın yarılmasıdır. Statik elektrik birikmesi de başlı başına ayrı bir hayati risk oluşturur.

3.1. Tank taşırma

Tank taşırma genellikle aşağıdaki nedenlerden dolayı olmaktadır:

1. Manuel dolumda yapılan operatör hataları (Örneğin yanlışlıkla boş bir tank yerine dolu bir tankın giriş vanasının açılması)
2. Tank dolumu yapan pompanın durdurma vanasının arızalı olması
3. Tank bloke sistemi yeterli nefeslik, vent veya tahliye sistemlerinin olmaması
4. Kayıtlarının düzenli tutulmaması veya birbirine karışması
5. Uzaktan seviye ölçüm yapan sistemlerin (RTG), yüksek seviye alarmlarına fazla güvenilmesi ve bunların bozulması veya yanlış sinyal vermelerinin sebep olduğu yanlış kararlar

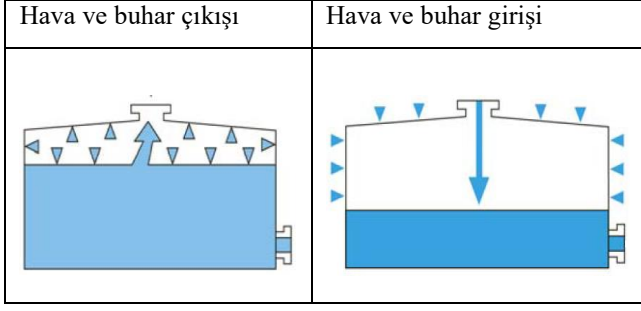
Tank seddelerin tahliye vanaları daima kapalı olmalıdır. Aksi takdirde seddelerden herhangi bir nedenle yayılan ürün denize veya dere, nehir vb. yere gider. Çok büyük çevre kirliliğine ve mali külfete neden olur (Şekil 6).



Şekil 6. Tankları taşırma

3.2. Basınç veya vakum etkisi

Sabit tavanlı tanklar sanıldığından çok daha dayanıksızdır. Pek çoğu tank tavanı, tank nefesliklerinin uygun çalışmaması, nefesliklerin içine kuşların yuva yapması, nefeslik meşlerinin çok ince olması vb. nedenlerle tankın içinde aşırı basınç veya vakum meydana gelmesinden dolayı yarılmış veya tavanı çökmüştür. İç basıncı yüksek tanklarda tank set değerinin aşılması halinde devreye girmesi için basınç tahliye vanaları bulunur. Vakum altında çalışan tanklarda ise set değerine göre ayarlanmış vakum kırıcı vanalar bulunur (Şekil 7).



Şekil 7. Tanka hava giriş ve çıkışı

Tanka sıvı girişi olurken hava ve buhar dışarı çıkabilmeli ve tanktan sıvı çıkarken hava tanka girebilmelidir. Pek çok sabit tavanlı tank, tankın içindeki basınç atmosferik basıncın arasındaki yaklaşık 7,5 mbar basınç farkına dayanacak şekilde tasarlanır ve yapılır.

Normal olarak tank dolarken içindeki havanın dışarıya atılması gerekir. Eğer dolum sırasında içerdeki hava dışarıya atılamazsa tankın basıncı yükselir ve tank tavanı yarılabilir. Tank boşaltılırken de tankın içine havanın girmesi gerekir. Aksi takdirde tank tavanı içe çökebilir. Büyük bir yüzey üzerine etki eden küçük bir basınç farkı oldukça büyük bir kuvvet meydana getirir. Örneğin; 46 metre çapında sabit tavanlı bir tankın iç basıncında 1 gr/cm² fark olsun. Bu tankın içindeki basınçla atmosferik basınç arasında 1 cm su sütunu yüksekliğinde basınç farkı anlamına gelir. Bu durumda tankın sadece tavanına 16.500 kg kuvvet uygulanır. Bu tankın yan yüzeylerine de 46.200 kg kuvvet uygulanır. Rafineri tankları içindeki basınçla dışındaki basınç farkı 6,5 cm su sütununu geçerse tankının tavanı kaynak yerlerinden yarılacak şekilde imal edilirler.

3.3. Tank yan cidarlarının arızalanması

Tank cidarları, doğal kuvvetler ve rüzgarın uyguladığı basınç veya deprem gibi nedenlerle hasara uğrayabilir (Şekil 8). Korozyon tank cidar kalınlığını ve ilgili metal donanımın kalınlığını azaltabilir. Tank zemini ve temelini uygun olmaması, hatalı montaj, standartlara uygun olmayan sac ve kaynak işlemleri kullanılması tank cidarı arızalarının başlıca kaynağıdır. Tankın içi boş ve yanıcı veya patlayıcı buharla dolu olduğu zaman risk çok daha yüksektir. Kaynak yapılması, çıplak ateş gibi nedenlerle tutuşup patlayabilir. Korozyon özellikle taban sacını etkiler. Tabanda genellikle az da olsa su bulunması elektrokimyasal pil oluşumunu tetikler. Elektrokimyasal korozyon taban sacını hızlı bir şekilde aşındırır.



Şekil 8. Tanklara vakum etkisi

3.4. Yüzer tavanlı tanklarda tavanın batması

Yüzer tavan üzerinde aşırı yağmur suyu birikmesi veya yüzer tavan hava odacıklarına (ponton) ürün dolması veya yüzer tavan desteklerinde operasyon sırasında dengesizlik olması nedeniyle tavan tankın dibine batabilir ve ürün tankın üstüne çıkar (Şekil 9). Benzer durum yüzer tavanlı tank yangınlarıyla mücadele ederken de oluşabilir ve tavan üzerinde biriken su nedeniyle tavan batabilir.

3.5. Yüzer tavanlı tanklarda tavanın oturması

Yüzer tavanlı tanklarda yüzer tavan tank dibine oturursa, bu tavanı hidrokarbonlarla yüzdürmek mümkün olmaz (Şekil 9). Bu nedenle yüzer tavana yaklaşık 1,2 metrelik ayaklar yapılır. Tank tabana oturursa bu ayaklar üzerinde oturur. Bu durumda tankı tekrar yüzdürmek mümkün olur. İşletme pratiği bakımından tank tavanının ayakları üzerine de oturtulmaz. Tank içinde her zaman 1,2 metre yüksekliğindeki sıvı ölü hacim olarak tutulur.

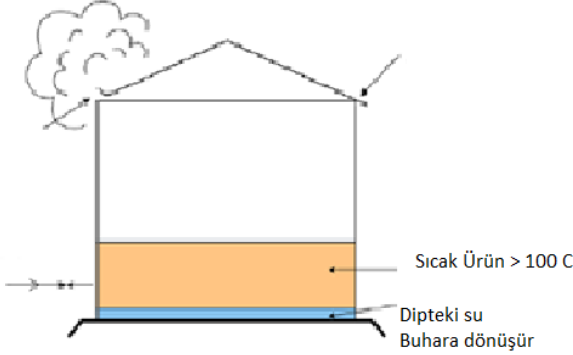


Şekil 9. Yüzer tavan batması

3.6. Tanklarda su patlaması ve köpürme riski

Tank diplerinde çeşitli nedenlerle su bulunur (Şekil 10). Bu nedenlerin bazıları şunlardır:

1. Proses ünitesinden sıcak gelen ürün içinde çözünmüş halde bulunan suyun ürün soğuyunca çözünürlüğün azalması nedeniyle tank dibine çökmesi
2. Tanka dışardan yağmur ve kar suyunun girmesi
3. Hava içindeki nemin gece ve gündüz sıcaklık farkından dolayı yoğunlaşması
4. Tank içindeki buharla ısıtma sisteminde delik veya kaçak olması

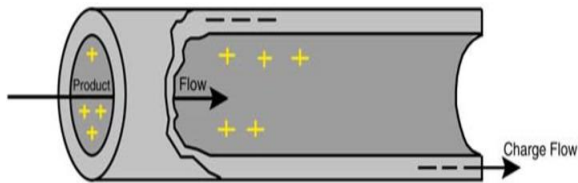


Şekil 10. Tankta köpürme

Tank dibinde bulunan su (Şekil 10) buhar fazına geçtiği zaman hacmi yaklaşık 1.600 kat artar. Bu da tankta patlamaya veya köpürmeye neden olur. Buna su patlaması ve dipten kaynama (boilover) denir. İçinde su bulunan bir tankta sıcak fuel-oil veya ağır bir petrol ürünü doldurulması sırasında sıcaklık suyun kaynama noktası olan 100°C'ye ulaşırsa dipten kaynama meydana gelir. Ham petrol veya fuel oil gibi ürün tanklarında yangının söndürülmesi sırasında da boilover meydana gelebilir. Bu durum yangınla mücadele edenlere zarar verir ve yangının yayılmasına sebep olabilir. Bu nedenle tank sıcaklığı hiçbir zaman 93°C'nin üzerine çıkartılmamalıdır. Tank diplerinde bulunması muhtemel su periyodik olarak kontrol edilmeli, varsa tahliye edilmelidir. Tank tahliyesi mutlaka operatör kontrolünde ve gözetiminde yapılmalıdır.

3.7. Tank işletmelerinde statik elektrik riskleri

Statik elektrik farklı iki maddenin sürtünmesi sırasında maddelerden birinin diğerine elektron vermesi ve diğerinin elektron alması sonunda farklı elektrik yüklenmesi nedeniyle meydana gelir (Şekil 11).



Şekil 11. Hidrokarbon akışı esnasında statik elektrik oluşumu

Hidrokarbonların tank dolumu veya tahliyesi sırasında statik elektrik meydana gelir. Statik elektriğin en önemli riski kıvılcım meydana getirebilmesi ve alevlenebilir bir hava hidrokarbon karışımını tutuşturması ve patlamalara neden olmasıdır. Bir halı üzerinde yürüdükten sonra, bir metale dokunduğumuz zaman küçük bir kıvılcım atlaması ya da bir irkilme duygusunu pek çoğumuz hissetmiştir. Şimşek çakması veya yıldırım düşmesi statik elektriğin neden olduğu en belirgin olaylardır.

Geçmişte statik elektriğin neden olduğu olayların pek çoğu tanker dolumu sırasında olmuştur. Tanker yangınlarının pek çoğunda farklı ürün yükleme sırasında yani bir tankerle hafif bir ürün taşındıktan sonra ağır ürün dolumu yapılırken olmaktadır. Rafinerilerin ürettiği benzin, kerosen, jet yakıtı, fuel oil vb. ürünler aşağıdaki durumlarda statik elektrikle yüklenir:

1. Ürünün bir yerden başka bir yere pompalanması
2. Ürünün bir boru içinden akması
3. Ürünün dökme dolum yapılması
4. Ürünün bir filtreden geçerek süzülmesi
5. Ürün içinde bulunan su zerreciklerinin çökmesi

Rafineri ekipmanlarının buharla temizlenmesi (stim out) sırasında, plastik numune kapları kullanıldığı durumlarda ve dramların doldurulması sırasında statik elektrikten dolayı pek çok patlama ve yangın olur. Örneğin, son 20 yıl içinde uluslararası bir rafineri şirketinin rafinerilerinde statik elektrikten dolayı 33, yıldırım düşmesinden dolayı ise 10 patlama ve yangın olayı olmuştur.

4. Yanma, yangın ve patlama

Petrol ve petrokimya tesislerinde yangın ve patlama olaylarına sık karşılaşılmaması nedeniyle yangınla mücadele ilkeleri ve bağlamda kullanılan terimlerin açıklanması terim birliği sağlama bakımından yararlı olacaktır.

Yanma: Bir yakıtın oksijenle kimyasal tepkimeye girerek yanma ürünleri (is, duman ve muhtelif gazlar) meydana getirmesidir. Yanma sırasında açığa çıkan enerjinin bir kısmı yanmayı sürdürmek için kullanılır. Yanma sırasında ortama ısı ve ışık yayılır. Yanma reaksiyonları her zaman gaz fazında olan hızlı reaksiyonlardır. Gaz ve sıvı yakıtları tutuşturmak genellikle kolaydır. Yanmadan önce sıvı buharlaşarak gaz fazına geçer. Katı fazda ise, katı molekülleri parçalanarak gaz fazına geçer.

Gaz ve buhar: Gaz hali genel bir terim olarak maddenin üç halinden birini ifade eder. Bir kap içine konan gaz halindeki bir madde, madde miktarı, ne olursa olsun, kabın tamamını doldurur. Bir maddenin atmosferik basıçta, kritik sıcaklığının altında bulunan gaz haline, buhar denir. Buhar üzerine basınç uygulanırsa sıvılaşır.

Kritik sıcaklık üzerindeki maddenin gaz haline basınç uygulanırsa sıvılaşmaz. Bu ayrımı yapmak için yaygın olarak kritik sıcaklık üzerindeki durumdaki hale gaz denir. Örneğin azot gazı, argon gazı gibi madde adı sonuna gaz sözcüğü eklenir. Azot buharı dendiği zaman ortam sıcaklığının kritik sıcaklıktan daha düşük olduğu ifade edilir. Buhar sıcaklığının nispeten küçük bir miktarda düşmesi halinde kap içinde sıvılaşma nedeniyle vakum oluşur. Kaplarda vakum oluşması tehlikeli bir durum meydana getirebilir. Normal şartlarda gaz olan maddeler, kendi buhar basıncı altında sıvı olarak depolanması halinde, basınçla sıvılaştırıldıkları ifade edilir. Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) buna tipik bir örnektir. Kaptan madde sızması olduğu zaman, ortama buhar olarak yayılacağı ve risk oluşturacağı vurgulanır.

Yangın: Kontrol edilemeyen istem dışı yanma reaksiyonlarına yangın denir. Yangın reaksiyonları çok hızlı gerçekleşirse buna kimyasal patlama denir. Yangın ve kimyasal patlama arasındaki temel fark ortaya çıkan enerjinin yayılma hızıdır. Yangında ısı enerjisi yavaş yayılır. Patlamada ise enerji hızlı bir şekilde tipik olarak birkaç milisaniye içinde gerçekleşir. Yangın patlamaya, patlama yangına neden olabilir.

Patlama: Basınç şok dalgası oluşturan ani ve şiddetli enerjinin çevreye yayılmasıdır. Patlama sonucunda hızlı hareket eden bir basınç dalgası veya şok dalgası oluşur ve gaz hızlı bir şekilde genişir. Patlama yangın olmadan da fiziksel değişim veya mekanik değişim veya bir kimyasal reaksiyon sonucu olabilir.

Fiziksel patlama: Bu patlama türü ani bir mekanik değişim sonunda veya ani bir hal değişimi sonunda meydana gelir. Bir buhar kazanının veya hava tankının aşırı basınçtan patlaması mekanik patlamaya tipik bir örnektir. Enerjinin yayılma hızının sonucunu nasıl etkilediğine tipik bir örnek olarak araba lastiği içindeki basınçlı havayı göz önüne alalım. Sıkıştırılmış hava enerji içerir. Eğer sıkıştırılmış hava bir nozuldan yavaş bir şekilde boşaltılırsa sonuç zararsızdır. Eğer lastik ani bir şekilde patlarsa sonuç tehlikeli olur. Faz değişimi sonucu patlamaya örnek olarak buhar kazanlarında yüksek basınç altında ve normal kaynama noktasının üzerindeki sıcaklıkta bulunan suyun üzerindeki basınç aniden düşerse, ani buharlaşma nedeniyle patlama olur. Benzer şekilde atmosferik tanklarda depolanan rezid veya fuel-oil gibi ağır petrol ürünlerinin, sıcaklığı 100°C üzerinde olması ve içine her hangi bir nedenle su girmesi halinde faz değişimi patlaması olur.

Kimyasal Patlama: Hızlı basınç yayılması veya şok dalgası, hızlı bir kimyasal reaksiyon nedeniyle ortaya çıkan ısının neden olduğu ani genişlemenin şok dalgası meydana getirmesidir. Örneğin Hidrojenin oksijenle tepkimesi buna tipik bir örnektir. Bazı kimyasal maddeler örneğin asetilen ortamda oksijen olmadan da patlama şeklinde bozunması,

çevresinde tehlike oluşturabilir. Kimyasallar yangın ve patlama formunda çok büyük tehlike oluşturur. Örneğin 5 litrelik bir tolüen bir laboratuvarı bir dakika içinde tahrip edebilir ve içindekilerinin ölümüne neden olabilir. Kimyasal reaksiyon cephesi, reaksiyon olmayan ortamda ses hızından daha düşük bir hızla ilerlerse deflagrasyon, daha yüksek bir hızla ilerlerse buna detonasyon denir.

4.1. Yangın üçgeni ve yangınla mücadele ilkeleri

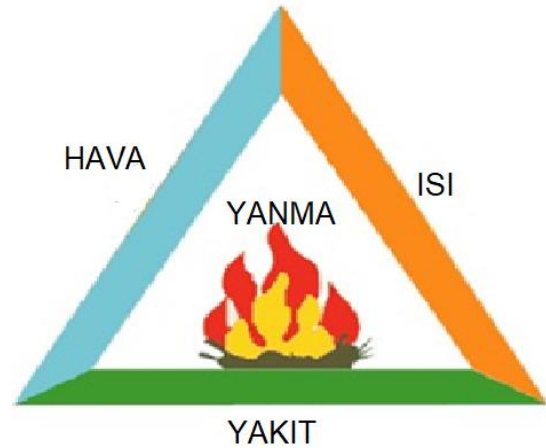
Proses endüstrisinde kullanılan pek çok madde alevlenebilir olması nedeniyle can ve mal kaybı tehlikesi taşır. Bir yangının başlayabilmesi için üç şartın bir arada bulunması gerekir (Şekil 12). Bunlar yeterli ısı (tutuşturma kaynağı), yakıt ve oksijendir. Bu şartlar arasındaki ilişki genellikle yangın üçgeni olarak bilinir. Bu üç şartın bir arada olması önlenirse yangın başlamaz. Bu bilgi yangın söndürme sırasında uyulması gereken ilkeleri oluşturur.

1) Benzin dizel gibi damıtık bir ürün içeren tank yangınlarında buharlaşma tankı soğutur. Yangını söndürmek için buharla havanın teması köpük ve su şemsiyesiyle kesilmeye çalışılır.

2) Ham petrol ve fuel-oil gibi damıtık olmayan ürünlerin tank yangınlarında, sıcaklığın yükselmesini önlemek için tankın gövdesi soğutulurarak buharlaşma önlenmeye çalışılır.

3) Kendi buhar basıncı altında sıvı olan ürünlerin örneğin propan, butan veya LPG tankı yangınlarında tankın buhar içeren kısmı soğutulurarak tank içindeki basınç düşürülmeye çalışılır.

Pratik deneyimler patlamayı önlemenin en iyi yolunun alevlenebilir karışımın oluşmasını önlemek olduğunu göstermektedir. Çünkü pek çok yakıtın tutuşma enerjisi çok küçük ve tutuşturucu kaynağı çok fazladır. Yaygın olarak görülen tutuşturma kaynakları; kıvılcım, alev, statik elektrik ve ısıdır.



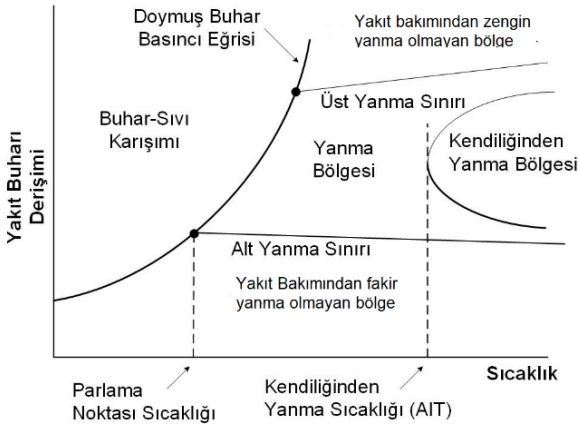
Şekil 12. Yangın Üçgeni

4.2. Yakıt buharı ve hava karışımının alevlenme diyagramı

Alevlenebilir bir yakıtın buhar hava karışımı içindeki derişimi ve sıcaklık arasında çizilen diyagram (Şekil 13) yanma karakteristiklerini tanımlayan çeşitli bölgeleri göstermektedir. Yakıt buharı ve oksijenin (veya hava karışımının) ancak belirli bileşimleri, belirli sınırlar arasında alevlenerek yanabilir. Yanmanın gerçekleştiği en düşük yakıt hava karışımı içindeki yakıt yüzdesi alt alevlenme sınırı ve yanmanın gerçekleştiği en yüksek yakıt yüzdesi üst alevlenme sınırı olarak adlandırılır.

Parlama sıcaklığı: Sıvı bir yakıtın belirli şartlarda yanmaya başlamaya yetecek kadar buharlaştığı en düşük sıcaklıktır. Ortamda yanmayı sürdürebilecek kadar buhar üretimi olmadığı için mevcut buhar bitince yanma durur. Yakıt karışımı parlar ve söner. Örneğin TSE standartlarına göre üretilen ürünlerin parlama noktalarının minimum değeri benzin için -45°C , dizel için 55°C , fuel-oil için 66°C olmak zorundadır.

Tutuşma sıcaklığı: Sıvı ya da katı bir yakıtın üzerinde yanmayı sürdürebilecek kadar buharın oluştuğu en düşük sıcaklığa tutuşma sıcaklığı denir. Tutuşma sıcaklığı, parlama sıcaklığından genel olarak birkaç derece daha yüksektir.



Şekil 13. Yanma Bölgeleri

Alevlenme (yanma) noktası : Bir gaz yakıtın veya sıvı yakıt buharının, atmosferik basınçtaki hava ile karışımının alevlenerek yanabildiği en düşük yakıt derişimine alt alevlenme noktası, en yüksek yakıt derişimine üst alevlenme noktası denir.

Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı: Alt ve üst alevlenme sınırları arasında bulunan bir gaz yakıt veya yakıt buharı karışımının yeterli bir sıcaklığa ulaştığında alevlendiği sıcaklıktır. Bir başka deyimle yanma reaksiyonunun kendiliğinden başlaması için gerekli en düşük sıcaklıktır. Örneğin yanma limitleri arasında bulunan bir yakıt hava karışımı ısıtılırsa veya adyabatik olarak sıkıştırılarak

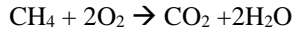
sıcaklığı arttırılırsa kendiliğinden tutuşur. Dizel motorları bu prensibe göre çalışmaktadır.

Tablo 1. Bazı gaz yakıtların ve yakıt buharlarının hava ile karışımının alt ve üst alevlenme sınırları

Yakıt	Alt alevlenme yakıt derişimi %	Üst alevlenme yakıt derişimi %
Hidrojen	4	74
Metan	5	15
Propan	2,5	9,5
Bütan	2	8,5
Etilen	3	32
Asetilen	2,5	80
Benzin	1,4	7,6

4.3 Alevlenme diyagramı

Bir gaz veya buharın alevlenmesini genel olarak gösterebilmek için Şekil 14'deki gibi bir eşkenar üçgen diyagram kullanılır. Üçgenin köşeleri yakıt, oksijen ve inert maddeyi gösterir. Üçgenin kenarları bu maddelerin ikili karışımını temsil eder. Üçgen içindeki her hangi bir nokta üçlü karışımın bileşimini temsil eder. Örneğin, A noktası %60 metan, %20 oksijen ve %20 azotu temsil eder. A noktası alevlenme bölgesinin dışında kaldığı için bu karışım alevlenmez. Koyu çizgi stokiometrik reaksiyon oranını gösterir: $1/3$ (%33,33) metan, $2/3$ oksijen (%66,66).

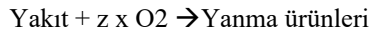


Hava çizgisi ise hava ile yakıtın olabilecek tüm karışımını gösterir. Bu hat yakıtın sıfır olduğu saf hava noktasından (%21 O_2 ve %79 N_2) başlar, yakıtın %100 (%0 O_2 ve %0 N_2) noktasında biter.

Hava çizgisinin denklemi:

$$\% \text{Yakıt} = 100 - \% \text{Azot} \times (1 / 0,79)$$

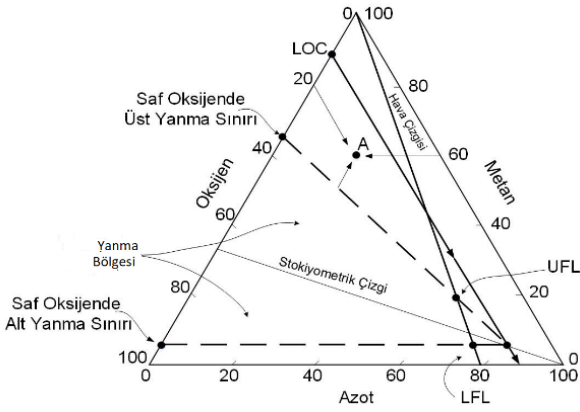
Stokiometrik çizgisi yakıt oksijen karışım oranlarının tümünü temsil eder. Bir yanma reaksiyonu genel olarak şu şekilde gösterilebilir.



Burada z stokiometrik katsayıdır. Stokiometrik hat ile oksijen eksenin (%100 O_2) kesişme noktası arasındaki bağıntı, oksijen ekseninde azot olmadığı göz önüne alınarak $100 \times (z / (z+1))$ şeklinde yazılabilir.

Stokiometrik hat çizgisinin denklemi:

$$\% \text{yakıt} = (100 - \% \text{N}_2) / (1+z)$$



Şekil 14. Alevlenme diyagramı

Herhangi bir yakıt oksijen derişim limiti değerden daha düşük oksijen içerirse yanmaz. Bu derişime limit oksijen derişimi denir. Limit Oksijen derişim altında reaksiyon gaz karışımının tamamını ısıtmak için yeterli ısı enerjisi meydana getiremez. Bu nedenle alev kendiliğinden yayılamaz. Alevlenme bölgesinin formu ve büyüklüğü sıcaklık, basınç, yakıtın cinsi ve ortamda bulunan inert gazın cinsine ve miktarına göre değişir. Yangın ve patlamalar yakıt derişimi ne olursa olsun oksijen derişimi düşürerek önlenabilir. Bu uygulamaya inerting denir.

Inerting: Gaz halindeki bir yakıt ile hava karışımı veya yakıt buharı ile hava karışımına inert gaz ilave ederek karışım içindeki oksijen derişimini, oksijen limit yüzdesi altına düşürmeye inerting denir. Inert gaz olarak azot veya karbon dioksit kullanılır. Bazı durumlarda buhar da inert gaz olarak kullanılmaktadır. Inerting yakıtın içinde bulunduğu kabı inert gaz ile süpürerek (purging) oksijen yüzdesini emniyetli bileşime getirmeye başlar. Genel bir kontrol noktası oksijen limit yüzdesinin %4 daha düşük değeridir. Yani oksijen limit yüzdesi %10 oksijen ise, %6 oksijen seviyesi emniyetli kabul edilir. Bir inerting sistemi hava ve buhar karışımının bulunduğu bölgedeki oksijen yüzdesi limiti altında oksijen bulunmasını sağlayarak yanmayı önler. Inert gaz kullanılan sistemlerde görülen önemli sakıncalarından biri havasızlıktan boğulma olaylarıdır.

5. Yangın Tipleri ve Patlama Tehlikesi

Hidrokarbon depo tankları genelde gördüklerinden ve sanıldıklarından çok daha düşük bir mukavemete (dayanaklığa) sahiptirler. Ayrıca tank operasyonları da görüldüğü kadar basit değildir. Yapılan basit hataların sonuçları son derece pahalı olarak ödenir.

Hidrokarbon depo tanklarındaki başlıca potansiyel tehlikeler şunlardır:

1. İçerik kayıpları (tanklardan sıvı taşması, sedde duvarının yıkılması ya da gaz kaçakları)

2. Yangın (havuz yangını, tank yüzey yangınları, jet yangınları (boilover))

3. Patlama (buhar bulutu patlaması), zehirli duman ve gaz

4. Doğal afet (Deprem, yıldırım, fırtına ya da kasırga) tahribatları

Bu tehlikeler ayrı ayrı yaşanabileceği gibi birinin meydana gelmesinin bir diğerini tetikleme riski de olabilir. Buna domino etkisi denir [7]. Riskler değerlendirilirken domino etkisi göz ardı edilememelidir. Riskler süreç güvenliği, yapısal analizler ve işletme güvenliği konuları dikkate alınarak bütünsel bir bakış ile değerlendirilmelidir.

Kimya endüstrisinde karşılaşılabilecek yangın tipleri aşağıda açıklandığı gibi birbirlerinden oldukça farklıdır.

5.1. Jet yangını

Basınç altında gerçekleşen bir proses ekipmanından veya hattından dışarı sprej şeklinde yakıtın sürekli sızması ve hemen alev alması sonucunda oluşur. Bu sızıntı bir veya birkaç yerden olabilir. Jet yangınları oldukça tehlikeli olabilir. Yangın sırasında oluşan yüksek sıcaklıktaki alevin yaladığı malzeme mukavemeti zayıflar, kırılmasına veya yarılmasına neden olarak problemi büyütebilir.

5.2. Havuz yangını

Yatay bir havuz içerisine yayılmış durgun bir yakıtın alev almasıyla oluşan yangın türüdür. Havuz yangınlarında yanma hızı, havuz yangını yakıtı su veya çelik üzerinde de olsa aynıdır. Açık havada olan havuz yangınları rüzgar aldığı için yanmayı yakıt kontrol eder. Büyük miktarda alevler oluşturur. Tesisi ve çevreyi tehdit eder. Kapalı alanda ise yanmayı havalandırma kontrol eder. Ağır hidrokarbonlar isli yanarken, LNG temiz bir alevle yanar.

5.3. Buhar bulutu patlaması

Kimya endüstrisinde en tehlikeli ve tahrip gücü yüksek patlama türüdür. Bu tür patlamalar sıralı birkaç adımda oluşur. Ani olarak çok büyük bir miktarda alevlenebilir sıvı maddenin çevreye yayılması ilk aşamayı oluşturur. Bu tipik olarak bir kap içinde aşırı ısıtılmış ve basınç altındaki sıvının bir patlaması sonucu çevredeki atmosfere yayılmasıyla olabilir. İkinci aşamada ise bu buhar bulutu herhangi bir kaynaktan tutuşarak alev alır.

Kapalı alanda buhar bulutu patlaması: Kapalı bir kap, tank veya bir binanın içinde olan patlamadır. Cana, varlıklara ve çevreye önemli ölçüde zarar veren ve çok yaygın görülen bir patlama türüdür.

Açık alanda buhar bulutu patlaması: Bu açık alanda olan bir patlamadır. Bu tür patlamalar genellikle alevlenme

noktası düşük bir sıvının dökülmesi ve buharlaşması veya gaz bir yakıt kaçağının atmosfere yayılması ve tutuşturucu kaynağından alev alması şeklinde olur.

5.4. Kaynayan sıvı buhar yangını (BLEVE)

Buhar basıncı atmosferik basınçtan yüksek olan sıvıların basıncın düşmesi nedeniyle hızlı bir şekilde buharlaşması ve yanması sırasında açığa çıkan ısının, tankın buhar kısmındaki sıcaklığının hızla yükselmesi ve mekanik mukavemetinin azalması ve patlaması sonunda büyük bir alev topunun oluşmasıdır (Şekil 15). BLEVE sırasında tankın şarapnel parçaları oldukça uzaklara fırlatabilir.



Şekil 15. BLEVE

5.5. Zehirli duman ve gaz yayılması



Şekil 16. Zehirli Duman ve Gaz Yayılması

Zehirli duman ve gazın etkisini duman dağılım oranı, duman yüksekliği, zehirli kirleticinin kaynağındaki derişimi, hava şartları belirler. Tipik bir yangın dumanı Şekil 16'da görülmektedir.

6. Sonuç

Ham petrol, petrol ürünü akaryakıtlar ve normal şartlarda gaz olan ve kendi buhar basıncı altında sıvı olarak kullanılan propan, bütan veya bunların karışımı olan LPG'nin depolandığı tank sahaları, büyük bir risk taşımaktadır. Ayrıca boya üretiminde kullanılan çeşitli solventler, plastik ve polimer üretiminde kullanılan etilen, propilen, bütilen, etilen oksit gibi çok çeşitli kimyasallar çok büyük miktarlarda kullanılmaktadır.

Bu ürünlerin tümü yanıcı, parlayıcı ve patlayıcıdır. Özellikle Kocaeli, Körfez bölgesinde depolanan ham petrol, akaryakıt ürünleri, LPG ve petrokimyasal ürünlerin taşıdığı riskler hakkında ilgili iş yerlerinde, kamu görevlilerinde ve bölge halkında mevcut potansiyel tehlikenin önemi ve büyüklüğü konularında farkındalık yaratmak büyük bir önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- [1] Daniel A. Croal and and JF Loovar, Chemical Process Safety Fundamentals with Application, 3rd Ed., 2011, Printice Hall.
- [2] Sam Mannan, Lees' Process Safety Essentials, Hazard identification, Assessment and Control, Elsevier, 2014
- [3] James G. Speight, The Chemistry and Technology of Petroleum, Fifth Edition, 2012 Heinz Heinemann, Berkeley, California
- [4] James H. Gary, Petroleum Refining Technology and Economics, Fourth Edition Colorado School of Mines Golden, Colorado Glenn E. Handwerk
- [5] Mohamed Fahim Taher Al-Sahhaf Amal Elkilan, Fundamentals of Petroleum Refining, Elsevier, 2010
- [6] Osman Bozdağ, ATAŞ Rafinerisi, Depo Tankları Eğitim Notları, 2003
- [7] Philip Myers, Above Ground Storage Tanks, McGraw-Hill, Chemical Engineering book, series, 2016
- [8] Ali Sarı, "Depolama Tankı Terminallerinin Risk Analizi", Kontrol Medya, <http://kontrolmedya.com/depolama-tanki-terminallerinin-risk-analizi-iv/>, (Erişim tarihi: 21.01.2020)