

HURİYE KUMRAL

**KİMYASALLARLA ÇALIŞMALARDA
STATİK ELEKTRİK TEHLİKELERİ VE ÖNLEMLER**



ÖNSÖZ

Statik elektrik patlayıcı ortamlarda büyük kazalara yol açmaktadır ve bu kazaların boyutları bazen çok büyük olmaktadır. Ülkemizde de un fabrikaları siloları örneğinde olduğu gibi statik elektrik kaynaklı birçok kaza olmaktadır. Yangın ve patlama kimyası ve bu konuda alınacak önlemler çok detay içermektedir. Bu kitap; kimya sektöründe büyük sorunlara yol açan statik elektrik konusunun özellikle kimyasallarla çalışmaların daha iyi yönetilmesi için yazılmıştır.

Kitap içinde, statik elektrik kaynaklı kazalar ve statik elektrik risklerinin yönetimi için örnekler bulunmaktadır. Ayrıca, kimya sektörü dışında statik elektrik kaynaklı tehlikeler ile ilgili birçok bilgi kitap içinde yer almıştır. Yine, okuyuculara rehber olması açısından kitaba; statik elektriğin yanı sıra, yangın ve patlayıcı ortamlarla ilgili birimler, terimler ve tanımlar bölümü eklenmiştir.

Bu kitaba destekleri için Serdar Paker'e (Elektrik Mühendisi ve İş sağlığı ve Güvenliği M.Sc.) teşekkür ederim. Elektrik terim ve kavramlarının gözden geçirilmesinde bana çok değerli katkılarda bulunmuştur. Her zamanki dayanışma ruhuyla yardımlarını esirgemeyen değerli meslektaşım Ruhi Öktem'e (Kimya Yük. Mühendisi ve İş sağlığı ve Güvenliği M.Sc.) ayrıca teşekkür ederim.

Kitap bir kılavuz niteliğindedir ve her ne kadar yazarın saha tecrübelerini içerse de yabancı kaynaklara dayanılarak yazılmıştır.

Kitap ücretsizdir ve kaynak gösterilerek çoğaltılabilir. Elbette gözümüzden kaçan unsurlar ve eksikler olmuştur. Her türlü düzeltme ve iyileştirme önerileri için aşağıdaki e-posta adresinin kullanılmasını rica ediyorum.

H. Huriye Kumral

İstanbul, Ocak 2021

huriye.kumral@gmail.com

KİMYASALLARLA ÇALIŞMALARDA STATİK ELEKTRİK TEHLİKELERİ VE ÖNLEMLER

İÇİNDEKİLER

SAYFA

I	STATİK ELEKTRİKLE İLGİLİ BİRİMLER, TERİM VE TANIMLAR.....	2
II	STATİK ELEKTRİĞİN OLUŞUMU ve ÖLÇÜMÜ	10
III	STATİK ELEKTRİĞİN ZARARLARI	17
IV	GÜNLÜK HAYATTA STATİK ELEKTRİK.....	18
V	İLGİLİ MEVZUAT	22
VI	ELEKTROSTATİK DEŞARJ ÇEŞİTLERİ.....	24
VII	YANGIN ve PATLAYICI ORTAMLARLA İLGİLİ BAZI TERİM VE TANIMLAR.....	30
VIII	TUTUŞMA KAYNAĞI OLARAK STATİK ELEKTRİK.....	34
IX	YANICI VE PARLAYICI SIVILAR VE STATİK ELEKTRİK.....	36
X	TOZ PATLAMALARI VE STATİK ELEKTRİK	45
XI	STATİK ELEKTRİK RİSKLERİNİN KONTROLÜ	50
XII	GEVŞEME SÜRESİ VE ANTİSTATİK BAKIM	56
XIII	ÇALIŞANLAR İÇİN STATİK ELEKTRİĞE KARŞI ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER.....	57
XIV	UYGULAMA İÇİN BAZI İPUÇLARI.....	61
XV	KAYNAKLAR	66

I- STATİK ELEKTRİKLE İLGİLİ BİRİMLER, TERİM VE TANIMLAR

A- ELEKTRİK

Elektrik kelimesi, Antik Yunan kelimesi olan ve amber taşı (kehribar-fosilleşmiş ağaç reçinesi) anlamı taşıyan **elektron** kelimesinden türemiştir. Amber aynı zamanda ışık saçan anlamında kullanılmaktadır. İlk elektriklenme olayına amber taşının hızlı bir biçimde törpülenmesi esnasında rastlanılmıştır. Işık saçan ve küçük kıvılcıklar ile birlikte güçlü elektriklenme olayı ise ilk defa Von Guericke tarafından yapılan statik elektrik makinasıyla yaklaşık 300 yıl önce gözlemlenmiştir. Elektrik kelimesi Fransızca kökenlidir.

TDK'ye göre, elektrik kelimesi anlamı şu şekildedir:

- Maddenin elektron, pozitron (proton) vb. parçacıklarının hareketleriyle ortaya çıkan enerji türü
- Bu enerjinin gündelik hayatta kullanılan biçimi
- Bu enerjiden elde edilen aydınlanma
- Fiziğin, bu enerji ile oluşan olaylarını inceleyen kolu

B- COULOMB KANUNU

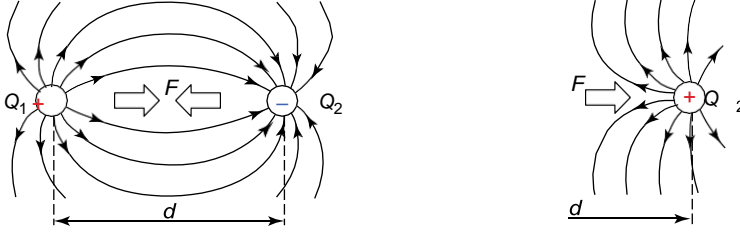
İki noktasal ve birbirine göre hareketsiz olan yükün arasındaki elektrostatik kuvvet, yüklerin skaler çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Coulomb kanunu Newton'un kütle çekim kanununun elektrik versiyonudur. Farkı; elektrik yüklerinin + veya – işaretli olup, aynı yüklerin birbirini itmesi, zıt yüklerin birbirini çekmesidir. Aslında bu bağlantıyı ilk kullanan 1770'te Henry Cavendish'dir. Ancak bu durum, olayın 100 yıl sonra Maxwell tarafından açıklanmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu arada Coulomb (Kulon) kendi adıyla anılan kanunu 1785 yılında yayınlamıştı. Millikan 1908'de bir elektronun yükünü $-1,6 \times 10^{-19}$ C ölçmüştü. Ya da 1 Coulomb;

1 C= $6,25 \times 10^{18}$ elektronun yüküdür.

C- ARTI VE EKSI YÜKLER

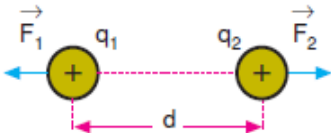
+ ve – yükler Bohr'un atom modelinde çekirdekte + yüklü proton ve yüksüz nötronlar, çevresindeki yörüngede de – yüklü elektronlar mevcuttur. Yüksüz atomlar; + yüklü protonları ve – yüklü elektronları eşit olan atomlardır. Sürtünmeyle, dokunmayla veya tesir ile yalıtkan

cisimlerin atomlarındaki elektronların yükü kimisinde (cam gibi) diğer cisme geçerek azalır veya kimisinde de (reçine gibi) diğer cisimden yük alarak artar. Protonların sayısına göre elektronların eksilmesi + yükü, elektronların artması – yükü oluşturur. Elektronlar ihmal edilebilecek kadar küçük kütlelere sahip olup yükleri vasıtasıyla statik elektrikten sorumludurlar. Benjamin Franklin; cam elektriği yerine +, reçine elektriği yerine – isimlerini verdi.



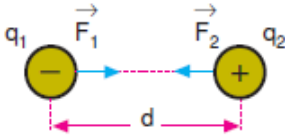
Şekil 1: Ayrı yükler birbirini çeker, aynı yükler birbirini iter.

D- COULOMB KUVVETİ



Yüklü cisimler birbirlerine yük miktarıyla doğru, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı bir kuvvet uygularlar.

$$F_1 = F_2 = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

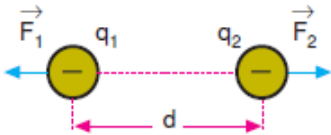


$F_1 = F_2 =$ coulomb kuvveti (Newton)

$q_1 = 1$. Cismin yük miktarı (C)

$q_2 = 2$. Cismin yük miktarı (C)

$d =$ Yükler arasındaki uzaklık (m)



$k =$ Boşluk ve hava ortamı için coulomb sabiti olup $9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$ dir.

Yüklenmiş iki farklı özellikte yalıtkan madde birbirine dokundurduğunda maddelerden biri elektron yükünü verip pozitif yüklenir, diğeri de aldığı için negatif yüklenir. Böylece maddeden maddeye oldukça büyük miktarda elektron yükü aktarılır.

Örnek vermek gerekirse, un ya da şeker gibi toz maddeler bir boru veya silonun içinden geçirildiğinde boru veya silonun duvarlarına elektriksel kuvvetle yapışır. Halıyla kaplı bir zeminde yürüyerek statik elektrik yüklenen bir insan topraklı metal bir kapının tokmağına dokunduğunda çarpılmaya uğrar. Bir parça bezi plastik bir dosyaya sürdüğümüzde statik elektrikle yüklenmiş olur.

E- ELEKTROSTATİK DEŞARJ (ESD, ELECTROSTATIC DISCHARGE)

Yüklü bir nesneden yüksüz bir nesneye hızlı bir biçimde aktarılan elektrik yüküne “elektrostatik deşarj (ESD)” denir. Elektrostatik deşarj malzemenin öz direncine ve zamana bağlıdır.

İletken malzemeler çok kısa bir sürede deşarj olur. Kısaca, yük biriktiremez. Yalıtkanlar ise uzun süre şarj tutar.

$$q = CV$$

q: Yük (Şarj)

C: Kapasite

V: Gerilim

Böylece kapasitif özellikli (yalıtkan) bir malzemeye uygulanacak gerilim artarsa şarj da artar.

F- AKIM

İletken bir ortamın herhangi bir kesitinden belirli bir yönde, birim zamanda geçen elektrik yükü miktarına elektrik akım şiddeti denir. “I” ile gösterilir. Buna göre bir iletkenin herhangi bir kesitinden t sürede q kadar net yük geçiyorsa, iletkenin geçen akım şiddeti: $i = dq/dt$

Bir saniyede bir coulomb ($6,25 \times 10^{18}$ elektron yükü) yük değişimine bir **amper** denir.

Elektrik akım şiddeti **Ampermetre** ile ölçülür. $C = A.s$ (Coulomb=Ampersaniye)

G- GERİLİM

Bir elektrik alanı içerisindeki iki nokta arasındaki potansiyel farktır. Bu elektriksel gerilimin ölçü birimi V (volt)tur. Birim analizi $V = J/C$ (volt=joule/coulomb).

Bir ohm'luk bir direnç üzerinden, bir amper'lik elektrik akımı geçmesi halinde direncin iki ucu arasındaki gerilim bir **volt**tur. Potansiyel farkın büyüklüğü enerji kaynağı tarafından belirlenir. İki nokta arasındaki potansiyel fark ise **Voltmetre** ile ölçülür.

H- BİR İLETKENİN DİRENCİ

Bir iletkenin, yük akışına karşı koymasına **direnç** denir. Bir iletkenin direnci:

1. Uzunluğu (l) ile doğru orantılıdır.
2. Kesit alanı (A) ile ters orantılıdır.
3. **Öz direnci** (ρ) ile doğru orantılıdır. (Öz iletkenlikle (χ)ters orantılıdır.)

Buna göre direnç:

$$R = \rho \cdot l / A$$

$$R = l / \chi \cdot A$$

Bakırın öziletkenliği $\chi = 56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

Toprağın öz direnci (özgül direnci) $\rho = 50 \Omega \cdot \text{m}$

$$\chi \text{ (m}/\Omega\text{mm}^2) = 10^6 / \rho (\Omega \cdot \text{m})$$

I- DİRENÇ

Bir iletkenin iki ucu arasındaki gerilimin (potansiyel farkının) iletken üzerinden geçen akım şiddetine oranı sabittir. Bu sabit değere, elektriksel direnç ya da **direnç** denir. Buna göre bir iletkenin direnci:

$$R (\Omega) = V \text{ (volt)} / I \text{ (amper)}$$

Ohm Kanunu olarak da ifade edilen bu yasa, malzemeler ve nesnelerin ohmik olduğu sürece geçerlidir.

İ- ELEKTRİKSEL İLETKENLİK

Bir ortam içinde mesela bir çözelti içinde iki elektrot arasındaki elektrik akımının geçişine ortamın yatınlığıdır. Elektrik akımı geçişi çözelti içindeki iyonlar tarafından yapılmaktadır. Bu iletkenlik ölçüğünün başlangıcı olarak kabul edilir. İletkenlik "**öziletkenlik**=1/öz direnç" eşitliği ile ifade edilir. Öziletkenlik simgesi birime bağlı olarak iyonca kappa veya sigma harfi olup (χ veya σ) ile gösterilir.

$$\text{İletkenlik } \sigma : 1/\rho (\Omega \cdot \text{m}) \text{ Siemens } S = 1/\Omega \quad \sigma : S/\text{m}$$

J- ARIZA GERİLİMİ

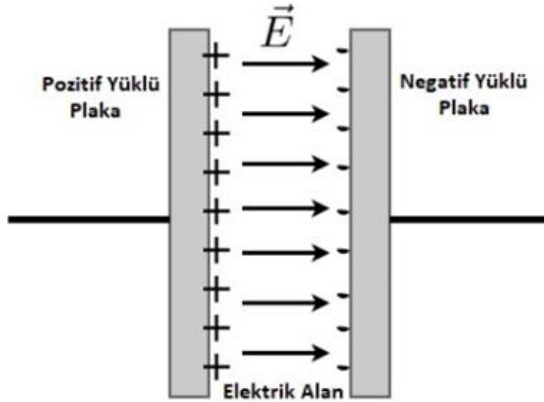
Bir yalıtkanın **arıza gerilimi**, bir yalıtkanın bir kısmının elektriksel olarak iletken olmasına (delinmesine) neden olan minimum gerilimdir.

K- KORONA DEŞARJI

Bir korona deşarjı elektriksel olarak yüklü bir iletkeni saran havanın iyonlaşması ile oluşturulan elektriksel bir deşarjdır. İletkenin üzerinden akım geçmesi sonucu oluşan elektrik alan kendisini çevreleyen gazın dayanma gerilimini aşarsa kısa süreli deşarjlar meydana getirir. İşte bu deşarjlar korona **deşarjını** oluşturur.

L- FARAD

Kondansatörler ya da diğer ismiyle kapasitörler, elektrik enerjisini elektrik alan olarak depolayan iki uçlu bir devre elemanlarıdır. Temelde iki iletken plakanın arasına yalıtkan bir madde koyulması ile elde edilir. Devrede ve denklemlerde **C** harfi ile gösterilir ve birimi **Farad (F)**'dir. Kapasitöre gerilim uygulandığında iletken plakalar birbirlerine göre ters ve eşit değere sahip elektrik yükü ile yüklenirler. Bu durum, plakalar arasında bir elektrik alan oluşmasına sebep olur.



Şekil 2: Kapasitör

M- İLETKENLER

Elektrik yüklerinin malzeme içinde rahat hareket edebildikleri maddelerdir. Metal atomlarının dış yörüngelerinde her an kopmak üzere olan serbest elektronların bulunduğu görülür. Bir

elektrona uyarım verildiğinde bu yük, komşu atom ya da moleküllere sıçrar. Bu sıçrama malzeme bütününe yayılarak adeta bir domino etkisi gösterir ve malzeme bütününde iletkenlik sağlanmış olur. Gümüş, Bakır ve Altın sırasıyla iyi iletkenlerdir.

N- YALITKANLAR

Yalıtkan maddelerde elektronlar çekirdeğe daha sıkı bağlı olduklarından serbestçe hareket edemezler. Yalıtkanlara örnek olarak; cam, kauçuk, plastik reçineler, kuru gazlar, kâğıt, petrol ürünleri verilebilir. Yüksek yalıtkan maddelerde elektronlar yüzeye yakın bulunurlar. Metallerde olduğu gibi bu elektronların yapmış olduğu iş ölçülebilir. Deneyler eğer bir vakum ortamında yapılıyorsa ve yalıtkanın yüzeyi dikkatli bir şekilde hazırlanmışsa, yalıtkanlarla yapılan deneylerden verimli sonuç alınabilir.

İki katı cisim arasındaki yüklenme olayında bir diğer önemli faktör permitivitedir.

Permitiviti dielektrik katsayısı ile elektrik alanın birbirine oranıdır.

Dielektrik kat sayısı: Yalıtkanlık sabiti veya dielektrik sabiti, bir malzemenin üzerinde yük depolayabilme yeteneğini ölçmeye yarayan katsayı. Başka bir ifade ile yalıtkanlık sabiti, bir elektriksel alanın etkilerinin veya yalıtkan bir ortam tarafından nasıl etkilendiğinin ölçümüdür.

Yüklü yalıtkan katıların temasla birbirini elektrikleme olayına "**Triboelektriklenme serisi**" denilmektedir. Permitiviti, aynı zamanda yalıtkan malzemenin polarize olma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Eğer iyon yalıtkan yüzeyinde yüklenirse, yüzeyde polarizasyon kuvvetleri tarafından sıçrama olacaktır. Kuvvet ne kadar güçlüyse permitivitinin değeri o kadar yüksek olur.

İLETKEN MADDELER	YALITKAN MADDELER
BAKIR	TAHTA
DEMİR	PORSELEN
GÜMÜŞ	KÂĞIT
TUZLU SU	CAM
GRAFİT	KURU HAVA
İNSAN VÜCUDU	KAUÇUK

Şekil 3: İletken ve yalıtkan maddelere örnekler

Bu **Coehn's Yasası**'ndan çıkar ki bu yasaya göre: İki madde birbirine temas eder ve permitivitisi yüksek olan pozitif yükle yüklenir. Bu yasadaki triboelektrik serisi oluşur.

Şekil 4'deki yalıtkan cisimler birbirine temaslı şekilde dizilip yüklenirse triboelektrik serisini oluşturarak yükü birbirleri üzerine aktarırlar.

O- ANTİSTATİK KATKI MADDESİ

Sıvı veya katı bir malzemenin yüzey veya hacim iletkenliğini artırmak için kullanılan bir katkıdır.

Ö- BAĞLAMA (BONDING)

Eş potansiyel bağlama; Statik (ve diğer) elektrik tehlikelerini kontrol etmek amacıyla, iki veya daha fazla iletken nesneyi bir iletken vasıtasıyla birbirine bağlayarak, aynı elektrik potansiyeline sahip olmalarını sağlama işlemi.

Pozitif Uç
Plastik Cam
Bakalit
Selüloz Nitrati
Cam
Kuvars
Naylon
Yün
İpek
Pamuk
Kâğıt
Kehribar
Resin
Metal
Kauçuk
Asetat Reyon
Orlon
Teflon
Negatif Uç

Şekil 4: Permitiviti etkisi

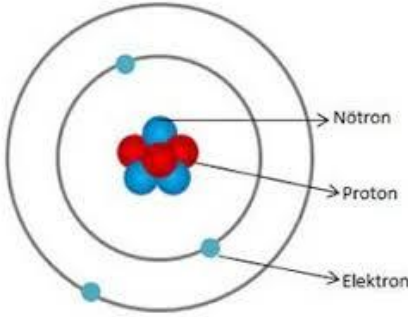
P- TOPRAKLAMA

Topraklama, statik (ve diğer) elektrik tehlikelerini kontrol etmek amacıyla, iletken nesnelere bir iletken vasıtasıyla toprak elektrotuna bağlama işlemi.

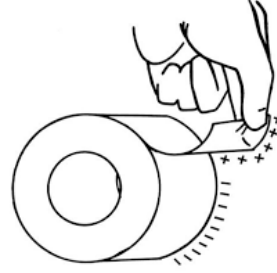
II- STATİK ELEKTRİĞİN OLUŞUMU VE ÖLÇÜMÜ

A- STATİK ELEKTRİK OLUŞUMU

Tüm maddeler farklı şekilde sıralanmış atomlardan ve moleküllerden oluşur. Atomların çekirdeğinde, protonlar ve nötronlar ve çevresinde negatif yüklü elektronlar bulunur. Atomun kütlesini proton ve nötronlar oluşturur.



Şekil 5: Atomun Yapısı



Şekil 6: Statik elektrik oluşumu

Atomlar normal durumlarında elektriksel olarak yüksüzdür ve eşit sayıda negatif ve pozitif yük içerirler. Ancak elektronlarda eksilme veya fazlaşma yaşadıklarında yüklü hale gelirler. Elektronlar hareketlidir ve ihmal edilebilecek kadar küçük kütlelere sahiptir. Bu sebeple elektronlar yük taşıyarak statik elektrikten sorumludurlar.

Statik Elektrik, birbirinden farklı veya aynı, iletken veya yalıtkan iki maddenin temas etmesi ve sonra ayrılması veya sürtünme işlemi sonucunda, bu iki cisim arasında pozitif ve negatif elektronların serbest bırakılması ve işaretlerinin değişmesi ile kendiliğinden oluşur. Statik yükün gerilimi çok fazla (kV) olmasına karşın, akımı çok zayıftır.

Yüklü kütleler arasında elektriksel potansiyel farkı kolayca birkaç bin volt değerinde gerilim yaratabilir. Deşarj 6-7 kV gerilimde olursa görünür hale gelir. Statik elektrik, bir maddenin içerisindeki ya da yüzeyindeki elektrik yüklerinin oransızlığı olarak tanımlanmaktadır. Yalıtkanlar yük biriktiği için tehlikelidir.

Petrol endüstrisinde, statik yük, akan sıvının temas ve ayrılmasından kaynaklanır. Sıvının boru içinde akışı yaygın bir statik elektrik üretimi olayıdır

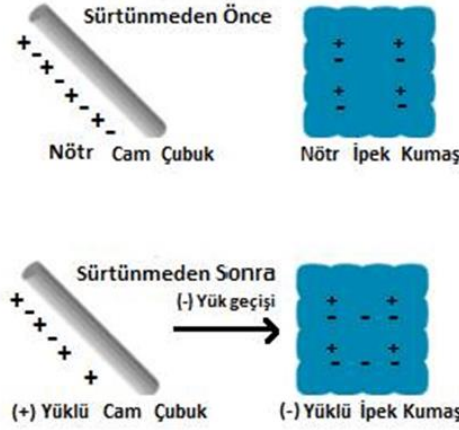
Statik elektrik oluşumu	Örnekler
Boru ve filtrelerden sıvı akışı	Tankların dolumu
Sıvı karışımı	Hızlı karıştırma
Sıvının yukarıdan serbest akması	Tankların üstten dolumu
Su baloncuklarının patlaması sonucu su sıçraması	Sıvıların hortum ağzından hızla fişkırması
Sıvıda baloncuk oluşumu	Sıvının içindeki havanın yüzeye doğru yükselmesi
Bir sıvının başka bir sıvıda çökmesi	Petrol depolanan tankta suyun çökmesi
Katı parçacıkların sıvıda çökmesi	Pas ve çamurun tank içinde çökmesi
Katı-katı etkileşimi	Katı parçacıkların tank plakalarına yapışması

Şekil 7: Statik elektrik oluşumu örnekleri

Statik elektriği oluşumunu aşağıdaki temeller çerçevesinde irdelemekteyiz:

B- SÜRTÜNME YOLUYLA STATİK ELEKTRİK OLUŞUMU

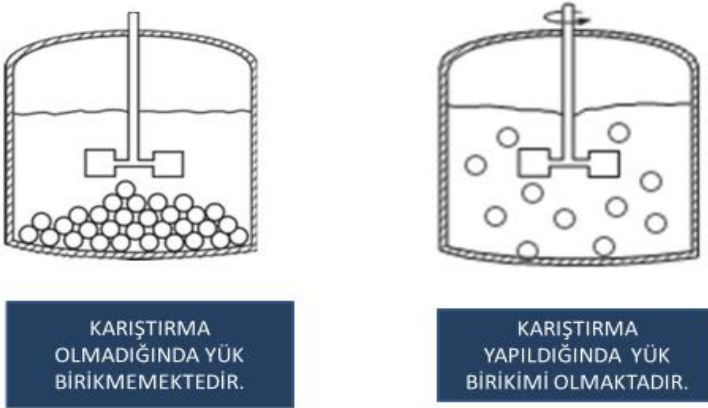
Yalıtkan iki madde birbirine sürtüldükçe yüzey atomlarıyla ilişkili elektronlar birbirlerine çok yaklaşırlar ve bir maddeden diğerine hareket edebilirler. İki madde birbirine ne kadar sert ve/veya hızlı sürtülürse elektron alışverişi o kadar büyük ve oluşturulan yük o kadar yüksektir. Bu süreç, sürtünmenin meydana getirdiği ısı enerjisini kazanan yüzey elektronlarıyla oluşur. Bu ekstra enerji atomik bağlarını kırmalarını ve diğer atomlara taşımalarını sağlar.



Şekil 8: Sürtünme yoluyla elektron taşınması

C-AYRIŞMA YOLUYLA STATİK ELEKTRİK OLUŞUMU

Ayrışma yoluyla yükleme yöntemi sürtünme yoluyla olana benzerdir. Yalıtkan iki madde birbiriyle temastayken yüzey elektronları birbirlerine çok yakındır ve ayrılmalarıyla birlikte triboelektrik serideki göreceli yerlerine bağlı olarak bir maddeye ya da diğerine yapışma eğiliminde olurlar. Maddelerin ayrışması ne kadar hızlıysa, oluşturulan yük o kadar yüksektir.



Şekil 9: Karıştırmada yük birikimi

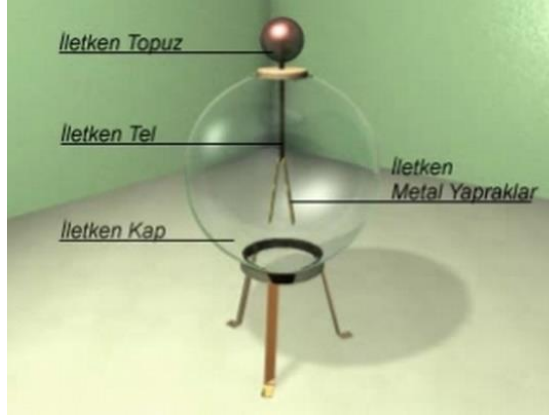
D- İNDÜKSİYON YOLUYLA STATİK ELEKTRİK OLUŞUMU

Maddeler güçlü bir elektrik alanının varlığı altındaysa statik yükler oluşturulabilir. Yükleme, maddenin yüzeyi ile voltaj kaynağı arasındaki havanın iyonlaşmasıyla ortaya çıkar, bu da yüzey elektronlarının maddeden kaynağa taşınmasına neden olur. Yaygın bir indüksiyon örneği yüklenmiş maddeler yakınında çalışan operatördür. Operatör yüklenmiş hale gelecektir ve topraklanmış bir nesneye dokunmasıyla statik elektrik, elektrik şoku vererek boşalacaktır.

Statik elektrik meydana gelme ihtimali olan bazı faaliyetler
Muhtelif katı küçük (tahıl) partiküllerin silo gibi sistemlerden boşaltılması
Toz emiş sistemleri
Shrink işlemi ile Ambalajlama
Santrifüj pompaları ile çalışılması
Boru hatlarında sıvı ve gaz transferi
Kauçuk tekerlekli arabalar
Elekler
Yanıcı sıvıların hızlı bir şekilde dolumu ve boşaltılması
Tabanca boyama işlemleri

Şekil 10: Statik elektrik oluşturan faaliyet örnekleri

Bir cismin elektrikle yüklü olup olmadığını, yüklü ise hangi tür elektrikle (pozitif veya negatif) yüklü olduğunu anlamaya yarayan aletlere **elektroskop** denir.



Şekil 11: Elektroskop

Statik elektriğin miktarını ölçen cihazlar, kV cinsinden gerilim ölçerler. Statik metre elektriklenmenin nerede ve nasıl oluştuğunu, genliğini ve polaritesini gösterir. Eğer problemin çözümünde bir statik önleyici gerekiyorsa statik metre bu statik önleyicinin en uygun pozisyonunu belirler ve performansını gösterir.



Şekil 12: Statik elektrik ölçme donanımı

E- ELEKTROSTATİK YÜK BÜYÜKLÜĞÜ

Elektrostatik yükün büyüklüğü birçok faktöre bağlıdır:

- Temas eden yüzeylerin yapısı
- Temas alanı
- Temas ve ayrılma hızı

Elektrostatik yük boşalımı: İnsanlar ortamdaki nem miktarına bağlı olarak bir halının üstünde yürüyerek 35.000 V elektrostatik gerilim yüklenebilir. Elektrostatik şarjın aniden boşalması **ESD (Elektro Statik Deşarj)** olarak ifade edilir.

AKTİVİTE	%10-25 NEMLİ HAVA	%65-90 NEMLİ HAVA
Halda yürümek	35.000 VOLT	1.500 VOLT
Vinil zeminde yürümek	12.000 VOLT	250 VOLT
Tezgâhta çalışan işçi	6.000 VOLT	100 VOLT
Tezgâhtan polüetilen torbanın alınışı	20.000 VOLT	1.200 VOLT
Polüüretan köpük sandalyede oturmak	18.000 VOLT	1.500 VOLT

Şekil 13: Yük oluşum voltaj seviye örnekleri

F- STATİK ELEKTRİĞİ ETKİLEYEN UNSURLAR

Nem

Su, göreceli olarak iyi bir iletkenidir. Nem maddelerin tüm yüzeylerinde küçük miktarlarda su saklar. Bu nedenle maddeler üzerindeki yüzey statik yüklerinin akım akışıyla toprağa dağılma eğilimi bulunmaktadır. Örneğin kâğıdın genelde yüksek nem içeriği bulunmaktadır ve özellikle yüksek düzeylerde statik elektrik yüklenmez. Ancak eğer kâğıt özellikle kuruyorsa statik elektrik ciddi bir sorun olabilir.

Madde özelliği

Bazı yalıtkan maddeler diğerlerine göre elektrik yüklenme konusunda nispeten daha uygundur. Bir cismin triboelektrik serilerindeki görelî pozisyonu materyalin temasta bulunduğu diğer materyale bağlı olarak negatif veya pozitif elektrik yükleneceğini belirler.

Sıcaklık değişikliği

Madde soğudukça bütün hacmi boyunca net bir yük oluşturma eğilimi kazanır. Eğer madde iyi bir yalıtansa, iç statik yük çok uzun süreler kalabilir. Ancak zaman içerisinde yük

normalde yüzey statik yük olmak üzere yüzeye taşınır. Bu olgunun bir örneği sıcakken nötr görünen fakat soğutulduğunda geniş bir yüzey yüküne olabilecek enjeksiyon kalıbıdır.

Akü etkisi

Elektrik yüklü çeşitli maddelerin birleştirilmesi, çok yüksek elektrik yüklenmesine yol açabilir. Örneğin; nispeten düşük yüzey elektrik yüklenmesine sahip plastik tabakalar, üst üste yığıldığında veya sarıldığında çok yüksek voltajlar üretebilirler.

Tekrarlama

Sürtünme veya ayrıştırma gibi tekrarlanan faaliyetler o cisimdeki yüklenme seviyesini arttıracaktır.

III- STATİK ELEKTRİĞİN ZARARLARI

A- STATİK ELEKTRİĞİN ZARARLARI

Temel olarak statik elektrik kaynaklı problemler:

- Proses kontrol ve kalite problemleri
- Toz kaynaklı kirlilik
- Kişiler üzerinde elektrik yük birikimi sonucu oluşan şok ve rahatsızlıklar
- Yangın ve patlama olasılığı

Statik elektrik insanlarda deri hastalıklarına neden olabilir. Düşük voltajlar ile çalışan elektronik devre elemanlarına zarar vererek devreleri işlemez duruma getirebilir. Elektronik tabanlı sistemlerde devre elemanlarını etkilemez ise de devre akımlarını etkileyerek sistemin istenmeyen sonuçlar döndürmesine sebep olabilir. Yanıcı veya patlayıcı özelliğe sahip sıvı ve gazlarla temasında istenmeyen felaketlere sebep olabilir. Üretim alanlarında kâğıt, kumaş vb. gibi ürünler statik elektrik sonucunda birbirlerini iterek dağılabilir veya birbirlerini çekerek yapışabilir bu da üretimde problemler yaratabilirler.

B- STATİK ELEKTRİKTEN ETKİLENEN CİHAZLAR

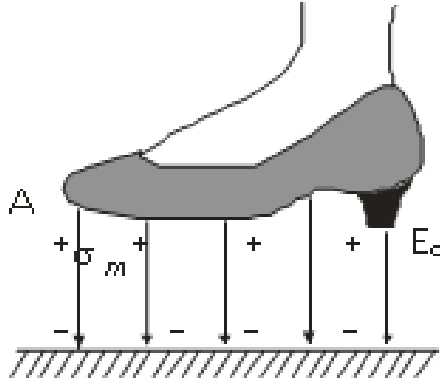
- Transistörler,
- Diyotlar,
- Lazer diyotları,
- Elektro-optik cihazlar,
- Hassas film rezistörleri,
- İnce ve kalın film rezistörleri,
- Kapasitörler,
- Yarı iletkenler,
- Mikro devreler,
- Hibrid cihazlar,
- Piezoelektrik kristalleri
- Komplike entegrasyonlu devre cihazları
- Karşılaştığımız statik elektrik olayları

IV-GÜNLÜK HAYATTA STATİK ELEKTRİK

A- İNSAN GİYSİLERİNDE VE KULLANIM ARAÇLARINDA STATİK ELEKTRİK

- Ortam havası kuru ve elektrikli, giysileriniz sentetik (naylon, orlon vb.) türünden ise bunların çıkarılması sırasında,
- Saçlar ve tarak arasında,

Ayakkabılarımızın altları kalın kauçuk malzemeden (yalıtkan) yapılmış ise vücudumuzda elektriksel bir yük birikimi oluşur.



Şekil 14: Ayak ve zemin arasında statik elektriğin oluşumu

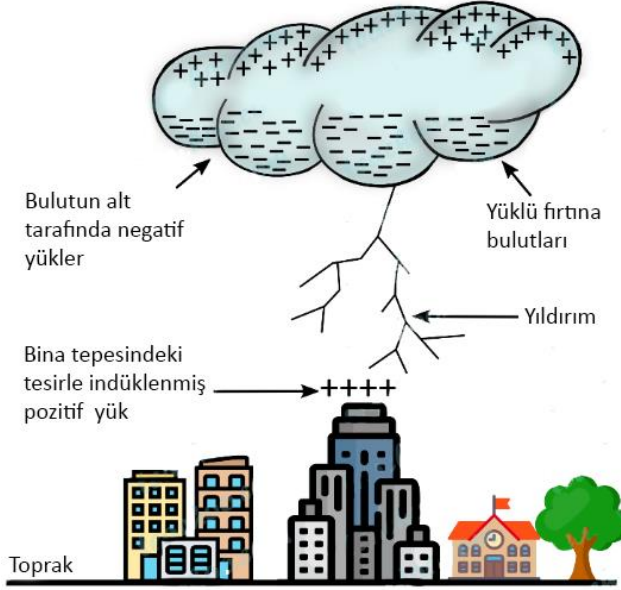
İnsan vücudu düşük kapasiteli bir yapıda olduğu için, bir yün halıda yürümek veya yazı yazmak gibi basit olaylar bile tehlikeli statik elektrik seviyelerinin oluşması için yeterlidir.

Bu statik yükün topraklanmasının yalıtkan ayakkabı ile engellenmesi durumunda statik elektrik kuru havada 35 kV seviyesine kadar yükselebilir.

B- YILDIRIM OLUŞUMU

Fırtınalı havalarda, atmosferde bulutlar statik elektrik ile yüklenir. Bu yük hava ile hareket halindeki bulutların sürtünmesinden oluşur. Yüklü bulutların bulunduğu yerde tesirle elektriklenme yoluyla toprakta da buluta göre zıt yükler toplanır. Sonuçta farklı polaritedeki (pozitif ve negatif) bulutlar arasında, bulutla yer arasında veya yerle bulut arasında yük boşalması kendini yıldırım olarak gösterir.

Yıldırım



Şekil 15: Yıldırım oluşumu

B- ARAÇLARDA STATİK ELEKTRİK

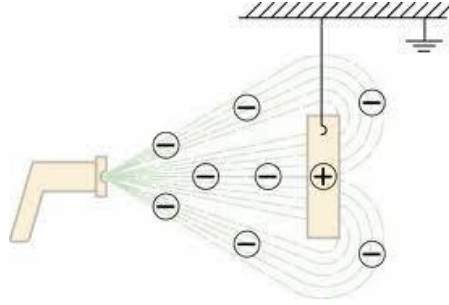
Lastik tekerlekli araçlarda, seyir halinde iken hava sürtünmesi sebebiyle statik elektrik yükü birikir. Bu yük metalik özellikte olmayan fiber-glas gövdeli araçlarda daha fazladır. Parlayıcı sıvı taşıyan lastik tekerlekli tankerlerin topraklama mecburiyeti, bu statik elektrik yükünün tehlikeli seviyeye erişmeden sürekli olarak boşaltılması içindir. Tankerlerde “iletkenleştirilmiş lastik” (conductive tire) kullanılmalıdır.

C- BOYAMA İŞLEMİNDE STATİK ELEKTRİK

Tabanca boyası işlemi yapılırken tabanca memesinden basınçlı hava- boya karışımının sürtünme sebebiyle statik elektrik yükleri oluşur. Bu yüklerin sürekli boşaltılması gerekir. Boşaltılmaması durumunda meydana gelebilecek deşarj kıvılcımı patlayıcı solvent-hava ortamını oluşturabilir. Bu nedenle her boya sprey odasında fabrika ana eşpotansiyel topraklama barasına bağlı ayrı bir topraklama tesisatı yapılır.

D- ELEKTROSTATİK TOZ BOYA

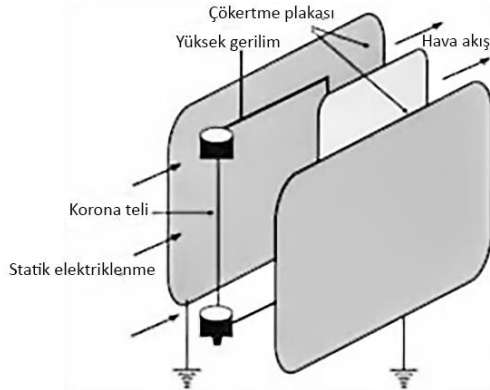
Araba, beyaz eşya gibi ürünler statik elektrik yüklü boya parçacıkları ile boyanır. Boyanacak yüzeye bir elektrot, tabancaya zıt elektrot bağlanır. Artı ve eksi yükler birbirini çekeceğinden boya tanecikleri yüzeyde asılı alır. Konveyör boyanan yüzeyi fırından geçirir ve boya taneciklerini eritir. Ayrıca aynı yükleri nedeniyle birbirlerini iten damlacıkların yüzeye daha düzenli dağılımları sağlanır.



Şekil 16: Boyama işleminde yük dağılımı

E- ELEKTROSTATİK BACA FİLTRESİ

Kömürlü termik santraller, bacalarında havaya karışması istenmeyen küçük parçacıklar için yangın riskine karşı filtreleme aracı olarak elektrostatik baca filtreleri kullanırlar. Ayrıca, elektrostatik filtreler endüstrinin diğer iş kollarında da çevreyi korumakta önemli rol oynamaktadır.

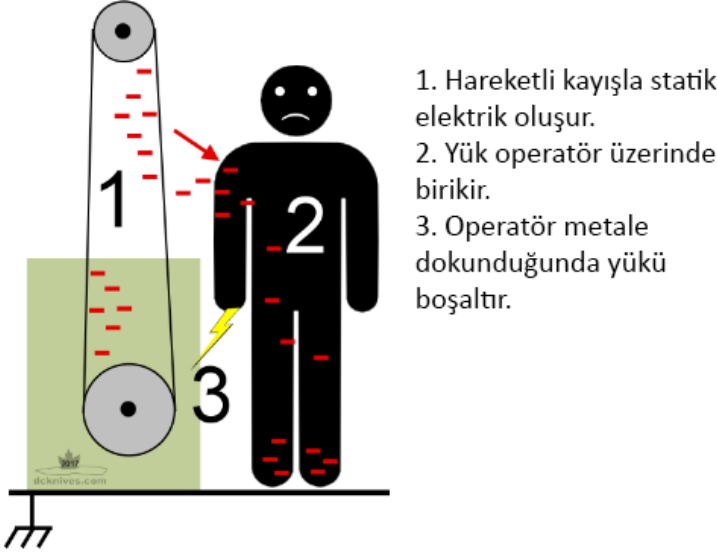


Şekil 17: Elektrostatik filtre

F- KONVEYÖR BANT

Konveyör bantlar, malzemelerin veya insanların taşınması için yaygın olarak kullanılan elektrik ve mekanik sistemli araçlardır. Havaalanlarındaki yürüme bantları ve yürüyen merdivenler konveyör sistemi ile çalışmaktadır. Madenlerde, kargo sektöründe, seri üretimin yapıldığı fabrikalarda, büyük depolarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Seri üretimin yapıldığı bir fabrikada, iş malzemelerin taşınması esnasında taşıyıcı bant ile iş malzemeleri arasında sürtünme nedeniyle statik elektrik oluşur. Bunu önlemek için tüm konveyöre topraklama yapılır. Günümüzde antistatik nitelik taşıyan konveyör bantlar yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 18: Hareket eden kayışlarda statik elektrik

V- STATİK ELEKTRİK İLE İLGİLİ MEVZUAT

A- STATİK ELEKTRİK İLE İLGİLİ BAZI MEVZUAT VE STANDARTLAR

- Elektrik iç tesisleri yönetmeliği
- Elektrik iç tesisleri proje hazırlama yönetmeliği
- İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik
- Çalışanların patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunması hakkında yönetmelik
- İşyerinde acil durumlar hakkında yönetmelik
- TS en 60079-10-1:2015 patlayıcı ortamlar. (Bölüm 10-1: Alanların sınıflandırılması patlayıcı gaz ortamları, TSE, 2015)
- TS en 60079-10-2:2015 patlayıcı ortamlar (Bölüm 10-1: Tehlikeli bölgelerin sınıflandırılması- yanıcı toz atmosferler, TSE, 2015)
- TS 12820 akaryakıt istasyonları emniyet gerekleri-2006
- TS 11939 sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG)- ikmal istasyonu- karayolu taşıtları için-emniyet kuralları
- IEC 61340-5-1: elektrostatik olaylardan elektronik cihazları koruma – genel gereklilikler
- ANSI/ESD s541-2003: ESD duyarlı malzemelerin paketlenme materyalleri

B- ÇALIŞANLARIN PATLAYICI ORTAMLARIN TEHLİKELERİNDEN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİK

Patlama riskinin değerlendirilmesi bölümünde statik elektrikten doğrudan bahsetmektedir.

MADDE 6 – (1) İşveren, 29/12/2012 tarihli ve 28512 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine uygun risk değerlendirme çalışmaları yaparken, patlayıcı ortamdan kaynaklanan özel risklerin değerlendirmesinde aşağıdaki hususları da dikkate alır:

a) Patlayıcı ortam oluşma ihtimali ve bu ortamın kalıcılığı,

- b) **Statik elektrik** de dâhil tutuşturucu kaynakların bulunma, aktif ve etkili hale gelme ihtimalleri,
- c) İşyerinde bulunan tesis, kullanılan maddeler, prosesler ile bunların muhtemel karşılıklı etkileşimleri,
- ) Olabilecek patlama etkisinin büyüklüğü.

VI- ELEKTROSTATİK DEŞARJ VE ÇEŞİTLERİ

Maddelerin elektrostatik yük dağılımı hızı aşağıdakiler ile orantılıdır:

- Elleçlenen maddenin elektriksel iletkenliği,
- Kabin (tank, tanker, kolon, vb.) elektriksel iletkenliği,
- Kabin topraklamaya yük iletme kabiliyeti.

Topraklanmış iletken bir kapta, elektrostatik yük dağılımı hızı elleçlenen sıvının iletkenliği ile yürütülmektedir. Sıvının elektriksel iletkenliği ne kadar yüksek ise dağılım hızı o kadar yüksektir. Genellikle 50 pS/m'den yüksek elektriksel iletkenliğe sahip sıvıların topraklanmış iletken kaplarda kullanımında yüklerin dağılım hızı neredeyse oluşum hızı kadardır ve elektrostatik yük birikmez.

1 pS/m'den yüksek elektriksel iletkenliğe sahip sıvılar için yük dağılımı için gerek duyulan süre (**gevşeme süresi**) operasyona müdahale edilmeden beklenmesi tavsiye edilmektedir. Gevşeme süresi içerisinde beklenen bir zamandaki elektrostatik yük aşağıdaki denklem ile hesaplanabilmektedir.

$$Q = Q_0 \cdot e^{-t\sigma/\varepsilon}$$

Burada:

Q = Yük yoğunluğu (Coulomb/m³)

Q_0 = İlk yük yoğunluğu (Coulomb/m³)

t = süre (saniye)

ε = dielektrik geçirgenliği (Farad/m)

σ = sıvının elektriksel iletkenliği (S/m)

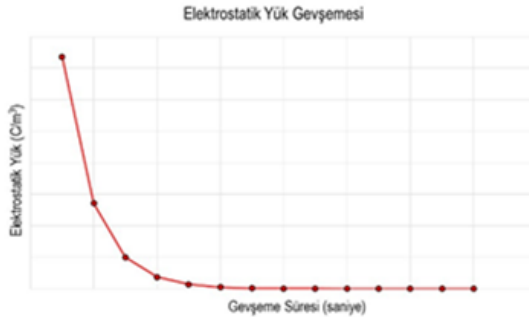
Kabin iletkenliğinin düşük olduğu durumlarda, sıvının elektriksel iletkenliği yüksek olsa bile yük birikimi olur.

Örnek olarak polipropilen kaplar içindeki sıvılarda yük birikimi olur. Biriken elektrostatik yük ile birlikte malzemedeki elektriksel alan ve voltaj da artar. Elektriksel alanın atmosferin yalıtkanlık özelliğini aşması durumunda elektrostatik yük deşarjı gerçekleşir. Biriken

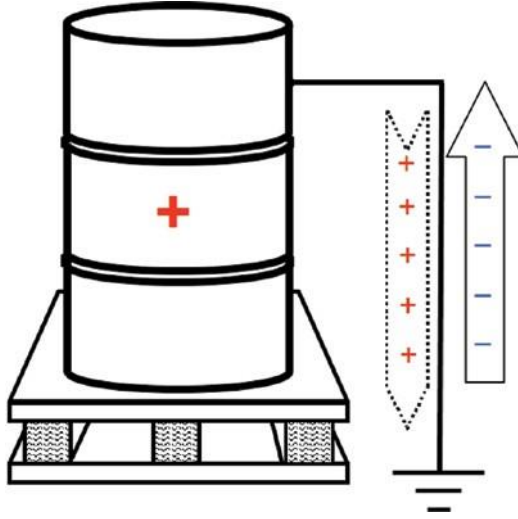
elektrostatik yük ile birlikte malzemede elektriksel alan ve voltaj da artar. Elektriksel alanın atmosferinin yalıtkanlık özelliğini aşması durumunda elektrostatik yük deşarjı gerçekleşir.

Kimyasal	İletkenlik (pS/m)	Gevşeme Süresi (sn)
Benzen	0,005	>> 100
Ksilen	0,1	210
Toluene	1	21
Sikloheksan	< 2	> 8,8
Bütıl Stearat	21	1,3
Dietil Eter	30	1,4
Etil Benzen	30	0,68
Stearik Asit	< 40	0,5
Stiren Monomeri	10	2,2
Benzin	1 – 3000	1,8 – 0,006
Jet Yakıtı	< 50	> 0,36
Motorin	0,5 – 50	36 – 0,36
Gazyağı	< 50	> 0,36
Baz Yağ	0,1 – 1000	180 – 0,018
Motor Yağları	50 – 1000	0,36 – 0,018
Fuel Oil	50 – 1000	0,36 – 0,018
Asfalt	> 1000	< 0,018

Şekil: 19-Bazı temel kimyasalların elektriksel iletkenlik verileri ve gevşeme süreleri



Şekil 20: Sıvıların gevşeme sürelerine bağılı olarak elektrostatik yük değışimi



Şekil 21: Plastik palet üzerindeki metal varilde yük birikimi

Şekil 21’de bir metal varil yalıtkan plastik palet üzerine yerleştirilmiştir. Bu varil pozitif olarak yüklenir. Varile temas edildiğinde bir yük boşalması olacaktır.

DEŞARJ ÇEŞİTLERİ

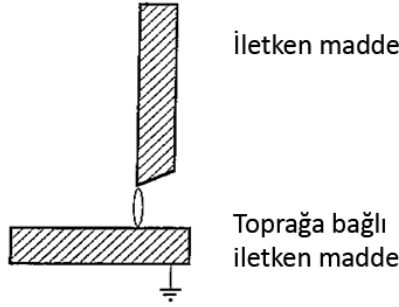
1- Kıvılcım deşarjı

Farklı voltajda yüklü iki iletken madde arasında gerçekleşir. Deşarjın yaşandığı maddelerden birisi genellikle iyi bir şekilde topraklanmamıştır.

$$\text{Kıvılcım Deşarj enerjisi} = \frac{1}{2} C V^2$$

Kıvılcım deşarjını önlemenin en etkili yolu hiç topraklanmamış veya uygunsuz topraklanmış metallerin tasarım, kurulum, bakım ve işletme esnasında araştırılması ve topraklanmasının sağlanmasıdır.

Kıvılcım deşarjı yanıcı buhar ve hava karışımları, gazlar ve tozları tutuşturabilecek enerjiye sahiptir. Yaklaşık olarak 10.000 mJ’ün üzerinde enerji transferi gerçekleşir.



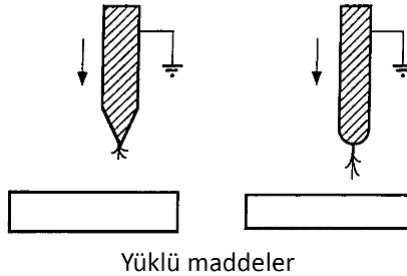
Şekil 22: Kıvılcım deşarjı

2- Fırça deşarjı

Yalıtkan yüzey (sıvı, katı veya toz) ile 3 mm'den daha büyük bir yarıçapa sahip iletken arasında meydana gelen deşarjdır. Fırça deşarjının gerçekleşebilmesi için iki nokta arasında 20-25 kV'un üzerinde bir potansiyel fark oluşmalıdır. Yalıtkan yüzey pozitif yüklü ise "negatif fırça" deşarjı meydana gelir. Maksimum etkin enerjisi 1 mJ'dur. Yalıtkan yüzey negatif yüklü ise "pozitif fırça" deşarjı oluşur. Maksimum etkin enerjisi 10 mJ'dur. Fırça deşarj enerjisi iletkenin çapıyla doğru orantılıdır. Fırça deşarjları çoğu yanıcı tozları tutuşturamaz.

Fırça deşarjını önlemek için, gerekli rahatlama süreleri beklenmeli, maksimum akış hızı sınırlamaları getirilmeli ve ekipmanlarda çıkıntılı iletken tasarımlardan kaçınılmalıdır. Fırça deşarjı yanıcı buhar ve hava karışımları tutuşturabilecek enerjiye sahiptir.

Fırça deşarjı



Şekil 23: Fırça deşarjı

3- Yayılan fırça deşarjı

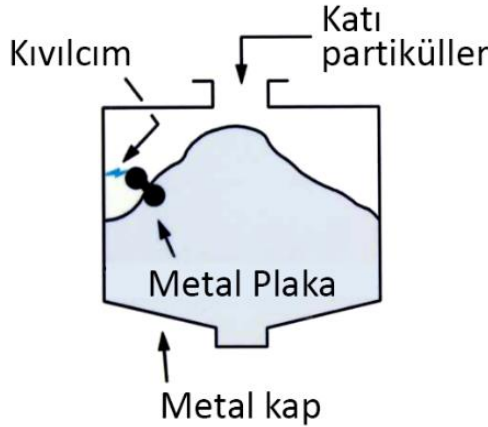
Yalıtkan yüzeyin iletkene doğrudan temas ettiği durumlarda meydana gelen deşarjlardır. Plastikle kaplı metal yüzeyler yayılan fırça deşarjına örnektir.

Yayılan fırça deşarjının enerjisi yüksek ve tehlikelidir. 8mm kalınlığa kadar bir yalıtkan yüzey (örneğin teflon veya cam kaplı boru veya reaktör), büyük alana sahip iki zıt yüzey arasında, büyük bir yük birikimine maruz kalırsa, yayılan fırça deşarjı gerçekleşir. Yayılan fırça deşarjı yanıcı buhar ve hava karışımları, gazlar ve tozları tutuşturabilecek enerjiye sahiptir. Statik elektrik tutuşmalarının temel sebebidir.

4- Koni deşarjı

Fırça deşarjının bir türüdür. Toz dolumu yapılan büyük konteynerlerde, silolarda görünür. Diğer adıyla **yığınlama fırça deşarjı**, yüklü tozların üzerindeki yüzeyde $10^{10}\Omega\text{m}$ 'den üzerinde öz direnç ile ya da derin toz kütlesi boyunca oluşur. **Koni deşarjı**, 1 m^3 'ün altındaki silo hacimlerinde genellikle görülmez.

İlgili enerji, tozun tanecik boyutuna ve yükün büyüklüğüne bağlıdır ve 20 mJ 'e kadar ulaşabilir. Daha yüksek hacimli tozlar, daha yüksek enerji üretir. Koni deşarjı yanıcı buhar ve hava karışımları, gazlar ve tozları tutuşturabilecek enerjiye sahiptir. Yaklaşık olarak 1.000 mJ 'ün üzerinde enerji transferi gerçekleşir. Koni deşarjlarında topraklanmış silolar kullanılmalıdır.



Şekil 24: Koni deşarjı örneği

5- Korona deşarjı

Korona deşarjı bir sıvının ya da elektriksel olarak yüklü bir iletkeni saran gazın iyonizasyonu tarafından oluşturulan elektriksel bir deşarjdır. 76 cm/Hg ve 25 derecede (normal koşullar altında) kuru havanın delinme gerilimi 29.8 kV/cm ve üzeridir.

Nemli ve yağışlı havalarda havanın delinme gerilimi düştüğünden dolayı bu değer aşılır ve elektrik alan içindeki elektronlar hızlanır, enerji kazanır ve havayı iyonize eder. Korona deşarjı düşük minimum tutuşma enerjisine (MIE) sahip gazları tutuşturabilecek enerjiye sahiptir. Yaklaşık olarak 0,1 mJ'ün üzerinde enerji transferi gerçekleşir.

DEŞARJ SONUCU OLUŞAN ENERJİ	
DEŞARJ TÜRÜ	AÇIĞA ÇIKAN ENERJİ
Korona Deşarjı	0,1 mJ
Fırça Deşarjı	1-10 mJ
Koni Deşarjı	20 mJ
Yayılan Fırça Deşarjı	100-1000 mJ
Kıvılcım Deşarjı	$\frac{1}{2} CV^2$

Şekil 25: Deşarj sonucu oluşan enerji

VII- YANGIN VE PATLAYICI ORTAMLARLA İLGİLİ BAZI TERİM VE TANIMLAR

A- PATLAYICI ORTAM:

Yanıcı maddelerin gaz, buhar, sis ve tozlarının atmosferik şartlar altında hava ile oluşturduğu ve herhangi bir tutuşturucu kaynakla temasında tümüyle yanabilen karışımıdır.



Şekil 26: Patlayıcı ortam uyarı işareti

B- TEHLİKELİ BÖLGE

İçinde cihazların yapılması, kurulması ve kullanılması için özel tedbirlerin alınmasını gerektirecek miktarlarda patlayıcı gaz ortamı bulunan veya bulunması beklenen bölge

Bölge 0: Gaz, buhar ve sis halindeki patlayıcı maddelerin hava ile karışımından oluşan patlayıcı ortamın sürekli olarak veya uzun süre ya da sık-sık oluştuğu yerler.

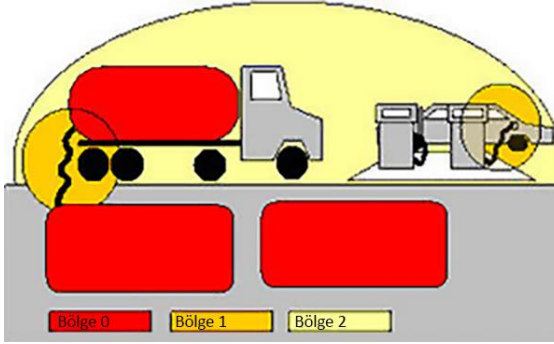
Bölge 1: Gaz, buhar ve sis halindeki patlayıcı maddelerin hava ile karışımından oluşan patlayıcı ortamın normal çalışma koşullarında ara sıra meydana gelme ihtimali olan yerler.

Bölge 2: Gaz, buhar ve sis halindeki patlayıcı maddelerin hava ile karışarak normal çalışma koşullarında patlayıcı ortam oluşturma ihtimali olmayan yerler ya da böyle bir ihtimal olsa bile patlayıcı ortamın çok kısa bir süre için kalıcı olduğu yerler.

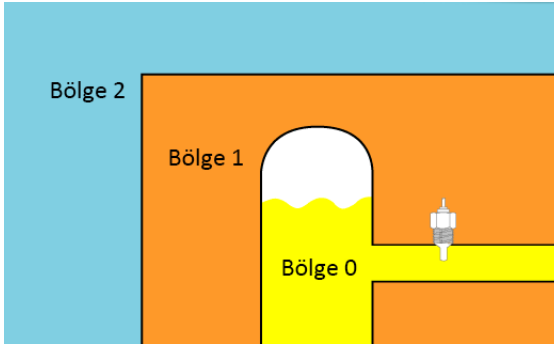
Bölge 20: Havada bulut halinde bulunan yanıcı tozların, sürekli olarak veya uzun süreli ya da sık sık patlayıcı ortam oluşabilecek yerler.

Bölge 21: Normal çalışma koşullarında, havada bulut halinde bulunan yanıcı tozların ara sıra patlayıcı ortam oluşturabileceği yerler.

Bölge 22: Normal çalışma koşullarında, havada bulut halinde yanıcı tozların patlayıcı ortam oluşturma ihtimali bulunmayan ancak böyle bir ihtimal olsa bile bunun yalnızca çok kısa bir süre için geçerli olduğu yerler.



Şekil 27: Patlayıcı ortam bölgeleri



Şekil 28: Bir tank ve civarında patlama bölgeleri

C- TEHLİKESİZ BÖLGE

İçinde cihazların yapılması, kurulması ye kullanılması için özel tedbirlerin alınmasını gerektirecek miktarlarda patlayıcı gaz ortamı bulunmayan veya bulunması beklenmeyen bölge.

D- YANICI MADDE

Kendisi yanabilen veya yanabilir gaz, buhar veya buğu çıkarabilen madde.

E- YANICI SIVI

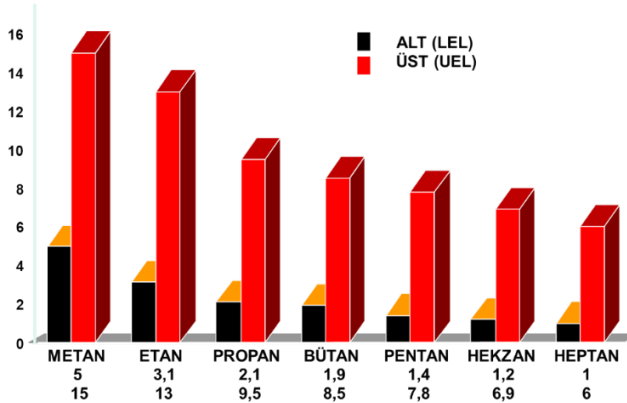
Öngörülebilir çalışma şartlarında yanabilir buhar çıkarabilen madde.

F- ALT PATLAYICILIK SINIRI (LEL VEYA LFL)

Alt patlama limiti; havadaki patlayıcı buhar yüzdesinin bir yangın veya patlama oluşturması için gerekli olan en alt seviyesidir. Bunun altındaki konsantrasyonlarda yeterli yakıt olmadığından yangın olmaz, karışım fakir karışımdır. (LEL: Lower explosion limit) veya **LFL:** Lower flammable limit)

G- ÜST PATLAYICILIK SINIRI (UEL VEYA UFL)

Üst patlama limiti; Havadaki patlayıcı buhar yüzdesinin bir yangın veya patlama oluşturması için gerekli olan en üst seviyesidir. Bunun üstündeki konsantrasyonlarda yeterli oksijen olmadığından yangın olmaz, karışım zengin karışımdır. (UEL: Upper Explosion Limit veya **UFL:** Upper Flammable Limit)



Şekil 29: Bazı kimyasalların alt ve üst patlama limitleri (%)

H- PARLAMA NOKTASI

Parlama noktası belirli standart şartlar altında bir sıvının alevlenebilir buhar/hava karışımı oluşturacak miktarda buhar çıkardığı en düşük sıvı sıcaklığı.

I- MİNİMUM TUTUŞMA ENERJİSİ (MIE)

Hava yakıt karışımını tutuşturacak, bir enerji kaynağının sahip olması gereken en küçük değeridir. (Minimum Ignition Energy – MIE) Gaz tipine ve konsantrasyona bağlı olarak MIE değişir. Elektrik yükünün ayrılması kendi başına potansiyel bir yangın veya patlama tehlikesi olmayabilir.

Statik elektrik boşalmasından en iyi korunmalardan biri, yüklerin kontrollü bir şekilde yeniden birleştirilmesini sağlayan iletken veya yarı iletken bir yöntem tercih edilir. Tutuşmaya neden olabilmesi için boşalmada serbest kalan enerjinin, en azından tutuşabilir karışımın **minimum ateşleme (tutuşma) enerjisine** (MIE) eşit olması gerekir.

Kimyasal	Minimum Tutuşma Enerjisi (mJ)
Propan	0,25
Heksan	0,24
Metanol	0,14
Hidrojen	0,02
Bütan	0,25
Asetilen	0,02

Şekil 30: Bazı kimyasalların minimum tutuşma enerjisi

J- MİNİMUM OKSİJEN KONSANTRASYONU (MOC)

Bütün yakıtlar için yanmanın olabilmesi için gerekli minimum oksijen seviyesidir. Bu, şu demektir: Oksijen seviyesi minimum konsantrasyon altına indiğinde yanma gerçekleşmez.

VIII- TUTUŞMA KAYNAĞI OLARAK STATİK ELEKTRİK

Statik elektrik kaynaklı kıvılcımlar ciddi tutuşma kaynaklarıdır. Bir statik elektrik kıvılcımının tutuşturucu kaynak olması için aşağıdaki dört koşulun bulunması gerekir:

- Elektrostatik yük oluşumu
- Tutuşturucu kıvılcım çıkarabilecek elektrostatik yük birikimi
- Kıvılcım aralığı
- Kıvılcım aralığı içerisinde tutuşabilir buhar-hava karışımı

Statik elektrik parlayıcı sıvıların, basınç altında sıvılaştırılmış yanıcı gazların (propan, bütan, Hidrojen) kullanıldığı endüstrilerde tutuşturma kaynağı oluşturan büyük bir tehlikedir.

Statik elektrik sonucu oluşan kıvılcımlar aşağıdaki durumlarda patlamaya veya yangına neden olabilir.

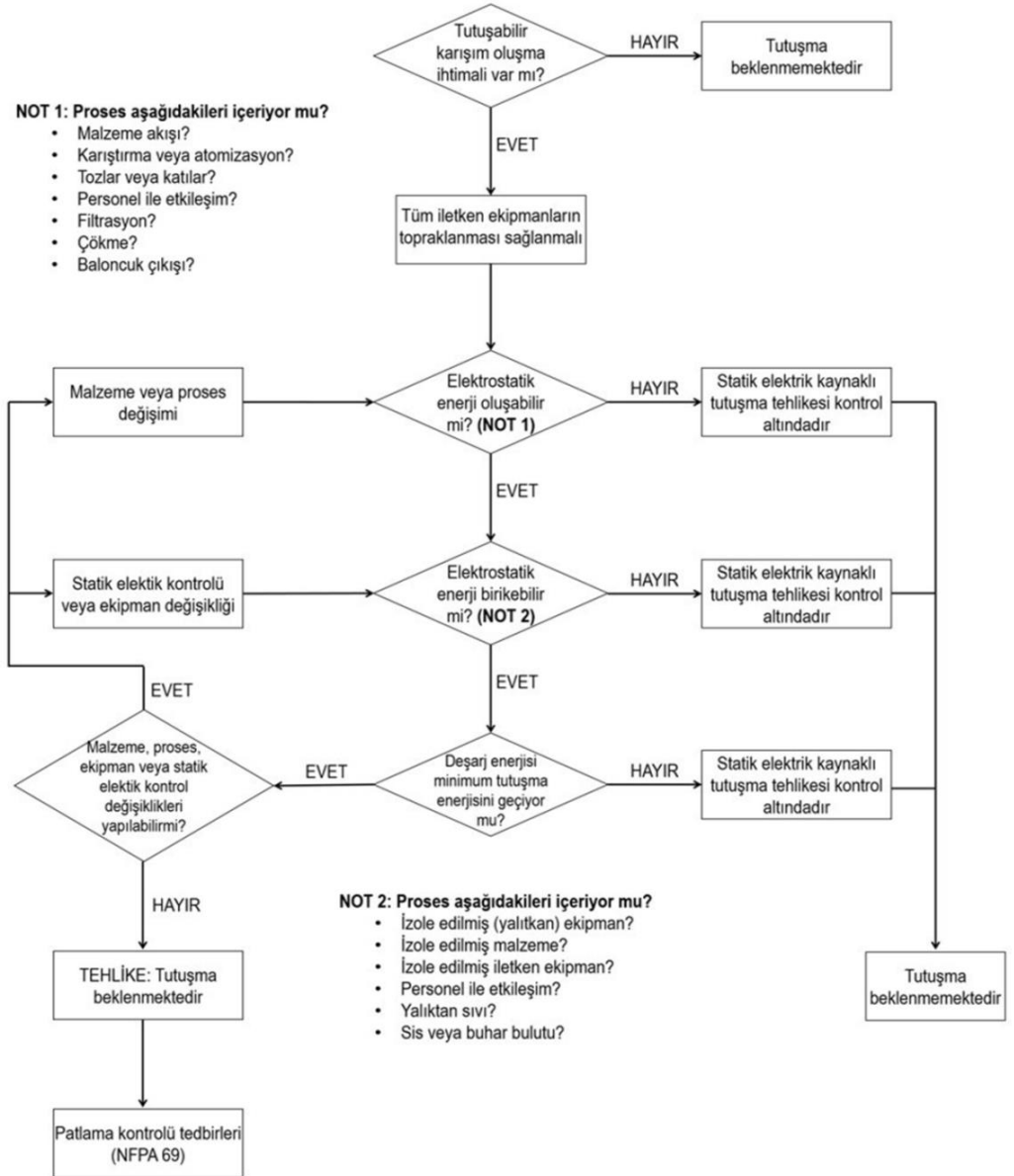
- Yanıcı malzeme, gaz, buhar veya toz, hava ile patlama limitlerinde karışmış ise statik elektrik tarafından ateşlenebilir.
- Statik elektrik yükü yalıtkan nesne üzerinde, topraklaması olmayan bir iletken malzeme üzerinde oluşur ve bu yük genellikle toprağa veya yakınındaki iletken malzemelere ark yaparak akma eğilimindedir.
- Oluşan ark (kıvılcım) çevresindeki yanıcı karışımı ateşlemeye yetecek enerjiye sahiptir.

Patlamanın önlenmesi için, öncelikli olarak patlamayı meydana getiren koşulların ortadan kaldırılmasını sağlanmalıdır.

Patlama koşulları: Yanıcı madde, Oksijen ve başlangıç tutuşturma enerjisi içeren bir kaynak bir yangın üçgeni meydana getirir. Fakat bu üç unsurun bir arada olması patlama meydana getirmez. Patlama koşullarının oluşması iki faktöre bağlıdır:

Yakıt alt ve üst patlama limitleri arasında olmalıdır.

Karışımın bir noktası yeterli tutuşma enerjisine ulaşmalıdır.



Şekil 31: Statik Elektrik Kaynaklı Tutuşma Olasılığı akım şeması (NFPA 77)

IX-YANICI VE PARLAYICI SIVILAR VE STATİK ELEKTRİK

Yanıcı sıvılar “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik madde 113-de tanımlanmıştır. **Yanıcı sıvılar**, parlama noktası 37,8 °C ve daha yüksek olan sıvılardır.

Parlayıcı sıvı (Sınıf I); parlama noktası 37.8 °C’ın altında ve 37.8 °C’daki buhar basıncı 276 kPa’ı aşmayan sıvılar parlayıcı sıvı, yani, Sınıf I olarak kabul edilir.

Statik elektriğin bir yangına neden olmaması için çalışılan yanıcı ve parlayıcı sıvıların özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Yanıcı ve parlayıcı sıvıların:

- Boşaltılması (özellikle yüksekte ve hızlı boşaltım)
- Bir kaptan diğer bir kaba aktarılması
- Boru içinden akması
- Filtrelenmesi
- Sıvıların hareket halinde bulunması statik elektriğe yol açar.
- Depolama tanklarında yapılan faaliyetler
- Demiryolunda kullanılan tank ve depoları çalışmaları
- Gemilerde kullanılan tank ve depolarda yapılan çalışmalar
- Tank temizliği işlemleri
- Vakumlu temizlik işlemleri
- Ölçme ve numune alma işlemleri statik elektrik bakımından dikkate alınması gereken faaliyet ve işlemlerdir.

Yanıcı ve patlama özelliği olan sıvıların statik elektrik tehlikesinin iyi anlaşılması için bu sıvıların aşağıdaki özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

- Alt ve üst parlama limitleri
- Parlama noktası
- Minimum tutuşma enerjisi
- Oksijen konsantrasyonu: Oksijen konsantrasyonu hava içinde %21 dir. Oksijenin bu değerden fazla olması durumunda yangınlık aralığı genişler. Yani LFL azalır, UFL

artar. Oksijen konsantrasyonu sürekli düşürülürse tutuşmanın mümkün olmadığı bir değere ulaşılır. Bu sınırlayıcı oksijen konsantrasyonu LOC (Oksijen konsantrasyon sınırı) olarak ifade edilmektedir. Bu değerın altında tutuşma tehlikesi mümkün değildir.

A- SIVILARIN STATİK ELEKTRİK YÜKLENMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Bir sıvının iletkenliği 50 pS / m'nin altındaysa, bir sıvının iletken olmadığı yani yük biriktirdiği kabul edilir ve **dielektrik sabiti 2** varsayılır. Statik elektrik kaynaklı tehlikeleri önlemek için sıvıdan yükün azaltılması gereklidir. Bu durum işletme koşulları ve sıvının akış hızıyla bağlantılı olarak gerçekleştirilir.

İletkenliği 10^4 pS/m'den daha fazla iletkenliği olan sıvılar, kimyasal operasyonlarda veya elleçleme işlemlerinde topraklanmış kaplarda ise veya iletkenlik özelliği olan kaplarda işlem görüyorsa yük birikimi bakımından bir tehlike teşkil etmezler.

Bir çok endüstriyel sıvı depolama ve işletme uygulamaları nedeniyle içinde 1 ppm' den daha az bulunan kirleticiler nedeniyle az veya çok iletken hale gelebilir.

İlk bakışta güvenli gibi görünen iletken sıvılar, bir yalıtım kabı ile zeminden izole edilirse veya sis olarak havada asılı bulunuyorsa önemli bir tehlike oluşturabilir. İzole edildiği yerde üzerindeki yükü serbest bırakır ve bir kıvılcım oluşumuna zemin hazırlar. Bu askıda yüklenmiş partiküller "Fırça Deşarjı" olayına neden olabilir.

Petrol endüstrisindeki orta distilat ürünleri jet yakıtı, motorin gibi) yarı iletken kategorisindeki sıvılar tank yükleme ve boşaltma operasyonlarında iletken sıvı olarak kabul edilirler.

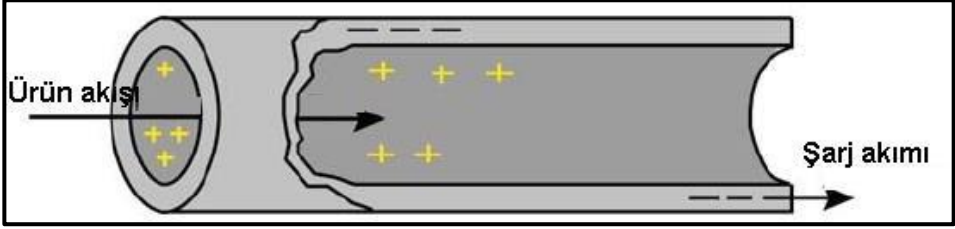
1- Sıvıların aktığı metal boru sistemleri

Metal boru tesisatı sistemlerinin tüm parçaları, 10 ohm'u geçmeyen bir toprağa direnç göstermelidir. Metal boruların ek yerleri bazen üst üste boyama veya iletken olmayan contalar nedeniyle iletkenliğini kaybeder. Bu nedenle ek yerlerinde iletken olan bir conta veya tel kullanılır. Metal borularda toprak hattının elektrik sürekliliği yapılacak testlerle kontrol edilerek sistemin düzgün çalışması sağlanır.

2- İletken olmayan borular

İletken olmayan yüzeyler bir boruda akış esnasında yük oluşturur ve yük dağılımını etkiler. İletken olmayan borularda yük kaybı daha yavaş olmaktadır. İletken olmayan yüklü sıvılar

akış esnasında borunun dış yüzeyi ile ters kutuplarda yük birikimine neden olabilir. Anti statik teller veya ipler kullanılarak statik elektrik toprağa iletilir.



Şekil 32: Borulardan sıvı akışı nedeniyle oluşan statik elektrik

Statik elektrik polietilen gibi iletken olmayan borularda elektrostatik iğne delikleri oluşturmaktadır. Boru içindeki statik elektrik yükü belli bir gerilim değerine ulaştığında boru yüzeyinden toprağa atlar. İğne delikleri, yüksek akış ve sürtünmenin yoğun olduğu yerde oluşur.

İçinden parlayıcı yanıcı gaz akan polietilen boruların statik elektrik birikimine karşı topraklaması yapılmadan mesela bir tamirat işine başlanmaz. Gaz kaçağı varken polietilen boruya yaklaşılması, insanda birikmiş olabilecek statik elektriğin deşarjı riski taşır. Bu nedenle iyice ıslatılmış rulo olacak kadar uzun bir bez hem boruyu hem de toprağı kapsayacak şekilde boru üzerine atılır. Toprak ve boru ile temasından emin olunduktan ve gaz boğma metodu ve/veya prosedüre uygun vanadan kesilmesi ve tahliye (purge) sonrası parlayıcı gaz kalmadıktan sonra tamirat işlemine başlanabilir.

3- Sıvılarda statik elektrik yükünün oluşması ve dağılması

Daha önce de belirtildiği gibi sıvıların borudan akışı, bir kaptan diğer bir kaba aktarılması, sıvıların karıştırılması, çalkalanması gibi işlemler statik elektrik yükünün oluşumuna neden olurlar. Sıvı ve sıvıların bulunduğu yüzeyler arasında ne kadar büyük alan varsa ve sıvıların akış hızı ne kadar yüksek ise statik elektrik yük oluşumu o kadar fazladır. Topraklanmış iletken bir kaptaki sıvının statik elektrik yükü sıvının iletkenlik özelliğine bağlı olarak hızla toprağa akacaktır.

Statik elektrik yük birikimini azaltmak için ürünün depolama yerindeki dinlenme zamanı arttırılmalıdır.

4- Filtreleme

Yapılan ölçümler göstermiştir ki filtreli sistemlerde filtresiz sistemlere göre 10 ila 20 katı kadar fazla yük üretir. Gözenek boyutu 150 mikrondan küçük olan ve kısmen tıkanmış olan filtreler, tehlikeli yük seviyesi oluşturabilirler.

Gözenek boyutu 300 mikronu aşan filtrelerde yük seviyesi tehlike teşkil etmez.

Dolum kollarının/hortumlarının ucuna ince filtre koymak uygun değildir; çünkü tankere giren sıvının biriktirdiği yükü yok edecek dinlenme zamanı yoktur.

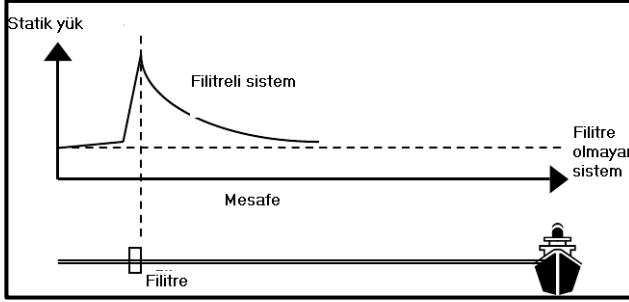
Bu sebepten iletkenlik değerine göre dolum hızı ayarlanmalı ve dolum yapılan tanker mutlaka topraklanmalıdır.

Durum	Önlemler
Petrolün içinde su bulunuyorsa	Su içeren ürün transferi sırasında borudaki lineer hız 1 m/s'yle sınırlandırılmalıdır.
Ürün filtreden geçerek pompalanıyorsa	İletkenliği 2 pS/m veya daha fazla olan hidrokarbonlu ürünler için en az 30 saniyelik dinlenme zamanına izin verilmeli, Düşük iletkenlikteki ürünlere 100 saniyeye kadar dinlenme zamanı sağlanmalı, İletkenliği 50 pS/m'den fazla olan ürünlerde dinlenme zamanı göz ardı edilebilir.
İletkenlik ölçümü yapılmamışsa	En az 100 saniyelik dinlenme zamanına izin verilmeli.
Dolum sırasında buhar ve sıçrama oluyorsa	Dolum girişi sıvıyla kapanana kadar gelen sıvının hızı 1 m/s'yle sınırlandırılmalıdır. Yüzer tavanlı tanklarda ise tavan yüzmeye başlayana kadar bu sınır aşılmamalıdır.

Şekil 33: Tanklarda Yük Oluşumunu Azaltmak için Dinlenme Zamanı ve Dolum Hızı

Tanklarda statik elektriğe karşı önlem olarak:

- Petrol tankı içindeki su boşaltılmalıdır.
- Sıvıyla beraber çok miktarda hava veya sıkıştırılmış gazın tank içine pompalanması önlenmelidir.
- Tanklar ve yüzer tavana sahip tanklarda da topraklama sistemi iyi olmalı ve periyodik kontrolleri yapılmalı
- Üstten dolum yapılması halinde ani dolum yapılmamalı ve sıvılar hızla boşaltılmamalıdır.
- Tanklar içinde sıvı buharlarının patlayıcı bir ortam yaratmaması için tank sıvı üstü azot veya başka bir inert gazla doldurulmalıdır. Ortamda yanıcı buhar oluşumu için fırsat verilmemelidir.
- Tanklarda numune alan personel anti-statik ayakkabı giymelidir.
- Antistatik numune kapları kullanılmalıdır.



Şekil 34: Filtreli ve filtresiz sistemlerde statik elektrik yük birikimi

5- Çalkalama işlemleri

Hava ile çalışan çalkalama sistemleri statik elektrik üretir. Yük oluşumu, çalkalama bittikten hemen sonra artar. Başlangıçta yük yoğun olabilir, bu da ürünün üzerinde kıvılcıma neden olur. Daha sonraki sürelerde yük oluşumu azalır. Çalkalama işlemlerini güvenli yapmak için inert gaz ortamı sağlamak önemlidir.

6- Karıştırma işlemleri

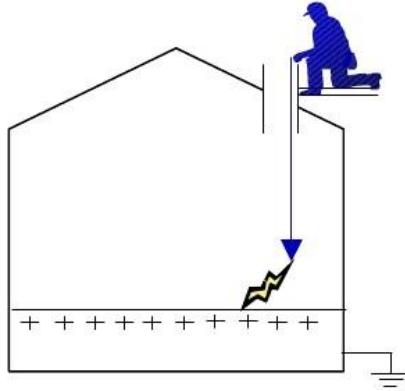
Hızlı karıştırma işlemleri ve yüksek hızda karıştırma, sıçrama ve türbülans yarattığı için statik elektrik üretimine neden olabilir. Eğer ürünün iletkenliği azsa, içinde su bulunuyorsa veya

tabandaki su karıştırılmışsa statik üretim artar. Eğer yüzeyde yanıcı gaz karışımı varsa tutuşmaya neden olabilir. Yanıcı sıvı buharlarının olduğu karıştırma işlemlerinde karıştırma hızlı yapılmamalı ve yüzeyde sıvı sıçramasına izin verilmemelidir. İnert gaz ortamında karıştırma işlemlerini yapılması diğer bir önlem olarak dikkate alınmalıdır.

7- Numune Alma ve Sıcaklık Ölçme

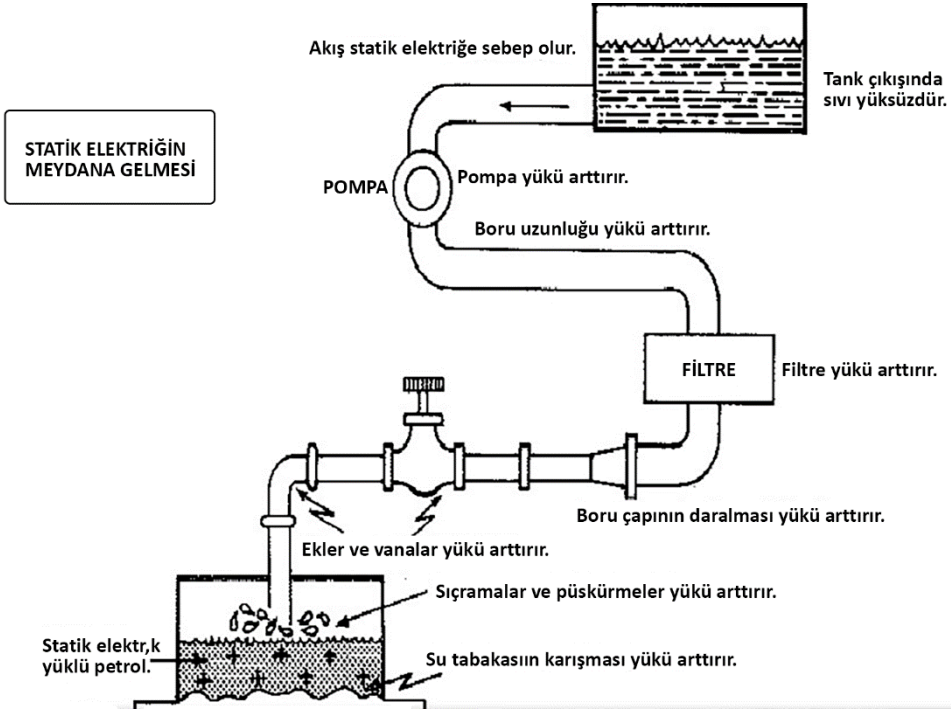
Numune alma işlemi sırasında yanıcı gazla birlikte kıvılcım salınımı da olabilir. Metal veya iletken ölçüm aletleri, numune alma kapları kıvılcım sebebi olarak kabul edilebilir. Sıvının yüzeyindeki yük dağılımı için gereken süre kadar beklenmelidir. Büyük tanklar için bekleme süresi daha uzun tutulmalıdır. Statik elektriğin yavaş azalmasının sebebi büyük bir ihtimalle, büyük tanklarda yük üreten su ve kir gibi yüklü parçacıkların çökmesidir.

Numune alma işlemleri sırasında iyi bir topraklama işlemi yapılmalıdır.



Şekil 35: Numune alma işlemleri

Numune alma işleminde topraklanmış kaplar kullanılmalıdır. Ölçüm şeritlerinin de kullanılmadan önce topraklanması gerekmektedir. Fırtına, şiddetli yağmur veya dolu olayları sırasında numune alma işlemi yapılmamalıdır. Çalışanlar, kaymaz nitelikte anti-statik ayakkabı, gözlük ve eldiven gibi kişisel korunma ekipmanlarını kullanmalıdır.



Şekil 36: Statik elektriğin meydana gelmesi

KAZA ÖRNEKLERİ

Örnek 1

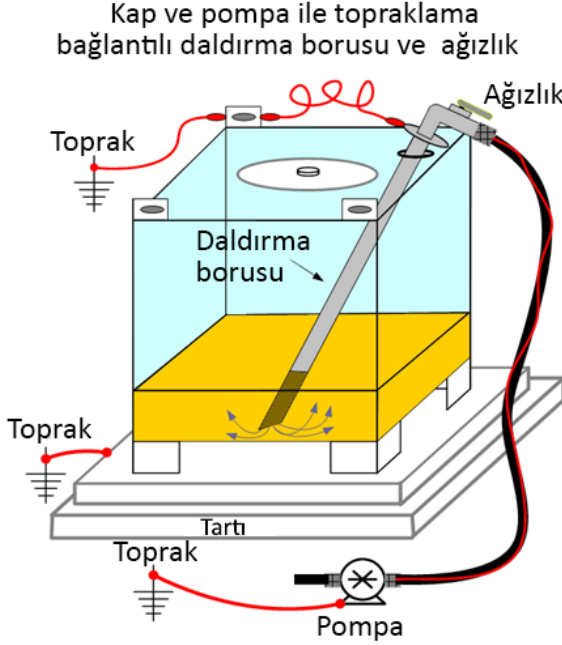
Elektrik atölyesinde çalışan bir tesisatçı görevle varil dolum alanına gitti. Dolum alanında tartının düzgün çalışmadığını fark etti. Daha yakından bakmak için bir adım attı ve destek için dolum borusuna tutunmak istedi. Daha boruya dokunmadan ayağının altında bir alev parladı.

Yapılan incelemede ustabaşının plastik tabanlı ayakkabı giydiği anlaşıldı. Başka bir tutuşma kaynağı olmadığı için elektrik atölyesi üzerinde gezinirken adamın vücudunun statik yükü yüklendiğine karar verildi. Bu yük adamın vücudundan borulara ve topraklamaya düzgünce bağlanmış olan tartıya boşaldı.

Önlem: İnsan bedeni bazen yanıcı gazların tutuşmasının sebebi olabilir. Propan, n-bütan ve n-hekzan'ın tutuşması için gerekli olan minimum enerji sadece 0.25 mJ iken insan bedeninden boşalan statik enerji 60 mJ'e ulaşabilir. 0.25 mJ'lük enerji, metal paranın 2,5 cm'li

yükseklikten düşme enerjisine eş değerdir. İletken veya anti-statik ayakkabı giymek, elektrostatik yükün insan vücudunda birikmesini önler.

Örnek 2



Şekil 37: IBC doldurma işlemi

Bir ABD şirketinin yaklaşık 100 gün arayla 2 ayrı bölümünde yangın çıktı. Her ikisi de yanıcı sıvıları ve buharları tutuşturan statik elektrik kıvılcımlarından kaynaklanıyordu.

1. Olay: 17 Temmuz 2007'de, yanıcı VM&P nafta, bir tankerden 57 m3 dikey bir yer üstü depolama tankına aktarılıyordu. Tank çiftliği amiri, bir tanker-treylerin son kompartimanını transfer etmeye başladıktan sonra depolama tankı patladı. İlave tanklar da patladı. Yakındaki kasaba boşaltıldı ve tüm tank çiftliği yok oldu. Bir çalışan ve bir itfaiyeci yaralandı.

2. Olay: 29 Ekim 2007'de bir operatör, metal IBC'nin üstündeki bir doldurma açıklığına doldurma hortumuna kısa bir nozül yerleştirdi ve yerinde tutmak için nozülün üzerine bir çelik ağırlık astı. IBC'yi doldurmak için valfi açtı, ardından operatör odanın karşısına geçti. Kısa bir süre sonra, bir "patlama" sesi duydu ve IBC'nin alevler içinde kaldığını ve zeminde duran

doldurma ağzından etil asetat boşaldığını gördü. IBC topraklanmış idi, ancak iletken olmayan hortum içinden akış statik elektriğe neden oldu ve üstten doldurma aşırı buharlara neden oldu. Bu buhar ortaya çıkan statik elektrik kıvılcımı ile tutuştu.

Bu iki olaydan çıkan sonuçlar:

1. Statik elektrik tankların içindeki yanıcı buhar hava karışımlarını tutuşturabilir.
2. Borulardan geçen ürünler (Katı, sıvı, gaz) statik elektrik oluşturabilir.
3. 0,2 ila 0,3 (mJ) kıvılcım, yanıcı buharları tutuşturabilir. Bir kişiden gelen statik bir kıvılcım, bunun 100 katı enerjiye sahip olabilir.
4. Genel olarak statik elektrik, seviye göstergesi veya çelik gibi topraklanmamış genellikle metal olan bir iletken üzerinde birikir. Bu husus dikkate alınmalıdır.
5. Statik elektrik tehlikesinden kaçınmak için topraklama ve bağlama yöntemleri kullanılmalıdır.
6. Yanıcı sıvıların yüksekte düşmesi engellenmelidir.

Örnek 3

Bir tankere dizel yakıtının üstten dolumu sırasında oluşan büyük bir patlama ve yangın sonucunda tanker tamamen zarar gördü ve sürücüsü öldü. Daha önce benzin konulan bölmenin doldurulmasına daha yeni başlanmıştı.

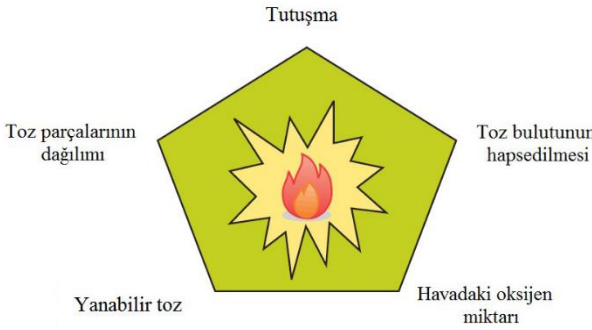
Kaza araştırması sonucunda:

- Araçta topraklama olmadığı,
- Dolum hızının (4,9 m/s) yüksek olduğu,
- 7.6 m³'lük bölmenin yaklaşık 1,1 m³'ü doldurulduğu,
- Ortamın düşük neme sahip olduğu tespit edildi.
- Dolum borusunun bölmeye tam sokulup sokulmadığı anlaşılamadı.

Dolumdan önce bölmelerde gaz ölçümü yapılması, doldurma hızının (3,7 m/s) düşürülmesi, dolumdan önce ürüne anti statik madde eklenmesi, her bir dolum borusuna anti-statik hidrolik valf konulması önlem olarak kararlaştırıldı.

X-TOZ PATLAMALARI VE STATİK ELEKTRİK

Statik elektrik toz patlamalarına da neden olmaktadır. Toz patlamaları en çok kimya, gıda, ahşap, metal ve plastik sektöründe görülmektedir. Gıda sektöründe patlayıcı olarak en çok örneklerine rastladığımız tozlar, nişasta, şeker, kahve ve undur. Amerika'da 20 yıllık bir sürede (1958-1978) gıda sektöründe 187 toz patlaması gerçekleşmiştir.



Şekil 38: Toz patlama beşgeni

Toz patlamalarında en önemli faktör tane boyutu veya spesifik yüzey alanıdır. Ancak bu faktörler kadar önemli sayılabilecek diğer parametreler ise:

- Tozun kimyasal bileşimi ve nem oranı,
- Gaz fazına geçişteki ilk basınç ve sıcaklık değeri,
- Tane boyut dağılımı ve taneciğin şekli,
- Gerçek bir toz bulutundaki toz konsantrasyon dağılımı,
- Gerçek bir toz bulutundaki ilk türbülans dağılımı,
- -Toz bulutu içindeki yanmamış taneciklerin patlama etkisiyle türbülans oluşturma olasılığı olarak sıralanabilir.

Bir toz patlamasının oluşabilmesi için yeterli derecede enerjiye sahip bir ateşlemenin oluşması gerekmektedir. Bu enerji kaynaklarından biri de statik elektriktir.

Toz, elyaf veya yığın halindeki yanıcı katı maddeler, atmosferik oksijen ile belli konsantrasyonda tepki verip patlayabilirler. Genel olarak bir toz patlamasına sebep olabilecek minimum toz konsantrasyonu $30-60 \text{ g/m}^3$, maksimum toz konsantrasyonu ise $2-4 \text{ kg/m}^3$ 'tür.

Alt patlama limitinin %20'sinden düşük konsantrasyonlar güvenli kabul edilir. Bu sınırlar, yanıcı tozun cinsine ve tanecik büyüklüğü dağılımına bağlı olarak değişebilir. Yanıcı tozun tanecik çapı yaklaşık olarak ortalama $0,5 \text{ mm}$ 'den küçükse patlama riski vardır, büyükse patlaması beklenmez.

Normal olarak havadaki tozların patlamasını sağlamak için çok fazla enerji gerekir. Ancak bir kez yanma başlarsa, reaksiyon sonucu çok fazla yüksek sıcaklık ve basınç açığa çıkar.

Tozun kendi kimyasal özelliklerine ek olarak, parçacıkların inceliği ve toplam yüzey alanı önemli bir rol oynar. Toz patlamalarına karşı alacağımız önlemleri planlarken, malzemenizin (ortamdaki tozun) Kst değeri büyük öneme sahiptir. Kst, bir tozun bağlı patlama şiddetini ifade eder ve **toz patlama indeksi** olarak adlandırılır.



Şekil 39: Toz patlamasına karşı alınacak önlemler

A- STATİK ELEKTRİĞİN BİR YANICI TOZU TUTUŞTURMASI KOŞULLARI

Statik elektriğin bir yanıcı tozu tutuşturması için aşağıdaki koşulların oluşması gerekmektedir:

1. Artı ve eksi yüklerin ayrışması gereklidir.
2. Ayrılan yüklerin birikmesini sağlayacak ve potansiyel farkı sürdüreceği koşullar uygun olmalıdır.
3. Enerji seviyesi statik elektriğin boşaltılması için yeterli olmalıdır.
4. Enerji boşaltımı bir toz karışımı içinde gerçekleşmelidir.

Tutuşmanın sağlanması için havada yeterli miktarda toz bulunması şarttır. Bu minimum gerekli toz miktarına (*MEC- minimum explosible concentration*) **minimum patlama konsantrasyonu** denilmektedir. Havanın yanmayı destekleyici oksijeni sağlayacak yeterlilikte olduğu da dikkate alınmalıdır. Bir toz bulutunun statik elektrik tarafından tutuşturulması için yeterli enerjiye sahip olması gereklidir. MIE (minimum ignition energy), optimum konsantrasyondaki bir toz bulutunu tutuşturmak için gerekli **minimum tutuşma enerjisi** miktarının bir ölçüsüdür.

Prensip olarak 25 watt lık lamba 2 metreden görülebiliyorsa toz yoğunluğu 40 gram/metrküp tür.

Statik elektrik yükü, tozların birbiriyle teması veya ayrılması sebebiyle oluşur. Eleme, dökme, akıtma, öğütme, mikronize etme ve pnömatik taşıma gibi işlemlerde bir toz başka bir yüzeyle temas ettiği her zaman şarj beklenebilir. Bu işlemlerde, temas ne kadar kuvvetli olursa, o kadar fazla yük oluşturulur.

B- KORONA VE FIRÇA DEŞARJI:

Orta veya yüksek dirençlere sahip büyük miktarlarda tozun işlendiği durumlarda, korona ve fırçadeşarjları beklenmelidir. Bununla birlikte, bir koronadeşarjının bir toz bulutunu tutuşturabileceğine dair hiçbir kanıt yoktur. Benzer şekilde, toz bulutunda yanıcı gaz veya buhar olmaması koşuluyla, fırçadeşarjlarının bir toz bulutunu tutuşturabileceğini gösteren hiçbir bulgu bulunmamıştır.

C- YAYILAN FIRÇA DEŞARJI:

Yayılan fırçadeşarjlarının 1 J'den büyük enerjileri olabileceğinden hem bulutları hem de yanıcı toz katmanlarını tutuşturabilecekleri düşünülmelidir.

D- DÖKME FIRÇA BOŞALTIMASI (KONİ DEŞARJI):

Dirençleri yaklaşık 109 ohm-m'den büyük olan tozların topraklanmış iletken kaplara konulduğu yerlerde, yüklerin dağılım süreci, yük birikimi içim geçen sürece göre daha yavaştır. Yük boşaltımları, tozların ilk boşaltıldığı yerde konteyner duvarına çarpmasıyla oluşur. Budeşarjlara **hacimli fırçadeşarjları** adı verilir. Deneyimler, budeşarjların minimum tutuşma enerjileri 25 mJ'den daha büyük olan tozları tutuşturma yeteneğine sahip olmadığını göstermektedir.

E- PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ

Toz halindeki malzemenin borular veya kanallar yoluyla pnömatik taşınması, hem taşınan ürün hem de kanal üzerinde statik elektrik yükü oluşturabilir. Bu statik elektrik yükü sistemden çıkarken malzeme üzerinde kalır. Malzemenin toplandığı yerde yük birikimine karşı önlemler alınmalıdır.

1- Kaza Örneği 1

7 Şubat 2008 yılında USA da Imperial şeker fabrikasında şeker tozunun patlaması nedeniyle 14 çalışan hayatını kaybetmiştir. Patlamanın nedenlerinden biri olarak; statik elektriğe karşı yeterli önlem alınmaması gösterilmiştir.



Şekil 40: Patlama sonrası fabrikanın durumu

Imperial şeker fabrikasında şeker tozu taşıyan bantlar geniş bir alandan geçiyorlardı. Bu taşıma esnasında hareketli bantlardan çok sayıda ürün yere dökülüyor ve iyi bir havalandırma olmasına rağmen ortamı kirli hale getiriyordu. Fabrika yetkilileri, 2007 yılında kirliliği önlemek amacıyla şeker taşıyan hareketli bantların üstü metal bir tünel ile kapatılmasına karar verdiler. Şeker tozları zaman içinde konveyör bant üzerinde bu küçük tünel içinde geçerken patlayıcı ortam oluşturdular. Muhtemelen sistemde oluşan statik elektrik kaynaklı bir kıvılcım, bu tozları tutuşturdu ve **ikinci ve daha şiddetli toz patlamasını** meydana getirdi. Olayda, ölenler dışında 36 çalışan ciddi şekilde yaralanmış ve işletmede yaklaşık 16 milyon dolarlık hasar oluşmuştur.

Konveyör bantlar katı maddelerin taşınması için kullanılır. Taşınan malzeme kuru ve toz formunda ise ve bantlar hızlı hareket ediyorsa statik elektrik yük birikimine neden olabilir.

2- Kaza Örneği 2

Çin Harbin tekstil fabrikasında 15 Mart 1987 yılında meydana gelen toz patlamasında 58 kişi hayatını kaybetmiş, 177 kişi yaralanmıştır. Olay, fabrikanın keten iplik eğirme bölümünde meydana gelmiştir. Fabrikada birbirini takip eden 9 ayrı toz patlaması olduğu kayıtlara geçmiştir. Patlamanın nedeni tam olarak belirtilememiştir. Ancak, büyük bir olasılıkla elektro statik bir kıvılcımın patlamaya yol açtığı tahmin edilmektedir.

F- PATLAYICI ORTAMDA YALITKAN KULLANIMI

Plastikler yalıtkan bir malzeme boru, kap vs. olarak endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Plastikler yalıtkan malzemelerdir. Statik elektrik oluştururlar. Plastiklerde biriken yük 1- 4 mJ arasında fırça veya yayılan fırça boşalmasına yol açar. Aşağıdaki tabloda patlayıcı ortamda yalıtkan kullanımı ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

ZONE	GRUP I		GRUP IIA		GRUP IIB		GRUP IIC		GRUP III	
	Max Alan (mm ²)	Max Genişlik (mm)	Max Alan (mm ²)	Max Genişlik (mm)	Max Alan (mm ²)	Max Genişlik (mm)	Max Alan (mm ²)	Max Genişlik (mm)	Max Alan (mm ²)	Max Genişlik (mm)
0	10.000	30	5.000	3	2.500	3	400	1	-	-
1			10.000	30	10.000	30	2.000	20	-	-
2			Limit yok		Limit yok		Limit yok		-	-
20-21	-	-	-		-		-		Limit yok	
22										

Şekil 41: Patlayıcı ortamda yalıtkan kullanımı

Grup: Ortamdaki tehlikeli maddenin tipini tanımlamaktadır.

Grup I: Madenler. Örn: Metan

Grup II: Patlayıcı/yanıcı gaz, buhar içeren ortamlar. 3 alt gruba ayrılır.

Grup IIA: Etanlar, Etil Alkol, n-bütanlar, mazot, propan, petrol, amonyak,

Grup IIB: Doğalgaz, etilen

Grup IIC: Hidrojen, asetilen

Grup III: Yanıcı toz içeren ortamlar.

Yalıtkan üzerinde statik yük birikiminin engellenmesi için gerekli önlemlerin alındığı durumlarda 'limit yok' ifadesi geçerlidir. Limitler, yanıcı statik boşalmaları önleyen mutlak değerler değildir, sadece statik boşalmaları genel kabul görmüş düşük seviyeye indirirler.

XI-STATİK ELEKTRİK RİSKLERİNİN KONTROLÜ

A- TOPRAKLAMA VE BAĞLAMA YOLUYLA STATİK ELEKTRİK KONTROLÜ

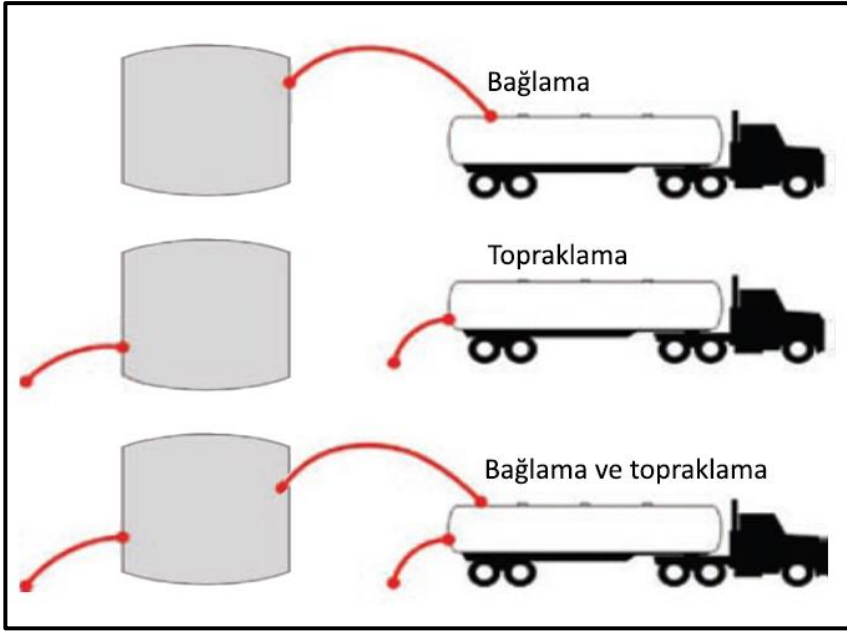
Bağlama (bonding-potansiyel dengeleme) işlemi deşarj oluşumunu engellemek için yapılır. Bağlama işlemi ile potansiyel fark dengelenir. Elektrik tesislerinde aktif olmayan bölümlerin bir elektrot yardımı ile toprakla iletken bir şekilde birleştirilmesine “topraklama” denir. Topraklamanın yapılması can güvenliğinin yanı sıra makinelerin de sağlıklı çalışabilmesi için gereklidir.

- Topraklanacak cihaz veya tesis kısmı ile topraklayıcı arasındaki, toprağın altı veya üstünde bulunan iletken bağlantıya “**topraklama hattı**” denir.
- Topraklayıcının yayılma direnci ile topraklama hattının direncinin toplamına “**topraklama direnci**” denir.
- Toprağın zemininin özgül direncine “**özgül toprak direnci**” (Ωm) denir ve $1 m^3$ boyutlarındaki toprağın direncidir.
- Topraklayıcı ile referans toprağı arasındaki dirence ise “**yayılma direnci**” denir.

Zeminin yapısı ve izin verilen yayılma direncine göre topraklayıcı kullanılır. Topraklayıcılar toprağı sağlamca yerleştirilmeli ve etrafına kil doldurulup, yüzeyi ile sıkı temas etmesi sağlanmalıdır. Statik elektriğe karşı güvenli bir topraklama sisteminin kurulması çok önemlidir.

Topraklama işlemi sayesinde iletken, deşarjı başlatacak potansiyeli hiçbir zaman sağlamaz. Tipik endüstriyel işlemler için bu potansiyel 300 V ila 1000 V arasındadır.

Potansiyel dengeleme iletkenlerin direnci 0,1 ohm değerini aşmamalıdır. Topraklama direnci 10 ohm’u aşmamalıdır. Her ne kadar 1 mega ohm’a kadar olan değerler kabul edilebilir olsa da 10 ohmu aşan direnç değerleri sistemde bir sorun (paslanma, gevşek bağlantı vb.) olduğunu göstermektedir. Bu durumda direnç değerinin neden yüksek olduğu araştırılmalıdır.



Şekil 42: Topraklama ve bağlama

Aşağıda elektriğin toprağa iletilmesinde kullanılan bazı malzemeler görülmektedir.



Şekil 43: Bakır tel



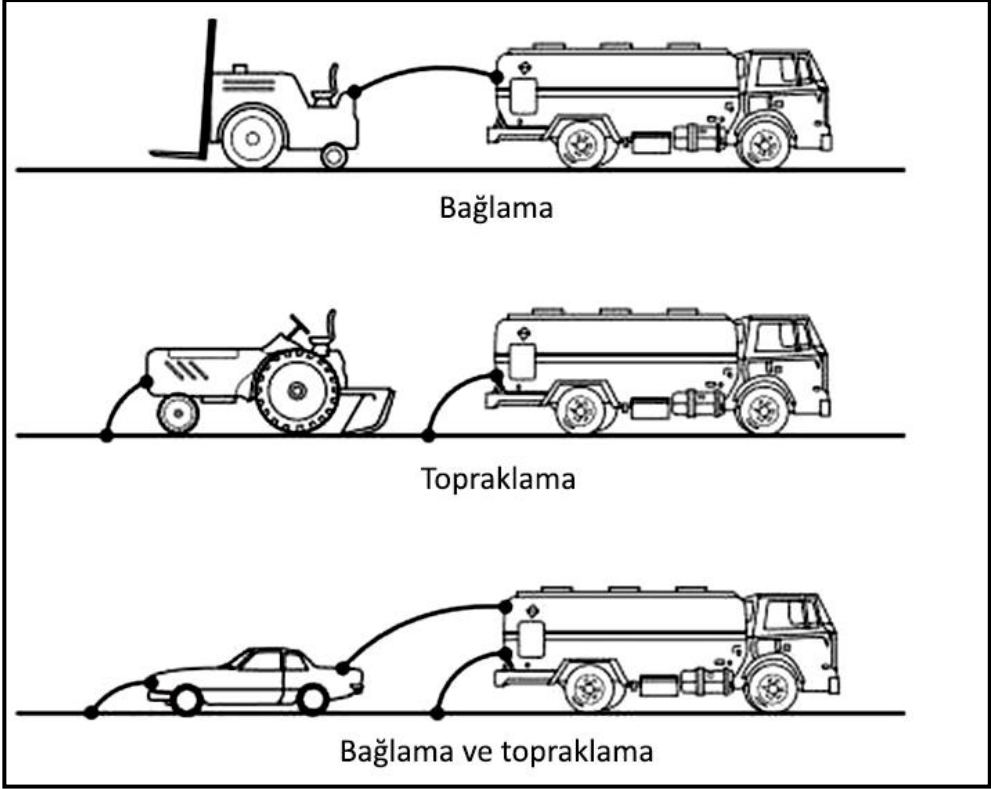
Şekil 44: Antistatik ip



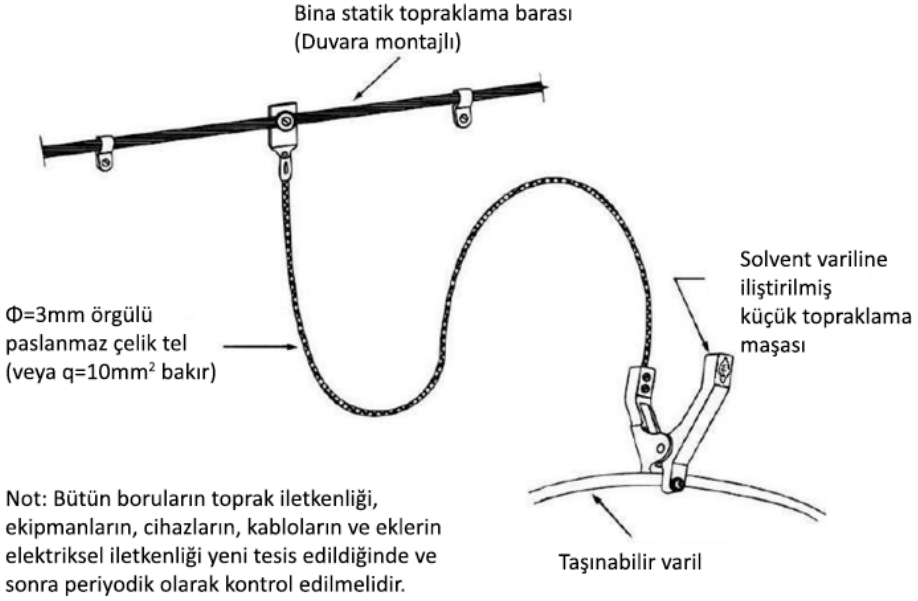
Şekil 45: Antistatik fırçalar

B- BAĞLAMA (BONDING)

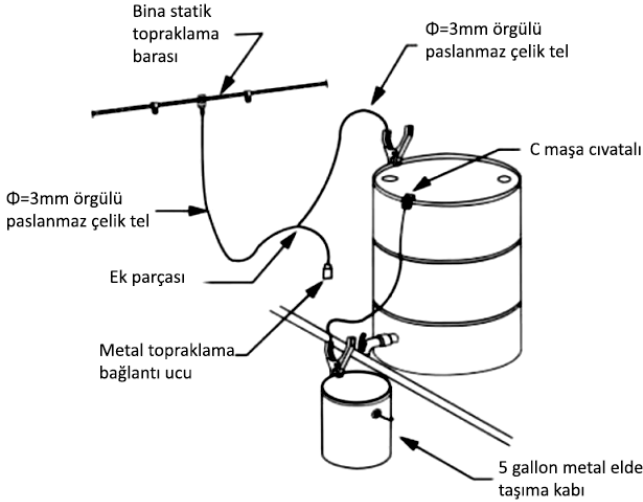
Eş potansiyel bağlama, sistemin topraklanmadığı durumlarda bile, iletken nesnel arasındaki potansiyel farkı önemsiz bir seviyeye indirmek için kullanılır. Topraklama, diğer taraftan, nesnel ve toprak arasındaki potansiyel farklarını eşitler.



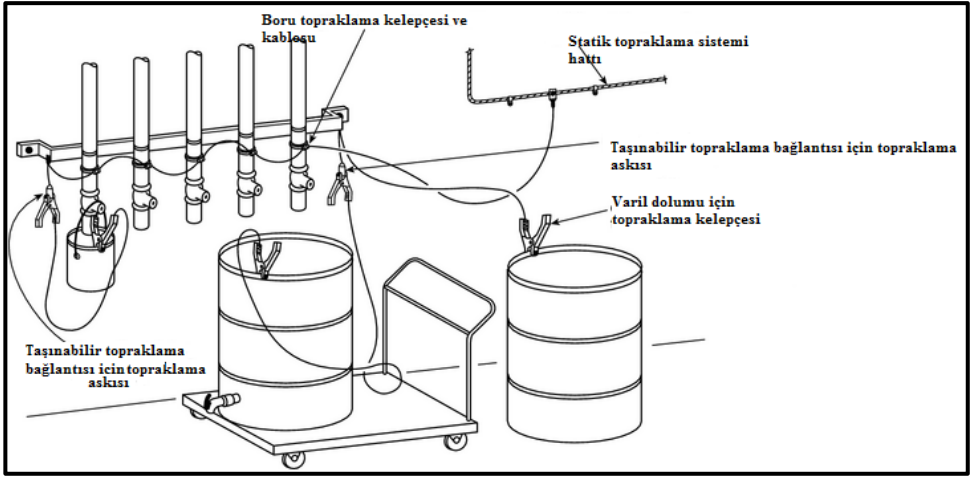
Şekil 46: Bağlama ve Topraklama



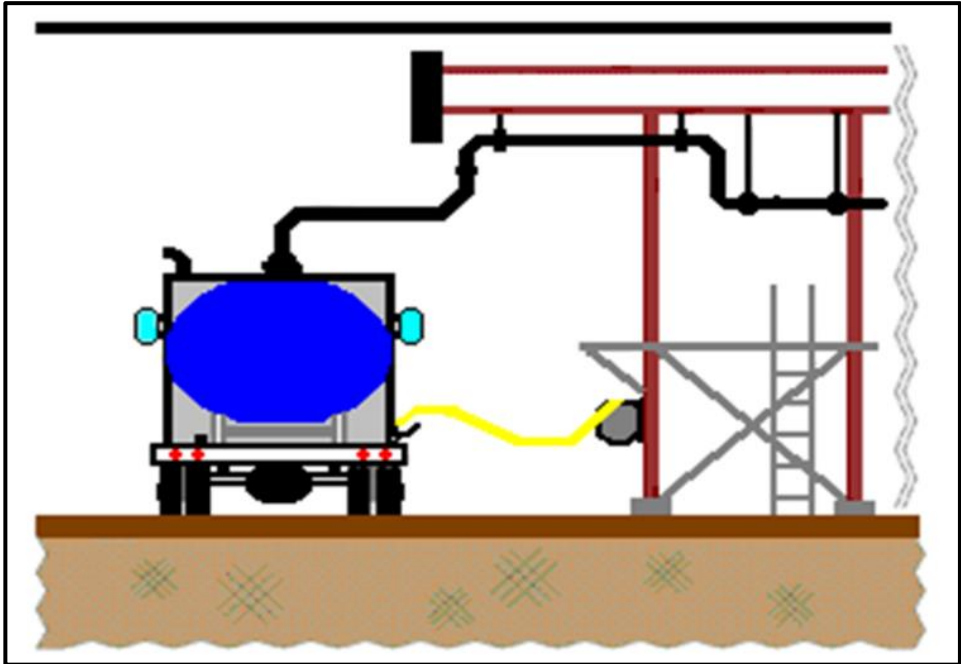
Şekil 47: Topraklama ve bağlama



Şekil 48: Topraklama ve bağlama örneği



Şekil 49: Topraklama ve bağlama örneği



Şekil 50: Petrol tabanlı ürünün büyük bir depodan daha küçük hacimli bir tanka transferinde Bağlama uygulaması.

Doğalgaz sayaçları gibi içinden yanıcı parlayıcı gazların geçtiği cihazları yerinden sökmek ve almak için de önce flanşların her iki yanı iletkenlik bağı ile eş potansiyele getirilir ve sonrasında sökülür. Aksi taktirde flanşlar ayrılırken ark oluşabilir ve bu oluşan ark cihaz içinden havaya tahliye olan doğalgaz veya başka yanıcı gazın alt parlamaya limitine geldiği an parlamaya neden olabilir.

Yine statik elektrikle ark oluşumunu önlemek için akılda tutulması gereken bir başka örnek te; içinde yanıcı parlayıcı gaz bulunan çelik borular üzerinde mevcut olabilecek bir delik veya flanşa tapa vb gibi bir metalin teması anında ark oluşumu olasılığıdır.

Bu durumda vücudumuzdaki statik elektrik aniden ark oluşturarak boşalabilir.

Olması gereken; bu tür bir işlem yapmadan boruların tahliye (purge) edilmesidir. Ölçüm sonucu yanıcı parlayıcı gaz olduğundan emin olunduktan sonra yine de, ihtiyaten, tedbirli olmak adına, metal parça borunun uzakça bir yerine temas ettirildikten sonra boru ile temasta tutularak kaydırılıp yerine monte edilebilir.

C- İYONİZASYON YOLUYLA STATİK ELEKTRİĞİN KONTROLÜ

İyonizasyon, yüzeylerde biriken statik elektrik yükünü tehlikeli bir seviyeye gelmeden boşaltmak ve cisimler arasında meydana gelebilecek potansiyel farkını izole etmek maksadıyla uygulanır. İletken olmayan yüzeylerdeki yükler, korona deşarjı yoluyla zıt yüklü hava iyonları üreten cihazlar ile nötralize edilebilir. Eğer bu tür hava iyonlaştırıcılar kullanılıyorsa, bazı faktörler (sıcaklık ve nem koşulları gibi) etkileri dikkate alınmalıdır.

D- İNDÜKTİF NÖTRLEŞTİRİCİ

Her tür indüktif nötrleştiricinin tasarımı, yüklü yüzeylerin yakınında statik elektrik alanına yerleştirilmek üzere düzenlenen keskin sivri uçlu elemanlara dayanır veya bunlardan oluşur. Bir indüktif nötrleştiricinin tabandan iğneye benzer uçlarına çekilen bir yük uçlarda yoğunlaştırılmış bir elektrik alanı oluşturur. Bir nötralizatörün uçlarından toprağa çekilen yük uçlar keskin ve sivri ise yeterli olacaktır. (Yani 3 kV / mm'den daha büyük).

Her ne kadar ucuz ve kolay kurulsada indüktif nötrleştiriciler, korona ve nötrleştirme işlemini başlatmak için malzeme ile uç arasında minimum bir potansiyel fark gerektirir. Bu minimum yükün yokluğunda, nötralizasyon meydana gelmeyecektir ve malzemenin üzerinde birkaç bin voltluk bir potansiyeli bırakılacaktır.

E- NEMLENDİRME YOLUYLA STATİK ELEKTRİK KONTROLÜ

Birçok malzemenin yüzey direnci çevrenin nemi ile kontrol edilebilir. Yüzde 65 ve daha yüksek nemlerde, çoğu malzemenin yüzeyi statik elektrik birikmesini önler. Çünkü %65 nem, yeterli yüzey iletkenliğini sağlar.

İş güvenliği tasarım aşamasında başlar... Bu şekilde tasarlanmış bir cihaz emniyetlidir. Malzeme veya cihazın yanına levha koyarak "kıvılcım çıkartmayınız" yazılmasından daha etkin bir yaklaşımdır.

Nem yaklaşık yüzde 30'un altına düştüğünde, aynı malzemeler iyi yalıtkanlar haline gelir. Bu durumda şarj birikmesi oluşur.

Nemlendirme, malzemenin yüzey iletkenliğini artırırken, şarj yalnızca toprağa iletken bir yol varsa dağılır. Nemlendirme, statik elektrik sorunları için bir tedavi yöntemi değildir. Bazı yalıtkanlar havadan nem emmez; bu nedenle, yüksek nem, yüzey dirençlerini gözle görülür biçimde azaltmayacaktır. Bu tür yalıtkanların örnekleri, plastik borular, kaplar ve filmler gibi bazı polimerik malzemelerin uygun olmayan yüzeyleri ve petrol sıvılarının yüzeyidir. Bu yüzeyler, atmosfer %100 neme sahip olsa bile statik elektrik yükü biriktirebilir.

XII-GEVŞEME SÜRESİ VE ANTİSTATİK BAKIM

Statik elektrik yükü taşıyan sıvı ve katı malzemelerin yükü dağıtması veya "gevşetmesi" için zamana ihtiyacı vardır. Bazı durumlarda, malzemelerin tehlikeli bir alana veya prosese girmeden önce şarjların gevşemesi için yeterli zamana izin verilebilir.

Şarjın serbest bırakılması, yalnızca şarjın iletilmesi için toprağa bir yol mevcutsa oluşabilir.

Malzemenin iletkenliğinin artırılması, malzeme yerden izole kalırsa tehlikeleri ortadan kaldırmaz. Statik elektrik yükünü dağıtmak için, bileşiğine iletken bileşenler ekleyerek ya da atmosferik nemi çekmek için yüzeyine higroskopik (nem çekici) maddeler uygulayarak, iletken olmayan bir malzeme çoğu zaman yeterli bir şekilde iletken hale getirilebilir. İletkenliği artırmak için bazı plastıklere veya lastiklere karbon karası eklenebilir. Antistatik katkı maddeleri ayrıca şarj rahatlamasını sağlamak için sıvı ve partiküllü akışkanlara da karıştırılabilir.

Bazı durumlarda, özellikle plastik film yüzeylerinde veya tabakalarda, yüzeye atmosferik nem çekmek için bir malzeme eklenir, böylece yüzey iletkenliği artar. Plastik film yüzeyleri veya tabaka kullanımına düşük nem ortamında dikkat edilmelidir. Yüzde 30'un altındaki nem oranına sahip ortamlarda, film veya tabaka iletken olmayabilir ve statik elektrik yükü biriktirebilir.

Higroskopik kaplamalar atmosferik nemi çeker ve kaplanmış malzemenin yüzeyini iletken hale getirir. Bununla birlikte, bu tür kaplamalar kolayca yıkanabilir veya ovalanabilir veya zamanla etkinliğini kaybedebilir. Bu tip kaplama, statik elektrik yükünün birikmesini azaltmak için yalnızca geçici bir önlem olarak düşünülmelidir.

Statik elektriğin dağıtımı için geliştirilmiş birçok ürün geliştirilmiştir. (Metalize filmler, iletken polimerler gibi)

XIII- ÇALIŞANLAR İÇİN STATİK ELEKTRİĞE KARŞI ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

A- TS EN 1149 KORUYUCU GIYECEKLER ELEKTROSTATİK ÖZELLİKLERİ

Bir Avrupa standardı olan EN 1149 standardı, elektrik ileten giyecekler için gereksinimleri tanımlamaktadır. Bu giyecekler, örneğin elektrik ileten ayakkabılar ile birlikte tamamen topraklanmış bir sistemin parçasını oluşturmaktadır. Bu koruyucu giyecekler, kıvılcımları ve dolayısıyla patlamaları önlemektedir. Bu standarda uygun şekilde üretilen giyecekler, sadece **alev geciktirici giysi** standardı olan TS EN ISO 11612 standardı ile birlikte kabul edilmektedir.

Bu tür giysiler patlama ve yangın tehlikesi olan çalışma ortamlarında kullanılmaktadır. Özellikle ATEX yönergelerine uymak zorunda kalan firmalar, TS EN 1149-5 standardı ile uyumlu giyecekler kullanmak zorundadır.

TS EN 1149 standardı kapsamındaki giyecekler, çalışanların elektrostatik yüklenmesini ve yanıcı statik kıvılcımların oluşmasını azaltmaktadır. Patlayıcı ortamların meydana gelebileceği çalışma ortamlarında bu koruyucu giyeceklerin kullanılması gerekmektedir. Söz konusu standart, yanıcı deşarjları önlemek için giyeceklerin elektrostatik gerekliliklerini açıklamaktadır.

Birkaç bölümden oluşan bu standart dizisi ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından şu başlıklarla yayınlanmıştır:

- TS EN 1149-1 Koruyucu giyecekler- Elektrostatik özellikler- Bölüm 1: Yüzey öz direnci (deney metotları ve kurallar)
- TS EN 1149-2 Koruyucu giyecekler- Elektrostatik özellikler- Bölüm 2: Malzemenin derinliğine elektrik direncinin ölçülmesi için deney metodu (düşey direnç)
- TS EN 1149-3 Koruyucu giyecekler- Elektrostatik özellikler- Bölüm 3: Yük zayıflamasını ölçme için deney metodu
- TS EN 1149-5 Koruyucu giysi- Elektrostatik özellikler- Bölüm 5: Malzeme performansı ve tasarım gereksinimleri

Elektro statik özelliği olan giysiler ve önlükler vücuttaki yükün minimize olmasını sağlarlar.

Elektro statik özelliği olan giysilerin temin edilemediđi durumlarda pamuklu giysiler tercih edilmelidir.

LPG dolun istasyonlarında çalışmalara pahalı orlon terilen naylon karışımı elbiseler yerine %100 pamuk ucuz kot türü elbise verilmesi emniyetli olan seçeneğin her zaman pahalı seçenek olmadığı bir göstergesidir. Pamuklu elbise aynı zamanda yangından kaçış anlamında diğerlerine göre çalışmana kaçmak için zaman kazandıran birden tutuşmayan ve tutuştuğunda dahi diğerlerinde rastlanabilecek deriye yapışma özelliği daha az olan bir giysidir.

Elbise Çeşidi	Bađıl Nem	Enerji Miktarı (Joule)
Yün	% 17	0,087
Pamuk + Yün	% 11	0,056
Pamuk	% 11	0,025

Şekil 51: Kumaş tiplerine göre enerji miktarı

1- Topuk bantları ve ayakkabılar

Topuk bantları ayakkabının iletken zeminle temas etmesi sağlanarak yükün akması sağlanır.



Şekil 52: Topuk bantları ve ayakkabılar

Antistatik ayakkabı statik elektriği yere deşarj edebilmek için iletkenliği (örneğin şerit tel halinde tabana yerleştiren iletken konulması gibi) arttırılmış ayakkabılardır ve en az 250

voltluk elektrik şokunu önleyecek dirence sahiptir. Eğer anti-statik ayakkabı kullanılıyorsa, uygun iletkenliğe sahip olduğundan emin olmak için test yapılmalıdır.

Minimum tutuşma enerjisi 10 mJ'dan küçük olan ortamlarda çalışanlar statik elektriğe karşı korunmalıdır. Bunun en iyi yolu iletken bir zemin ve iletken/statik- dağıtıcı özelliğe sahip ayakkabılardır. Bunların sağlanamadığı durumda statik dağıtıcı giysiler tek başına güvenlik sağlamaz.

2- Yük ölçüm istasyonları

Özellikle patlayıcı ortamlarda çalışanların üstünde statik elektrik yükünü ölçmek için kullanılır.

3- Uyarı levhaları

Aşağıda statik elektrikle ilgili yaygın olarak kullanılan uyarı levhaları örnekleri bulunmaktadır.



Şekil 53: Uyarı işaretleri

4- Antistatik bileklik

Bileklikler personelleri topraklamak için en çok kullanılan cihazlardır, vücuttan statik yükü güvenli ve etkili bir şekilde akmasını sağlarlar.

Kablolu veya kablosuz olanları çeşidi bulunmaktadır.



Şekil 54: Antistatik bileklikler

5- Poşetler

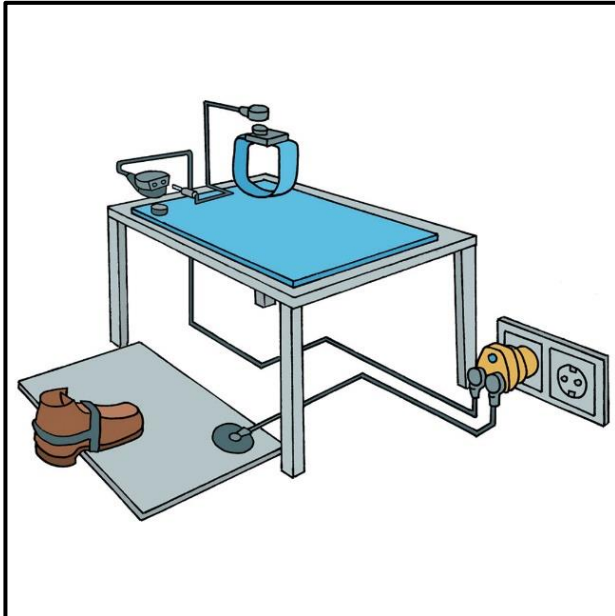
Elektronik devrelerin korunmasında kullanılır

6- Mobilya

Özellikle sandalyeler ve masalar topraklanarak yükün akması toprağa akması sağlanır.

7- Zemin

Statik elektriği azaltmak için anti-statik zemin kaplamalar yapılmaktadır.



Şekil 55: Antistatik mat

XIV-UYGULAMA İÇİN BAZI İPUÇLARI

A- PATLAYICI ORTAM OLUŞTURABİLEN GAZ, TOZ VE SIVILARLA ÇALIŞILMASI DURUMUNDA

Yanıcı malzeme, gaz, buhar veya toz, hava ile patlama limitlerinde karışmış ise statik elektrik tarafından ateşlenebilir.

Fuel oil ile ısındığımız 70 li yıllarda bir tanker muavininin tanker boşaldıktan sonra “acaba tam boşaldı mı?” kaygısıyla çakmak yakarak bölmeye bakarken havaya uçması kazasından yola çıkarak iki noktayı vurgulayalım.

Birincisi önceden daha uçucu solventlerin taşındığı tankerlerin fuel oil gibi daha az yanıcı maddelere çevrilmesi sırasında çok az dahi olsa kalabilecek uçucu solvent buharlaşarak o tankerin solvent tankeri gibi davranmasına neden olabilmektedir.

İkincisi de; nasıl olsa boş denilmesinin sakıncalı olduğu gerçeğidir.

Bir kez dolmuş yapılmış ise, parlayıcı sıvı (benzin mazot yağ tiner vb...) varil, tanker, tank, reaktörlerinin boşu dolusundan daha tehlikelidir...

12500 litrelik bir LPG tankını patlaması için boş sanılan tankta sadece 1 litre sıvı LPG'nin kalması yeterlidir.

1 litre sıvı 250 kez genişerek 250 litre buhara dönüşür. O da; 12500 litrelik tankın %2 alt patlama limitine gelmesine yeter. Sonrası bir kıvılcıma bakar ki, kazak vb. gibi giysilerin çıkarılması sırasında oluşabilecek bir “çıt” sesi ile oluşan statik elektrik bile patlama için yeterlidir.

Statik elektrik yükü yalıtkan nesne üzerinde veya topraklaması olmayan bir iletken malzeme üzerinde oluşur ve bu yük genellikle toprağa veya yakınındaki iletken malzemelere ark(kıvılcım) şeklinde akma eğilimindedir. Oluşan ark, çevresindeki yanıcı karışımı ateşlemeye yetecek enerjiye sahiptir. Bu nedenle “Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik’ de belirtilen önerileri hayata geçirmek gerekmektedir.

1- Patlayıcı ortam oluşumunun engellenmesi

Patlayıcı ortam oluşumunun engellenmesini sağlamak için LPG veya doğal gaz gibi kokusu olmayan gazlar için kokulandırmak, patlayıcı gazların mevcudiyetini anlamak için detektör gibi cihazlar kullanmak, alarm sistemleri kurmak, havalandırma yoluyla gaz ve buhar konsantrasyonunu düşürmek

Parlayıcı sıvı tanklarına patlayıcı ortam oluşmasını engellemek için azot gibi inert bir gaz basmak.

Özetle; patlayıcı ortam oluşmasını önlemek tutuşturucu kaynaklarla ile mücadeleden daha kolay ve ekonomiktir. Çünkü tutuşturucu kaynak çok fazladır. Elektrik düğmesini elektrikli cihazları açmak veya kapatmak bile bir tutuşturucu kaynak olabilir.

2- Tutuşturucu kaynaklarla mücadele

Statik elektrik dahil tüm tutuşturucu kaynaklarla mücadele etmek gerekir, örneğin patlayıcı ortam oluşturabilecek LPG gibi bir tesise girmeden önce tankerlerin alev tutucularının takılmış olması gerekmektedir. Günümüzde ADR belgeli tankerlerin kendi sistemlerinde **egzoz alev tutucular** bulunmaktadır.

Alev tutucuların çalışma prensibi parlayıcı gazın çıkarken metal deliklerinden geçmesi ve bu geçiş sırasında kıvılcım ya da alevin sönmülmesidir.

3- Patlamanın etkisini azaltma

Patlamanın etkisini azaltmaya çalışmak için sistemde patlamaya dayanıklı tasarım ile çalışma yapılması, patlamanın bastırılması, yayılımının azaltılması gibi tasarım aşamasından başlayarak çeşitli önlemler almak mümkündür.

Patlama tahliye valfleri ve (Pressure relief valve) ve yırtılma disklerinin (rupture disk) her ikisi de basınçın önceden ayarlanan değeri aştığında fazla basıncın tankın reaktörün kabın patlamasına yol açmadan emniyetli yere tahliyesini sağlayan cihazlardır.

4- Patlayıcı ortamda yıldırımdan korunma

Patlayıcı ortama oluşabilecek tesislerde yıldırımdan korunmak için diğer tesislere göre daha detaylı çalışma yapılması zorunludur. TS EN 62305-2 standartına göre yıldırımdan koruma risk analizi yapılarak tesisin yıldırımdan korunma seviyesi hesaplanmalı, önlemler bu seviyeye uyumlu olarak alınmalıdır. Tesisteki metal yapıların kalınlığının standart uygunluğu kontrol edilmelidir. Tesiste eşpotansiyel topraklama sistemi oluşturulmalıdır. Yıldırımı cezbedecek sivri uçlardan kaçınılmalıdır. TS EN 62305’de bulunmayan yıldırımdan koruma sistemlerinin

kullanılması risklidir. Yıldırımli gün sayısı yüksek olan yerlerde direkler dikilerek çelik teller ile birbirine bağlanmalıdır. Tesisatta alçak gerilim parafudur (SPD) sistemi kurulmalıdır.

5- Elektrikli ekipman seçimi

Patlayıcı ortam oluşturabilen işletmelerde tüm elektrikli ekipmanlar 30/6/2016 tarihli ve 29758 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanan “ Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile ilgili Yönetmelik “ şartlarına uygun olarak kullanılmalıdır.

B- DOLDURMA, AKTARMA, KARIŞTIRMA, NUMUNE ALMA İŞLEMLERİ VE BAZI ÖZEL UYGULAMALAR:

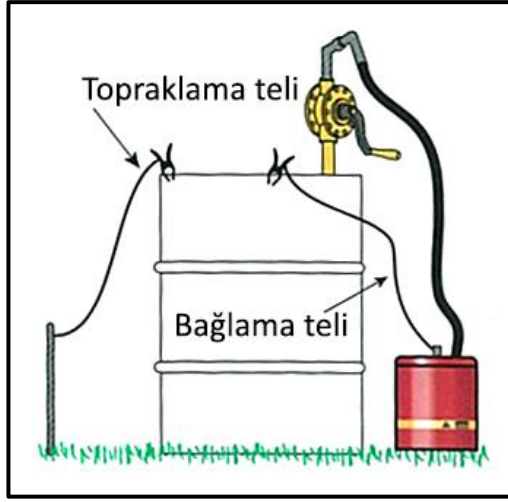
Organik çözücüler ve yanıcı gazlar genellikle yüksek elektrik yükleri geliştirirler, bu nedenle bu çalışmalarda özen gösterilmeli, özel prosedürler veya iş izin sistemleri uygulanmalıdır.

1- Aktarma işlemleri

Yapılacak etkili önlemlerden biri, tüm metal variller ve gaz silindirleri, kapla birlikte topraklanmalıdır. Yanıcı sıvılar birinden diğerine aktarılırken, metal varil uzun bir anti-statik kabloyla birbirine bağlanmalıdır. İyi elektrik iletkenleri olmadıkları ve aynı zamanda yeterince topraklanamadıkları için yanıcı sıvıların depolanması veya taşınması için plastik kaplardan kaçınılmalıdır.

2- Portatif tankların doldurulması

Portatif metal tankları veya kapları üstten yanıcı sıvılarla doldururken doldurulan kap ile bağlantısı olan toprak hattına bağlı topraklama çubukları kullanınız.



Şekil 56: Yanıcı sıvıların aktarılması örnekleri

3- Tankerlerin doldurulması

Kara tankerlerinin üstten doldurulması esnasında, tankerin topraklanmasına ek olarak doldurma borusu da topraklanmalıdır. Doldurma borusu tankın dibine değmelidir. Ayrıca, doldurma borusu tankın doldurma ağzı kenarıyla temas halinde olmalıdır.

4- Aktarma işlemleri

Yanıcı ve patlayıcı sıvılar bir kaptan bir kaba hortumla aktarılırken miktar ve hız sınırlaması yapılması tercih edilmelidir. Çünkü boşalma yapılması esnasında sıvı çepelere çarparak sürtünmeden dolayı statik elektrik oluşur. Yine bu sıvılar yüksek basınçla doldurulmamalıdır. Akış hızları düşük tutulmalıdır. Büyük kaba topraklama yapılması ve küçük kabin da büyük kaba bağlanması yoluyla yük birikiminin toprağa akması sağlanmalıdır. Uçaklara yakıt verme işlemlerinde prosedür uygulanmalı, uygulamalar denetime tabi tutulmalıdır.

Düşük buhar basınçlı kimyasalların yüksek sıcaklıkta aktarılamamasına dikkat edilmelidir.

5- Karıştırma işlemleri

Bir karıştırma işlemine başlamadan önce kap içinde bulunan buharın patlayıcı ortam yaratıp yaratmadığının ölçümü yapılmalıdır.

6- Numune alma ve tartım işlemi

Numune alma veya ölçüm işlemleri; karıştırma, aktarma, pompalama gibi operasyonlar bittikten sonra, dinlenme süresi dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu dinlenme süresi küçük bidonlarda dakikalar mertebesindeyken, büyük tanklar için bir saat süresinde olmaktadır. Tank içindeki sıvının miktarını ölçmek için kullanılan ölçüm aletleri topraklanmış olmalı ve doldurma ağzına değdirilmelidir. Yanıcı ve parlayıcı sıvılar için topraklama sistemi olan örnekleme kapları kullanılmalıdır. Yine bu tip sıvıların tartılması için ex-proof niteliği olan teraziler tercih edilmelidir. Örnekleme kabını indirmek için kullanılan ipler doğal olmalı, naylon gibi iletken olmayan malzemelerden oluşan ipler kullanılmamalıdır.

7- Antistatik katkı maddesi eklenmesi

Topraklanmış kaplar içinde bulunan düşük iletkenliğe sahip sıvıların yük birikimini engellemek için antistatik katkı maddesi eklenmesi bir önlem olarak değerlendirilebilir.

8- Yalıtkan kapların topraklanması

Yanıcı ve parlayıcı sıvıların konulduğu yalıtkan kaplar metal kafes içine alınarak topraklanmalıdır.

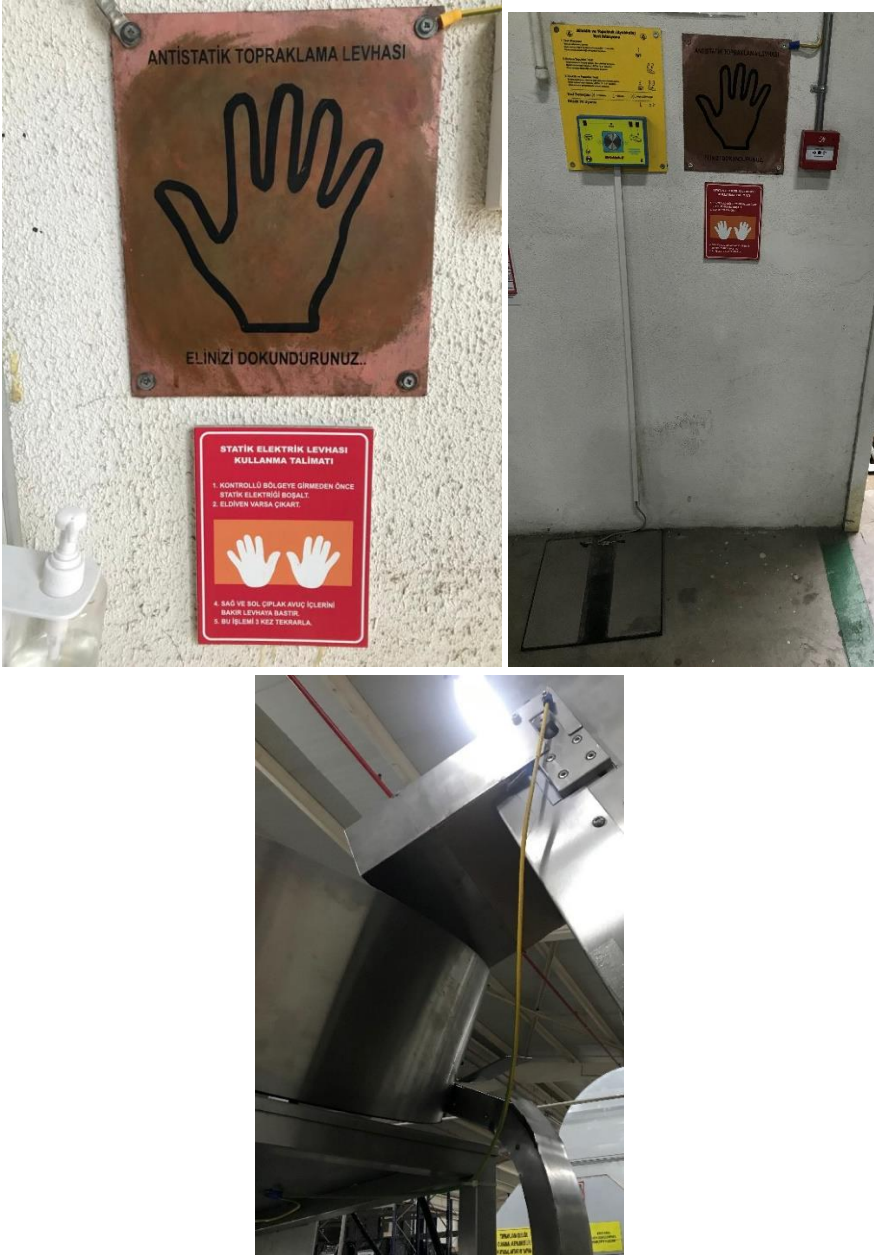
9- Püskürtme işlemleri

Boya gibi yanıcı sıvıların püskürtme uygulamasının yapıldığı yerlerde topraklama bağlantıları yapılmalıdır.

C- ÇALIŞANLARDA ÖNLEMLER

Sentetik elyaftan (naylon gibi) yapılan giysiler, özellikle kauçuk tabanlı ayakkabılar giyildiğinde yüksek statik elektrik yükleri oluşturabilir. Bunu önlemek için, bir metal yüzeye veya toprağa dokunarak statik yük boşaltılmalıdır. İşletmeler yukarıda bahsedildiği gibi bakır plaka kullanmaktadır. Bu bakır plakalara dokunduğunuz zaman üzerinizde statik elektrik birikimi varsa, hafif bir elektrik şoku almanız normaldir. Bazı tesislerde dolun yerine merdiven ile çıkarken merdiven korkulukları da bakırdan yapılarak çalışanın bu korkuluğu tutarak dolun bölgesine girmesi istenmektedir. Bu nedenle çalışanlar, kitabın bir önceki XI. Bölümde bahsedilen standartlara uygun kişisel koruyucu donanım kullanılmalıdır.

Aşağıda statik elektrik önlemleriyle ilgili bazı saha fotoğrafları yer almaktadır.



Şekil 57: Statik elektrik saha önlemleri

XV- KAYNAKLAR

- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik,
- Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik
- 60079- 10-1 /2015 Patlayıcı ortamlar (Gaz ve Buhar)
- 60079-10-2 /2015 Patlayıcı ortamlar (Toz)
- Avoiding Static Ignition Hazards in Chemical Operations (LAURENCE G. BRITTON)
- NFPA 77 Recommended Practice on Static Electricity
- Statik Elektrik Tehlikesinin Yönetilmesi için Pratik Uygulamalar (Hansel Özgümüş)
- Polietilen doğalgaz boru hatlarında statik elektrik oluşumu, etkileri ve kontrolü (Serkan Uçar)
- Statik Elektriğe Karşı Koruma için Güvenli Bir Topraklama Sistemi ve Antistatik Çalışma İstasyonunun Kurulması (Mustafa BURUNKAYA)
- Statik Elektrik (F.Ünal TOKTAŞ –EMO)
- Statik elektrik: Endüstrinin gizli tehlikesi (Yusuf Mert Sönmez)
- Static Electricity: Matt Fyffe
- Statik Elektriğe Karşı Önlemler-Filiz Başarır İnce- Elektrik Mühendisliği Dergisi
- Flammable and Combustible Liquids (Static Electricity)-CCOHS
- Electrostatic hazards: Gunter Lüttgens-Dr. Norman Wilson
- Static Spark Ignites Flammable Liquid during Portable Tank Filling Operation (CSB Sep.2008)
- Ignition Hazard Caused by Electrostatic Charges in Industrial Processes (Dr. Martin Glor Feb.2015)
- Kimya Sektöründe Statik Elektrik Tehlikeleri ve Korunma Yöntemleri - Huriye Kumral - KMO Eğitim notları
- Önlem Dergisi Sayı 12 Toz Patlamaları: Prof. Dr. Veli Deniz
- Process Safety Beacon Feb.2021 - Çeviri: Abdullah Anar
- Toz Patlamalarından Korunma Rehberi: Kemal Üçüncü
- Eckhoff, R.K., 2003. Dust Explosions in the Process Industries, Elsevier, USA
- <https://www.atommuhendislik.com.tr>

-
- <https://docplayer.biz.tr/9036271-Yanici-ve-patlayici-tesislerde-topraklama-ve-yildirimdan-korunma.html> (Erişim 09.01.2021)
 - <http://www.ihcworld.com/royellis/ABCsafe/glossary/static-electricity.htm> (Erişim 10.01.2021)
 - <https://electrical-engineering-portal.com/danger-and-control-of-static-electricity-buildup> (Erişim 13.01.2019)
 - <https://www.loc.gov/everyday-mysteries/item/how-does-static-electricity-work/> (Erişim 19.11.2019)
 - <https://dustsafetyscience.com/dss003-imperial-sugar-refinery-explosion-us-chemical-safety-board/> (Erişim 14.01.2021)
 - <https://www.fraser-antistatic.com/en> (Erişim 01.01.2021)

YAZAR HAKKINDA

H. Huriye Kumral

Kimya Yüksek Mühendisi

İstanbul Üniversitesi'nden kimya yüksek mühendisi derecesiyle mezun oldu.

40 yılı aşan çalışma hayatının ilk yıllarında, Çalışma Bakanlığı'nda 9 yıla yakın bir süre iş güvenliği müfettişi olarak çalışmıştır. 1988 tarihinden 2005 yılına kadar özel sektörde birçok firmada çeşitli kademelerde danışman ve yönetici olarak görev almıştır.

2006 yılında başında iş güvenliği uzmanı olmuştur. Risk değerlendirme uzmanı olarak yurt dışında AB projelerinde eğitmen ve uygulama sorumlusu olarak çalıştı.

Acıbadem ve Okan Üniversitesi İSG yüksek lisans programlarında öğretim görevlisi olarak risk değerlendirme ve iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri derslerini verdi. Ayrıca, Seveso kapsamındaki projelerde proje ekibi içinde yer aldı.

ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 baş denetçisi ve NEBOSH eğitmenidir. Davranış Odaklı Güvenlik Yönetimi, ISO 31000 Risk Yönetim Sistemi ve kurumsal risk yönetimi konusunda çalışma yapmaktadır.

Risk Yönetimi Derneği'nin kurucu üyeleri arasında bulunmakta ve derneğin sosyal medya bilgi paylaşım platformlarında moderatörlük yapmaktadır.

Halen eğitmen, danışman ve denetçi olarak görevini sürdürmektedir.

İş güvenliği alanında çok sayıda bildirisi ve ayrıca, KMO tarafından yayımlanan'' Teknik ve Davranışsal Risk Analizleri'' adlı kitabı bulunmaktadır.

Detaylı Bilgi: www.helikonisg.com

