



T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

“STATİK ELEKTRİĞİN İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN
YARATACAĞI TEHLİKELERİN TESPİTİ VE ÇÖZÜMLERİ”

ŞEBNEM KARUL TONKA

Tez Danışmanı

YRD. DOÇ. DR. RÜŞTÜ UÇAN

İSTANBUL-2015



T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**“STATİK ELEKTRİĞİN İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN
YARATACAĞI TEHLİKELERİN TESPİTİ VE ÇÖZÜMLERİ”**

ŞEBNEM KARUL TONKA

Tez Danışmanı

YRD. DOÇ. DR. RÜŞTÜ UÇAN

İSTANBUL-2015

T.C. ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı çerçevesinde yürütülmüş olan “Statik Elektrik İş Güvenliği Açısından Yaratacağı Tehlikelerin Tespiti Ve Çözümleri” aşağıdaki jüri tarafından 25.12.2015 tarihinde yapılan sınavda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri başkanı	“Yrd. Doç. Dr. Rüştü UÇAN” Üsküdar Üniversitesi	imza
Danışman	“Prof. Dr. Ali Fuat GÜNERİ” Yıldız Teknik Üniversitesi	imza
Üye	“Yrd. Doç. Dr. Esin TÜMER ” Üsküdar Üniversitesi	imza
Üye	“Unvanı Adı SOYADI” Üniversitesi	imza
Üye	“Unvanı Adı SOYADI” Üniversitesi	imza

ONAY

Bu tez, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun Tarih ve Sayılı kararı ile kabul edilmiştir.

İmza
Prof. Dr. Şule GÖK
Enstitü Müdürü

ÖZET

Statik elektrik endüstride de gizli bir tehlikedir. Statik elektrikten kaynaklanan tüm kazalar aniden ve sinsice meydana gelmiştir. Özellikle de yanıcı malzemelerle uğraşılan sektörlerde, statik elektrik; patlamalara, yangınlara dolayısıyla can ve mal kaybına yol açan kazalara neden olmaktadır. Dünyada meydana gelen ses getirmiş büyük kazalar şunlardır:

Güneybatı Fransa’ da bir silo, Tayland’ da bir boya fabrikası, Kanada’ da fiberglas imalatı yapan bir fabrika, Des Moines’ de portatif tank dolum tesisinde dolum işlemi esnasında tankların patlaması, Norveç Vaksdal’ da 500 m³ lük mısır nişastasası silosunda meydana gelen toz patlaması, Amerika Teksas’ ta Barton Solüsyon tesisinde, yakıt tanklarının patlaması örnek olarak gösterilebilir. Petrol istasyonlarında, yakıt ikmali sırasında statik elektrikten doğan binlerce patlama olmuştur.

Avrupa Birliği üye ülkelerinde statik elektrik kazalarını önlemek amaçlı olarak CENELEC CLC/TR 50404 ve IEC 60079, Amerika Birleşik Devletlerinde ise NFPA-77 standartları kullanılmakta ve çalışmalar esnasında bu standartlar çerçevesinde gerekli önlemler alınmaktadır. Ancak Türkiye’ de statik elektrik ile alakalı herhangi bir standart olmadığı gibi konu ile alakalı olarak yapılmış bir çalışma da bulunmamaktadır.

Bu tez, statik elektriğin doğasını kavramak için gerekli araştırmalar yapılmış, statik elektrikten kaynaklanacak tehlikeleri tanımlanmış, dünyada uygulanan standartlar ışığında tehlikelerin kontrol teknikleri ve kontrol kuralları hakkında bilgi verilerek statik elektrik tehlikelerini önlemeyi hedeflemiştir.

Anahtar Kelimeler: Statik elektrik, Patlamalar, Tedbirler, Standartlar

ABSTRACT

Static Electricity is a potential danger in industry. Every accident occurred by static electricity became silly. Static electricity causes accidents which causes loss of life and property especially in the sectors that deal with inflammable matters. Followings are barnburner accidents happened in the World:

Explosions in a silo in the South of France, in a paint factory in Thailand, in a fiber glass factory in Canada, in a mobil tank factory in Des Moines, in a starch dust tank Vaksdal, Norway, in a solvent tank farm Barton Solution facility in Texas, America can be shown as examples. In gasoline stations there have been thousands of explosions in fuel delivery caused by static electricity.

European union member countries use CENELEC CLC/TR 50404 and IEC 60079 and United States use NFPA-77 as standards about static electricity and there are many precautions within this scope. As there is no standard about static electricity in Turkey, there isn't any study case about it either.

The technical documentation is recommended here, systems, methods or superior quality, durability, fire resistance, is designed to prevent the use without. Labor standards NFPA77 with static electricity is based on the American fire circle.

Key Words: Static electricity, Explosions, Precautions, Standards

TEŞEKKÜR

Statik elektrik ile yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği konulu bu tez çalışmamda beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Rüştü UÇAN hocama teőekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen eşime ve aileme teşekkür ederim.

İstanbul, 2015

Şebnem Karul TONKA

BEYAN FORMU

Bu çalışmanın kendi tez çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar hiçbir aşamasında etik dışı davranışımın olmadığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

24.08.2015

Şebnem Karul TONKA



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
BEYAN FORMU	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİL DİZİNİ.....	xiii
RESİM DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. STATİK ELEKTRİĞİN TEMELLERİ.....	4
2.1.1. Statik Elektrik Nedir?	4
2.1.1.1. Dokunma uyarımlı yük ayrıştırma (Triboelektrik etki)	4
2.1.1.2. Basınç uyarımlı yük ayrıştırma (Piezoelektrik)	5
2.1.1.3. Isı uyarımlı yük ayrıştırma (Piroelektrik etki)	5
2.1.1.4. Yük uyarımlı yük ayrıştırma (Elektrostatik indüksiyon).....	5
2.1.2. Yıldırım.....	9
2.1.3. Akaryakıt Operasyonları.....	9
2.1.4. Uzay Araştırmaları.....	10
2.1.5. Ozon Çatlamaları	10
2.2. STATİK ELEKTRİK YÜKLERİN BİRİKMESİ VE DAĞILMASI.....	11
2.3. STATİK ELEKTRİK DEŞARJİ	12
2.3.1. Yanma Mekanizmaları.....	12
2.3.2. Korona Boşalımı	14
2.3.3 İletkenler arasındaki kıvılcımlanma.....	16
2.3.4 Melez Karışımlar	17
2.3.5 İnsan Vücudundan Statik Elektrik Boşalımı.....	18
2.3.6 İletkenler ile Yalıtkanlar Arasındaki Boşalımlar	18
2.3.7 Bir İletkenle Desteklenen Bir Yalıtkanın Yüzeyinde Boşalım	19
2.3.8. Doldurma İşlemleri Sırasında Oluşan Deşarjlar	19
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	21
3.1. STATİK ELEKTRİK TEHLİKELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	22
3.1.1. İş Akışı İçerisinde Statik Elektriğin Tespiti.....	22

3.1.2. Statik Elektrik Deşarjının Ölçülmesi	23
3.1.3. İletken Üzerindeki Yükün Voltmetre ile Ölçümü.....	23
3.1.4. Yalıtkan Üzerindeki Yükün Ölçümü	24
3.1.5. Genel Olarak Uygulanan Yük Ölçüm Şekli	25
3.1.6. Yükün Birikmesinin ve Gevşemesinin Ölçülmesi.....	25
3.1.7. Malzeme Direncinin Ölçülmesi	26
3.1.8. Bağlanma ve Topraklanmanın Değerlendirilmesi	27
3.1.9. Kıvılcım Enerjilerinin Ölçülmesi.....	28
3.1.10. Ateşleme Enerjilerinin Ölçülmesi.....	28
3.2. YANICI VE PARLAYICI SIVILAR İLE BUHARLARININ STATİK ELEKTRİK TEHLİKELERİ YÖNÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	28
3.2.1. Sıvıların, Buharların ve Buğularının Patlama Karakteristikleri.....	29
3.2.1.1. Parlama Noktası.....	29
3.2.1.2. Yanma Limitleri Ve Buhar Basıncı	30
3.2.1.3. Ateşlenme Enerjisi	30
3.2.1.4. Oksitleyici Derişimi	31
3.2.2. Sıvılarda Statik Elektrik Birikmesi ve Dağılması.....	31
3.2.2.1. Sıvı Elektriklenmesini Etkileyen Faktörler.....	32
3.2.3. Boru, Hortum ve Tüpler İçinde Akış Sırasında Statik Elektriklenme	33
3.2.3.1. Metal boru sistemleri	33
3.2.3.2. Yalıtkan borular ve astarlı borular	34
3.2.3.3. Esnek hortumlar ve tüpler.....	34
3.2.3.4. Dolum boruları.....	35
3.2.4. Süzme Esnasında Kullanılan Malzemelerden Oluşabilecek Yüklenmeler.....	35
3.2.4.1. Mikro filtreler	35
3.2.4.2. Süzgeçler.....	35
3.2.4.3. Cila filtreleri.....	36
3.2.4.4. Asılı malzemeler	36
3.2.4.5. Çeşitli hat kısıtlamaları	36
3.2.5. İletken Sabit Çatılı Depolama Tankları	36
3.2.5.1. İletken sabit çatılı depolama tanklarında alınması gerekli önlemler	37
3.2.5.2. İletken sabit çatılı depolama tanklarında topraklama	38
3.2.5.3. Kıvılcım oluşturucular	38
3.2.5.4. Tank mikserleri	39
3.2.5.5. Gaz çalkanması	39
3.2.6. İletken Yüzer Çatılı Depolama Tankları.....	39
3.2.7. Kaplanmış Ve Astarlanmış Tanklar.....	40
3.2.8. Yalıtkan Malzemelerden inşa edilmiş tanklar	40
3.2.9. Tankerlerde Statik Elektriklenme	41
3.2.9.1. Üstten doldurma.....	42
3.2.9.2. Altan doldurma	42
3.2.9.3. Değişimli yükleme.....	42

3.2.9.4. Karayolu nakliyesi	43
3.2.9.5. Antistatik katkı maddeleri.....	43
3.2.10. Vakumlu Kamyonlarda Statik Elektrik Kontrolü	43
3.2.11. Demiryolu Tank Vagonlarında Statik Elektrik Kontrolü	44
3.2.12. Proses Kaplarında Statik Elektriklenme	44
3.2.12.1. Statik elektrik birikim yolları.....	44
3.2.12.2. Tanklara aktarma prosedürleri	44
3.2.12.3. Çalkanma	45
3.2.13. Yalıtkan Astarlı Kaplar	45
3.2.14. Katı Eklenmesi.....	45
3.2.15. Katıların Karıştırılması	46
3.2.16. Yalıtkan Proses Kapları	46
3.2.17. Ölçme ve Örnekleme Kaplarında Statik Elektriklenme	47
3.2.17.1. Önlemler	47
3.2.17.2. Malzemeler	48
3.2.17.3. Ölçme.....	48
3.2.17.4. Bekleme süresi	49
3.2.18. Tank Temizleme İşlemi Sırasında Statik Elektriklenme ve Tedbirleri.....	49
3.2.18.1. Su ile yıkama	49
3.2.18.2. Çözücü ile yıkama	49
3.2.18.3. Buharla temizleme	50
3.2.18.4. Dâhili kumla temizleme.....	50
3.3. PUDRALARIN VE TOZLARIN STATİK ELEKTRİK TEHLİKELERİ YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	51
3.3.1. Tutuşabilirlik ve Toz Bulutları	51
3.3.2. Statik Elektrik Yüklenmesi Mekanizmaları.....	52
3.3.3. Statik Elektrik Yükünün Tutulması	53
3.3.4. Pudra Operasyonlarında Boşalımın	54
3.3.4.1. Kıvılcım boşalması	54
3.3.4.2. Korona boşalımı ve saçaklı boşalım	54
3.3.4.3. İlerleyen saçaklı boşalım	55
3.3.4.4. Kabaran saçaklı boşalım	55
3.3.5. Pnömatik Aktarım Sistemleri.....	55
3.3.6. Esnek Hortum	56
3.3.7. Esnek Botlar ve Çoraplar	56
3.3.8. Torbalı Süzgeç Odaları	57
3.3.9. Melez Karışımlar	58
3.3.10. Pudraların Yanıcı Sıvılara Elle Eklenmesi	59
3.3.11. Dökme Depolama	60
3.4. ÖZEL UYGULAMALAR.....	60
3.4.1. Granüler Malzemelerde Statik Elektriklenme	60
3.4.2. Esnek Ara Dökme Konteynerlerde (FIBC) Statik Elektriklenme	61

3.4.3. Yük üretimi	61
3.4.4. Yalıtkan FIBC' ler	61
3.4.5. İletken FIBC' ler	62
3.4.6. Konteyner astarları	62
3.5. TEKSTİL VE MATBAA PROSESLERİNDE STATİK ELEKTRİKLENME	63
3.5.1. Substratlar	64
3.5.1.1. Kâğıt	64
3.5.1.2. Plastikler	64
3.5.1.3. Kumaşlar ve dokunmamış mamuller	64
3.5.2. Mürekkepler ve kaplamalar	65
3.5.3. Proseslerde Statik Elektriklenme	66
3.5.3.1. Baskı presleri	66
3.5.3.2. Kaplama	66
3.5.3.3. Doyurma	66
3.5.3.4. Kalandırlama	67
3.5.3.5. Ağ elleçleme ve dönüştürme	67
3.5.3.6. Şerit dikme	68
3.5.4. Statik elektriğin kontrolü	68
3.6. BOYA VE SPREY UYGULAMALARINDA STATİK ELEKTRİKLENME	71
3.7. MAKİNE KAYIŞLARI VE KONVEYÖRLERİNDE STATİK ELEKTRİKLENME	71
3.7.1. Düz Kayışlar	71
3.7.2. V kayışlar	72
3.7.3. Konveyör Kayışları	72
3.7.4. Makaralar ve Şaftlar	73
3.7.5. Kayışlar ve Konveyörlerin Bakımı	74
3.8. PATLAYICILAR VE STATİK ELEKTRİKLENME	74
3.9. KATOT IŞINI TÜPLÜ VIDEO GÖRÜNTÜLEME TERMİNALLERİ VE STATİK ELEKTRİKLENME	74
4. BULGULAR	76
4.1. ÜRETİM TESİSLERİNDE STATİK ELEKTRİK KAYNAKLI OLUŞAN KAZA ÖRNEKLEMELERİ	77
4.1.1. Barton Solvent Tesisinde Statik Elektrik Kaynaklı Patlama	77
4.1.2. Akaryakıt İstasyonunda Yakıt Boşaltırken Alev Alan Tanker	81
4.1.3. Boya Fabrikası Statik Elektrik Kazası	82
4.2. FARKLI ENDÜSTRİLERDE STATİK ELEKTRİK İLE İLGİLİ TEDBİRLER VE UYGULAMALAR	83
4.2.1. Çakmak Dolum Fabrikasında Statik Elektrik Tedbirleri	83
4.2.2. Boya Fabrikasında Statik Elektrik Tedbirleri	85
4.2.2.1. Yasal sorumluluklar	86
4.2.2.2. Firma & Seveso direktifi	88
4.2.2.3. Fabrika exproof malzeme örnekleri	88

4.2.2.4. Exproof hammadde taşıma sistemi	90
4.2.2.5. Hava ve elektrik çalışan tam otomatik dolum makinası	92
4.2.2.6. Kontrol panosu.....	93
4.2.2.7. Topraklamalar	93
4.2.2.8. Antistatik ve tutuşmaz tulum	94
4.2.2.9. Exproof transpalet.....	95
4.2.2.10. Yangın algılama ve önleme sistemi	95
4.2.2.11. CO2 söndürme sistemi.....	97
4.2.2.12. Depo sprinkler sistemi	97
4.2.2.13. Exproof aydınlatma.....	98
4.2.2.14. Exproof Elektrik Prizleri.....	98
4.2.2.15. Havalandırma İyileştirmesi.....	99
4.2.2.16. ESD ölçüm cihazı	99
4.2.2.17. Exproof Isıtma Sistemi	100
4.2.2.18. Exproof toz tozlama sistemi	100
4.2.2.19. Exproof ve normal manipülâtör sistemleri	101
5. TARTIŞMA	102
5.1. STATİK ELEKTRİK ATEŞLEME TEHLİKELERİNİN KONTROL YÖNTEMLERİ	103
5.2. EKİPMANLARDAKİ ATEŞLENEBİLİR KARIŞIMLARIN KONTROLÜ.....	103
5.2.1. Eylemsizleştirme.....	103
5.2.2. Havalandırma.....	104
5.2.3. Taşıma.....	104
5.3. STATİK YÜK ÜRETİMİNİN KONTROLÜ.....	104
5.4. YÜKLERİN DAĞILMASI.....	105
5.4.1. Bağlanma ve Topraklama	105
5.4.2. Nemlendirme	112
5.4.3. Yük Gevşemesi ve Antistatik İşlemler	113
5.5. YÜK NÖTRLEŞTİRİLMESİ.....	114
5.5.1. Endüktif Nötrleştiriciler	114
5.5.2. Etkin Elektrikli Statik Nötrleştiricileri.....	115
5.5.3. Etkin Radyoaktif Statik Nötrleştiriciler	116
5.6. PERSONEL ÜZERİNDEKİ STATİK YÜKÜN KONTROLÜ	117
5.6.1. Yük Birikiminin Önlenmesi.....	117
5.6.2. İletken Zemin ve Ayakkabı.....	117
5.6.3. Çalışanı Topraklayan Cihazlar.....	118
5.6.4. Antistatik veya İletken Giysiler	119
5.6.5. Eldivenler.....	119
5.6.6. Temizlik veya Silme Bezleri.....	119
5.7. BAKIM VE TEST.....	120
5.8. STATİK ELEKTRİK KAYNAKLI RAHATSIZLIK VE YARALANMA.....	120
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	121

7. KAYNAKLAR	128
EKLER.....	130
EK1 - ÖZGEÇMİŞ	130



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1 Statik Elektrik Ateşleme Tehlikesi Önleme Akış Şeması.....	22
Tablo 2 Tanklarda yükleme için alınan önlemler özeti	41
Tablo 2 Tanklarda yükleme için alınan önlemler özeti (devamı).....	42
Tablo 3 Çeşitli Toz Faaliyetlerden Yükselen Orta Dirençli Tozların Tipik Şarj Düzeyleri (Sıkıştırma Öncesi)	52



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1 Yalıtkan malzemenin hareketiyle oluşan tipik yüklenme.....	6
Şekil 2 Atomizasyon vasıtasıyla oluşan tipik yüklenme	7
Şekil 3 Yüklenmiş yalıtkanın alan çizgilerinin gösterimi.....	7
Şekil 4 İletkende indüklenen yük.....	8
Şekil 5 Serbest yükün iletkenden deşarjı	8
Şekil 6 İzole bir iletkenin yalıtkindan ayrıldıktan sonra yük taşınması	8
Şekil 7 Yüklenme örnekleri	11
Şekil 8 Deşarj enerjilerinin patlayıcı maddelerin minimum ateşleme enerjileri ile karşılaştırılması.....	14
Şekil 9 Korona boşalımı	14
Şekil 10 Saçaklı Boşalım	15
Şekil 11 Sığal kapasitif kıvılcım deşarjının ölçümünde kullanılan nomograf.....	16
Şekil 12 Saçaklı deşarjın yayılması.....	19
Şekil 13 Silonun granül ile doldurulması sırasında oluşan kabaran saçaklı deşarj	20
Şekil 14 Hacimsel ve yüzeysel dirençlerin kademeleri	26
Şekil 15 Konsantrasyonun fonksiyonu olarak benzinin minimum ateşleme enerjisi	31
Şekil 16 Sıvılarda elektriklenme örnekleri	32
Şekil 17 Pnömatik aktarım sistemlerinde kullanılan baskı aparatı	56
Şekil 18 Kafes ve Torba düzeni	58
Şekil 19 Tipik Statik Elektrik Nötralizasyonu	69
Şekil 20 Şamandıranın detaylı görüntüsü ve statik elektriklenme.....	79
Şekil 21 Kaza sonrası şamandıra topraklama bağlantısı.....	80
Şekil 22 Bağlanma ve Topraklama	105
Şekil 23 Topraklama Barasının Topraklama Elektroduna Bağlantısı	107
Şekil 24 Küçük Topraklama Kelepçesi	107

Şekil 25 Büyük Topraklama Kelepçesi	108
Şekil 26 Boru Topraklama Köprülemesi	108
Şekil 27 Bidon Muslukları için Topraklama.....	109
Şekil 28 Bidon Pompalar için Topraklama.....	109
Şekil 29 Küçük Ekipmanlar için Topraklama.....	110
Şekil 30 Dağıtım İstasyonları için Topraklama	110
Şekil 31 Mobil Depo ve Bidon Aktarımları Sırasında Uygulanan Topraklama.....	111
Şekil 32 Bidonlar ve Platformları için Topraklama.....	111
Şekil 33 Tankerlerin Doldurma/Boşaltma İstasyonu Topraklaması.....	112
Şekil 34 Endüktif Nötrleştirici	115

RESİM DİZİNİ

Resim 1 Barton solvent fabrikası kazası.....	77
Resim 2 15.000 galonluk yerüstü tankı	78
Resim 3 Patlama sonrası etrafa fırlayan tank parçaları.....	79
Resim 4 Akaryakıt istasyonunda yakıt boşaltırken alev alan tankeri	81
Resim 5 Boya fabrikası kaza anı.....	82
Resim 6 Statik elektriklenmeye karşı bakır levha	83
Resim 7 Çakmak dolun tesisi üretim hattı görüntüsü	85
Resim 8 Gebze organize sanayii bölgesinde bir boya fabrikası	86
Resim 9 Boya fabrikası exproof kazan sistemleri	88
Resim 10 Boya fabrikası exproof kazan sistemleri	89
Resim 11 Gövde topraklaması	89
Resim 12 Exproof hammadde taşıma sistemi.....	90
Resim 13 Hammadde taşıma sistemi motorları	90
Resim 14 Hammadde taşıma sistemi motorları	91
Resim 15 Boya dolun.....	92
Resim 16 Kontrol panosu	93
Resim 17 Topraklama maşası	93
Resim 18 Topraklama maşası	94
Resim 19 Antistatik tulum	94
Resim 20 Exproof transpalet.....	95
Resim 21 Yangın söndürme sistemi	96
Resim 22 Yangın söndürme sistemi	96
Resim 23 CO2 söndürme sistemi.....	97
Resim 24 Sprinkler sistemi	97

Resim 25 Exproof aydınlatma	98
Resim 26 Exproof Elektrik Prizleri	98
Resim 27 Exproof Havalandırma Sistemi	99
Resim 28 ESD ölçüm cihazı	99
Resim 29 Exproof Isıtma Sistemi	100
Resim 30 Exproof toz tozlama sistemi	100
Resim 31 Exproof ve normal manipulatör sistemleri	101



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

UFL	Üst Yanıcılık Limiti
MIE	Minimum Ateşleme Enerjisi
LOC	Sınırlayıcı Oksitleyici Derişimi
LFL	Alt Yanıcılık Limiti
MEC	Minimum Patlayabilir Derişim
MIE	Minimum Ateşleme Enerjisi
FLF	Alt Yanıcılık Sınırı
HSE	Health, Safety And The Environment
CLP	Sınıflandırma, Etiketleme Ve Paketleme
ATEX	Atmosferik Patlamalar
FIBC	Flexible Intermediate Bulk Container
IBC	Intermediate Bulk Container
ESA	Elektrostatik Yardım
CRT	Tüplü Katot Işını
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
OHSAS	İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetim Sistemleri
SEVESO	Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi
HAZOP	Tehlike Ve İşletilebilme Çalışması Metodu
JISB	Japanese Industrial Standards
P&ID	Process and Instrumentation Diagram
NFPA	National Fire Protection Association
BSA	British Standard Authority
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
EN	European Committee for Standardization
BS	British Standarts
IEC	İnternational Electrotechnical Commission
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
ESD	Elektro Statik Deşarj

1. GİRİŞ

Amerika ve İngiltere' de çıkan yangınların %32 si ülkemizde ise çıkan yangınların %20 ye yakını elektrik nedenli yangınlardan oluşmaktadır.

Amerikan yangın sınıflamasında, elektrik kaynaklı yangınların çok oluşu nedeniyle yangınlar sınıflandırılır iken E sınıfı elektrik yangınlarını belirtir. AB standartlarında ise E sınıfı yangın bulunmamaktadır. Ülkeler bu konuda gereksinimlerine göre düzenlemeler yapmaktadırlar.

Amerika' da hazır gıda tüketimi dolayısıyla sıkça dondurulmuş gıdaların kızartılmasından dolayı en fazla mutfak yangınları çıkmaktadır. Bu sebeple Amerikan yangın sınıflamasına birde K sınıfı (Kitchen) yangınlar ilave edilmiştir.

Elektrik yangınları ve alınması gereken önlemler ile ilgili ilk makaleyi ABD başkanlarından **Benjamin Franklin** 1747 yılında yazmıştır. Benjamin Franklin' in yıldırımlar üzerinde yaptığı çalışmalardan bu yana elektrik alanında büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Yıldırımlar, bulutlar ile yeryüzü arasında meydana gelen görkemli bir statik elektrik olayıdır.

ELEKTROSTATİK, iki cismin sürtünmesi ile oluşan durgun elektrik yüküne denilmektedir. Yani atomlar arasında hareket eden elektronların ortaya çıkardığı enerji olarak düşünülebilir. Burada kastedilen hareket, çekirdek etrafındaki hareket eden elektronlar değil, farklı atomlar arasındaki elektron hareketidir. Statik elektriğe en büyük örnek yıldırım verilebilir.

Kısacası statik elektrik; katının katıya, sıvının katıya ve iki sıvının bir birine sürtünmesi sonucu oluşan, atomlardaki elektronların birbirleri arasındaki hareketiyle oluşan enerjidir. Atomun etrafındaki elektron hareketi değil, atomlar arasındaki elektron hareketi statik elektriği oluşturur. Genellikle pek işe yaramayan, kontrol edilemeyen ve depolanamayan bir enerjidir. Ancak; bu kontrolsüz güç, çok önemli yangınların çıkış sebepleridir.

Boya endüstrisinde statik elektrik, tutuşturma kaynağı oluşturan büyük bir tehlikedir. Patlayıcı olmayan sıvıların iletken olmayan bir boru veya hortumdan geçerken ya da kuru toz halindeki maddelerin yine iletken olmayan plastik kaplardan karıştırma

kazanına geçerken, parçacıkların hareketi sırasında oluşan kıvılcımlar uygun bir buhar-hava, toz-hava karışımının parlamasına neden olur. Lastik tekerlekli araçlarda, seyir halinde iken, sürtünme kuvveti sebebiyle statik elektrik yükü birikir. Bu yük metalik özellikli olmayan fiberglas gövdeli araçlarda daha fazladır. Patlayıcı sıvı taşıyan lastik tekerlekli tankerlerin topraklama mecburiyeti, bu statik elektrik yükünün tehlikeli seviyesine erişmeden sürekli olarak boşaltılması içindir. Deponuza benzin alırken aracınızdan inip-binmeyin ya da sonrasında benzin alma noktasına yaklaşmadan, yeterince uzak bir mesafede metal bir nesneye dokunarak kendinizi topraklayın, indibindi hareketi sırasında insanlar kendisine statik elektrik yüklemektedir. Sıvıların ve özellikle patlayıcı sıvıların boru donanımındaki nakli, depolanması, bir kaptan diğerine boşaltılması esnasında statik elektrik yük birikimi oluşur. Buralarda bu yükün kıvılcım çıkararak boşalması patlama ve yangın tehlikesi doğuracağı için topraklama işlemi yapılır.

Dünyanın birçok yerinde topraklama sistemi olmadığından statik elektrikten dolayı birçok tehlike atlatılmıştır. Birbirine karıştırılmayan iki sıvı akıtılıyorsa statik elektrik daha fazla olur. Bu nedenle patlayıcı ortamda çalışan bazı tesisler için, sürtünme ile elektriklenmeyen malzeme temin edilir. Örneğin antistatik havalandırma vantpleri, antistatik firen balataları, antistatik konveyör kayışları gibi.

Statik elektrikten kaynaklanan problemler, ancak fizik kuralları içerisinde ve dünyada uygulanan benzer metodlar global ölçek içinde ele alınıp üzülebilir. Dolayısıyla, bir ülkedeki statik elektrik problemleri için varılan zmler kolayca diğer ülkelere adapte edilerek daha da geliştirilebilir. Avrupa ve Amerika Birleşik Devletlerinde benimsenen onaylanmış yöntemlere dayalı bu araştırmanın kapsamı, Türkiye’de statik elektrik tedbirleri ile ilgili olarak eksiklikleri bulmak ve uygulama sahasına sokmaktır.

Bu araştırmanın temel hedefi, statik elektrik ile yapılan tüm endüstriyel çalışmalardaki tehlikelerin tespiti ve önlenmesi için gerekli nerileri sunmaktır. Yapılan tespitler, dünyada meydana gelen büyük patlamalar ve yangınlar, tehlike tespiti yapılan endüstrilerden gelen bilgiler ile birleştirilerek tehlikeyi önlemenin gerekliliği vurgulayacaktır.

Bu araştırma, Türk Endüstrisinin statik elektrik ile ilgili eksiklerin incelenmesinin sonuçlarını sunmakta ve bunların nasıl ele alınabileceğini belirtmektedir. Endüstride bu risklerin önlenmesi ancak çalışma şeklinin, tüm sektörler için geçerli olan standartlara uyumu ile mümkündür. Statik elektrik tehlikelerini önlemek için Avrupa’ da CENELEC ya da IEC60079 ve Amerika ‘da NFPA77 standartları ile çalışmak gerekir. Ülkemizde de bu standartları uygulamaya koyma ihtiyacı vardır.

Bu araştırma mümkün olduğunca literatür taraması yapılarak, EMO verileri, karşılaştırmalı Avrupa Birliği ve ABD Statik Elektrik Standartları incelenerek ve iki firmada saha çalışması yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırmanın önemi, Türkiye ve diğer gelişmekte olan ülkelerde statik elektrikten kaynaklanan tehlikeler problemini anlama ve araştırma ihtiyacından ve çok az bilginin bulunduğu bu alana katkıda bulunmak isteğinden doğmaktadır. İşyerinde statik elektrikten kaynaklanan risklerin azaltılması, çalışanlar tarafından devamsızlığın azalması ve bu nedenle verimliliğin artması, daha az sayıda kaza ve hukuki dava tehditlerinin azalması, müşteriler ve ortaklar arasında statünün iyileştirilmesi ve işin maliyetinin bariz şekilde azalması konunun en önemli unsurlarıdır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Statik Elektriğin Temelleri

2.1.1. Statik Elektrik Nedir?

Statik elektriğin en yaygın olarak bildiğimiz hali, çamaşırların kurutucudan çıkartıldıklarında hışırdamaları ve yapışmaları veya halı kaplanmış zemin üzerinde yürürken ya da arabadan çıktıktan sonra metal ile temas edildiğinde hissedilen elektrik çarpmasıdır. Özellikle kışın hava kuru olduğu zamanlarda hemen hemen herkes bu olayların oluştuğunu bilir. Çoğu kişi için statik elektrik, sadece bir rahatsızlık kaynağıdır. Pek çok endüstride, özellikle de yanıcı malzemeler kullanılan sektörlerde, statik elektrik yangınlara veya patlamalara yol açabilir.

Yüklerin birbirleriyle etkileşimi sonucunda ortaya çıkan kuvvete **elektrostatik kuvvet** veya **durgun elektrik** denmektedir.

Maddeler, elektriksel olarak nötr olan atomlardan meydana gelmektedir. Çünkü atomlar içerisinde bulunan pozitif yüklerin (çekirdeğinde bulunan protonlar) sayısı ile negatif yüklerin (çekirdeğin etrafındaki kabuklarda bulunan elektronlar) sayısı birbirine eşittir. Statik elektrik olgular, pozitif ve negatif yüklerin ayrımına gereksinim duymaktadır. İki madde birbirleri ile temasa geçtiği zaman, elektronlar bir maddeden diğer maddeye geçebilir ve böylece bir madde üzerinde aşırı miktarda pozitif yük, diğeri üzerinde ise buna eşit miktarda bir negatif yük bırakır. Maddeler ayrıldıkları zaman ise, yükleri oransız bir şekilde tutarlar. (MEGEP, 2007)

2.1.1.1. Dokunma uyarımlı yük ayrıştırma (Triboelektrik etki)

Elektronlar, maddeler birbirine değdiğinde yer değiştirebilir. Zayıf bağlı elektron içeren maddeler, elektron kaybetme eğilimindeyken, bunun tersi olarak, kabuğu tek tük sayıda dolu olan maddeler ise, elektron alma eğilimindedir. Bu durum triboelektrik etki olarak bilinmektedir ve bu durum bir maddenin pozitif diğerinin ise negatif yüklenmesi ile sonuçlanmaktadır. Cisimler ayrılığı zaman, birinin üzerinde kalan yükün polaritesi ve gücü, onların triboelektrik serilerdeki alakalı konumlarına bağlıdır. Triboelektrik etkiler,

günlük hayatta ve iki tane farklı cismi birbirine sürtmeyi içeren tipik lise bilimi uygulamalarında sık sık gözlemlediğimiz statik elektriğin temel sebebidir. Dokunma uyarımlı yük ayrıştırması saçlarımızın havaya kalkmasına ve statik yapışmaya (örneğin, saça sürtünmüş bir balon, negatif yüklenir ve duvara yakınlaştığı zaman, duvarda bulunan pozitif yükler ile birbirine bağlanır ve balon duvara yapışarak, yerçekimine karşı asılı duruyor gibi gözükür) neden olur. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

2.1.1.2. Basınç uyarımlı yük ayrıştırma (Piezoelektrik)

Uygulanan mekanik gerdirme, belli kristal ve seramik moleküllerinde yük ayrımını oluşturur. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

2.1.1.3. Isı uyarımlı yük ayrıştırma (Piroelektrik etki)

Isı, belli maddelerin atomlarında ve moleküllerinde bulunan yüklerin ayrımını oluşturur. Bütün pyro-elektrik maddeler ayrıca piezoelektriktir. Isının atomik ve moleküler özellikleri ve basınç yakından ilişkilidir.

(https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

2.1.1.4. Yük uyarımlı yük ayrıştırma (Elektrostatik indüksiyon)

Yüklü bir cisim, elektriksel olarak yüksüz (nötr) bir cismin yanına getirildiğinde, bu durum yük ayrımına neden olur. Aynı polaritedeki yükler itilir ve ayrı polaritedeki yükler ise çekilir. Elektrik yükleri nedeni ile oluşan kuvvet, artan mesafe ile süratle düşer, birbirine yakın (zıt polaritedeki) yüklerin etkisi daha büyüktür ve bu iki madde bir etkileşim kuvveti hisseder. En çok, nötr cisim, yükleri hareket etmek için daha çok serbest olan bir elektrik iletkeni olduğu zaman, bu etkiden söz edilmektedir. Dikkatli bir biçimde, cismin bir kısmı topraklandığında, yük uyarımlı yük ayrıştırma ile kalıcı olarak cisim yük elde edebilir ya da yük kaybedebilir. Bu süreç, statik elektrik etkilerini gösteren cihaz olan Van de Graaff jeneratörü işleyişinin ayrılmaz bir parçasıdır.

İster katı ister sıvı olsun, bütün malzemeler atomların çeşitli düzenlemelerinden oluşur. Atomlar, kendilerine kütle kazandıran ve negatif yüklü elektronlarla çevrili pozitif yüklü çekirdek bileşenlerinden oluşur. Atomlar normal durumlarında elektriksel açıdan nötr kabul edilebilirler ve bu da atomda eş miktarda pozitif ve negatif yük bulunduğu anlamına gelir. Nötr duruma göre bir elektron fazlalığı veya eksikliği varsa, atomlar

yüklenebilirler. Elektronlar hareketlidir, kütleleri önemsizdir ve çoğunlukla statik elektrik ile ilişkilendirilen yük taşıyıcılarıdır. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

Metaller gibi elektrik ileten malzemelerde, elektronlar serbestçe hareket edebilirler. Yalıtkan olan maddelerde ise elektronlar atom çekirdeğine daha sıkı bağlıdır ve serbestçe hareket edemezler.

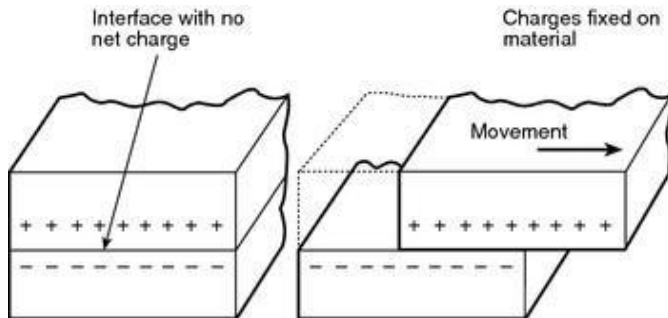
Yalıtkan madde örnekleri:

- (1) İletken olmayan cam
- (2) Kauçuk
- (3) Plastik reçineler
- (4) Kuru gazlar
- (5) Kâğıt
- (6) Petrol akışkanları

Elektronların, yarı iletken olarak bilinen malzemelerdeki hareketliliği, yalıtkanlarda olduğundan daha serbesttir ancak iletkenlerdekinden de daha azdır. Yarı iletken malzemeler genel olarak bir megohmmetre ile ölçülebilen yüksek elektrik dirençleri ile karakterize edilirler.

Diğer yalıtkan akışkanlarda, bir elektron bir atomdan ayrılarak serbestçe hareket edebilir veya başka bir atomla birleşerek negatif bir iyon oluşturabilir. Elektron kaybeden atom pozitif bir iyon olur.

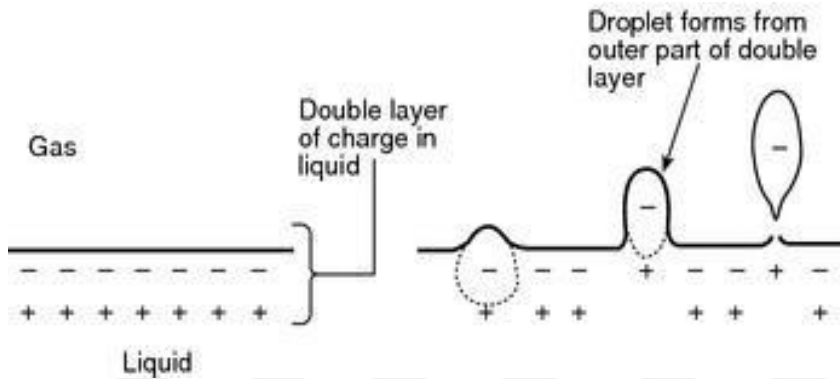
Zıt yükler birbirini çekerler ve eğer yükler hareketli ise çekim kuvveti yükleri birbirine doğru çekebilir. Depolanan enerji, yükleri sonlu bir mesafe ile ayrı tutmak için yapılan işin sonucudur.



Şekil 1 Yalıtkan malzemenin hareketiyle oluşan tipik yüklenme

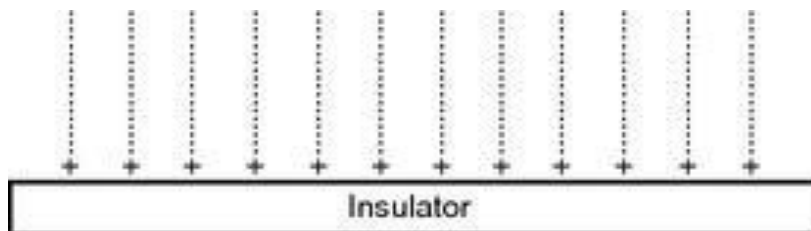
(Kaynak: H. L. Walmsley, "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," p. 19.)

Malzemeler temas ederken, enerjide bir denge durumu sağlanana kadar bazı elektronlar bir malzemeden diğerine hareket ederler. Bu yük ayrışması en fazla katı yüzeylerle temas eden sıvılarda ve diğer katılarla temas içindeki katılarda fark edilir. Temiz gazın bir katı yüzey üzerinde akışı ihmal edilebilir bir yüklenme oluşturur.

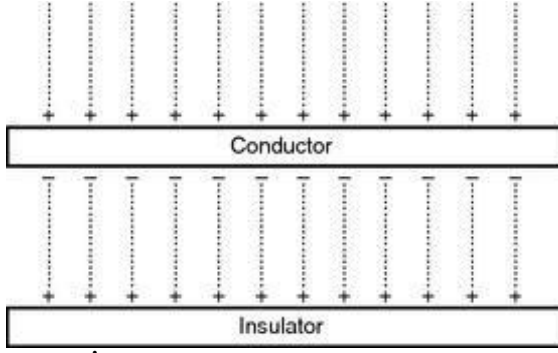


Şekil 2 Atomizasyon vasıtasıyla oluşan tipik yüklenme
(Kaynak: H. L. Walmsley, "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," p. 19.)

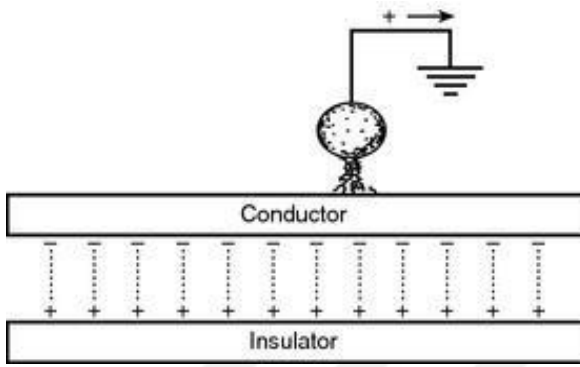
İletken malzemeler, yüksek derecede yüklü bir yüzeyin yakınına getirildiklerinde yüklenebilirler. İletken malzemedeki elektronlar, yüzey üzerindeki yükün doğasına bağlı olarak, yüklü yüzeye en yakın bölgeye doğru çekilebilirler veya bu bölgeden uzaklaştırılabilirler. Ardından bir iletken malzeme toprağa veya bir üçüncü cisme dokundurulursa, elektronlar toprağa veya cisme ya da topraktan veya cisimden geçebilirler. Eğer temas kesilirse ve iletken malzeme ile yüklü yüzey ayrılırsa, yalıtılmış iletken cisimdeki yük değişir. İletilen net yüke *indüklenen yük* denir.



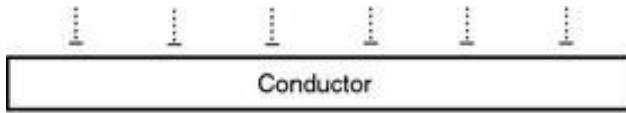
Şekil 3 Yüklenmiş yalıtkanın alan çizgilerinin gösterimi
(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 29.)



Şekil 4 İletkende indüklenen yük
(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 29.)



Şekil 5 Serbest yükün iletkende deşarjı
(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 29.)



Şekil 6 İzole bir iletkenin yalıtkandan ayrıldıktan sonra yük taşınması
(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 29.)

Nötr bir yalıtılmış iletken üzerindeki yükün ayrışması ve yüklü yalıtkan bir yüzey yakınındaki yükün dağılımı en yakın yaklaşma noktası civarında elektriksel stres üretir. İletkenin üzerindeki keskin kenarlar gaz akışında *korona* olarak adlandırılan lokal bir elektriksel ayrışma veya boşluk üzerinde bir elektrik kıvılcımı oluşturabilirler. Bu olaylardan ikisi de yükü malzemeler arasında aktararak, yalıtılmış iletkeni yüklü bırakırlar. Örneğin, iletken olmayan ayakkabı giyen bir kişinin yüksek yüklü elektrik yüklü metal çerçeve ile teması üzerine elektrik çarpması yaşaması durumunda böyle bir aktarım oluşur. Sonuç olarak, kişi net bir statik elektrik yükü alır ve topraklanmış bir

metal cisme dokunarak alınan yükün toprağa akmasına izin vererek ikinci defa çarpılabilir.

Ayrıca bir elektron ya da iyon akışı yüzeye veya malzemeye yönlendirilerek de yük bir yüzeye veya bir malzemeye aktarılabilir. Eğer yüzey ya da malzeme iletken değilse ya da iletken ve zeminden yalıtılabiliyorsa, akış ile sağlanan yük, akış durduktan sonra da kalır.

Yük, iletken olmayan bir sıvı içerisine, yüksek gerilim verilmiş sivri bir elektrotun batırılması ile de oluşur. (Pratt, T. H., *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, Burgoyne, Inc., Marietta, GA, 1997.)

2.1.2. Yıldırım

Yıldırım, statik şarjın doğal bir örneğidir. Yıldırımın ayrıntıları belirsiz olup tartışma konusu olmaya devam etmektedir. İlk şarj ayrımının, fırtına bulutlarının içerisindeki buz parçacıkları ile teması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Genel olarak, önemli yük birikimleri, sadece elektriksel iletkenliği düşük olan bölgelerde devam edebilir (çok az miktarda yük çevre içerisinde hareket etmek için serbest durumdadır). Çevredeki havada gerçekleşen süper ısı deşarjı parlak flaşa neden olur ve klik sesine neden olan bir şok dalgası üretir. Yıldırım, statik boşalmanın daha fazla yerli oluşumunda görülen kıvılcımların büyütülmüş versiyonudur. Flaş oluşur, çünkü deşarj kanalındaki hava, akkor tarafından ışığı emen yüksek sıcaklık ile ısıtılmıştır. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

2.1.3. Akaryakıt Operasyonları

Bir boru içerisinde akan benzin gibi yanıcı sıvıların hareketi statik elektrik birikmesine neden olabilir. Örnek olarak, yük hızlı akımda, benzin, tolüen, ksilen, mazot, kerosen ve hafif ham yağlar gibi polar olmayan sıvılar yük biriktirme ve yük tutma yeteneklerini sergilerler. Elektrostatik deşarj, yakıt buharını tutuşturabilmektedir. Elektrostatik enerjisi yeteri kadar yüksek olduğu zaman yakıt buharını ve hava karışımını tutuşturabilir. Farklı yakıtların, farklı yanıcılık sınırı vardır ve tutuşabilmeleri için farklı seviyelerde elektrostatik deşarja ihtiyaç duyarlar. Gaz istasyonlarında, benzin yakıtı

alınırken elektrostatik deşarj mevcut bir tehlikedir. Gaz yağı ile hava alanlarında yakıt ikmali yapılırken de yangın çıkabilir. Yeni topraklama teknikleriyle, iletken madde kullanımı ve anti-statik katkı maddelerinin eklenmesi, statik elektrik birikimini güvenli bir biçimde dağıtmayı ya da engellemeyi sağlamaktadır. (American Institute of Chemical Engineers)

Borularda akan gazların hareketi, tek başına küçük miktarda statik elektrik oluşturur. Sadece, katı parçacıklar ya da sıvı damlacıklar gaz akımı içerisinde taşındığı zaman, yük üretim mekanizması öngörülmektedir

Statik elektriğin boşalması, yanıcı maddeler ile uğraşan sektörlerde patlayıcı karışımları tutuşturarak tehlike yaratabilmektedir. Yıldırım çok yüksek enerji içerdiğinden düştüğü yerde yalnızca patlayıcı ortamı ateşleme ile kalmaz, tesiste mekanik tahribata ve yangına neden olur. Elektrikli hava şartları, yani elektrik yüklü bulutlar metal kaplı depolarda (influenz olayı) elektrostatik yüklenmelere neden olur. Örneğin üstü çinko kaplı bir saman deposu veya hububat silosu bu nedenle yanabilir. İyi bir topraklama yapılarak metal yüzeylerin yeryüzü ile aynı potansiyelde olması sağlanır. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

2.1.4. Uzay Araştırmaları

Dünya dışı ortamlardaki aşırı düşük nem nedeni ile çok büyük miktarda statik yük birikebilir. Bu statik yük birikimi, kompleks elektroniğe sahip, uzay araştırmalarında kullanılan cihazlar için büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Statik elektriğin, Ay ve Mars' ta planları olan astronotlar için özel bir tehlike oluşturduğu düşünülmektedir. Son derece kuru bir zemin üzerinde yürüme, büyük miktarda yük birikimine neden olabilir. Dönüşlerde, hava kilidini açmaya uzanmaları, büyük bir statik deşarja neden olabilir ve bu muhtemelen hassas elektronik cihazlara zarar verir.

(https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

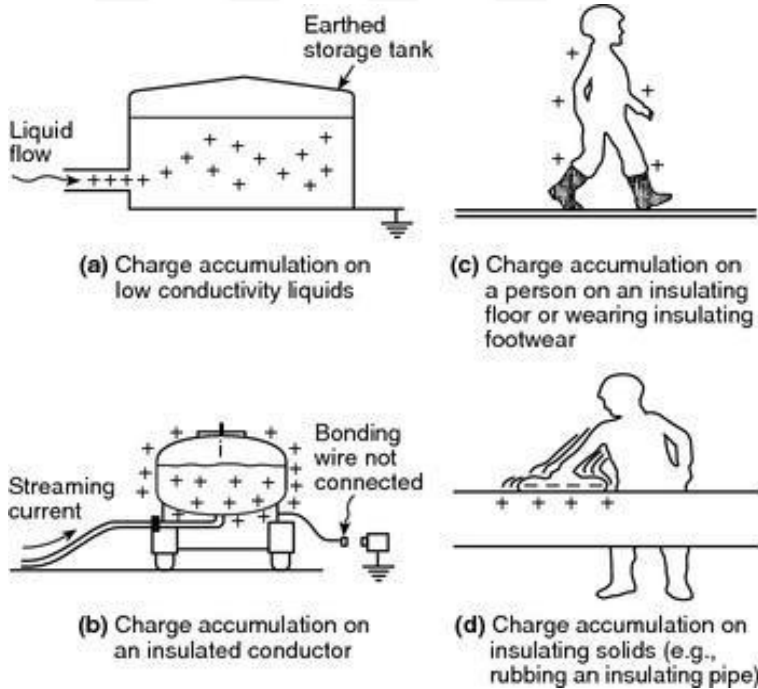
2.1.5. Ozon Çatlama

Hava veya oksijen varlığında, bir statik deşarj, ozonu oluşturabilir. Ozon kauçuk parçaların aşınmasına neden olabilir. Birçok elastomer, ozon çatlama karşı oldukça

duyarlıdır. Ozona maruz kalma, conta ve O-halkaları gibi kritik bileşenlerde derin çatlakların oluşmasına neden olur. Eğer önleyici önlemler alınmazsa, yakıt hatları da bu durumdan dolayı zarar görebilir. Kauçuk karışımına antiozonant ilavesi yapılması, ya da ozon dirençli kauçuk kullanılması önlem olabilir. Özellikle, araçların elektriksel ekipmanlar tarafından ozon üretimi yapılan motor kısımlarında, kırık yakıt hatları yangına neden olabilmektedir. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Statik_Elektrik)

2.2.Statik Elektrik Yüklerin Birikmesi ve Dağılımı

Statik elektrik yükü, yüklerin ayrıştığı hızın yüklerin birleştiği hızı aşması durumunda birikir. Yükleri ayrıştırmak için hareket gereklidir ve yükler nötr duruma dönme eğilimindedirler. Herhangi iki nokta arasındaki potansiyel farkı, yani gerilim, yükleri bir noktadan diğerine hareket ettirmek için yapılması gereken birim yük başına iştir. Bu iş söz konusu sistemin fiziksel karakteristiklerine yani şekline, boyutuna, malzemelerin doğasına ve cisimlerin yerine bağlıdır.



Şekil 7 Yüklenme örnekleri (Kaynak: H. L. Walmsley, Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry, p. 37.)

Elektrik yükünün ayrışması tek başına bir potansiyel yangın veya patlama tehlikesi olmayabilir. Alevlenme tehlikesi oluşması için, deşarj veya elektriksel yüklerin aniden birleşmesi gerçekleşmelidir. Statik elektrik deşarjından korunmanın en iyi yolu, yüklerin kontrollü bir şekilde birleşmesine olanak sağlayan iletken ya da yarı iletkenlerin kullanımınıdır.

Çoğu uygulamada, özellikle de işlenen malzemelerin yalıtkanlar olduğu uygulamalarda, yükleri veya bunların potansiyel farklarını ölçmek kolay değildir.

Yük birleşmesi hızı malzemenin sığasına ve direncine bağlıdır. (Walmsley, H. L., "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," *Journal of Electrostatics*, vol. 27, No. 1 and No. 2, Elsevier, New York, 1992.)

2.3.Statik Elektrik Deşarjı

2.3.1. Yanma Mekanizmaları

İnce toz haline getirilmiş akan maddeler, borularda bulunan düşük iletkenliğe sahip sıvılar, mekanik çalkalanma sebebi ile statik elektrik birikimine neden olabilmektedir. İncecik toz halindeki toz bulutları, yanıcı veya patlayıcı olabilir. Bir toz ya da buhar bulutu içerisinde statik deşarj olduğu zaman, patlamalar gerçekleşir.

0.2 mili joule kadar düşük kıvılcım enerjisi, genellikle insan görsel ve işitsel algı eşliğinin altındadır ve tutuşma tehlikesi oluşturabilir.

Tipik ateşleme enerjileri;

- Hidrojen için 0.017 mJ
- Hidrokarbon buharları için 0.2-2 mJ
- İnce, yanıcı toz için 1-50mJ
- Kalın, yanıcı toz için 40-1000 mJ

Yaygın endüstriyel hidrokarbon gazları ve çözücüler için, buhar-hava karışımının tutuşması için gereken minimum enerji miktarı, yaklaşık olarak, en düşük patlama sınırı ile en yüksek patlama sınırının tam ortasında bulunan en düşük buhar konsantrasyonunun olduğu yerdir. Yanıcı sıvıların aerosolleri, kendi parlama noktalarının altındaki değerlerde tutuşabilir.

Elektriksel deşarj beş farklı şekilde meydana gelir:

• **Kıvılcım**, statik elektriğin de dahil olduğu endüstriyel patlamalar ve yangılardan sorumludur. Kıvılcım, elektrik potansiyeli farklı olan iki cismin arasında gerçekleşmektedir. Araç gereçlerin bütün kısımlarının iyi bir şekilde topraklanarak, araç gereçlerde ve personelde yük birikimine karşı önlemler alınarak kıvılcım oluşumu önlenir.

• **Fırça deşarjı**, yalıtkan yüklü yüzeyde ya da aşırı yüklü yalıtkan sıvılarda oluşur. Yüzey polaritesi negatiftir, yanıcı atmosfer, deşarj noktasında mevcuttur ve deşarj enerjisi tutuşma için yeterlidir. Yüzeydeki maksimum yük yoğunluğundan dolayı, en az 100 cm² bir alan olmak zorundadır.

• **Yayılan fırça deşarjının** enerjisi yüksek ve tehlikelidir. 8mm kalınlığa kadar bir yalıtkan yüzey, büyük alana sahip iki kapasitörün zıt yüzeyleri arasında, büyük bir yük birikimine maruz kalırsa, yayılan fırça deşarjı oluşur.

• **Koni deşarjı**, diğer adıyla bulking fırça deşarjı, yüklü tozların üzerindeki yüzeyde 1010 ohm üzerinde özdirenç ile, ya da derin toz kütlesi boyunca oluşur. Koni deşarjı, 1 m³ ün altındaki toz hacimlerinde genellikle görülmez. İlgili enerji, tozun tanecik boyutuna ve yükün büyüklüğüne bağlıdır. Daha yüksek hacimli tozlar, daha yüksek enerji üretir.

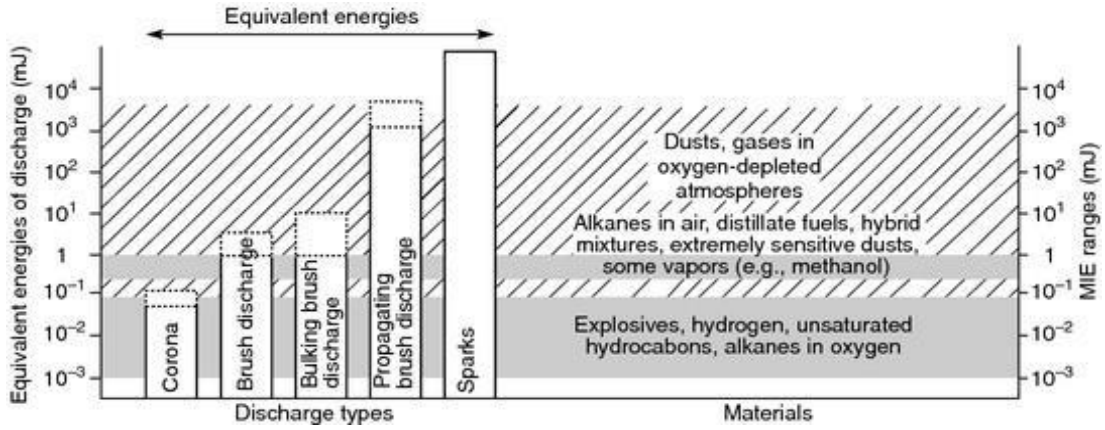
• **Korona deşarjı**, tehlikesiz olarak düşünülür.

Pek çok deşarj türü oluşabilir ve bunlar Şekil 8' de geniş olarak resmedilmiştir.

Bir statik elektrik boşalımının bir ateşleme kaynağı olabilmesi için, aşağıdaki dört koşul sağlanmalıdır:

- (1) Yükü ayrıştırmak için etkili bir yolu mevcut olmalıdır.
- (2) Ayrışmış yükleri toplamanın ve bir elektrik potansiyel farkını korumanın bir yolu mevcut olmalıdır.
- (3) Yeterli enerjiye sahip bir statik elektrik boşalımı oluşmalıdır.
- (4) Boşalım yanıcı bir karışın içinde oluşmalıdır.

(Walmsley, H. L., "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," *Journal of Electrostatics*, vol. 27, No. 1 and No. 2, Elsevier, New York, 1992.)



Şekil 8 Deşarj enerjilerinin patlayıcı maddelerin minimum ateşleme enerjileri ile karşılaştırılması (Kaynak: H. L. Walmsley, *Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry*, p. 26.)

2.3.2. Korona Boşalımı

Korona boşalımı, gazların, keskin kenarlar, uçlar ve teller gibi yüzeyler üzerinde lokalize, iğne biçimli bir elektriksel bozunmadan kaynaklanan mikro-amper aralığında bir elektrik boşalımıdır. Yükler, yüksek gerilimlerde iletkenler üzerinde veya yüklü bir yüzeyin yakınına yerleştirilmiş topraklanmış iletkenlerde ortaya çıkabilirler. Korona boşalımına hafif bir aydınlanma eşlik eder. (Walmsley, H. L., "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," *Journal of Electrostatics*, vol. 27, No. 1 and No. 2, Elsevier, New York, 1992.)

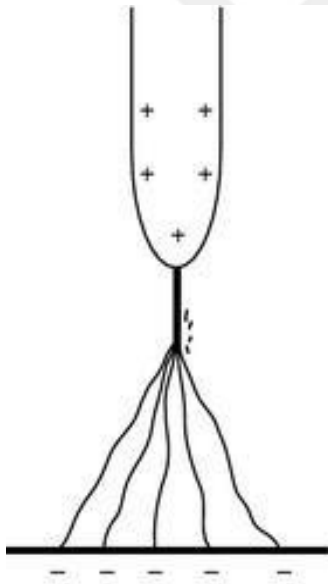


+++++
 Şekil 9 Korona boşalımı

(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 32.)

Çoğu durumda, korona boşalımının enerji yoğunluğu çok düşüktür. Bunun sonucu olarak, korona boşalımının sebep olacağı tehlike ufaktır. Korona boşalımının daha yoğun olduğu durumlarda, *saçaklı boşalım* denilen ön bozunma şeritleri oluşur.

Bunlar, hafif tıslama veya kızarma sesi çıkartan rastgele filamanlar olarak görünürler. Yarıçapları 1 mm'den ufak iğnemi uçlarda oluşan saçaklı boşalım, genelde, ateşlemeye sebep olurlar. Ancak, kanatlardan kaynaklanan boşalım hidrojen-hava veya karbondisülfid - hava karışımları gibi çok düşük ateşleme enerjilerine sahip karışımları ateşleyebilirler. Eğer saçaklı boşalım kenar çapları 5 mm' den büyük elemanlardan veya bir insan parmağı gibi yarı küresel bir ucu olan bir çubuktan kaynaklanıyorsa, gaz-hava ve buhar-hava karışımları alev alabilir. (Walmsley, H. L., "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," *Journal of Electrostatics*, vol. 27, No. 1 and No. 2, Elsevier, New York, 1992.)



Şekil 10 Saçaklı Boşalım (Kaynak: H. L. Walmsley, "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," p. 27.)

Yüklü yüzeylere bakan keskin kenarlar, köşeler ve çıkıntılar (örneğin, kenar çapı 5 mm veya daha az olanlar) tanımlanması gerekir, çünkü bunlar yükü bir noktada toplayarak, elektrik koronasına ve kıvılcımlara yol açabilecek yoğun, bölgesel gerilimler oluşturabilirler.

Korona deşarjının laboratuvarlar da tespit edilen 3 farklı türü ya da derecesi vardır. Bunlar; **bulut deşarjı** (tüy şeklinde), **fırça deşarjı** ve **parıltı deşarjı**dır. Bu isimler deşarjın şeklinden dolayı verilmiştir.

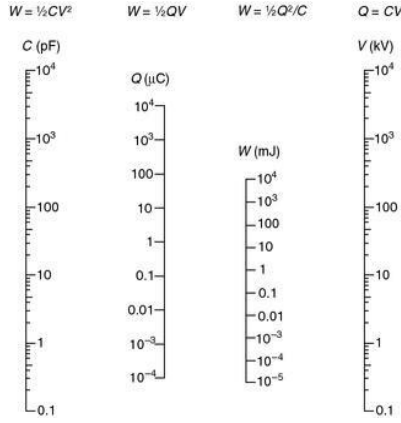
- a. Bu üçünün içinde en çok görülen şekli bulut (plume) deşarjıdır. Karanlıkta bakıldığında E.İ.H' nın gerilim seviyesine göre bir ya da 5 – 10 cm (birkaç inç) uzunluğunda olduğu görülebilir.
- b. Fırça (brush) deşarjı genelde iletkenin tüm çevresinde görülür. Deşarj uzunluğu düşük gerilimde 2,5 cm (bir inç), yüksek gerilimde ise 5 cm (bir-iki inç) kadardır. Genelde ısıklık gibi ya da kızartma sesi gibi bir ses bu tip deşarjda duyulur.

Parıltı (glow) deşarjı ise; iletkenin yüzeyini saran solgun, zayıf bir ışıktır. Ayrıca yüksek nem koşullarında iletkenin kritik noktalarında oluşabilir. Bu tip deşarjda genelde ses çıkmaz. (Walmsley, H. L., “Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry,” *Journal of Electrostatics*, vol. 27, No. 1 and No. 2, Elsevier, New York, 1992.)

2.3.3 İletkenler arasındaki kıvılcımlanma

Statik elektrik ile ateşlenen çoğu yangından ve patlamadan insan vücudu da dâhil olmak üzere topraklanmamış yüklü iletkenlerden kaynaklanan kıvılcımlar sorumludur. Kıvılcımlar, tipik olarak genelde metal olan iki yüklü cismin arasındaki boşlukta ortaya çıkan yoğun sığal kapasitif boşalımlardır. Bir kıvılcım boşalımının enerjisi uzay ve zamanda son derece yoğunlaşmıştır.

Bir kıvılcımın ateşleme oluşturma becerisi, sistemde depolanan enerjinin farklı fraksiyonlarıdır.



Şekil 11 Sıgıal kapasitif kıvılcım deşarjının ölçümünde kullanılan nomograf
(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 113.)

Ateşlenmeye sebep olabilmesi için, deşarjda salınan enerjinin en azından yanıcı karışımın minimum ateşlenme enerjisine (MIE) eşit olmalıdır. Yüklü elektrotların şekli ve boşalımın biçimi gibi diğer etkenler statik elektrik deşarj koşullarını ve bunun ateşlenmeye sebep olma olasılığını etkilerler.

Sisler, tozlar ve lifler genellikle gazlar ve buharlar için olandan bir veya iki mertebe daha büyük bir MIE gerektirirler. Belirli bir malzeme için, MIE' nin azalan parçacık boyutu ile hızla yol olduğuna da dikkat edilmelidir.

Gazların, buharların ve tozların ateşleme enerjileri oksijen derişiminde havanıninkine göre bir artış ile azalır. Benzer şekilde, ateşleme enerjileri oksijen derişimindeki bir azalma ile de artarlar. (Pratt, T. H., *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, Burgoyne, Inc., Marietta, GA, 1997.)

2.3.4 Melez Karışımlar

Farklı haldeki iki ya da daha fazla yanıcı madde (örneğin bir toz ve bir buhar) aynı karışımda bulunuyorsa, karışıma bir *melez* denir. Testler, yanıcı bir gazı bir toz süspansiyonuna eklemenin tozun ateşleme enerjisini büyük ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Bu olay özellikle gazın alt yanıcılık sınırının altında (FLF) ya da tozun minimum patlayıcılık sınırının (MEC) altında olduğu durumlarda doğrudur. Eğer iki bileşen de alt sınırlarının altında olsalar bile bu tür melez karışımlar bazen alev alabilirler.

Melez bir karışım aşağıda şekillerde oluşabilir:

1. Parçacıklardan buharı dışarı salınması (reçine ürünü alıcıları gibi)
2. Parçacıkların yanıcı bir gaz oluşturan atmosferik nem ile tepkimeye girmesi
3. Yanıcı bir buhar atmosferine bir tozun eklenmesi (yanıcı bir sıvıya bir toz veya pudra eklenmesi gibi)

2.3.5 İnsan Vücudundan Statik Elektrik Boşalımı

İnsan vücudu iyi bir elektrik iletkenidir. Yerden yalıtılmış bir kişi yalıtıcı bir yüzey üzerinde yürüyerek, yüklü bir cisme dokunarak, yalıtkan giysiler giyerken yüzeylere sürünerek veya ortamda yük varken topraklanmış bir cisme dokunarak oldukça büyük bir yük toplayabilir. Normal faaliyet sırasında, insan vücudunun gerilimi 10 kV ila 15 kV' a kadar çıkabilir ve olası bir kıvılcımın enerjisi 20 mJ ila 30 mJ' a erişebilir. Bu değerlerin gazların veya buharların MIE' si ile karşılaştırılması tehlikeyi iyice ortaya çıkartır. (Pratt, T. H., *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, Burgoyne, Inc., Marietta, GA, 1997.)

2.3.6 İletkenler ile Yalıtkanlar Arasındaki Boşalmalar

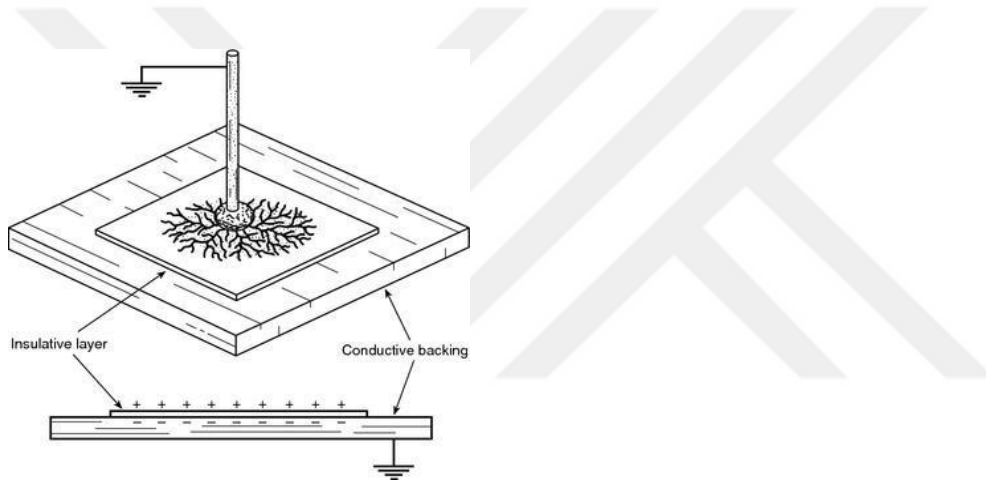
Kıvılcımlar genellikle iletkenler ve yalıtkanlar arasında oluşur. Bu tür oluşumların örnekleri arasında plastik parçalar ve yapılar, yalıtıcı filmler ve ağlar, sıvılar ve parçacıklı malzemelerin kullanıldığı durumlar vardır. Bu malzemelerin yüklenmesi, toplanan yüke ve yakındaki iletken yüzeylerin şekline bağlı olarak, yüzey boşalmaları ve kıvılcımlar ile sonuçlanabilir. Yalıtıcı yüzeylerde gözlenen değişken yük yoğunluğu (hem merteye hem de kutupluluk açısından) bu yüklerin yalıtıcı yüzeyin sınırlı bir parçası üzerinde yayılmasının bir sonucudur.

Statik elektrik nötrleştiriciler kullanıldığında dahi, bazı yükler belirli alanlarda kalırlar ama tipik olarak birikebilecekleri bir mekanizma yoksa tehlikeli değildir. Ancak, ayrı yüklerin yoğunlaşması yüzünden tehlikeli yani ateşleyebilir bir statik elektrik yükü ortaya çıkabilir. Bu tür yük yoğunlaşmalarının oluşumlarına örnekler arasında boş plastik kapların istiflenmesi veya iç içe yerleştirilmesi, bir makara veya tambur üzerine film

sarılması ve bir kabın yalıtkan bir sıvı ya da toz ile doldurulması bulunur. (Pratt, T. H., *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, Burgoyne, Inc., Marietta, GA, 1997.)

2.3.7 Bir İletkenle Desteklenen Bir Yalıtkanın Yüzeyinde Boşalım

İnce yani 8 mm'den az bir yalıtkan malzeme ile kaplı bir yüzey, yük depolayan bir sığaç gibi davranır. Yeterince yüksek yük seviyelerinde (yani $250 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 'den büyük), kaplamanın yüzeyinde bir dallanma boşalımı gözlenir. Bu dallanma boşalımına *yayılan saçaklı boşalım* denir.

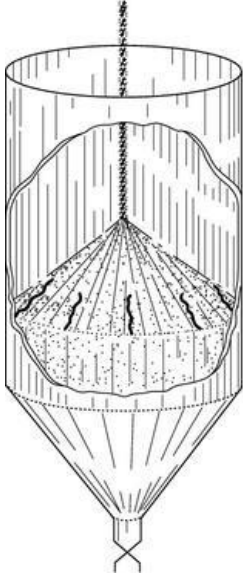


Şekil 12 Saçaklı deşarjın yayılması

(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 35.)

2.3.8. Doldurma İşlemleri Sırasında Oluşan Deşarjlar

Büyük siloların tozlar, granüller ve topaklarla doldurulması sırasında, uzunluğu bir metreye varan yüzey parlamaları gözlenmiştir. *Kabaran saçaklı (koni) deşarj* olarak adlandırılan bu boşalımlara malzeme transferinin gürültüsüne rağmen duyulabilen bir çatlama sesi eşlik eder. Topraklanmış silolardaki toz patlamalarına sebep olduklarına inanılmaktadır. Tank araçlarının yalıtkan sıvılarla doldurulması sırasında da benzer boşalımlar gözlenmiştir. Bu olaya *yüzey şeridi* veya *kazıyıcı* denir. (Pratt, T. H., *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, Burgoyne, Inc., Marietta, GA, 1997.)



**Şekil 13 Silonun granül ile doldurulması sırasında oluşan kabaran saçaklı deşarj
(Kaynak: T. H. Pratt, Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions, p. 35.)**

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Statik elektriğin 13 önemli ateşleme kaynağı içinde yerine bakarak parlayıcı ve patlayıcı ortamlar dışındaki tüm ortamlarda da statik elektrik tehlikelerini incelemek gerekir.

“Patlayıcı, parlayıcı ve yanıcı gaz, toz ve buharın” havanın oksijeni ile karışıtlarında patlayabilmeleri için bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Bu enerji kaynağı genellikle elektrikli aletlerin ark çıkaran kontakları ve ısınan yüzeyleri olmakla birlikte, enerji birikimi ve biriken enerjinin boşalmasına neden olan tüm kaynaklar tehlikeli ortamı patlatabilirler. Örneğin sürtünme dolayısı ile meydana gelen statik elektrik ve yine sürtünerek kıvılcım çıkaran metal parçalar kolaylıkla tehlike kaynağı olabilir.

Tehlikeli ortamı ateşleyen başlıca olay ve enerji kaynakları aşağıda sıralanmıştır:

1. Elektrik ark ve kıvılcımı
2. Sıcak Yüzeyler
3. Mekanik Sürtünme İle Çıkan Kıvılcım
4. Her Nevi Statik Elektriklenme
5. Açık Alev Sıcak Gaz Ve Akkor Haldeki Parçacıklar (Hot Particles)
6. Adiyabatik Basınç, Şok Dalgası
7. Yıldırım Düşmesi Ve Elektrikli Hava Şartları
8. Parazit Akım, Katodik Koruma
9. Ultrasonik Ses Dalgaları
10. Radyo Dalgaları
11. Mikro Dalgalar
12. Kıızıl Ötesi Işık (IR)
13. Görünür Işık
14. Ultraviöle Işınları
15. Röntgen Ve Gama Işınları
16. Bazı Kimyasal Reaksiyonlar

Bu araştırma literatür taraması yapılarak, EMO verileri, karşılaştırmalı Avrupa Birliği ve ABD Statik Elektrik Standartları incelenerek ve iki firmada saha çalışması yapılarak gerçekleştirilmiştir.

3.1. Statik Elektrik Tehlikelerinin Değerlendirilmesi

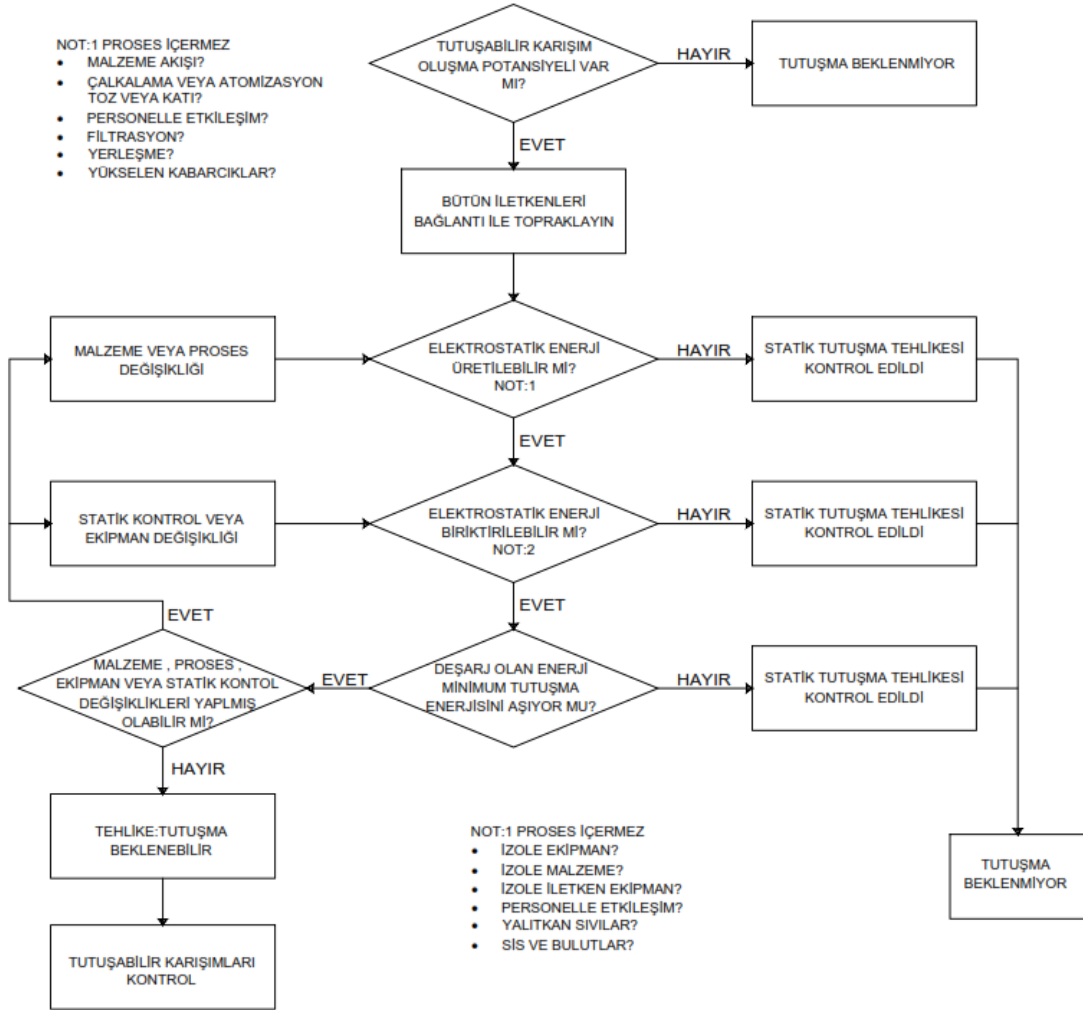
3.1.1. İş Akışı İçerisinde Statik Elektrik Tespiti

Statik elektrik tehlikelerinin değerlendirilmesinde iki temel adım mevcuttur:

- Yükün ayrışıp biriktiği yerlerin tanımlanması
- Yükün ayrışıp biriktiği yerlerde ateşleme tehlikelerinin değerlendirilmesi

Belirtilen değerlendirme süreci Tablo 1’ de özetlenmektedir.

Tablo 1 Statik Elektrik Ateşleme Tehlikesi Önleme Akış Şeması



Kaynak: (For recommendations for bonding and grounding, see 7.4.1. For information on controlling ignitable mixtures, see NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems.)

Personel de dâhil olmak üzere topraklanmamış iletken cisimlerin ve elektriksel yalıtkanlar yerine geçerek düzgün bağlanma ve topraklamayı etkileyebilecek malzemelerin tanımlanması için yerinde değerlendirilmesi veya incelenmesi yapılmalıdır. Değerlendirme sırasında bir yük birikimi kanıtı olmasa bile, inceleme yapılacak alanlarda statik elektrik tehlikesi oluşturabilecek yerler tanımlanmalıdır.

Elleçlenen veya işlenen yalıtıcı malzemelere özel olarak dikkat edilmelidir.

Her süreç işlemi ayrı olarak ele alınmalı ve malzemelerin olası maruz kalma aralığına dikkat edilmelidir. Örneğin, sıcaklık ve bağıl nemdeki değişiklikler malzemelerin kitle iletkenliğini ve yüzey iletkenliğini büyük ölçüde etkileyebilirler.

İlk önce işlemin, sürecin veya bir makinenin ya da bir tasarım gözden geçirmesini ve alanın görsel bir incelemesini tamamlamak genelde yararlıdır. Bunun ardından, mevcut statik elektrik tehlikelerinin doğasını ve büyüklüğünü belirlemek için gerçek çalışma koşulları altında bir yerinde gerekli ekipmanlarla değerlendirme yapılmalıdır. (NFPA 69, *Standard on Explosion Prevention Systems*, 2002 edition.)

3.1.2. Statik Elektrik Deşarjının Ölçülmesi

Anlamli bir değerlendirme uygun bir cihazın kullanılmasını, cihazın üretici talimatlarına uygun olarak kullanılmasını, cihazın kalibrasyonunun korunmasını ve ölçümlerin üretici tavsiyelerine göre yorumlanmasını gerektirir. (CENELEC, Rue de Stassartstraat, 35, B - 1050 Brussels, Belgium.)

3.1.3. İletken Üzerindeki Yükün Voltmetre ile Ölçümü

Bir iletken üzerindeki gerilim, taşıdığı yük ile orantılıdır.

Bir iletken üzerindeki gerilim, voltmetre kullanılarak doğrudan temasla ölçülebilir, ancak voltmetrenin empedansının iletkeni boşaltmayacak kadar yüksek olması ve sığanın iletkenden büyük bir yük toplamayacağı kadar küçük olması gerekir. Çoğu topraklanmamış iletken üzerindeki gerilimi ölçmek için empedansı 1012 ohm' dan büyük bir elektrostatik voltmetre kullanılabilir. İletkenlerin yüzeyi üzerinde her noktada

gerilim aynı olduğundan, voltmetrenin test ucunun yüzeyin neresine dokunduğu önemli değildir. (CENELEC, Rue de Stassartstraat, 35, B - 1050 Brussels, Belgium.)

3.1.4. Yalıtkan Üzerindeki Yükün Ölçümü

Bir yalıtkan üzerindeki yük, doğrudan temaslı voltmetre kullanılarak ölçülemez. Temassız elektrostatik voltmetre veya alan ölçer kullanılmalıdır. Temassız bir elektrostatik voltmetre, statik elektrik alanın şiddetini yalıtkanın üzerindeki net yükten algılar. Birim yük başına statik elektrik kuvvetine bağlı olan alan şiddeti, yüklü bir cismin yakınında bulunan elektrik kuvvetlerini tanımlar. Uygulama açısından, elektrik alan kişinin yüklü bir cismin etrafında ölçtüğü kuvvettir.

Alan ölçerler, elektrik alanını, birim mesafede volt ya da tipik olarak metrede kilovolt olarak ölçecek şekilde kalibre edilirler. Çoğu durumda ölçümler, ölçülen cismin üzerindeki net statik elektrik yükü ile orantılıdır. Çalışma prensiplerine ve karmaşıklık seviyelerine bağlı olarak, alan ölçerlere *alan cihazları* veya *yük yeri belirleyiciler* denir. Bir yalıtkan üzerindeki veya içindeki yük yoğunluğu tekdüzen olmadığı için, ölçümler birkaç yerden alınmalıdır.

Yüklü yalıtkanlar yapraklar, filmler, ağlar, tozlar, sıvılar, işlem valsleri ve ekstrüsyonlar gibi pek çok şekilde mevcuttur. Bu malzemeler ve cisimler üzerindeki yükler cihazdan, gözlemciden ve yakındaki diğer iletken, yarı iletken veya yalıtıcı malzemelerden etkilenen elektrik alanlar üretirler. Sonuç olarak, cihazın ölçtüğü elektrik alan, genelde cihaz yerleştirilmeden önce mevcut olan alandan farklıdır. Bu olay, sığadaki değişikliğin bir sonucudur.

Elektrik yükleri arasındaki kuvvetler belirli bir mesafede ortaya çıkarlar. Bu nedenle, yüklü cisimlere yaklaşıldıkça birikmiş yüklerin etkileri gözlenebilir. Örneğin, çok yüklü bir cisme yaklaşan bir kişinin elleri ve kolları karıncalanmaya başlar ve hatta cilt yüzeyi ve tüyler "yüklenmiş" kıvılcım bile oluşabilir. Bazen bu gözlemler ve kıvılcımlar potansiyel olarak tehlikeli bir durumun varlığının ilk göstergesini oluştururlar. Kişi çok iyi topraklanmış olsa bile, insan vücudu elektrikleenebilir. (BS 5958, *Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity*, Part 1, General Considerations, British Standards Institution, London, 1991.)

3.1.5. Genel Olarak Uygulanan Yük Ölçüm Şekli

Bir iletken veya bir yalıtkan üzerindeki yükün yerini belirlemek için en uygun cihaz temassız voltmetre veya alan ölçerdir. İsminden de anlaşılacağı üzere, bu cihaz yüklü yüzey ile doğrudan temas etmez. Bunun yerine, *algılama açıklığında* mevcut bulunan elektrik alanının büyüklüğünü ve kutupsallığını ölçer. Cihaz ve algılama açıklığı ölçülecek yükün çevresindeki elektrik alanını bozar, bu yüzden ölçüm aleti okuması ölçüm aletinin bulunmadığı yerdeki alanın gerçek büyüklüğünü doğru olarak göstermez. Bu eksikliğin dışında, alan ölçer statik elektrik yüklerinin yerini belirlemek için pahalı olmayan ve değerli bir araçtır.

Bazı durumlarda, esas olarak akan sıvıları ve alan hacimli katıları içeren durumlarda, yüklü malzemenin bir numuneyi *Faraday kafesi* denilen yalıtılmış bir kaba veya kafese almak ve yüklü malzemenin bulunduğu kafesi akan akımı ya da net yükü ölçmek için bir elektrometre kullanmak daha kolaydır. (BS 5958, *Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity*, Part 1, General Considerations, British Standards Institution, London, 1991.)

3.1.6. Yükün Birikmesinin ve Gevşemesinin Ölçülmesi

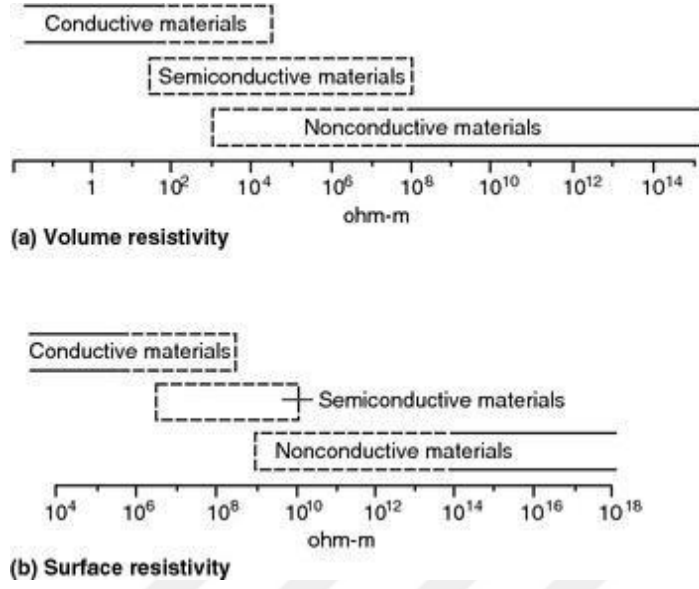
Statik elektrik yükünün birikme ve gevşeme hızının ölçülmesi değişen potansiyel farklarını ya da akımları ölçmeyi içerir.

Önceden tanımlanmış başlangıç gerilimi koşulları altındaki iletkenlerin ve yalıtkanların üzerindeki yük gevşemesini gözlemek için alan ölçerler ve özel yük bozunma monitörleri kullanılabilir.

Piyasada mevcut elektrometreler kullanılarak yalıtılmış iletkenlerden 10 - 13 ampere kadar kaçak akımlar ölçülebilir. Yalıtılmış iletken, bir hacimli katı veya sıvı içeren bir Faraday kafesi olabilir. (BS 5958, *Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity*, Part 1, General Considerations, British Standards Institution, London, 1991.)

3.1.7. Malzeme Direncinin Ölçülmesi

Malzemelerin elektrik direnci genelde hacim (kitle) ve yüzey bileşenlerinden oluşur. Elektrostatik süreçlerde, malzemeleri yalıtkan, yarı iletken (antistatik) veya iletken olarak tanımlayan yaklaşık direnç aralıkları Şekil 14' de özetlenmiştir.



Şekil 14 Hacimsel ve yüzeysel dirençlerin kademeleri
(Kaynak: H. L. Walmsley, "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," p. 138.)

Elektrik yükleri katı, sıvı veya tozdan, malzemenin ya yüzeyi boyunca ya da içerisinden iletilebilir.

Bir malzemenin hacimsel direnci bilinen kesitli bir numuneye bir potansiyel farkı uygulayıp kesitten geçen akım izlenerek belirlenebilir.

Soğurulan malzemelerin, özellikle de su buharının ve malzemelerin küçülmesinin malzemelerin direncini azalttığı bilinmektedir. Pek çok malzemenin direncinin de uygulanan potansiyel farkı ve test süresine göre değiştiği görülmüştür. Direnci ölçmekte kullanılan çeşitli pil türleri özel numune çeşitleri için geçerli standart test konfigürasyonlarına getirilmiştir.

Uygun test standartları aşağıda verilmiştir:

1. ASTM D 257, İletken Malzemelerin DC Direnci veya İletkenliği için Standart Test Yöntemleri
2. CENELEC EN 61241-2-2, Yanıcı Tozların Varlığında Kullanılacak Aletler Kısım 2: Test Yöntemleri; Bölüm 2: Katmanlı Tuzların Elektrik Direncini Belirleme Yöntemi
3. JIS B 9915, Toz Direnci Ölçüm Yöntemleri (Paralel Elektrotlar ile)

3.1.8. Bağlanma ve Topraklanmanın Değerlendirilmesi

Tanımlandığı üzere, *bağlanma* iki veya daha fazla iletken cismin bir iletken aracılığıyla aynı elektriksel potansiyelde olacakları şekilde bağlandıkları süreçtir; yani aralarındaki gerilim farkı sıfırdır. Cisimler, toprakla aynı potansiyelde olabilir veya olmayabilirler. Cisimler ile toprak arasında büyük bir gerilim farkı bulunabilir.

Topraklanma iki veya daha fazla iletken cismin aralarındaki gerilim farkı sıfır (0) olacak şekilde toprağa bağlanmaları sürecidir.

Hem bağlanma hem de topraklanma da, amaç bir statik elektrik kıvılcımının ortaya çıkmasını önlemektir.

Başarılı bir bağlanma ve topraklama için bir süreç içerisindeki iletken ekipman ve cisimlerin tanımlanması önemlidir. Bağlanma ve topraklama sistemlerinin düzenli denetlenmesi ve test edilmesi eş değerde önemlidir. Düzgün denetim ve test statik elektrik yükünün birikmesi olasılığının en aza indirgenmesini sağlar. Korozyona, harekete veya yalıtıcı yüzey kaplama eğiliminde olan bağlama veya topraklama tesisatlarında, topraklama direncini sürekli olarak test etmek ve kabul edilebilir seviyeleri doğrulamak için kendini test eden bağlama kelepçeleri ve sistemleri kullanılabilir.

Bağlanma veya topraklama yolunun direnci, sadece statik elektrik yükünün gevşemesini sağlamak için değil, aynı zamanda iş güvenliğini korumak ve yıldırımdan korunma ve elektrik sistemi şokundan korunma gibi başka amaçları karşılamak açısından da çok önemlidir. Topraklamaya uygun direnç oluşturan uygulamalar, uygulamadan uygulamaya farklılık gösterir.

Topraklama direnci bir ohmmetre veya bir megohmmetre ile ölçülür. Alanın sınıflandırmasına göre, ateşleme tehlikelerinden kaçınmak için uygun cihazları veya

prosedürleri kullanmak için her zaman özen gösterilmelidir. (API RP 2003, *Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents*, 6th edition, 1998.)

3.1.9. Kıvılcım Enerjilerinin Ölçülmesi

İletkenlerden kaynaklanan boşalım enerjisi, iletken üzerindeki gerilimden ve sığasından belirlenir.

Yükün bir iletken eleman üzerinde depolandığı durumlarda, elektrostatik yük depolama kapasitesini ölçmek için genelde bir sığa ölçer kullanılabilir. (API RP 2003, *Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents*, 6th edition, 1998.)

3.1.10. Ateşleme Enerjilerinin Ölçülmesi

Parçacıklı ve gaz halindeki malzemelerin MIE' lerini ölçmek için standartlaştırılmış test cihazları ve prosedürler geliştirilmiştir. Ekipmanlar son derece özeldir ve çalıştırılmaları için eğitilmiş teknisyenler gerektirir. Tipik olarak, ekipmanların çalıştırılması ve bakımları bu konuda akreditasyonu olan test şirketleri tarafından yapılmalıdır. (API RP 2003, *Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents*, 6th edition, 1998.)

3.2. Yanıcı ve Parlayıcı Sıvılar ile Buharlarının Statik Elektrik Tehlikeleri Yönünden Değerlendirilmesi

Bu bölümde, yanıcı ve tutuşucu sıvılar ile bunların buharları ve buğularının depolanması, elleçlenmesi ve kullanımı ile ilgili statik elektrik tehlikelerinin değerlendirilmesi ve kontrolü tartışılacaktır. Yanıcı ve tutuşucu gazlara odaklanıldığı halde, bu bölümün ilkeleri aynı zamanda depolanmalarının, kullanımlarının ve elleçlenmelerinin bir statik elektrik ateşleme tehlikesine neden olabileceği durumlarda tutuşucu olmayan sıvılar ile buharları (örneğin ıslak buhar) da incelenecektir. Sıvıların ve bunların buharları ile buğularının tutuşma özellikleri ve sıvılarda yük oluşumu ile dağılımı açıklanacaktır.

Özellikle önemli olan şu prosesler vurgulanacaktır:

1. Boru, hortum ve tüpler içinde akış
2. Depolama tankları
3. Tankerlerin yüklenmesi
4. Vakumlu kamyonlar
5. Demiryolu tanker vagonları
6. Denizyolu gemi ve mavnalı kargo tankları
7. Proses kapları
8. Ayarlama ve örnekleme
9. Tank temizleme
10. Portatif tanklar ve konteynerler
11. Vakum temizliği

3.2.1. Sıvıların, Buharların ve Buğularının Patlama Karakteristikleri

Statik elektrik ateşleme tehlikesini düzgün değerlendirebilmek için sıvıların aşağıdaki patlama karakteristiklerinin anlaşılması gerekir:

1. Parlama noktası
2. Yanma limiti ve buhar basıncı
3. Ateşlenme enerjisi
4. Oksitleyici derişimi

3.2.1.1. Parlama Noktası

Parlama noktası, bir sıvının yüzeyi yakınında havayla ateşlenebilir bir karışım oluşturmaya yetecek miktarda buhar çıkarttığı minimum sıcaklıktır. Parlama noktası çeşitli testler ve aygıtlar kullanılarak belirlenir ve bunların seçimi bazen sıvının fiziksel karakteristiklerine bağlıdır.

Eğer bir sıvının parlama noktası tipik ortam sıcaklığında veya altındaysa, ateşlenebilir bir buhar oluşturması olasıdır. Parlama noktası ne kadar düşük olursa, buhar basıncı da o kadar yüksek olur ve bir buharın ateşleyebilecek şekilde hazır bulunması da o kadar fazla olasıdır. Parlama noktası test yöntemlerinin değişebilirliğinden dolayı,

belirli bir sıvı için yayınlanan parlama noktası sadece o sıvı için ateşlemenin olası olduğu en düşük sıcaklığa bir yaklaşıklıkta bulunur. Bu yüzden, bir ateşlenme tehlikesinin değerlendirilmesinden yayınlanan parlama noktasının civarında 4-9°C'lik bir tolerans bırakılmalıdır. (Institute of Makers of Explosives, 1120 Nineteenth Street, NW, Suite 310, Washington, DC 20036-3605.)

Koşullara ek olarak, aşağıdaki etkiler de ateşlenebilir bir buhar oluşturabilir:

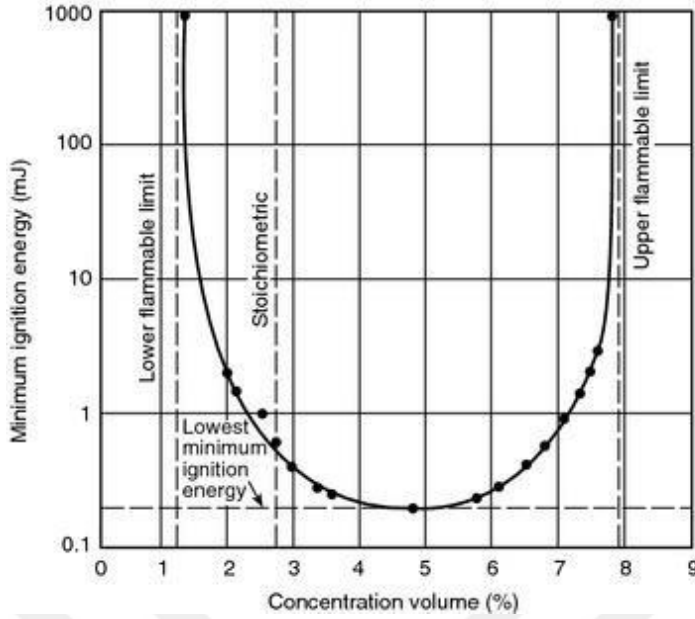
1. Katılardan veya düşük uçuculuktaki sıvılardan yanıcı buharların çıkması
2. Atmosfer basıncının altında basınçlarda işlem yapma
3. Sıvının üzerindeki buharların tekdüzen olmaması
4. Bir sıvının yüzeyindeki buğu, damlacıklar veya köpük

3.2.1.2. Yanma Limitleri Ve Buhar Basıncı

Havadaki buharlar veya gazlar sadece belirli derişimler arasında yanıcıdır alt yanma limiti (LFL) ve üst yanma limiti (UFL). Bu limitler arasındaki derişimler yanıcı aralığı oluştururlar. LFL' nin altında, buharlar yanamayacak kadar yavandırlar; UFL' nin üstünde, yanamayacak kadar zengindirler. Hem basınç artması (atmosfer basıncının üstünde) hem de sıcaklık artması tipik hidrokarbonların yanıcılık aralığını genişletirler.

3.2.1.3. Ateşlenme Enerjisi

Bir buhar-hava karışımını ateşlemek için gereken enerji derişim ile değişir. Çoğu malzeme için, en düşük ateşleme enerjisi değeri LFL ile UFL derişimlerinin arasındaki orta noktanın yakınındaki bir derişimde ortaya çıkar. En düşük değere, minimum ateşleme enerjisi (MIE) denir. (Institute of Makers of Explosives, 1120 Nineteenth Street, NW, Suite 310, Washington, DC 20036-3605.)



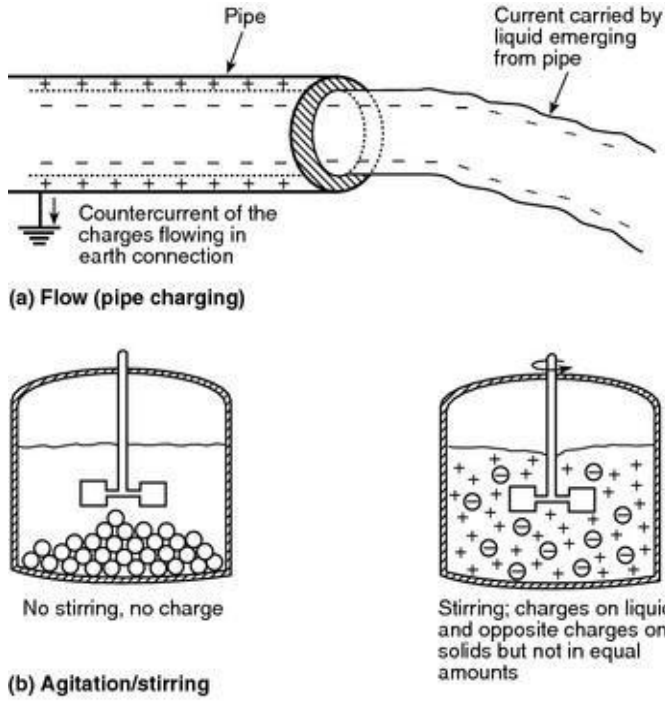
Şekil 15 Konsantrasyonun fonksiyonu olarak benzinin minimum ateşleme enerjisi (Kaynak: L. G. Britton, “Using Material Data in Static Hazard Assessment.”)

3.2.1.4. Oksitleyici Derişimi

Tutuşuculuk normalde yüzde 21 oksijen içeren atmosfer havası için belirlenir. Oksijen açısından zenginleştirilmiş bir atmosferde, yanıcılık aralığı genişler; yani, LFL azalır ve UFL artar. Ancak eğer oksijen derişimi eylemsizleştirme ile yeterince azaltılırsa, bu değerin altında ateşlemenin mümkün olmadığı bir oksijen derişimine ulaşılır. Bu derişime *sınırlayıcı oksijen derişimi* (LOC) denir. Diğer oksitleyicilere de, eğer karşında mevcutsalar, benzer şekilde yaklaşılabilir. Tehlikeyi değerlendirmek için laboratuvar testi gerekebilir. (Institute of Makers of Explosives, 1120 Nineteenth Street, NW, Suite 310, Washington, DC 20036-3605.)

3.2.2. Sıvılarda Statik Elektrik Birikmesi ve Dağılması

Sıvıların boruların, hortumların ve filtrelerin içinden aktığı yerlerde, aktarma işlemleri sırasında sıçrama olan durumlarda veya sıvıların karıştırıldığı ya da çalkalandığı durumlarda, yük ayrışması oluşur. Sıvı ile yüzeyler arasındaki ara yüzey alanı ne kadar büyükse ve akış hızı ne kadar yüksekse, yüklenme oranı o kadar büyük olur. Yükler sıvı ile karışır ve birikim yapabilecekleri alıcı kaplara taşınırlar. Yük genellikle hacim yük yoğunluğu ve kaba akan akım olarak akışı ile karakterize edilir. (*International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, 4th Edition, Witherby and Co., Ltd., London, 1996.)



Şekil 16 Sıvılarda elektriklenme örnekleri

(Kaynak: H. L. Walmsley, "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," p. 33.)

Topraklı bir iletken konteynerdeki bir sıvıdaki statik elektrik yükü sıvının iletkenliğine bağlı olan bir hızda dağılır.

3.2.2.1. Sıvı Elektriklenmesini Etkileyen Faktörler

Topraklanmış sistemlerde, sıvıdaki veya içine batırılmış malzemelerdeki yük birikimi üzerinde en fazla etkiye sıvı halin iletkenliği sahiptir. İletkenliği 50 pS/m' nin altındaysa, bir sıvı yalıtkan (yük biriktiren) kabul edilir. Daha da önemlisi, yükün sıvıda ateşleme tehlikelerinden kaçınacak kadar hızlı bozunmasıdır. Belirli bir uygulamadaki kabul edilir iletkenlik, akış hızına ve işlem koşullarına bağlı olarak, daha büyük veya küçük olabilir.

Pek çok endüstriyel sıvının, özellikle de kutuplu olmayan hidrokarbonların yüklenme karakteristikleri sıvıdaki derişimleri bazen 1 ppm' den az olan iz kirleticilerin sonucudur. Bu yüzden, endüstriyel sıvılar işleme, depolama ve elleçleme uygulamalarından kaynaklanan kirletici derişime bağlı olarak, büyüklük sırasına göre az ya da çok iletken olabilirler.

Eğer bir yalıtıcı konteyner ile topraktan yalıtılırlar veya havada asılı bırakılırlarsa, ilk başta güvenli görünen iletken sıvılar önemli bir tehlike oluşturabilirler. Yalıtıldıkları duruma, esas olarak iletken üzerindeki bütün yük bir yanmaya sebep olabilecek bir kırılcım olarak salınabilir. Bir buğu olarak asılı kaldığında, önemli statik elektrik alanları yanmaya sebep olacak saçaklı boşalığa yol açabilirler.

Petrol endüstrisinde, petrol ara destilatlarını içeren tank yükleme ve dağıtma işlemleri için, yarı iletken kategorisindeki sıvılar iletken sıvılar olarak kabul edilir.

Genel kimyasal operasyonlarda, yarı iletken sıvılar yük biriktirme eğiliminin büyük ölçüde operasyona ve sıvı iletkenliğine bağlı olduğu ayrı bir kategoriyi temsil ederler. Bu operasyonlar arasında hepsi de ekipmanda yük birikimine katkıda bulunan çok halli karışımlar, yalıtkan tank astarları ve mikro filtreler bulunabilir. (*International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, 4th Edition, Witherby and Co., Ltd., London, 1996.)

3.2.3. Boru, Hortum ve Tüpler İçinde Akış Sırasında Statik Elektriklenme

3.2.3.1. Metal boru sistemleri

Sürekli tamamen metal boru sistemlerinin bütün parçaları 10 ohm u aşmayan bir toprak direncine sahip olmalıdırlar. Fark edilir derecede yüksek bir direnç kötü elektrik temasına işaret edebilir, ancak bu tüm sisteme bağlıdır. Flanşlı kaplinler için, ne flanş yüzlerindeki boya ne de somunlar ve civatalarda kullanılan ince lastik kaplamalar, uygun tork uygulandıktan sonra normalde kaplin üzerinde bağlanmayı önlemezler. Flanşlarda genellikle ara kablolar ve yıldız pullara gerek yoktur. Hatta yıldız pullar düzgün sıkıştırmayı etkileyebilirler. Toprak yolunun elektriksel sürekliliği kurulundan sonra ve bunun ardından periyodik olarak doğrulanmalıdır.

Esnek, döner veya kayar mafsalların çevresinden bağlanma tellerine gerek olabilir. Testler ve deneyimler bu mafsallardaki direncin normalde 10 ohm un altında olduğunu göstermiştir ve bu da statik yüklerin birikimini engellemeye yetecek kadar düşüktür. Ancak, üreticinin spesifikasyonları kontrol edilmeli veya mafsallar muayene edilmelidir, çünkü bazıları yalıtıcı yüzeyler ile imal edilirler. Boyalırsa, yalıtkan conta kullanan oynak flanşlar (bindirmeli mafsallar) topraklama yolunda süreklilik kaybına

sebebe olabilirler. Bu süreklilik kaybı esnek, grafit dolgulu, spiral sarımlı bir conta gibi iletken bir conta kullanılarak veya eklem boyunca bir ara tel yerleştirilerek düzeltilebilir.

Bağlanma ve topraklama borunun yalıtılmış olması gereken kısımlarını etkilememelidir. Örneğin, ayrı bir toprak yolu sağlayan kaçak akımdan veya katot sal koruma sistemlerinden kaynaklanan arklardan kaçınmak için yalıtıcı flanşlar kurulmuş olabilir. (American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.)

3.2.3.2. Yalıtkan borular ve astarlı borular

Yalıtkan yüzeyler bir boru içinden akış sırasında yük üretimi ve yük dağılımı hızlarını etkilerler. Yük üretimi iletken ve yalıtkan borularda benzerdir, ancak yük kaybı hızı yalıtkan borularda fark edilir derecede yavaştır. Yüklü, yalıtkan sıvılar için, boru duvarının sağladığı yalıtım yalıtıcı astar veya borunun dış yüzeyinde zıt kutupsallıklı bir yük birikimine sebep olabilir. Yük birikimi zaman içinde ya astarda ya da yalıtkan boru durumunda tüm duvar kalınlığından elektriksel arızalara ve küçük deliklere yol açabilir. (American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.)

3.2.3.3. Esnek hortumlar ve tüpler

Esnek hortumlar ve esnek tüpler metal, astarlı metal, yalıtkan plastik, takviyeli kauçuk ve plastik ve kompozit katlı türlerde mevcuttur.

Süreç koşullarından dolayı yalıtkan hortum veya tüp kullanılması gerektiği durumlarda, statik elektrik yükü oluşumu tehlikesi iyice araştırılmalıdır.

En azından, bütün iletken kaplinler (örneğin uç fittingleri) ve bileşen bağlı ve topraklı olmalıdırlar.

Eğer hortumlar yalıtkan sıvı hizmetinde filtrelerin hemen önünde kullanılıyorsa, metal veya başka bir iletken malzemeden yapılmış olmalıdırlar. Hortumda yük birikmesini ve ince delik hasarını önlemek için yarı iletken astarlar gerekli olabilir.

İletken hortum elektriksel açıdan sürekli olmalıdır ve süreklilik periyodik olarak kontrol edilmelidir. (American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.)

3.2.3.4. Dolum boruları

Dolum boruları iletken olmalı ve dolum sistemine bağlanmalıdır.

Dolum pompaları kabın dibine kadar uzanmalıdır ve akışı yatay olarak doldurulan kabın dibinin yakınlıklarına çevirecek şekilde ya 45 derecelik bir kesme uç ya da bir T dirseği ile donatılabilirler.

Tasarım dolumun ilk aşamasında yukarı sıçramayı önlemelidir. Daldırma borusu sıvı ile en azından iki boru çapı kadar kaplanana kadar giriş hızını 1 m/s'den az tutmak için “yavaş başlatma” gerekli olabilir. (American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.)

3.2.4. Süzme Esnasında Kullanılan Malzemelerden Oluşabilecek Yüklenmeler

3.2.4.1. Mikro filtreler

Mikro filtrelerin tipik gözenek boyutları 150 µm'den azdır. Bu filtreler büyük temas yüzeylerinden dolayı yalıtkan sıvılarda büyük akış akımları üretirler. İletken sıvılar tipik olarak yüklerini sıvının gövdesi içerisinden toprağa dağıtırlar.

Bahsedilen yüklerin alıcı kaba girmelerini önlemek için, filtre yükün boru akışında olması gereken değere düşeceği kadar yükseğe yerleştirilmelidir. Genel endüstri uygulaması, özellikle sıvının iletkenliği bilinmiyorsa, boruda veya iletken hortumda mikro filtrenin altında 30 saniyelik bir kalış süresi sağlamaktır. (NFPA 30, *Flammable and Combustible Liquids Code*, 2003 edition.)

3.2.4.2. Süzgeçler

150 µm'den ince gözlü süzgeçlere mikro filtre muamelesi yapılmalıdır. 150 µm'den kalın gözlü süzgeçler de biriken moloz ile kirlenirse büyük statik elektrik yükü oluşturabilirler. Eğer moloz birikmesinin beklenebileceği hizmetlerde bu tür kalın süzgeçler kullanılırsa, bu süzgeçlere de mikro filtre muamelesi yapılmalıdır. (NFPA 30, *Flammable and Combustible Liquids Code*, 2003 edition.)

3.2.4.3. Cila filtreleri

Bazen bir besleme hattının ucuna molozu kaldırmak için bir cila filtresi yerleştirilir. Bu filtre, bir hortumun ucuna yerleştirilmiş ve doğrudan tanktaki buhara maruz kalan bir torba olabilir. Yanıcı sıvı hizmetlerinde kullanılan filtreler topraklanmış meral mahfazalar içine yerleştirilmelidir. (NFPA 30, *Flammable and Combustible Liquids Code*, 2003 edition.)

3.2.4.4. Asılı malzemeler

Karışabilir ve marjinal olarak çözünür sıvılar ile yavaş çözünen katılar damlacık veya bir emülsiyon olarak dağılabilirler. Örneğin yağ içinde su gibi, yalıtkan bir sıvının dağılmış bir hal içerdiği durumda, sürekli hal yük gevşeme davranışını belirler. Bu tür süspansiyonlar için yük üretimi tipik olarak tek hal için olandan daha büyüktür. (*International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, 4th Edition, Witherby and Co., Ltd., London, 1996.)

3.2.4.5. Çeşitli hat kısıtlamaları

Delikli plakalar, valfler, dirsekler ve T dirsekler gibi boru sistemi bileşenleri türbülansı artırır ve yük üretimi hızını artırabilir. Özel olarak bir plastik bileşen ile kısa bir temas büyük bir yük üretimine sebep olabilir. Su gibi asılı malzemelerin de bu etkiyi arttırdıkları bulunmuştur. (*International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, 4th Edition, Witherby and Co., Ltd., London, 1996.)

3.2.5. İletken Sabit Çatılı Depolama Tankları

Bir tanktaki sıvı birikimi sıvı yüzeyi ile tank kabuğu, çatı destekleri veya tank aksesuarları arasında statik elektrik boşalmasına yol açabilir. Yük üretim hızı sıvı içerisindeki türbülans ve su damlacıkları, demir pulları ve tortu gibi parçacıklı maddelerin çökmesinden etkilenebilir.

3.2.5.1. İletken sabit çatılı depolama tanklarında alınması gerekli önlemler

Eğer tanktaki buhar alanının ateşlenebilir bir karışım içermesi olasıysa (örneğin yüksek buhar basınçlı sıvılarla kirlenmiş ara buhar basınçlı ürünlerin veya düşük buhar basınçlı ürünlerin depolandığı durumlarda) veya değiştirmeli yükleme yapılan durumlarda, aşağıda koruyucu tedbirler alınmalıdır:

1. Sıçratmalı doldurma ve yukarı püskürtmeden kaçınılmalıdır.
2. Dolum borusu tankın dibinin yakınında, tank dibinde minimum su ve tortu çalkalanması ile boşalmalıdır.
3. Eğer mümkünse, çalkalanma ve türbülansı azaltmak için tank dolumunun ilk safhasında giriş akış hızı sınırlanmalıdır ve aşağıdakiler de uygulanabilir:
 - a. Dolum borusu, hangisi daha azsa, iki boru çapı veya 0,6 m batana kadar, gelen sıvının akış hızı 1 m/s'den büyük olmamalıdır.
 - b. Çok düşük bir hız eklenmiş havanın borunun alt kısımlarında çökmesine sebep olacağı için, suyun ya da hız artırıldığında ürünün yüklenme eğilimini büyük ölçüde arttırabilecek diğer kirleticilerin daha sonra yeniden girmesini önlemek amacıyla, giriş akış hızı 1 m/s'ye olabildiğince yakın tutulmalıdır.
4. Aşağıdaki durum 50 m³'den büyük, ya yalıtkan ya da iletkenlikleri bilinmeyen sıvılar içeren tanklar için geçerlidir:
 - a. Dolum borusu battıktan sonra giriş akış hızı 7 m/s'ye çıkartılabilir.
 - b. Çalışma deneyimlerinin petrol endüstrisinde olduğu gibi bu uygulamanın kabul edilir olduğunu gösterdiği durumlarda, giriş akışı 7 m/s'nin üstüne çıkartılabilir, ancak hiçbir zaman 10 m/s'den büyük bir hıza gelmemelidir.
5. Eğer, giren su damlacıkları gibi, sıvı yalıtkan ve dağınık bir faz içeriyorsa, tüm dolum işlemi sırasında giriş akış hızı 1 m/s ile kısıtlanmalıdır.
6. Sıvının akış yönünün tersindeki mikro filtre elekleri ve tank arasında akması için 30 saniyelik bir minimum kalış süresi sağlanmalıdır.

7. Tanklarda gevşek ölçüm şamandıraları ve numune tenekeleri gibi topraklanmamış iletken cisimler olup olmadığı denetlenmelidir, çünkü bu sıvı yüzeyinde yüzen bu tür cisimler kıvılcım başlatabilir.
8. Eğer sıvı Sınıf I bir sıvı ise veya patlama noktasında veya bunun altında elleçleniyorsa hatlara hava üflenmemelidir, çünkü böyle bir sıvı içerisinden tanka büyük miktarlarda hava veya başka bir gaz verilmesi yük üretilmesi, sıvının buğulanması ve ateşlenebilir bir atmosfer oluşmasından dolayı bir tehlike yaratabilir.

3.2.5.2. İletken sabit çatılı depolama tanklarında topraklama

Yalıtkan sıvılar için olan depolama tankları topraklanmalıdır. Toprak seviyesinde seviyeli temelleri olan depolama tankları, temel türüne (örneğin beton, kum veya asfalt) bakılmaksızın kendiliğinden topraklı kabul edilirler.

Temelleri ya da destekleri yükseltilmiş tanklar için, toprak direnci 106 ohm kadar yüksek olabilir ve yine de statik elektrik yüklerinin dağılması açısından yeterince topraklanmış kabul edilebilirler, ama direnç doğrulanmalıdır. Topraklama çubukları ve benzer topraklama sistemlerinin eklenmesi sıvıdaki statik elektrik yükleri ile ilgili tehlikeleri azaltmaz. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.5.3. Kıvılcım oluşturucular

Bir tank ölçüm çubuğu, yüksek seviyeli sensör veya aşağı doğru bir tankın buhar alanının içine uzanan başka bir iletken cihaz, cihaz ile yükselen sıvı arasında statik elektrik boşalımı için bir yer oluşturabilir; dolayısıyla, bu cihazlar aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır:

1. Bir kıvılcım boşluğunu ortadan kaldırmak için iletken bir kablo veya çubuk ile sıkıca ve doğrudan aşağı doğru tankın dibine bağlanmalı veya tanka bağlı bir ölçüm kuyusu içine kurulmalıdır.
2. Bağlama sisteminin ayrılmadığını görmek için periyodik olarak denetlenmelidir.

Eğer bu tank fikstürleri yalıtkanse, kıvılcımlanma olasılığı yoktur ve özel tedbirler gerekmez. Tankın yan duvarına monte edilmiş ve tankın içine kısa bir mesafe ile

uzanan cihazlar (örneğin, seviye şalterleri veya sıcaklık problemleri) bir statik elektrik boşalımı tehlikesi oluşturmayabilirler. Bu durumlar tek tek ele değerlendirilmelidir. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.5.4. Tank mikserleri

Tank içinde hızlı karıştırma veya yüksek hızlı çalkalamalı karıştırma su ile molozu hareketlendirerek yüzeyde statik elektrik yüklerine sebep olabilecek bir sıçramaya sebep olabilir. Eğer yüzeyde ateşlenebilir bir karışım mevcutsa, ateşlenme mümkündür. Yüzeye sıçrama en aza indirgenmelidir. Ateşleme tehlikesini ortadan kaldırmak için gaz örtme veya eylemsizleştirme kullanılabilir. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.5.5. Gaz çalkanması

Hava, buhar veya diğer gazlar çalkalama için kullanılmamalıdır, çünkü sıvılarda, buğularda veya köpüklerde yüksek yük seviyeleri üretebilirler. Ek olarak, hava çalkaması tankın buhar alanında ateşlenebilir bir atmosfer yaratabilir. Eğer gaz çalkalanmasından kaçınılmıyorsa, karıştırmadan önce buhar alanı artırılmalı ve süreç statik elektrik yükünün dağıldığından daha hızlı birikmemesini sağlayacak şekilde yavaşça başlatılmalıdır.

Bir başlangıç eylemsizleştirmesini seyreltecek hava ile çalkalanmayı önlemek için özel önlemler alınması gerektiğinde dikkat edilmelidir. Benzer şekilde, bir asal gazla çalkalanma zamanı içinde bir eylemsiz buhar alanı içerisinde sonuçlanabilse de, çalkalanma işleminden kaynaklanan elektrostatik yüklenme tank buhar alanının eylemsizleştirilmesinden önce bir kıvılcım ve ateşlenme ile sonuçlanabilir. Herhangi bir ölçüm veya örnekleme faaliyetinden önce bir bekleme süresine uyulmalıdır.

3.2.6. İletken Yüzer Çatılı Depolama Tankları

Yüzer çatının tank kabuğa bağlanmış olması kaydıyla, yüzer çatılı depolama tankları kendiliklerinden güvenlidirler. Bağlanma tipik olarak yüzer çatı veya kapak ile tank duvarı arasındaki şöntlerle sağlanır. Şöntler yıldırımın korunma amaçlı kurulurlar,

ama üretilebilecek statik elektrik yüklerine karşı da koruma sağlarlar. Eğer yüzer çatı destekler üzerine oturtulursa, sıvı yüzeyinde yük birikimi oluşabilir ve sabit çatılı bir tank için verilen önlemlere uyulmalıdır. Eğer bir dâhili yüzer çatılı tank yeterince havalandırılmazsa, yüzer çatı ile sabit çatı arasında uçucu buhar birikebilir.

3.2.7. Kaplanmış Ve Astarlanmış Tanklar

Yalıtkan kaplamalı veya astarlı metal tanklara, aşağıdaki kriterlerden birisinin geçerli olması kaydıyla, iletken tanklar olarak bakılabilir:

1. Yalıtkan kaplama veya astar, korozyon önleme amaçlı fiberglas takviyeli astarlar gibi, 1010 ohm-m' ye eşit veya daha düşük bir hacim direncine sahip olmalı ve 2 mm'den kalın olmamalıdır.
2. Yalıtkan astar, polietilen veya kauçuk astarlar gibi, 1010 ohm-m' den büyük bir hacim direncine sahip olmalı, ancak kopma potansiyeli 4 kV' dan az olmalıdır.

Koşullara uymayan yalıtkan kaplamalı veya astarlı metal tanklar, yalıtkan kabul edilmelidir. Kaplama veya astar kalınlığı ya da direncine bakılmaksızın, tank dolum sistemine bağlanmalıdır. Kaplama veya astara statik elektrik yüklerinin akışına karşı bir engel olarak bakılmaz. Direnci sıvınınikiyle aynı mertebededir veya kaplamada ufak çıplak alanlar bulunabilir.

Boruların, kapların veya ekipmanların içindeki ince bir kat boya, ince bir plastik astar veya bir metal oksit katmanı bir statik elektrik tehlikesi oluşturmaz.

3.2.8. Yalıtkan Malzemelerden inşa edilmiş tanklar

Özel durumlar dışında, Sınıf I, Sınıf II ve Sınıf III sıvıların depolanması için yalıtkan malzemelerde inşa edilmiş tanklara izin verilmez.

3.2.9. Tankerlerde Statik Elektriklenme

Tankerler için tavsiye edilen yükleme tedbirleri, elleçlenen sıvının karakteristiklerine ve yükleme tesisinin tasarımına bağlı olarak değişir. Tanker bölmesinde yanıcı bir sıvının bulunduğu durumlarda kullanılması gereken tavsiye edilen tedbirlerin bir özeti Tablo 2' de verilmiştir. Bu önlemler iletken (metal) bölmeli tankerler için amaçlanmıştır. (American Petroleum Institute,2006)

Tablo 2 Tanklarda yükleme için alınan önlemler özeti

Recommended Loading Precaution ^a	Nonconductive	
	Low Vapor Pressure	Inter
Bonding and Grounding. Tank trucks should be bonded to the fill system, and all bonding and grounding should be in place prior to starting operations. Ground indicators, often interlocked with the filling system, frequently are used to ensure bonding is in place. Bonding components, such as clips, and the fill system continuity should be periodically examined and verified. For top loading, the fill pipe should form a continuous conductive path and should be in contact with the bottom of the tank.		Yes ^e
Initial Loading. Top-loading fill pipes and bottom-loading systems should be equipped with spray deflectors, and splash filling should be avoided. A slow start (i.e., velocity less than 1 m/sec) should be employed until the inlet into the compartment is covered by a depth equal to two fill-pipe diameters to prevent spraying and to minimize surface turbulence.		Yes
Maximum Loading Rate. The maximum loading rate should be limited so the velocity in the fill pipe or load connection does not exceed 7 m/sec or $(0.5/d)$ m/sec (where d = inlet inside diameter in meters), whichever is less. ^f Transition from slow start to normal pumping rate can be achieved automatically using a special loading regulator tip (which shifts the rate when submerged to a safe depth). Excessive flow rates should be avoided, either procedurally or by system design, which is the preferred method.		Yes ^e
Charge Relaxation. A residence time of at least 30 sec should be provided between any microfilter or strainer and the tank truck inlet. ^g A waiting period of at least 1 minute should be allowed before the loaded tank compartment is gauged or sampled through the dome or hatch. [However, sampling and gauging via a sample well (gauge well) can be done at any time.]		Yes ^e

Tablo 3 Tanklarda yükleme için alınan önlemler özeti (devamı)

Spark Promoters. A tank gauging rod, high-level sensor, or other conductive device that projects downward into the vapor space of a tank can provide a location for static discharge between the device and the rising liquid and should be avoided. These devices should be bonded securely and directly downward to the bottom of the tank by a conductive cable or rod (to eliminate a spark gap) or should be installed in a gauging well that is bonded to the bottom. ^h Periodic inspection should be conducted to ensure that the bonding system does not become detached and that there are no ungrounded components or foreign objects.	Yes
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

^aLoading precautions vary with the product being handled. In loading operations where a large variety of products are handled and procedures, such as at self-service loading racks, a single standard procedure that includes all the precautions should be followed

^bIf high vapor pressure products are handled at low temperatures (near or slightly below their flash points), all the recommended loading precautions should be followed.

^c Where additives are used to increase conductivity, caution should be exercised. (See 8.6.5.)

^d Semiconductive liquids can accumulate charge where charging rates are extremely high or where they are effectively isolated from ground. They might need to be handled as nonconductive liquids. (See 8.3.3.6.)

^e Recommended loading precautions need not be applied if only low vapor pressure combustible liquids at ambient temperature is no possibility of static loading or cross contamination of products. All loading precautions should be followed where low vapor pressure products are handled at temperatures near (within 4°C to 9°C) or above their flash points.

^f Where the product being handled is a nonconductive, single-component liquid (such as toluene or heptane), the maximum fill rate should be (0.38/

^g Very low conductivity and high-viscosity products can require additional residence time of up to 100 sec. (See 8.4.5.1.2.)

^h If these devices are nonconductive, the potential for sparking does not exist, and no specific measures need be taken. Devices that are mounted to the sidewall of the tank (e.g., level switches and temperature probes), that project a short distance into the tank, and that have no downward projection might not pose an electrostatic hazard. These situations should be evaluated on an individual basis.

3.2.9.1. Üstten doldurma

Tavsiyelere uygun olarak tasarlanmış bir dolun borusu kullanılarak sıçramalı dolundan kaçınılmalıdır. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.9.2 Alttan doldurma

Alttan doldurma girişi, yukarı püskürtme ve buğu oluşumunu önlemek için bir saptırıcı veya yönlendirici ile birlikte tasarlanmalıdır. Gelen sıvıyı yukarıdan ziyade bölme duvarlarına doğru yan olarak yönlendirmek için bir kapak veya T dirseği kullanılması bu amacı yerine getirir. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.9.3. Değişimli yükleme

Daha önceden düşük parlama noktalı bir sıvı içeren bir tanka yüksek parlama noktalı ve düşük iletkenlikli bir sıvı yüklenmesine *değişimli yükleme* denir. Bu uygulama, tank dolarken artık yanıcı buharın ateşlenmesi ile sonuçlanabilir. Akış hızları Tablo 2' de bulunmaktadır. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.9.4. Karayolu nakliyesi

Bölmeli olmaları veya bölme duvarı içermeleri kaydıyla, tankerler normalde nakliye sırasında bir statik elektrik tehlikesi oluşturmazlar. Bölmeler veya bölme duvarları tankerdeki sıvının belirgin yük üretimine sebep olabilecek olan çalkalanmasını en aza indirirler. Buhar alanında ateşlenebilir bir karışım oluşturabilecek sıvılar için tek hacimli (bölme duvarsız) tankerler kullanılmamalıdır. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.9.5. Antistatik katkı maddeleri

İletkenlik arttırıcı bir madde (antistatik katkı maddesi) eklenerek sıvının iletkenliğinin arttırılmasıyla yük birikimi azaltılabilir.

Antistatik katkı maddeleri normalde milyonda bir parça derişimlerinde eklenir ve üretici talimatlarına uygun olarak kullanılmalıdır.

Antistatik katkı maddelerinin statik elektrik yükü birikimini minimize etmenin birincil yolu olarak kullanıldığı durumlarda, operatör sistemdeki kritik noktalarda katkı maddesi derişimini doğrulamalıdır. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.10. Vakumlu Kamyonlarda Statik Elektrik Kontrolü

Statik elektrik kontrolü için, hortumlar iletken veya yarı iletken olmalıdır.

Tavsiyeye bir alternatif olarak, bütün iletken bileşenler bağlanmalı ve kamyon topraklanmalıdır.

Hiçbir şekilde plastik daldırma boruları veya plastik ara toplama tavaları veya tamburları kullanılmamalıdır. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.11. Demiryolu Tank Vagonlarında Statik Elektrik Kontrolü

Genelde, demiryolu tank vagonları için tedbirler, tankerler için belirtilenlere benzerdir. En büyük istisna tipik demiryolu tank vagonlarının (örneğin, 87 m³'ten büyük) karayolu tankerlerinininkine (örneğin yaklaşık 50 m³) kıyasla çok daha büyük olmasıdır. Daha büyük hacim daha büyük maksimum dolum hızlarının kullanılmasına olanak tanır.

Pek çok tank vagonu, vagonun kendisi ile bujiler (tekerlek takımları) arasında yalıtkan yataklarla ve yalıtkan aşınma yastıkları ile donatılmıştır. Sonuç olarak, rayların toprağa direnci tank vagonu gövdesinde statik elektrik yükü birikmesini önleyecek kadar düşük olmayabilir. Dolayısıyla, yük birikimine karşı korunma için tank vagonu gövdesinin dolum sistemi borularına bağlanması gereklidir. Kaçak akım olasılığından dolayı, yükleme hatları raylara bağlanmalıdır. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.12. Proses Kaplarında Statik Elektriklenme

3.2.12.1. Statik elektrik birikim yolları

Proses kaplarında statik elektrik birikimi, depolama tankları için tarif edilenler ile aynı yöntemlerle oluşur.

İletken ve yalıtkan bir sıvının karıştırılacağı durumlarda, karışımın iletkenliğinin karıştırma işlemi sırasında olabildiğince yüksek olması için mümkünse kaba önce iletken sıvı eklenmelidir. Sıvının yüzeyini geçmeyen yüzey altı jetleri kullanılarak sıçramayı ve yüzey bozulmasını en aza indirgeyecek şekilde tasarlanmalıdır. (American Institute of Chemical Engineers, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5901.)

3.2.12.2. Tanklara aktarma prosedürleri

İki veya daha fazla iletken olmayan sıvının bir karıştırma tankına konulacağı durumlarda, daha hafif, daha yüksek yüklü bir bileşenden oluşan bir yüzey katmanından kaçınmak için önce daha az yoğun olan sıvı yüklenmelidir.

Sıçramalı dolaşım normalde ancak kap eylemsizleştirilmişse veya buharla zenginleştirilmişse yapılmalıdır. (NFPA 1124, *Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles*, 2006 edition.)

3.2.12.3. alkanma

alkalayıcılar sıçramanın en aza indirgenmesi için çalıştırılmadan önce yeterli sıvı derinliği ile kaplanmalı veya yeterli derinlik sağlanıncaya kadar düşük sūratte çalıştırılmalıdır. Tehlike yūk birikiminden tartışılan tedbirler kullanılarak kaınılamadığı durumlarda, kap eylemsizleştirilebilir.

3.2.13. Yalıtkan Astarlı Kaplar

Statik elektrik yūkūnūn birikmesi emaye veya cam astarlı reaktōrler gibi ekipmanlarda iđne deliđi hasarlarına yol açabilir. Statik elektrik yūkleri genellikle sıvı ıslatılmıř duvardan bořalırken sıvı ara yūzeyinde oluřtuđu için, bir buhar ateřlenme tehlikesi de bulunabilir. İletken kaplar ve aksesuarlar bađlanmalı ve topraklanmalıdır.

3.2.14. Katı Eklenmesi

Proses kaplarında statik elektrik ateřlenmelerinin en sık sebebi kaplardaki yanıcı sıvılara katı madde eklenmesidir. Kabın eylemsizleřtirilmiř olduđu durumlarda bile, būyūk miktarda katı eklenmesi kaba hava girmesine neden olurken yanıcı buharı kaptan dıřarı atar. Būyūk hacimde katıların aniden eklenmesi gezen bir yūklū toz yıđınından statik bořlamaya ile sonuçlanır.

Katıların kapaktan elle eklenmesi sadece 25 kg'lık partiler halinde yapılmalıdır.

25 kg'dan būyūk parti eklemeleri ōrneđin esnek ara dōkme konteynerlerden dōner vafli bir ara huni ya da benzer bir dūzenleme aracılıđıyla yapılmalıdır. Huni, karıřtırma kabına hava giriřini azaltacak řekilde, çalıřma alanına buhar giriřinden kap havası gūvenli bir yere tahliye edilebilir olarak tasarlanmalıdır. Yalıtkan plastik torbalardan katı eklenmesi, katılar tutuřucu olmasa bile (ōrneđin silika) tehlike olabilir.

Torbalar kağıttan, kağıt katmanlarından ve plastik filmin her iki taraftan kağıttla kaplanmış olduğu plastikten ya da antistatik plastikten yapılmış olmalıdır. Topraklama klipsleri kullanışsız olabileceğinden, bu torbalar topraklı iletken bir kapla temas ya da topraklı bir operatōr ile cilt teması yoluyla etkili bir şekilde topraklanabilir.

Fiber variller ve paketlerde paketten çıkıp bir plastik torba gibi davranabilecek gevşek plastik astar bulunmamalıdır.

Metal çanlar topraklanmalıdır. Yanıcı sıvılar içeren kapların açıklıklarının etrafındaki personel topraklanmalıdır ve temizliğe özel özen gösterilmelidir, çünkü yalıtkan kalıntıların (örneğin reçine) zeminde örneğin topraklama klipsleri üzerinde birikmesi elektriksel sürekliliği bozabilir. (Britton, L. G., "Using Material Data in Static Hazard Assessment," *Plant/Operations Progress*, April 1992, pp. 56–70.)

3.2.15. Katıların Karıştırılması

Katılar yalıtkan sıvılarda çözündürüldüğünde veya bunların içine dağıtıldıklarında, yük üretimi hızı yüklenen katıya, parçacık büyüklüğüne ve çalkalanma hızına bağlı olarak büyük olabilir. Yükün dağıtılması sıklıkla sürekli fazın iletkenliğinin iletken çözücülerle yeniden formüle edilerek veya antistatik katkı maddeleri eklenerek yükseltilmesiyle sağlanabilir. Alternatif olarak statik elektrikten kaynaklanan ateşleme tehlikeleri eylemsizleştirme ile denetlenebilir. (Britton, L. G., "Using Material Data in Static Hazard Assessment," *Plant/Operations Progress*, April 1992, pp. 56–70.)

3.2.16. Yalıtkan Proses Kapları

Genel olarak, eğer dış yüzeyleri yüklenirse harici ateşlenme riski taşıyan yalıtkan süreç kapları yanıcı sıvılar ile birlikte kullanılmamalıdır.

Eğer yalıtkan bir kap kullanılacaksa ve tank etrafındaki ya da buhar alanındaki atmosferin yanıcı olma olasılığı varsa, yükün güvenli bir şekilde boşaltılmasını sağlamak ve boşalmaları önlemek için aşağıdaki kriterler karşılanmalıdır:

1. Bütün iletken bileşenler (örneğin, metal kenar ve ambar kapağı) birlikte bağlanmalı ve topraklanmalıdır.
2. Tank yalıtkan sıvıları depolamak için kullanıldığında, aşağıdaki kriterler sağlanmalıdır:

- a. Harici boşalımları önlemek için, topraklanmış bir iletken kalkan temin edilmelidir.
 - b. Kalkan, tank duvarı içine gömülü topraklı bir tel olmalı ve bütün dış yüzeyleri sarmalıdır.
3. Yalıtkan sıvıları depolamak için kullanıldığı durumlarda, tankın yükün sıvı içerikten toprağa akabileceği bir yol sağlayacak bir metal plaka içermesi gerekir ve ayrıca aşağıdaki kriterler sağlanmalıdır:
- a. Plakanın yüzey alanı tank hacminin $500 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ 'ünden az olmamalıdır.
 - b. Plaka tankın altında bulunmalı ve toprağa bağlı olmalıdır.
4. Tank iletken sıvı, depolamak için kullanıldığı durumlarda, tankın altından uzayan ve toprağa bağlı bir iç topraklama kablosu veya aşağıdaki kriterleri sağlayan ve tankın altına kadar uzanan topraklanmış bir dolun hattı temin edilmelidir:
- a. Topraklanmış dolun hattı tankın altından girecektir.
 - b. Topraklanmış dolun hattı bir kıvılcım arttırıcı oluşturmayacaktır.

3.2.17. Ölçme ve Örnekleme Kaplarında Statik Elektriklenme

Sıcaklık ölçümü de dâhil olmak üzere ölçüm veya örnekleme işlemleri bir depolama tankı ve bölmesi içine kıvılcım arttırıcı sokabilirler. Elle örnekleme ve ölçüm için iletken bir ölçüm kuyusu kullanılmalıdır. (Britton, L. G., "Using Material Data in Static Hazard Assessment," *Plant/Operations Progress*, April 1992, pp. 56–70.)

3.2.17.1. Önlemler

Bir ölçüm kuyusunun mümkün olmadığı, depolanan malzemenin bir yalıtkan olduğu veya konteynerin buhar alanının ateşlenebileceği durumlarda önlem alınmalıdır. Ölçüm ve örnekleme işlemlerinin elle yapıldığı durumlarda, personel topraklama tavsiyeleri göz önüne alınmalıdır. (Standard 4145.26M, *Contractors' Safety Manual for Ammunition and Explosives*.)

3.2.17.2. Malzemeler

Ölçüm ve örnekleme sistemleri ya tamamen iletken veya tamamen yalıtkan olmalıdır. Örneğin, iletken örnekleme ve ölçüm cihazları çelik şerit veya kablo gibi iletken bir alçaltma cihazı ile birlikte kullanılmalıdır.

Zincirler elektriksel açıdan sürekli değildir ve yanıcı atmosferlerde kullanılmamalıdır.

Örnekleme kabı ve alçaltma cihazı da dâhil olmak üzere iletken örnekleme ve ölçüm cihazları tanka veya bölmeye düzgün şekilde bağlanmalıdır.

İkinci paragrafta bahsedilen bağlama bir bağlama kablosu kullanılarak veya alçaltma cihazı ile tank kabağı arasındaki sürekli metal-metal temas korunarak sağlanabilir.

İdeal olarak, eğer yalıtkan el ölçüm veya örnekleme cihazları kullanılıyorsa, yükleme veya doldurmanın ardından bir bekleme süresi gerekmez; ancak bu cihazların nem veya bulaşıklık gibi çevresel etkenlerden dolayı gerekli yalıtkanlık seviyesini koruyamayabilirler. Dolayısıyla, yalıtkan cihazlar kullanılırken uygun bir bekleme süresi sağlanmalıdır.

Eğer eldiven elden kolayca kayıyorsa, yüklenme olasılığından dolayı naylon gibi sentetik malzemelerden yapılmış kablolar kullanılmamalıdır. Prensipde doğal selülozik liften kablolar kullanılacakları halde, bu kablolar sıklıkla bir yük üretme becerisi içeren doğal sentetik harmandan oluşurlar. (Standard 4145.26M, *Contractors' Safety Manual for Ammunition and Explosives*.)

3.2.17.3. Ölçme

Mümkün olan durumlarda, ölçüm otomatik ölçüm sistemleri kullanılarak yapılmalıdır. Bu sistemler tanklarda güvenle kullanılabilirler, ancak ölçüm şamandıraları ve benzer cihazlar tank kabuğuna iletken bir giriş bandı veya iletken kılavuz teller aracılığıyla elektriksel olarak bağlanmalıdır. Serbest yüzen, bağımsız şamandıralar etkin kıvılcım artırıcılar olabilirler ve bunlardan kaçınılmalıdır. Radar ve ultrasonik ölçüm cihazları gibi temassız ölçüm cihazları da uygundur, ancak elektriksel süreklilik

garantilenmelidir. Yalıtılmış iletken bileşenler kullanılmamalıdır. (Standard 4145.26M, *Contractors' Safety Manual for Ammunition and Explosives.*)

3.2.17.4. Bekleme süresi

Bölmenin büyüklüğüne ve yüklenen ürünün iletkenliğine bağlı olarak, biriken yükün dağılması için yeterli bir bekleme süresi göz önüne alınmalıdır.

40 m³'den büyük tankların ölçüm veya örneklenmesinden önce, bir ölçüm kuyusu kullanılmıyorsa, en azından 30 dakikalık bir bekleme süresi sağlanmalıdır. Eğer bir ölçüm kuyusu kullanılıyorsa, bir bekleme süresi gereksizdir. (Standard 6055.9, *Ammunition and Explosive Safety Standards.*)

3.2.18. Tank Temizleme İşlemi Sırasında Statik Elektriklenme ve Tedbirleri

3.2.18.1. Su ile yıkama

Su püskürtmesi ile tankta meydana gelen buhar, çok yüklü olabilir. Tehlike yaratacak buhar bulutu 100 m³' ten büyük tanklara özel bir sorundur. Püskürtme kullanılan, sulu yıkamalar sadece yanıcı olmayan bir atmosferde yapılmalıdır.

100 m³' ten küçük ve bütün iletken bileşenleri topraklanmış tankların boşalım tehlikesi ihmal edilir derecededir. Suyla yıkama işlemi sırasında tanka buhar girmesi olasılığının bulunduğu durumlarda, önlemlere uyulmalıdır. (NFPA 495, *Explosive Materials Code*, 2006 edition.)

3.2.18.2. Çözücü ile yıkama

Yanıcı çözücülerin oluşturduğu buhar, yük yoğunlukları suyla yıkamadakilere benzerdir ve iletken bileşenlerin topraklanması ile ilgili olarak benzer önlemler alınmalıdır.

Kullanılan çözücü veya temizlik işlemi türü yüzünden ateşlenebilir bir atmosferden veya buhardan kaçınılamıyorsa, temizlenen tank veya kap temizlik işlemi sırasında ateşleme olasılığını azaltmak için eylemsizleştirilmeli veya zenginleştirilmelidir.

Kabın eylemsizleştirilmediği veya zenginleştirilmediği ve bir ateşlenebilir atmosferin bulunduğu durumlarda, temizlik maddesi olarak bir çözücü kullanıldığında aşağıdaki önlemler göz önüne alınmalıdır:

1. Çözücü iletken olmalıdır.
2. Geri kazanılmış çözücü gibi bir çözücü harmanı kullanıldığında, iletkenlik periyodik olarak kontrol edilmelidir.
3. Yüksek parlama noktalı malzemeler (temizlik sırasında maksimum çalışma sıcaklığının en az 9°C üstünde) kullanılmalıdır ve parlama noktası günlük olarak doğrulanmalıdır.
4. Temizlik sistemi iletken ve tanka bağlanmış olmalıdır ve bütün bağlanmış ekipmanların süreklilik testleri periyodik olarak yapılmalıdır.
5. Topraklanmamış iletken cisimler aşağıdakilere göre ele alınmalıdır:
 - a. Temizlik sırasında tanka eklenmemelidirler.
 - b. Temizlik işleminin ardından tanka yeterli bir süre eklenmemelidirler ve bu da buhar oluşumundan dolayı birkaç saat sürebilir.

3.2.18.3. Buharla temizleme

Buharla temizleme, çok büyük yük yoğunlukları ve kendilerine karşılık gelen tank boyutu ile artan büyük yük potansiyelleri oluşturabilir. Dolayısıyla, aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

1. 4 m³' ten büyük tanklar buharlı temizlikten önce eylemsizleştirilmelidir.
2. Buhar sisteminin bütün bileşenleri iletken ve topraklanmış olmalıdır.
3. Tankın bütün iletken bileşenleri bağlanmış ve topraklanmış olmalıdır.

3.2.18.4. Dâhili kumla temizleme

Mümkün olduğunda, tanklar ve proses kapları temiz olmalı ve ateşlenebilir malzeme içermemelidir (FLF' nin yüzde 10' undan fazla olmayacak şekilde).

Kumla temizleme için kullanılan hortum topraklanmış olmalı ve hortum takımının herhangi bir kısmının, özellikle de nozülün toprak direnci 106 ohm u aşmamalıdır. (NFPA 495, *Explosive Materials Code*, 2006 edition.)

3.3. Pudraların ve Tozların Statik Elektrik Tehlikeleri Yönünden Değerlendirilmesi

Pudralar arasında topraklar, granüller ve toz parçacıkları bulunur. Toprakların çapları 2 mm'den büyük, granüllerin çapları 420 µm ile 2 mm arasında ve tozların çapların ise 420 µm veya daha azdır. Toprakların ve granüllerin agregalarının genellikle büyük miktarda toz içerdiğine dikkat edilmelidir. Tozların endüstriyel operasyonlarda hareketi genellikle statik elektrik yükü oluşturur. Bu yüklerin birikmesi ve daha sonra boşalmaları yangın ve patlamalara yol açabilir. (EN 61241-2-2, *Electrical Apparatus for Use in the Presence of Combustible Dust — Part2: Test Methods; Section 2: Method for Determining the Electrical Resistivity of Dust in Layers*, International Electrotechnical Commission, Brussels, 1996.)

3.3.1. Tutuşabilirlik ve Toz Bulutları

Tutuşabilir bir gaz çapı 420 µm daha ufak olan (No. 40 standart elekten geçebilecek malzeme) ve bir yangın ya da alev alma tehlikesi oluşturabilecek herhangi bir katı malzeme olarak tanımlanır.

Bir statik elektrik boşalımının bir tutuşucu tozu ateşleyebilmesi için, aşağıdaki dört koşul sağlanmalıdır:

1. Yükü ayrıştırmak için etkili bir yolu mevcut olmalıdır.
2. Ayrışmış yükleri toplamanın ve bir elektrik potansiyel farkını korumanın bir yolu mevcut olmalıdır.
3. Yeterli enerjiye sahip bir statik elektrik boşalımı oluşmalıdır.
4. Boşalım ateşlenebilir bir toz karışımı içinde oluşmalıdır.

Bir ateşlemenin sürdürülebilir tutuşma sağlaması için, havada yeterli miktarda asılı toz bulunması gerekir. Bu minimum miktara - *minimum patlayabilir derişim* (MEC)

denir. Bu, birim hacimde kütle olarak ifade edilen ve belirli bir parçacık boyutu için havada tekdüzen asılı iken bir parlamayı destekleyecek en küçük derişimdir. (Bu bölümde, başka bir oksitleyici atmosfer belirtilmemişse, havanın destekleyici atmosfer olduğu varsayılmıştır.)

Bir toz bulutunun bir statik elektrik yükü ile ateşlenebilmesi için, boşalımın hem uzam hem de zamanda ateşlemeyi gerçekleştirmeye yetecek enerjisinin olması gerekir. Ancak, boşalım ateşlemesi için kullanılan terim, *minimum ateşleme enerjisi* (MIE), dışarıdaki enerji için kullanılanla aynıdır. (EN 61241-2-2, *Electrical Apparatus for Use in the Presence of Combustible Dust — Part2: Test Methods; Section 2: Method for Determining the Electrical Resistivity of Dust in Layers*, International Electrotechnical Commission, Brussels, 1996.)

3.3.2. Statik Elektrik Yüklenmesi Mekanizmaları

Temasla statik elektrik yüklenmesi, genellikle pudraların hareketlerinde hem pudralar ve yüzeyler arasındaki yüzey sürtünmesi hem de ayrı pudra parçacıklarının arasındaki sürtünme ile oluşabilir. Parçacıkların yükleme karakteristikleri genellikle yüzey bulaşıklığı kadar kimyasal karakteristikleri ile belirlenir; dolayısıyla bir yükün büyüklüğü ve kutupsallığını tahmin etmek zordur.

Bir pudra elemde, dökmede, sarmada, öğütmede, mikronlaştırmada, kaydırmada ve pnömatik iletimde olduğu gibi başka bir yüzey ile temasa girdiğinde her an elektriklenme beklenebilir. Bu operasyonlarda, Tablo3' de gösterildiği üzere temas ne kadar sertse o kadar fazla yük üretilir. Tablo 3, belirli bir operasyonda geniş bir yük yoğunluğu yelpazesinin mümkün olduğunu göstermektedir; gerçek değerler hem ürüne hem de operasyona bağlı olacaktır.

Tablo 4 Çeşitli Toz Faaliyetlerden Yükselen Orta Dirençli Tozların Tipik Şarj Düzeyleri (Sıkıştırma Öncesi)

Operation	Mass Charge Density ($\mu\text{C}/\text{kg}$)
Eleme	10^{-3} to 10^{-5}
Dökme	10^{-1} to 10^{-3}
Auger or vida besleme transferi	10^{-2} to 1.0
Öğütme	10^{-1} to 1.0
Mikronize	10^2 to 10^{-1}
Pnömatik taşıma	10^3 to 10^{-1}

Source: BS 5958, *Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity*, Part 1, General Considerations.

Bir gazda asılı pudranın taşıyabileceği yük için bir üst limit vardır. Bu limit parçacığın yüzeyindeki elektrik alanın gücü ile belirlenir ve yüzey yük yoğunluğunun yanı sıra parçacık boyutu ve şekline de bağlıdır.

3.3.3. Statik Elektrik Yükünün Tutulması

Dökme pudra hacim direncine ve hacim dielektrik sabitine bağlı olarak bir statik elektrik yükü tutabilir.

Bir katının elektrik yükü iletme yeteneği hacim direnci ile karakterize edilir. Sıvılar için, bu yetenek iletkenliği ile karakterize edilir.

Pudralar aşağıda üç gruba ayrılırlar:

1. Metaller, kömür tozu ve karbon siyahı da dâhil olmak üzere, hacim dirençleri 108 ohm-m'ye kadar olan düşük dirençli pudralar
2. Pek çok organik toz ve tarım ürünü de dâhil olmak üzere, hacim dirençleri 108 ohm-m ila 1010 ohm-m arasında olan orta dirençli pudralar.
3. Organik tozlar, sentetik polimerler ve kuvars da dâhil olmak üzere, hacim dirençleri 1010 ohm-m' nin üzerinde olan yüksek dirençli pudralar.

Düşük dirençli pudralar akış sırasında yüklenebilirler. Pudra topraklanmış bir konteynere aktarıldığında yük hızla dağılır. Ancak, eğer pudra yalıtkan bir konteynere aktarılırsa, biriken yük bir yakıcı kıvılcımla sonuçlanabilir.

Orta dirençli bir pudranın kitle olarak duran konuma geldiği durumlarda, tutulan yük pudra ile toprak arasındaki dirence bağlıdır. Eğer pudra topraklı bir konteynere yerleştirilirse, yük tutulması pudranın kitle hacmi direnci ile belirlenir ve bu da ifade parçacıklar arası direnci içerir. Eğer pudra yalıtkan bir konteynere yerleştirilirse, yük tutulması konteynerin direnci ile belirlenir. Orta dirençli pudraların özelliği, kabaran saçaklı boşalıklar veya kıvılcım üretmedikleri için elleçleme sırasında oldukça güvenli olmalarıdır.

Yüksek dirençli pudralar kendileri içerisinde kıvılcım boşalımları üretmezler, ama korona, saçaklı, kabaran saçaklı ve ilerleyen saçaklı boşalımlar gibi diğer boşalım türlerini üretirler. Yüksek dirençli pudralar, düzgün topraklanmış konteynerlerde bile yavaş bir hızla yük kaybederler. Pek çok yüksek dirençli pudra aynı zamanda hidrofobiktir ve dökme olarak yükü saatlerce, hatta günlerce tutabilirler. Termoplastik reçineler gibi yüksek dirençli pudraların kitlesel dirençleri 1016 ohm-m' a kadar olabilir. (BS 5958, *Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity*, Part 1, General Considerations, British Standards Institution, London, 1991.)

3.3.4. Pudra Operasyonlarında Boşalımlar

3.3.4.1. Kıvılcım boşalması

İletkenlerden kıvılcım boşalımları oluştuğu durumlarda, kıvılcımın enerjisi şekildeki nomograftan bulunabilir:

İletkenlerden gelen sığal boşalımlar için geçerli olduklarına ve yalıtkanlardan gelen boşalımlar için geçerli olmadıklarına dikkat edilmelidir. Bu şekilde hesaplanan boşalım enerjileri tozu MIE' si ile karşılaştırılarak, sığal kıvılcım boşalımı olasılığı hakkında bir bilgi edinilebilir. Tutuşucu gaz katmanları sığal kıvılcım boşalımı ile ateşlenebilir ve bu da ikincil toz patlamalarına yol açabilir. Bir toz katmanı için, toz bulutu ateşlemesinin MIE' si ile bir korelasyon yoktur. Her türlü iletken konteyner, ekipman, ürün ve personel topraklanarak sığal kıvılcım boşalımlarından kaçınılmalıdır. (JIS B 9915, *Measuring Methods for Dust Resistivity (with Parallel Electrodes)*, Japan Industrial Standards, Tokyo, 1989.)

3.3.4.2. Korona boşalımı ve saçaklı boşalım

Büyük miktarlarda orta veya yüksek dirençli pudra elleçlenirken, korona ve saçaklı boşalımlar beklenmelidir. Ancak bir korona boşalımının bir toz bulutunu ateşleyebileceğine dair kanıt mevcut değildir. Benzer şekilde, toz bulutunda yanıcı bir gaz veya buhar bulunmaması kaydıyla, bir saçaklı boşalımın MIE' si 3 mJ' dan yüksek tozları ateşleyebileceğine dair de kanıt yoktur.

3.3.4.3. İlerleyen saçaklı boşalım

İlerleyen saçaklı boşalımların enerjileri 1 J' dan büyük olabileceği için, bunların hem bulutları hem de tutuşucu toz katmanlarını ateşleyebilecekleri düşünülmelidir.

3.3.4.4. Kabaran saçaklı boşalım

Dirençleri yaklaşık 109 ohm-m' nin üzerindeki pudraların topraklanmış iletken konteynerlere konulduğu durumlarda, bunlar genellikle yüklerini iletim yolu ile yükleme sürecinde biriken yükünkinden daha yavaş bir hızla dağıtırlar. Dolayısıyla yük kompakt hale gelir ve kabarma noktasından (parçacıkların yığın ile ilk temas ettikleri yer) konteynerin duvarlarına boşalımlar oluşur. Bu boşalımlara genellikle *kabaran saçaklı boşalım* denir. Deneyimler, bu boşalımların MIE' leri 10 mJ' den daha büyük tozları ateşleyemediklerini göstermektedir. Ancak, bu tür boşalımlar MIE' leri 10 mJ' den ufak tozların patlamaları ile ilişkilendirilmiştir.

Kompakt hale getirme işlemi sırasında, parçacık boyutu arttıkça boşalım enerjisi de artar. Dolayısıyla, en fazla risk altındaki sistemlerin ince parçacıklarda (toz) fark edilebilir sürtünmeye sahip toprakları içeren sistemler olması beklenebilir. (BS 5958, *Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity*, Part 1, General Considerations, British Standards Institution, London, 1991.)

3.3.5. Pnömatik Aktarım Sistemleri

Tozlu malzemelerin borular veya kanallar içinden pnömatik aktarımı hem aktarılan ürün hem de kanal üzerinde bir statik elektrik yükü oluşturabilir. Statik elektrik yükü sistemden çıkarken malzemenin üzerinde kalır. Malzeme toplanan yerlerde yük birikimine karşı önlemler alınmalıdır. (NFPA 30, *Flammable and Combustible Liquids Code*, 2003 edition.)

Borular ve kanallar metal olmalı ve topraklanmalıdırlar.

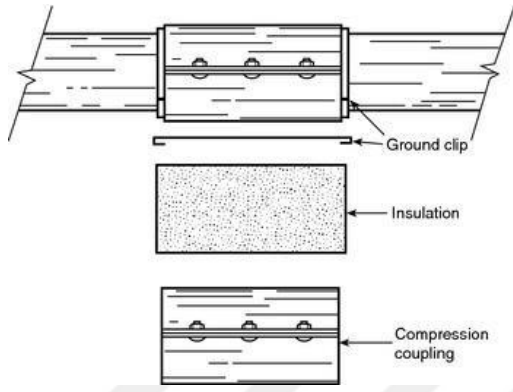
Kanalların bağlandığı ekipman, malzeme aktarımı ile üzerine bırakılan yükü dağıtmak için metal olmalı ve topraklanmalıdır.

Boru birleştirme yöntemlerinin kullanımı veya boru bileşeni kurulmasının toprak yolunun sürekliliğinde kesinti yarattığı durumlarda, aşağıdaki kriterlerden birisi sağlanmalıdır:

1. Sürekliliği sağlamak için bir ara kablo kullanılmalıdır.
2. Şekil 39' da gösterildiği gibi, kanalın yalıtılmış kısmı için bağımsız bir toprak temin edilmelidir.

Yalıtkan borular veya kanallar kullanılmalıdır.

Akış görselleştiricisi olarak kısa uzunlukta saydam plastik kullanılmalıdır, çünkü bunların tozları ateşleyebilen ilerleyen saçaklı boşalımlara sebep oldukları bilinmektedir. (NFPA 30, *Flammable and Combustible Liquids Code*, 2003 edition.)



Şekil 17 Pnömatik aktarım sistemlerinde kullanılan baskı aparatı
(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 136.)

3.3.6. Esnek Hortum

Bir spiral sertleştirici tel içeren yalıtkan malzemedan yapılmış hortumların, iç telin doğrudan metal uç kaplinlerine temas etmesini ve uç kaplinlerin toprak ile iyi bir bağlantı kurmalarını sağlamak için bakımlı tutulmaları gerekir.

Birden fazla iç spirali olan hortumlar kullanılmalıdır, spirallerden birisinin sürekliliğini kaybedip kaybetmediğini belirlemek mümkün değildir. (JIS B 9915, *Measuring Methods for Dust Resistivity (with Parallel Electrodes)*, Japan Industrial Standards, Tokyo, 1989.)

3.3.7. Esnek Botlar ve Çoraplar

Yerçekimi ile aktarım işlerinde yaygın olarak esnek botlar ve çoraplar kullanılır. Esnek botlar tipik olarak plastik veya kauçuktan yapılırken, esnek çoraplar tipik olarak

örülü kumaştan yapılır. Yalıtkan bir bot ya saçaklı boşalıma ya da ilerleyen saçaklı boşalıma sebep olabilir. Örgüdeki hava boşluklarının düşük kopma mukavemetinden dolayı bir çorapta ilerleyen saçaklı boşalım oluşmaz. Ancak, çorapların saçaklı boşalım oluşturabileceği bazı durumlar vardır (örneğin, esnek ara dökme konteynerler ile birlikte kullanıldıklarında).

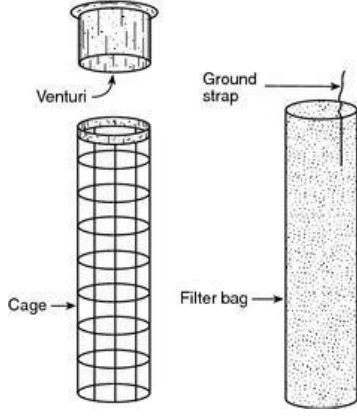
Tutuşucu tozlar için, botlar ile çorapların uçtan uca direnci 108 ohm' dan az ve bir megaohmmetre ile ölçüldüğünde tercihen 106 ohm dan az olmalıdır.

Proses ekipmanları arasında bir bağa veya toprak bağlantısı için esnek bağlantılara bağımlı olunmamalıdır. Ayrı bağlama veya topraklama bağlantıları kullanılmalıdır. (JIS B 9915, *Measuring Methods for Dust Resistivity (with Parallel Electrodes)*, Japan Industrial Standards, Tokyo, 1989.)

3.3.8. Torbalı Süzgeç Odaları

Tozlar bir torbalı süzgeç odasına çekildiklerine veya üflendiklerinde, mecburen yanlarında büyüklüğü tozun karakteristiklerine ve prosese bağlı olan statik elektrik yükünü de taşırlar. Yük tozun üzerinde kalır ve torbaların yüzeyinde birikir. Dolayısıyla, bu birikmiş yükün kazara topraklarını kaybedebilecek iletken bileşenleri indüklemesini önlemek için bütün iletken bileşenleri topraklanmış durumda tutmak önemlidir. Bu tür bir endüksiyon özellikle kafes takımları durumunda doğrudur.

Eğer kafes takımları iyi topraklamazlarsa, topraklamamış torbalardan ya torbalı süzgeç odasının yapısına ya da komşu kafes takımına sığal kıvılcım boşalımı olabilir. Çoğu zaman torbalarda manşonlarına eklenmiş metal örgü kuyruk bulundur; bunun amacı kuyruğun kolayca kafesin içinden geçirilip tüp katmanına bağlanabilmesidir. Bu kafes topraklama yöntemi her zaman başarılı olmaz. Dahası, kuyruğun nedeni sıklıkla yanlış anlaşılır. Torba yalıtkan olduğu için, torbanın kendisi topraklanmaz. Dolayısıyla, metal bir örgüyü torbanın tüm uzunluğu boyunca uzatmak yararsızdır. (National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169-7471.)



Şekil 18 Kafes ve Torba düzeni
(Kaynak: T. H. Pratt, *Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions*, p. 134.)

Torbalar ve kafesler bakım sırasında personel deneyimsiz veya dikkatsiz olsa bile her zaman pozitif bir toprak bağlantısının sağlanacağı şekilde tasarlanmalıdır. Bu bağlantıyı sağlamanın bir yolu, torbaların manşonlarına 180 derece açıklıkla iki metal örgü dikmektir. Her örgü sürekli ve manşonun içinde üst tarafa ve manşonun dışında alt tarafa dikilir. Bu yöntem örgülerin her zaman kafes, ventüri ve kelepçe ile pozitif bir temasta bulunmasını ve bu düzenlemenin operasyonun zorluklarına dayanmasını sağlar. Her halükarda, kafes ile toprak arasındaki direnç 10 ohm dan az olmalıdır.

Yanmaya sebep olan boşalmaları önlemek için iletken veya antistatik kumaştan yapılmış filtre tornalarının gerekli olduğu konusunda bir delil bulunmamaktadır. Aksine, eğer kumaşın bazı kısımları yalıtılırsa veya torbalı süzgeç odasının dibine bir torba düşerse bu tür torbalar boşalım tehlikeleri yaratabilirler. (JIS B 9915, *Measuring Methods for Dust Resistivity (with Parallel Electrodes)*, Japan Industrial Standards, Tokyo, 1989.)

3.3.9. Melez Karışımlar

Melez karışım terimi, ne tozun kendisinin ne de gaz ya da buharın kendisinin tutuşmayı destekleyecek miktarlarda bulunmadıkları ama ikisinin toplamının tutuşmayı destekleyebileceği durumlarda, her türlü asılı tutuşucu toz ve yanıcı gaz ya da buhar karışımı için geçerlidir. Melez karışımlar özel sorunlar oluştururlar, çünkü tozla elleçleme operasyonlarının yüksek yük yoğunluğu ile yanıcı buharların düşük ateşleme enerjisi sorunlarını birleştirirler. Melez bir karışımın MIE' sinin değerlendirilmesi zordur, ama karışımın MIE' sinin sadece gazın MIE' sinde veya bunun yakınında olduğu varsayılarak

makul bir tahminde bulunulabilir. Melez karışımlar bir yanıcı gaz veya buhar içerdikleri için, saçaklı boşalımla ateşlenebilirler.

Elleçlendikleri işlerde önemli derişimde çözücü buharı birikecek kadar çözücü içeren (yani ağırlıkça yüzde 0,2' den fazla) pudralara *çözücüyle ıslatılmış pudralar* denir. (NFPA 220, *Standard on Types of Building Construction*, 2006 edition.)

3.3.10. Pudraların Yanıcı Sıvılara Elle Eklenmesi

Süreç kaplarında en sık görülen statik elektrik ateşlemesi sebebi kaplardaki yanıcı sıvılara katı eklenmesidir. Kabin eylemsizleştirilmiş olduğu durumlarda bile, büyük miktarda katı eklenmesi kaba hava girmesine neden olurken yanıcı buharı kaptan dışarı atar. Büyük hacimde katıların aniden eklenmesi gezen bir yüklü toz yığından statik boşalmayla sonuçlanır.

Katıların açık bir girişten veya adam deliğinden elle eklenmesi sadece 25 kg' lık partiler halinde yapılmalıdır.

25 kg'dan büyük parti eklemeleri [örneğin esnek ara dökme konteynırlardan döner vafli bir ara huni ya da benzer bir düzenleme aracılığıyla yapılmalıdır. Huni, karıştırma kabına hava girişini azaltacak şekilde eylemsizleştirilebilirken, çalışma alanına buhar girişinden kap havası güvenli bir yere tahliye edilecek kaçınılabılır.

Yalıtkan plastik torbalardan katı eklenmesi, katılar tutuşucu olmasa bile (örneğin silika) tehlike olabilir. Torbalar kağıttan, kağıt katmanlarından ve plastik filmin her iki taraftan kağıtla kaplanmış olduğu plastikten ya da antistatik plastikten yapılmış olmalıdır. Topraklama klipsleri kullanışsız olabileceğinden, bu torbalar topraklı iletken bir kapla temas ya da topraklı bir operatör ile cilt teması yoluyla etkili bir şekilde topraklanabilir.

Fiber variller veya paketlerde paketten çıkıp bir plastik torba gibi davranabilecek gevşek plastik astar bulunmamalıdır.

Metal çanlar topraklanmalıdır.

Yanıcı sıvılar içeren kapların açıklıklarının etrafındaki personel topraklanmalıdır ve temizliğe özel özen gösterilmelidir, çünkü yalıtkan kalıntıların (örneğin reçine)

zeminde veya örneğin topraklama klipsleri gibi cisimler üzerinde birikmesi elektriksel sürekliliği bozabilir.

Pudralar, yanıcı bir atmosfer varken yalıtkan bir konteynerden boşaltılmamalıdır.

Pudraların yalıtkan plastik torbalardan yanıcı bir atmosfer içeren bir kaba doğrudan boşaltılması kesinlikle yasaklanmalıdır.

Sürecin iyice anlaşıldığı ve kabın ateşlenebilir bir atmosfer içermediği durumlarda, pudranın sıvı eklenmeden önce kaba konması yararlı olabilir. (JIS B 9915, *Measuring Methods for Dust Resistivity (with Parallel Electrodes)*, Japan Industrial Standards, Tokyo, 1989.)

3.3.11. Dökme Depolama

Pudraların dökme depolara (örneğin, silolar, demiryolu vagonları, kamyonlar, IBC' ler veya FIBC' ler) alınacakları durumlarda, pudra yerçekimi kuvveti ile kompakt hale getirilir. Kompakt hale getirme işlemine, kabaran saçaklı boşalım eşlik eder. Kompakt hale getirme işlemi sırasında, parçacık boyutu arttıkça boşalım enerjisi de artar. Dolayısıyla, en fazla risk altındaki sistemler, önemli miktarda ince parçacıklı (toz) topaklardır. (NFPA 220, *Standard on Types of Building Construction*, 2006 edition.)

3.4. Özel Uygulamalar

3.4.1. Granüler Malzemelerde Statik Elektriklenme

Eğer granüller bir malzeme sadece 420 m'den büyük parçacıklar içeriyorsa, ateşlenebilir toz bulutları oluşmaz. Ancak eğer granüller bir malzeme ince parçacıklardan oluşuyorsa veya önemli miktarda ince parçacık içeriyorsa, ateşlenebilir toz süspansiyonları oluşabilir ve ateşleme kaynakları tolere edilemez.

Deneyimler, tozların dirençlerinin 108 ohm-m' den az olduğu durumlarda, statik elektrik yüklerinin genelde dökme granüller malzeme içerisinde birikmelerini önleyecek kadar hızlı gevşediklerini göstermiştir. (Standard 4145.26M, *Contractors' Safety Manual for Ammunition and Explosives*.)

3.4.2. Esnek Ara Dökme Konteynerlerde (FIBC) Statik Elektriklenme

Esnek dökme konteynerler (FIBC) temel olarak bir çerçeve içinde desteklenen çok büyük kumaş torbalardır. Katı IBC'lerden daha uygundur, çünkü kullanıldıktan sonra tamamen katlanarak, çok az depolama yeri kaplarlar.

Kumaş genelde polipropilenden oluşur ve kumaş kaldırıcı kayışlı üç boyutlu bir küp veya dikdörtgen oluşturacak şekilde dikilir. Bir FIBC bir toz veya granüller malzeme ile doldurulabilir ve geleneksel malzeme elleçleme ekipmanlarıyla taşınabilir.

FIBC'lerin bir avantajı da çabucak boşaltılabilmeleridir, tipik olarak 300 kg ila 500 kg 30 saniye veya daha kısa sürede boşaltılabilir. Dolayısıyla, statik elektrik yüklerinin üretildiği hız genellikle statik elektrik yüklerinin normal kullanım koşulları altında gevşeyebilecekleri hızları aşarlar ve bir statik elektrik yükü birikimi beklenebilir. (Standard 4145.26M, *Contractors' Safety Manual for Ammunition and Explosives.*)

3.4.3. Yük üretimi

Statik elektrik yükleri FIBC'lerin doldurulması ve boşaltılması sırasında üretilebilir ve FIBC'nin hem içindekiler hem de kumaşı üzerinde birikebilir. Eğer biriken yük yeterince güçlüyse ve ateşlenebilir bir atmosfer varken salınırsa, ateşleme oluşabilir.

3.4.4. Yalıtkan FIBC'ler

Yalıtkan malzemeden (örneğin polyester dikişli polipropilen kumaş) yapılmış FIBC'lerde statik elektrik yüklenmesini en aza indirgeyecek özel özellikler yoktur. Yalıtkan FIBC'ler normal elleçleme koşullarında ateşlenebilir atmosfer oluşturmayan malzemeler için kullanılabilir.

Deneyimler, elleçleme sırasında toz bulutu oluşturan granüller malzemelerin, oluşturulan toz bulutlarının bir statik elektrik boşalımı ile kolayca ateşlenmemesi kaydıyla, yalıtkan FIBC'lerde güvenle elleçlenebileceğini göstermiştir. Diğer bir deyişle, malzemenin toz bulutu için MIE'sinin 100 mJ'dan büyük olması gerekir. Aşağıdaki kriterler de geçerlidir:

1. Yalıtkan FIBC' ler, MIE' si 100 mJ' den az granüler malzemeler için kullanılmamalıdır.
2. Yalıtkan FIBC' ler, yanıcı bir gaz veya buhar bulunan alanlarda hiçbir zaman kullanılmamalıdır.

3.4.5. İletken FIBC' ler

İletken malzemedan yapılan FIBC' ler de, iletken IBC' lerle aynı şekilde ele alınabilir. Eğer iletken FIBC bir astar ile birlikte kullanılırlarsa, bu FIBC' lerin tüm operasyonlar sırasında topraklanmaları mecburidir.

Yalıtkan malzemedan üretilmiş ve dokunmuş, topraklanmış, iletken iplikçikler içeren FIBC' lerin iletken oldukları kabul edilir. Bir FIBC türü, 20 mm'den az aralıklarla yerleştirilmiş, her birisi tercihen bir ucundan en az bir defa komşusunda bağlanan iletken iplikçiklere sahiptir. Bunların topraklanmaları amaçlanmıştır. Başka bir türde 50 mm'den büyük olmayan göz büyüklüğüne sahip birbirine bağlanan bir ızgara oluşturan iletken iplikçikler veya iplikler bulunur. Bunların da topraklanmaları amaçlanmıştır.

İletken ipliklere elektriksel olarak bağlanan bir topraklama mandalı temin edilir ve FIBC' nin doldurulduğu veya boşaltıldığı bir toprak noktasına bağlanması amaçlanır. (Britton, L. G., "Using Material Data in Static Hazard Assessment," *Plant/Operations Progress*, April 1992, pp. 56–70.)

3.4.6. Konteyner astarları

Konteynerlerde hem iletken hem de yalıtkan astarlar kullanılır. İletken astarlar (örneğin karbon dolgulu polietilen) bir topraklama yolu sağlayacak şekilde yalıtkan konteynerlerin içinde kullanılmaktadır. Ürün bulaşıklığının bir sorun olduğu durumlarda, yalıtkan (örneğin polietilen) astarlar hem iletken (örneğin metal) hem de yalıtkan (örneğin polipropilen) konteynerlerde kullanılmaktadırlar. Çok ince tozların kumaşın dokuması arasından sızabildiği durumlarda, yalıtkan (örneğin polietilen) astarlar kullanılmaktadır.

Topraklarını kaybetmemelerini sağlamak için, iletken astarların kullanımında büyük dikkat gereklidir.

İletken konteyner için olduğu gibi, iletken astarlar da bütün operasyonlar sırasında topraklanmalıdırlar.

Statik elektrik yükü biriktiren malzemelerin elleçlenmesinde, iletken konteynerlerin içinde dirençleri 1011 ohm dan büyük astarların kullanımı ilerleyen saçaklı boşalimler veya sığaç benzeri boşalimlerin oluşabileceği koşullar yaratabilirler. Bu boşalimlerin oluşabileceği koşullar çok fazla ve çeşitli olduğu için, şimdilik genel tavsiyeler verilememektedir.

Yalıtkan konteynerlerde yalıtkan astarların kullanıldığı durumlarda, tavsiye edilen şekilde sadece yalıtkan konteynerler için olanlarla aynı olmalıdır.

Astarlar kolayca ateşlenebilir atmosferlerin (yani, gazlar, yanıcı buharlar, hassas tozlar MIE' leri 30 mJ' dan az olan melez karışımlar) bulunduğu yerlerde konteynirlardan çıkartılmamalıdır. (Safety Library Publication No. 17, *Safety in the Transportation, Storage, Handling, and Use of Explosive Materials.*)

3.5. Tekstil ve Matbaa Proseslerinde Statik Elektriklenme

Baskı, kaplama, yayma ve emdirme gibi ağ proseslerinde, statik elektrik üretim sorunlarının sık görülen, rahatsız edici ve genellikle pahalı bir kaynağıdır. Eğer süreçte yanıcı çözücüler kullanılırsa, statik elektrik yükleri bir ateşleme kaynağı oluşturabilirler.

Pratikte, statik elektrik ile yüklenen kağıt veya başka bir substrat başka isimleri çeker veya iter. Bu olay, basılan veya kaplanan sürekli substrat olan tabakanın veya ağın kontrol edilmesine zorluk çıkartabilir. Ayrıca, basılı ürünün dağıtılmasında ve elleçlenmesinde tabakalar veya katlanmış imzalar arasındaki statik çekimden dolayı sorunlara sebep olabilir. Statik elektrik yükleri endüksiyon veya çeşitli cisimlerle temas yoluyla (örneğin kâğıt veya substratın personel tarafından elleçlenmesi sırasında) aktarılabilirler. Bu statik elektrik yükleri yeterince topraklanmamış bir kişinin üzerinde birikebilirler. (Safety Library Publication No. 17, *Safety in the Transportation, Storage, Handling, and Use of Explosive Materials.*)

3.5.1. Substratlar

3.5.1.1. Kâğıt

Kâğıt yüzeyinin karakteristiklerinin işleme sırasında üretilen statik elektrik yükü miktarı ile büyük bir ilişkisi vardır. Genel olarak, kâğıt üzerine baskı plastik substratlar ve başka sentetik malzemelerin üzerine baskıdan daha az soruna sebep olur. Statik elektrik yükü elleçleme prosesi sırasında kâğıt üzerinde birikir. Preslerde ve diğer elleçleme işlemlerinde, statik elektrik yükü kâğıt rulolarını süren kayışlar, ağır tahriksiz merdaneler ve şekilli köşebentler üzerinde kayması, ağır bir tırnak içinde hareketi ve katlayıcıdaki fırçaların ve dağıtım kayışlarının hareketi ile üretilebilir.

Bazı operasyonlarda, statik elektrik yükü malzeme birikimi ve tabaka aktarımı gibi belirli operasyonları iyileştirmek için ağ üzerinde özellikle biriktirilir. Örneğin gravür baskıda, mürekkep aktarımını iyileştirmek için elektrostatik yardım kullanılır. Yüksek hızlı ofset ve yüksek hızlı gravür preslerinde, katlayıcıda şeritleri ve imzaları kontrol etmek için şerit dikimi kullanılır. (NFPA 99, *Standard for Health Care Facilities*, 2005 edition.)

3.5.1.2. Plastikler

Çoğu plastik film, son derecede yüksek yüzey ve kitle dirençleri ile karakterize edilirler. Bu direnç, statik elektrik yükünün merdaneler ve kayışlar gibi makine parçaları ile temasının ardından, çok az dağılma ile ağ üzerinde birikmesine sebep olur. (NFPA 99, *Standard for Health Care Facilities*, 2005 edition.)

3.5.1.3. Kumaşlar ve dokunmamış mamuller

Kumaşlar genelde doğal liflerin (genellikle higroskop ve yük gevşetebilen) ve sentetik liflerin (genellikle yüksek dirençli ve bir yük tutabilen) harmanlarından üretilirler. Kullanılan doğal lif oranı ne kadar azsa, sonraki operasyonlarda statik elektrik sorunlarının oluşması o kadar fazla olur. Kumaşlar kâğıt ve plastik filmler gibi incedirler ve statik elektriği benzer şekilde biriktirirler.

Dokunmamış mamuller genelde kendilerine üç boyutlu bir yapı sağlayan bir üst parçaya sahiptirler. Neredeyse tamamen sentetiklerdir, bu yüzden oluşum sürecinde büyük miktarda yük üretme ve tutma eğilimindedirler. Üst parçanın derinliği yüzünden bu yüklerin yok edilmesi daha zordur. Daha sonraki bir kaplama veya doyurma prosesinde,

liflerin bağıl hareketinden dolayı büyük miktarlarda yük yeniden birikebilir ve eğer üst para geri dönerse yine yükün yok edilmesi zor olabilir. Çözücüyle ıslatılmış örgü tabaka oldukça büyük bir yanıcı buhar hacmi içerir ve elektrostatik boşalım ateşlemeye sebep olabilir. (NFPA 99, *Standard for Health Care Facilities*, 2005 edition.)

3.5.2. Mürekkepler ve kaplamalar

Tipo presleri ve ofset presleri tipik olarak parlama noktaları 93°C'nin üzerinde olan çok az yangın veya patlama tehlikesi oluşturan sıvılardır. Ancak serigrafi, rotogravür ve fleksograf baskıda kullanılan mürekkepler genelde parlama noktaları 38°C'nin altında olan sıvılardır. Yangınlar, bu mürekkeplerde çözücülerin statik elektrik boşalımı veya diğer ateşleme kaynakları ile ateşlenebilen buharlar ile birlikte kullanılmasından dolayı oluşur.

Ağları kaplamak ve doyurmak için kullanılan çözeltiler ve süspansiyonlar çok çeşitlidir. Hâlâ ıslaklarken, su bazlı kaplamalar genelde süreç içerisinde oluşan yükleri dağıtacak kadar iletkenlerdir, ancak ağ üzerinde ateşlenebilir bir buhar katmanı oluşturabilecek ufak çözücü erişimleri bulunabilir. Ancak kuruduklarında, bu kaplamalar her zaman yükü dağıtamayabilirler, ama bu noktada nadiren buhar kalmış olur.

Yanıcı çözücü bazı mürekkepler ve kaplamalar yalıtkan ve dolayısıyla yük dağıtamaz kabul edilmelidir. Mürekkep veya kaplamadaki iletkenlik artırıcıların yüksek işlem hızlarında yükü dağıtmaya yardımcı olacaklarına güvenilemez. Kaplama çözeltisi iletkenliğinin ölçülmesi statik oluşumu ve dağılım karakteristiklerini belirlemek için ek veri sağlayabilir.

Gravür baskıda kullanılan siyah mürekkepler genelde yalıtkanlardır. Siyah mürekkep, özellikle de kaplamasız kâğıtlarda kullanılan siyah mürekkep birikmeleri lastik baskı merdanelerinden yıkanır veya temizlenirken, mürekkep yapısındaki reçine alınarak iletken bir karbon kalıntısı (yani pigment) bırakabilir. Eğer bu iletken kalıntı merdanelerden iyice silinmezse, merdaneden silindire veya diğer topraklı pres parçalarına doğru kıvılcımlanma ve ark oluşabilir.

3.5.3. Proseslerde Statik Elektriklenme

3.5.3.1. Baskı presleri

Bütün diğer etkenler eşit olmak üzere, yüksek hızlarda çalışan baskı presleri daha fazla statik elektrik üretirler. Örneğin bir rotogravür presi, lastik merdane substratın mürekkeple ıslatılmış desenli merdaneye bastırırken statik elektrik üretebilir. Yük desenli merdaneden substrata aktarılabilir. Çok renkli bir preste de, her renk için benzer bir düzenleme vardır. Yük üretimi, merdaneler ile merdane ile yapılan açının arasındaki basıncın bir fonksiyonudur. Kullanılıyorsa, elektrostatik yardım (ESA) süreçleri substrat üzerine büyük miktarlarda yük bırakabilirler. (NFPA 70, *National Electrical Code*®, 2005 edition.)

3.5.3.2. Kaplama

Ağ malzemelerinin kaplanması çok çeşitli ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bazı kaplama süreçleri tasarımlarından dolayı tehlikeli miktarlarda statik elektrik yükü üretirken, bazıları da çok az etkiye sebep olur. Yüksek yük üretimi oranların sebep olan çalışma koşulları arasında gravür kaplamada olduğu gibi merdaneler ile ağ arasındaki büyük kuvvetler bulunur. Bu yüksek üretim hızı, kaplama merdanesi boyunca bir gerilim farkı korunduğunda artar, ki bu da kaymaya sebep olur. Sonuç, büyük miktarda ateşlenebilir buhar ve büyük bir sıvı yüzey alanının bulunduğu noktada oldukça büyük bir yükür. Kauçuk yedek merdane de bir ateşleme tehlikesi oluşturacak kadar elektrostatik yük biriktirebilir. Merdane üzerinde bir elektrostatik yük nötrleştiricisine gerek olabilir. (NFPA 70, *National Electrical Code*®, 2005 edition.)

3.5.3.3. Doyurma

Doyurma, sıvının ağın deliklerini doldurması için bir ağın bir sıvıya daldırılması işlemidir. Ardından fazla sıvı sıkılır veya ağın her iki tarafından da silinir. Doyurma işlemleri sırasındaki elektrostatik yüklenme genellikle çoğu ağ için bir sorun değildir. Ağın büyük bir üst parçalı dokunmamış bir malzeme olduğu ve sıvının yanıcı ve düşük iletkenlikte olduğu durumlarda, bir statik elektrik tehlikesi oluşabilir. (*Merriam-Webster's Collegiate Dictionary*, 11th edition, Merriam-Webster, Inc., Springfield, MA, 2003.)

3.5.3.4. Kalandırlama

Kalandırlama, bir substratın genelde düzgün olan merdaneler arasında yüksek basınçta sıkıldığı bir işlemdir. İşlem, bir dergi kapağı malzemesi gibi düzgün yüzeyli yoğun bir ürün oluşturmak için kullanılır. Ayrıca kauçuk ve plastik gibi malzemelerden ağ çekmek ve oluşturmak için de kullanılır.

Yüksek basınçların ve malzemelerin nipli merdaneler arasında çalışması ile oluşan yakın temas ağ üzerinde yük oluşturur. Yüklenme, nip çıkışında bir korona boşalımı oluşturacak kadar yüksek olabilir.

Yanıcı sıvılar genelde mevcut olmadığı için, statik elektrik yükünün etkisi operatörü elektrik çarpması ve ağ elleçleme sorunlarıdır. Statik nötrleştiriciler yükü etkin biçimde yok edebilirler. (*Merriam-Webster's Collegiate Dictionary*, 11th edition, Merriam-Webster, Inc., Springfield, MA, 2003.)

3.5.3.5. Ağ elleçleme ve dönüştürme

Ağın işleme makinesi içinden geçtiği yol genellikle pek çok merdane üzerinden yönlendirilir. Ağın merdaneler üzerindeki hareketi sürtünmeden dolayı statik elektrik üretir. Serbest dönen bir tahriksiz merdane ağa çok az yük katar. İşlemin sürati 60m/dak üstüne çıktığında, ağ ile merdane arasına hava çekiler, temasın yakınlığı ve dolayısıyla yük üretim hızı azalır. Ancak eğer merdane serbestçe dönmezse, ağ merdane yüzeyinde kayar ve büyük bir statik elektrik yükü oluşturabilir. Merdanelerin her zaman serbest dönmelerini sağlamak için periyodik muayene ve bakım yapılmalıdır.

Büyük ağılı ürün rulolarının bitmiş ürüne çevrilmesi kesme, tabakalama, katlama ve ambalajlama gibi işlemleri içerir. Bu işlemlerde pek çok temas yüzeyi bulunur ve bu işlemlere ait makineleri imal etmekte kullanılan malzemeler statik elektrik karakteristiklerinden ziyade dayanıklılıkları ve aşınmaya karşı dirençlerine göre seçilirler. Makineler, tesis alanında tasarruf açısından azami zemin alanı kaplayacak şekilde tasarlanırlar. Makineler sürekli olarak yük üreten ve statik elektrik yükünü bastıran merdaneler, kayışlar ve çerçeve ile doludur ve statik elektrik nötrleştiricilerinin kurulması için minimal bir alan bulunur. Bunun sonucu ise ölçülmesi ve kontrol edilmesi zor olan bir statik elektrik sorunudur.

Sorunlar aşağıdakileri içerir:

1. Ürün yapışması veya uçuşması
2. Makine sıkışmaları
3. Yanlış hizalanmış ürün yığınları
4. Kötü ürün ruloları
5. Kötü ambalajlar

Işığa duyarlı malzemelerde, yük sadece müşteri şikâyette bulunduğunda ortaya çıkan ürün hasarına sebep olabilir. (*Merriam-Webster's Collegiate Dictionary*, 11th edition, Merriam-Webster, Inc., Springfield, MA, 2003.)

3.5.3.6. Şerit dikme

Yüksek hızlı ofset ve gravür preslerinde, imzaların katlayıcıya getirilmesini iyileştirmek için yüksek gerilimli dikim kullanılır. Bu yüksek gerilimli cihazlar çökeltmiş kağıt tozun birikimlerine maruz kalan yerler için uygun olmalıdır. (*Merriam-Webster's Collegiate Dictionary*, 11th edition, Merriam-Webster, Inc., Springfield, MA, 2003.)

3.5.4. Statik elektriğin kontrolü

Yüksek çalışma hızları, substrata yanıcı sıvıların uygulandığı alanların hemen yakınında yanıcı buhar hacimlerinin artması olasılığı ile sonuçlanır. Kapalı mürekkep gravür çeşmesi gibi kaplama teknolojileri, uygulama alanında yanıcı buhar hacmini en aza indirmişdir. Çözücü buharları mekanik havalandırma yoluyla alt yanıcılık limitinin (LFL) altında seyreltilebilir. Havalandırma sisteminin performansı buharların kaynaklarına olabildiğince yakın yerlerde yakalanmasıyla optimize edilir. Havalandırma sistemi, sürecim güvenli çalışmasını sağlamak için ekipmana kenetlenmelidir. Uygulama sürecine ve substrata yakın alanlarda buharlar her zaman yanıcılık aralığında olurlar.

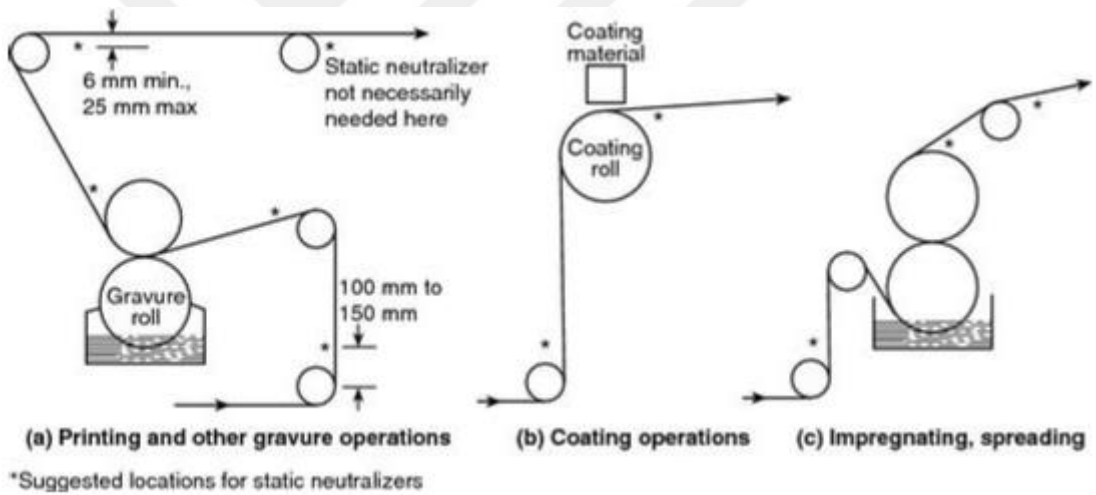
Statik elektrik yükünün proses makinesinden çıkartmanın yaygın bir yöntemi makinenin topraklanmasıdır.

Makinenin topraklanmasının etkili olması için, makinenin bütün iletken parçalarının elektriksel olarak birbirlerine bağlanması gerekir.

İşlenen malzemenin üzerindeki yükün belirtilen topraklama ve bağlama ile yok edilmediğine dikkat edilmelidir.

Yük nötrleştirmesinin iyonlaştırma yöntemi, presler ve kaplayıcılardaki ağların üzerindeki statik elektriği kontrol etmenin en etkin yoludur. *Statik yok etme çubukları* veya *endüktif iyonlaştırıcılar* olarak da anılan nötrleştiriciler yaygın olarak substrata yakın kullanılırlar, ancak substrata değmemelidirler.

İşlemdaki herhangi bir noktada yük azalması sürecin sonraki adımlarında yük üretilmesini engellemez. Belirli yerlerde statik nötrleştiriciler gerekli olabilir.



Şekil 19 Tipik Statik Elektrik Nötralizasyonu

Yüksek hızlı işlemler tek bir yerde ikinci bir statik nötrleştirici gerektirebilirler, ama iki taneden fazla kullanılması ek fayda getirmez. Nötrleştiriciler ağın tam genişliği boyunca uzanmalıdır. Hızlı çalışan presler için, bir çubuk üzerine sarılmış sim veya topraklanmış iğne uçları gibi endüktif nötrleştiricilerin, 12 ila 25 mm aralıklı olarak ve her baskı merdanesinin giriş ve çıkış tarafına yerleştirilmiş haldeyken çok etkin oldukları görülmüştür.

Bütün nötrleştiricilerde olduğu gibi, konumlandırma önemlidir ve ayrı kurulumların etkinliği kalıntı yük veya gerilimin alan ölçümü ile doğrulanmalıdır.

0.01 m² kadar küçük bir ağ alanı veya çapı 115 mm olan bir alan yangına sebep olabilecek bir boşalım açığa çıkartabilir. Nötrleştirici topraklanmış makine parçalarından veya ağın merdanelerle desteklendiği alanlardan olabildiğince uzağa kurulmalıdır.

Başlangıç endüktif iyonlaştırıcının yeri, merdane teğeti (yani ağ çıkışı) uzundan 100 mm ila 175 mm ve ağdan 6 mm ila 25 mm uzakta olmalıdır. Bu yüzden, merdaneden sonraki ilk nötrleştiricinin merdaneye kısmen iyonlaştırması engellenecek, ama yüksek yük alanını en aza indireyecek kadar yakın yerleştirilmesi gerekebilir. Yükü istenilen ölçüde indirmek için, merdaneni alt kısmına ek bir veya iki nötrleştirici konulması da gerekebilir.

Kritik merdanelerin yakınındaki son yer, görünür gerilimin belirttiği şekilde ağ yükünü en aza indireyecek şekilde ayarlama ve ölçüm ile belirlenmelidir.

Sim veya iğne uçları temiz ve keskin oldukları sürece işlevlerini sürdürebilirler.

Kirleticilerin (örneğin mürekkep, kaplama çözeltisi veya kâğıt tozu) korozyon ürünlerinin birikmesi etkin bir bakım programı ile kontrol edilmelidir.

Nötrleştiricilerin gözle muayenesi ve performans doğrulaması, süreç koşullarının nötrleştiricilerin performansını nasıl etkilediğine bağlı olan aralıklarda yapılmalıdır.

Geçmişte giysiler ve zemin kaplamaları gibi ortamdaki malzemelerin üzerindeki statik elektrik yükünü azaltmak için nemlendirme kullanılmıştır. Ancak, modern yüksek hızlı operasyonlarda, kâğıt ve plastik filmler gibi yalıtkanlar nemli havaya maruz kaldıkları kısa süre içerisinde atmosferden yüzey iletkenliklerini arttıracak kadar soğuramazlar. Plastikler genelde nemli atmosferlerde bile elde edilen yüzey nem katmanında iyonlaşmış molekül olmaması nedeniyle yeterince iletken hale gelmezler. Dolayısıyla, bu tür işlemlerde nemlendirme bir statik elektrik kontrolü yöntemi olarak kullanılmamalıdır. (ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, P.O. Box C700, West Conshohocken, PA19428-2959.)

3.6. Boya ve Sprey Uygulamalarında Statik Elektriklenme

Sıvı veya tozların (örneğin boyalar, kaplamalar, yağlama yağları ve yapıştırıcılar) püskürtmeli uygulamasını gerektiren işlemler spreycihazında ve püskürtmenin uygulandığı cisimler ile püskürtme alanındaki diğer cisimler üzerinde statik elektrik yükü birikmesine sebep olabilirler. Eğer püskürtülen malzeme ateşlenebilirse, statik elektrik boşalımı bir ateşlenme ile sonuçlanabilir.

Elektrostatik püskürtme uygulamasının yapılmasında veya servisinde yer alan personelin ekipmanın üreticisinin tavsiye ettiği çalışma prosedürleri ve püskürtme uygulanan malzemeler ve kalıntıları ile ilgili tehlikeler konusunda eğitilmelidirler. (ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, P.O. Box C700, West Conshohocken, PA19428-2959.)

3.7. Makine Kayışları ve Konveyörlerinde Statik Elektriklenme

Güç iletimi için kullanılan düz veya V şeklinde kauçuk ya da deri kayışlar ile katı maddelerin nakli için kullanılan kayışlar, eğer yanıcı gazlar ya da buharların ateşlenebilir derişimleri veya tutuşucu gazlar veya liflerin bulunma olasılığı varsa, düzeltici işlem gerektiren statik elektrik yükleri üretebilirler. Aşağıdakilerden birisi arttığında üretilen yük miktarı da artar:

1. Kayış hızı
2. Kayış gerilimi
3. Temas alanının genişliği

3.7.1. Düz Kayışlar

Sentetik, kauçuk veya deri düz kayışlar genelde iyi yalıtkanlardır, çünkü çalıştırıldıklarında kurudurlar ve sürtünmeden dolayı yükselen sıcaklıklarda çalışırlar. Kayışın makaradan çıktığı durumlarda statik elektrik yükü üretilmesi oluşur ve bu durum hem iletken hem de yalıtkan makaralarda oluşabilir.

Kayışlarda statik elektrik yükü birikmesi iletken malzemelerden yapılmış kayışlar kullanılarak ya da kayışa iletken bir giydirme uygulanarak önlenabilir.

Eğer bir giydirme kullanılırsa, sık sık yeniden uygulanmalıdır, yoksa kayışın iletkenliği azalır. Bir giydirme kullanılsın veya kullanılsın, kayışlarda birikim olmamalıdır.

Hem iletken hem de yalıtkan kayışların yük üretebileceğine ve bu yükü nakledilen malzeme ya da cisimler üzerine bırakabileceğine dikkat edilmelidir.

Uçların kayışın iç tarafına yakın ve kayışın makaradan ayrıldığı yerin birkaç santimetre uzağında olacağı şekilde yerleştirilen bir elektrostatik nötrleştirici de yükün çoğunun boşaltılmasında etkilidir. (NFPA 496, *Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment*, 2003 edition.)

3.7.2. V kayışlar

V kayışlar tehlikeli statik elektrik yükü birikimlerine düz kayışlar kadar duyarlı değildir. Ancak, belirli sıcaklık ve nem koşulları altında bir V kayışı önemli miktarda yük üretebilir.

Gazların, buharların, tozların veya liflerin ateşlenebilir karışımlarının bulunduğu durumlarda, statik elektrik boşalımı ile ateşlenmeyi önlemek için tercih edilen yöntem bir kayış yerine bir doğrudan sürücü kullanmaktır. (NFPA 496, *Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment*, 2003 edition.)

3.7.3. Konveyör Kayışları

Katı maddelerin nakledilmesi için kullanılan kayışlar genellikle statik elektrik yüklerinin birikmesini önleyecek kadar yavaş hareket ederler. Ancak, eğer nakledilen malzeme çok kuruyorsa veya kayış ısıtılmış bir ortamda ve yüksek hızlarda çalışıyorsa, önemli miktarda yük üretilebilir.

Bir konveyör kayışının sonundan bir huniye veya bacaya dökülen malzeme önemli miktarda yük taşıyabilir. Bu durumlarda, kayış desteği ve uç makaraların

elektriksel olarak topraklanması veya huni ya da bacaya bağlanması gerekir. Konveyörün sonuna yakın kurulmuş pasif veya aktif bir nötrleştirici de yükün azaltılmasına yardımcı olabilir. İletken veya antistatik kayışların iletilen üründen statığı çıkartmaları beklenemez. (NFPA 496, *Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment*, 2003 edition.)

3.7.4. Makaralar ve Şaftlar

Metal makaralar, üzerlerinde çalışan kayışın taşıdığı yüke eşit ve zıt bir yük biriktirebilirler. Bu yük tipik olarak destek şaftına, ardından yataklar aracılığıyla ekipmana ve oradan da toprağa geçer. Yalıtkan malzemelerin metal parçaları yalıtıldığı durumlarda, bu parçaların ayrı olarak bağlanması veya topraklanması gerekebilir.

Yağlanmış yataklar şafttan bir statik elektrik yükünün sağılmasına izin verecek kadar iletkenlerdir. Ancak, çok yüksek hızlarda çalışan yataklar boyunca iletkenlik, üretim hızının da yüksek olduğu durumlarda, yük birikimini önlemeye yeterli olmayabilir. Bu sebeple, yüksek hıza dönen şaftlar aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır:

1. Statik elektrik yükü birikimi açısından kontrol edilmelidirler.
2. Eğer gerekirse mahfazada kayar bir metal kontak aracılığıyla bağlanmalı veya topraklanmalıdırlar.

Çalışma sırasında bir yatak boyunca etkin direnç sıradan bir ohmmetre ile aşağıdaki şekilde ölçülebilir:

1. Uçlardan birisi topraklı makime çerçevesine yerleştirilmelidir.
2. Diğer ucun kayan elemana dayanması sağlanmalıdır.

Yaklaşık 10^4 ohm luk bir değer beklenir. Eğer 10^5 ohm dan büyük bir değer bulunursa, zaman içinde 10^6 ohm u aşabilecek yükleri önlemek için yedek bir topraklama fırçası veya pabucu gerekebilir. Topraklanma fırçası periyodik olarak kontrol edilmeli ve bakımı yapılmalıdır.

Fırçasız kritik yataklar periyodik olarak ölçülmelidir. (NFPA 496, *Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment*, 2003 edition.)

3.7.5. Kayışlar ve Konveyörlerin Bakımı

Statik elektrik üretilmesi olasılığını azaltmak için, kayışlar ve konveyörler kayma veya tıkanmaya karşı sık sık muayene edilmelidirler.

Tehlikeli ortamlarda çalışan tahrik sistemleri kayma olmadan duracak şekilde tasarlanmalıdır.

Yağlama yağı statik elektrik yüklerinin yok edilmesini önlemez. Dolayısıyla, bütün yataklar düzgün şekilde yağlanmalıdır. Ancak, statik elektriğin yağlama yağı filmi üzerinden akışı bazen yatak yüzeylerinin aşınmasına sebep olabilir. Şaft veya makara üzerinde çalışan iletken bir topraklı fırça yatakların aşınmasını önler. (NFPA 496, *Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment*, 2003 edition.)

3.8. Patlayıcılar ve Statik Elektriklenme

Çoğu patlayıcılar ve katı yakıt olarak kullanılan maddeler dışarıdan herhangi bir katkı olmadan patlayıcı bir tepkimeyi besleyecek kadar oksitleyici içerirler. Bu maddeler statik elektrik boşalmasına duyarlıdır ve eğer uygun önlemler alınmazsa son derece tehlikeli olabilirler. (Institute of Makers of Explosives, 1120 Nineteenth Street, NW, Suite 310, Washington, DC 20036-3605.)

3.9. Katot Işını Tüplü Video Görüntüleme Terminalleri ve Statik Elektriklenme

Katod ışını tüplü (CRT) video görüntüleme terminallerinin yüzünde, özellikle de renkli monitörlerde ve renkli televizyonlarda genellikle bir statik elektrik yükü mevcuttur. Bu yük, CRT 'nin yüksek enerjili elektron ışınının ekranın iç yüzeyi üzerinde görüntüyü "yazmasının" doğrudan bir sonucudur. Yük ekranın yalıtkan yüzeyi üzerinde birikir ve eğer boşalım oluşursa yanıcı bir atmosferi ateşleyebilecek enerjilere erişebilir. Bu tür bir atmosfer çalışan veya kısa bir süre önce çalışmış olan bir CRT' nin ekranı izopropil alkol gibi yanıcı bir sıvı içeren ticari bir temizleyici ile ıslatılmış bir bez veya mendil ile ya da yanıcı gazlı bir itici kullanan bir sprey temizleyici kullanılarak oluşturulabilir. Statik elektrik yükü CRT ekranından aksesuarlar veya uygun prosedürler ile yok edilebilir. Sıvı kristal ekranlar, gaz plazma ekranlar ve vakum flüoresan ekranlar gibi başka video

görüntüleme terminalleri benzer statik elektrik etkileri sergilemezler. Ancak, bu diğer ekranların tehlikeli yerlerde kullanım için kendiliklerinden güvenli oldukları anlamına gelmez.

Tehlikeli olarak sınıflandırılan bir endüstriyel ortamda, tehlikenin kontrolü için, sadece mühendislik yöntemleri kabul edilir.

Mevcut olan yüksek gerilimlerden dolayı artırılmış veya basınçlı bir mahfaza içerisinde tutulmalıdır.

Ekranın yüzeyinden bir statik elektrik boşalımına karşı korunma için, ekran çevresindeki ortama maruz bırakılamaz, mahfaza içerisinde bir pencere arkasına konulmalıdır.

Tehlikeli olmayan yerlerde CRT ekranının üzerinde konulan statik elektrik dağıtıcı ticari bir ekran kullanılarak statik elektrik yükü toprağa bir bağlantı aracılığıyla dağıtılabilir. Bindirmenin toprak bağlantısı, elektrik çarpmasını veya bir ateşleme yapabilecek kıvılcımı önleyecek şekilde emniyetli olmalıdır. CRT ekran üzerindeki yükü azaltmak için güvenli bir prosedür, bir çözücü bazlı temizleyici kullanmadan önce ekranı su ile ıslatılmış bir bez veya mendille silmektir. Bu hareket, aşırı yükü operatörün vücudu üzerinden boşaltır. İdeal olarak, yanmaz veya düşük uçuculukta temizlik maddeleri kullanılmalıdır. (NFPA 496, *Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment*, 2003 edition.)

4. BULGULAR

Pratikte, statik elektrik yüklerinin meydana geldiği olaylara şu şekillerde örnek verebiliriz:

1. Fırtınalı havalarda, atmosferdeki bulutlarda statik elektrik yükü birikir. Bu yük, hava hareketlerindeki sürtünmelerden ve yağmur damlacıklarının sürekli çatlamasından oluşur. Neticede farklı polaritedeki bulutlar arasına ve bulutla yer arasında, bu statik elektrik yüklerinin boşalması kendini yıldırım şeklinde gösterir.
2. Çok yüksek hızla mesafe kat eden uçaklarda, yüksek sürtünme kuvveti sebebiyle büyük değerlerde statik elektrik yükü toplanır. Bunlar uçağın bazı yerlerinde, bilhassa kanatlarındaki sivri uçlar vasıtasıyla sürekli olarak boşluğa atılır. Bilindiği gibi, sivri uçlar fazla elektrik yükünü etrafa yayarlar. Eğer bu boşaltma işi, havada devamlı yapılmıyorsa, uçaklar yere inerken meydana gelebilecek şiddetli deşarjlar sebebiyle uçağın infilak etmesi bahis konusu olurdu.
3. Sanayiden bir örnek, tabanca boyası (spray painting) işlemidir. Tabanca memesinde, basınçlı hava ve boya karışımının sürtünmesi sebebiyle statik elektrik yükleri oluşur. Bu yüklerin sürekli olarak boşaltılması gerekir. Aksi takdirde, meydana gelebilecek deşarj arkı mevcut parlayıcı ortamı tutuşturabilir.
4. Sanayiden diğer bir örnek, transmisyon tertibatlarındaki miller, yataklar, kayış ve kasnaklarla biriken statik elektriktir. Bu yük de sürtünme sebebiyle oluşur. Bu yükün boşaltılması için ise topraklanmış metal taraklar kullanılmalıdır.
5. Kimya sanayinden bir örnek, sıvıların ve özellikle parlayıcı sıvıların boru donanımından nakli, depolanması, bir kaptan diğerine aktarılması esnasında ortaya çıkan statik elektriktir. Aynı elektrik yükü toz halindeki katı partiküllerin bir boru donanımından nakledilmesi esnasında da meydana gelir.

4.1. Üretim Tesislerinde Statik Elektrik Kaynaklı Oluşan Kaza Örneklemeleri

4.1.1. Barton Solvent Tesisinde Statik Elektrik Kaynaklı Patlama

Kansas, 17.06.2007 tarihinde saat 09:00 sularında Barton Solvent tesisinde kimyasal dağıtım tesisinde bir dizi yangın ve patlamalar serisi meydana geldi. Civarında 6000 civarında konut bulunmaktaydı ve 11 sivil ve 1 itfaiyeci yaralandı. Tank içerisindeki hava ve kimyasal gazın statik elektrik sonucu patladığı tespit edildi.

Resim 1 Barton solvent fabrikası kazası

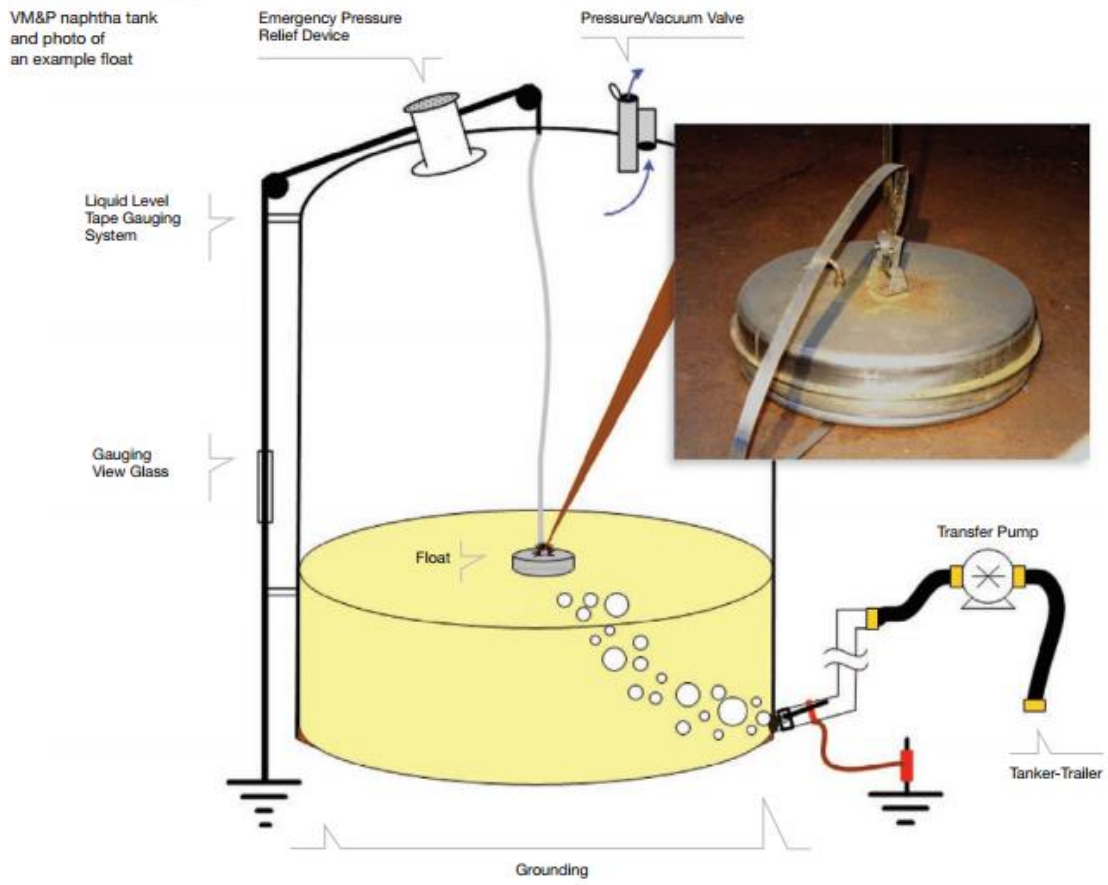


Kaynak: (<http://www.csb.gov/csb-issues-final-report-on-barton-solvents-explosion-calls-on-osha-and-trade-associations-to-improve-material-safety-data-sheets-for-nonconductive-flammable-liquids-safety-video-with-animation-released/>)

Son bilirkişi raporunda kazanın meydana gelişi ile ilgili olarak tankın içerisindeki seviye tespit şamandırasının sallanmasından kaynaklanan sürtünme sonucu oluşan statik elektriklenmenin yarattığı kıvılcımın yol açtığı tespit edildi.

Kaza günü VM&P Nafta taşıyan ait tanker 15.000 galonluk (56.781litre) yerüstü depolama tankına aktarma yapmaya geldi. Operatör, tankeri yerüstü tankının aktarma ekipmanına düzgünce bağladı ve ekipman da topraklıydı.

Resim 2 15.000 galonluk yerüstü tankı

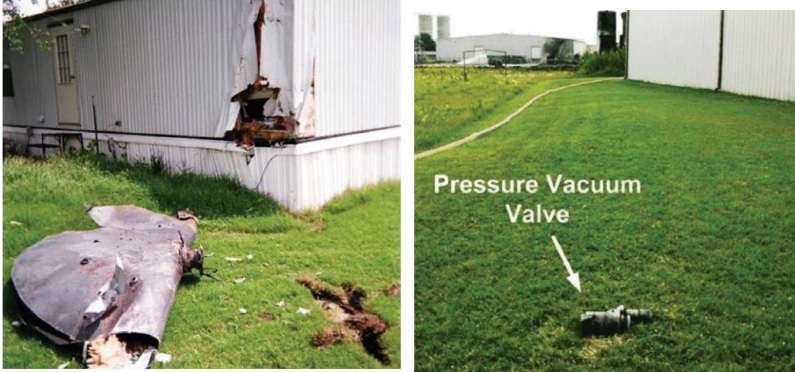


Kaynak: (http://www.csb.gov/assets/1/19/csb_study_barton_final.pdf)

Patlama ile birlikte tank 130 feet uzağa fırladı ve etrafı siyah bir duman sardı. Tanklar patlama ile birlikte bir ateş topu gördüklerini söylediler. Aynı dakika içerisinde iki tank daha patladı ve yangın büyüdü. Tankların içindeki tüm kimyasallar toprağa yayıldı. Alevlerin ve basıncın da etkisi ile tank çiftliği içindeki tankların çelik kapakları, vanaları ve boruları 10-12 feet uzağa fırladı.

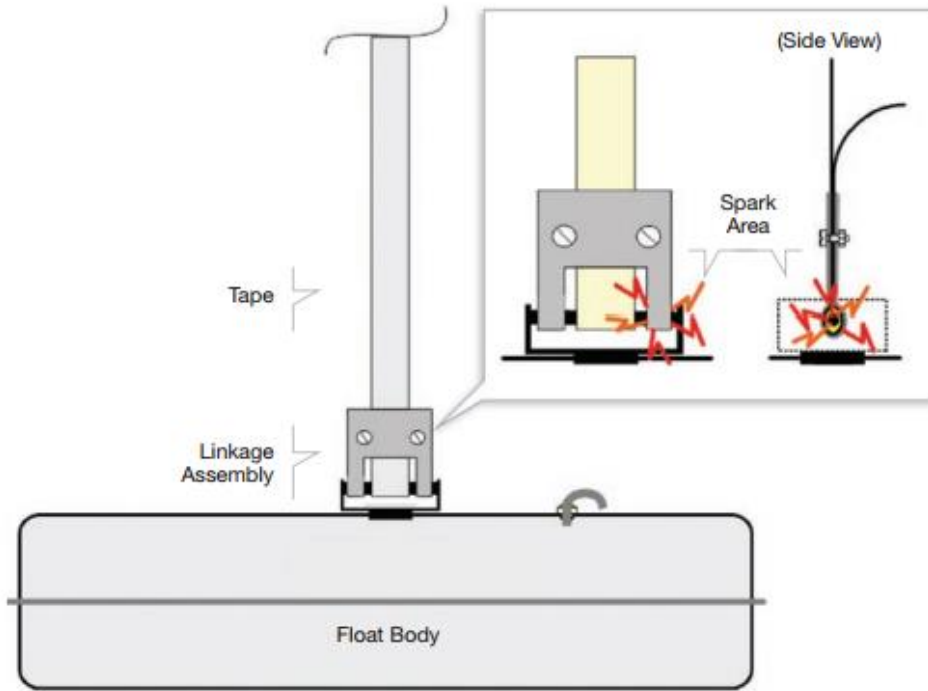
Tanklardan birinin kapağı 300 feet uzaklıktaki bir eve isabet etti ve vakumlu basınç valfi ise 400 feet uzaktaki komşu işletmeye fırladı.

Resim 3 Patlama sonrası etrafa fırlayan tank parçaları



Kaynak: (http://www.csb.gov/assets/1/19/csb_study_barton_final.pdf)

Depolama tankı 15.000 galon hacmindeydi ve tank içerisindeki şamandıra gizli bir tehlike yarattı Şamandıranın oluşturduğu kıvılcım tankın boş kısmındaki kimyasal buharın alev almasına sebep oldu.

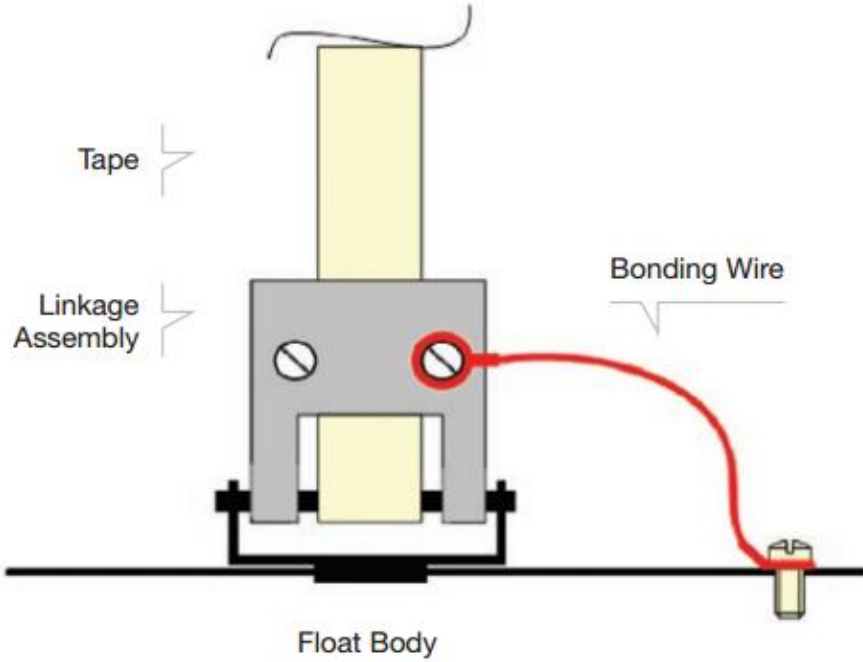


Şekil 20 Şamandıranın detaylı görüntüsü ve statik elektrikleme

Kaynak: (http://www.csb.gov/assets/1/19/csb_study_barton_final.pdf)

Kaza sonrası alınan önlemler ise:

Statik elektrik sıvıların borular, vanalar ve filtrelerden akarak transferi sırasında üretilir. Doğru bağlantı ve topraklama statik elektrik birikmesini ve ateşlenmesini önler. Statik kıvılcım kolayca birçok yanıcı ve parlayıcı sıvıların buhar-hava karışımlarının ateşleyebilir. Topraklama baraları ile iletken nesnelerin (örneğin, çelik tanklar) potansiyeli eşitleyerek topraklama vasıtasıyla biriken statik elektrik ya da yıldırım düşmesine karşı korunma sağlanmış olur.



Şekil 21 Kaza sonrası şamandıra topraklama bağlantısı

Kaynak: (http://www.csb.gov/assets/1/19/csb_study_barton_final.pdf)

Tankerden boşaltım yapılırken transfer esnasındaki kesintiler çalkalanma ve hava etkisi ile baloncuk oluşumuna sebep oldu. Aynı zamanda tank içindeki boşluğun hava gaz

karışımı ile dolmasına sebep olmuştur. Tank içindeki bu çalkantı ve kabarcıklar şamandıranın sallanmasını artırarak kıvılcım oluşmasına etki etti.

4.1.2. Akaryakıt İstasyonunda Yakıt Boşaltırken Alev Alan Tanker

Olay, 10.03.2011 tarihinde İZMİR’ in Çınarlı semtindeki bir akaryakıt istasyonunda Engin Koçak yönetimindeki tanker, akaryakıt istasyonuna benzin boşaltırken alev aldı.

Resim 4 Akaryakıt istasyonunda yakıt boşaltırken alev alan tankeri



Kaynak: www.milliyet.com.tr

Akaryakıt Denetim Uzmanı Bilirkişinin hazırladığı rapor dava dosyasına girdi. Raporunda, yangının hortum içinden geçen yakıtın sürtünmesi ile oluşan statik elektrik sonucu çıktığını belirtildi.

4.1.3. Boya Fabrikası Statik Elektrik Kazası

Olay, 10.10.2012 tarihinde saat 15:00 sularında, Tuzla Orhanlı Orta Mahalle'deki İstanbul Boya ve Vernikçileri Toplu İşyeri Sanayi Sitesinde 1500 metrekare üzerine kurulu Boya fabrikasında statik elektrik kaynaklı yangın çıktı.

Yangın tankerden depoya solvent bazlı hammaddenin boşaltılması sırasında oluşan statik elektriklenme nedeniyle yandı. Oluşan kıvılcımların ardından yaşanan şiddetli patlamalarla birlikte alevler bir anda fabrikayı sardı. Yangında fabrika ile birlikte solventin bulunduğu tanker ile bir kamyon alevler içinde kaldı.

Resim 5 Boya fabrikası kaza anı



Kaynak: <http://www.hurriyet.com.tr/gundem/21666546.asp>

Alevlerin yandaki boya ve tiner fabrikasına sıçrama riski yaşandı. İtfaiye 62 araç ve 171 çalışanla, faciaya neden olabilecek hammadde dolu tankeri patlamaktan son anda kurtardı. Patlamalarla büyüyen yangında iki işçi yaralandı.

4.2. Farklı Endüstrilerde Statik Elektrik İle İlgili Tedbirler Ve Uygulamalar

4.2.1. Çakmak Dolum Fabrikasında Statik Elektrik Tedbirleri

A firması, İstanbul ili Tuzla ilçesinde, tıraş bıçağı ve çakmak sektöründe faaliyet göstermektedir. İşyerinde çakmak imalatı ve gaz dolumu yapılmaktadır. İşyeri, 23.070 m² kapalı alana sahip olup 49.000 m²'lik alanda faaliyetini sürdürmektedir, 550 işçi çalışmaktadır.

Gaz dolum bölümünde bütan gazı kullanılarak, proseste ki boş çakmak gövdelerine pistonlarından dolum yapılmaktadır. Bu esnada makinenin kanallarına bir miktar sıvı bütan taşmakta ve dolayısıyla ortama yayılmaktadır.

Tamamen yangına karşı korunmuş duvarlar, dışarıya açılan acil durum kapısı ve tüm kullanılan ekipman exproof yapılması ile yangına karşı korunmaktadır.

Resim 6 Statik elektriklenmeye karşı bakır levha



Gaz dolumu yapılan bölüm, tesis içerisinde ayrı bir bölümdedir ve alınan önlemler şöyledir:

- a. Çakmak dolum tesisine girişte, vücutta biriken statik elektrik için topraklama levhası bulunmaktadır ve sadece görevli personelin girişine izin verilmektedir.
- b. Cep telefonu vb. elektronik cihazlarla ve sigara gibi yanıcı maddeler ile bu bölgeye girmek tehlikeli ve yasaktır.
- c. Kapı ve raflar ayrıca içerideki tüm makinelerin gövde topraklamaları da yapılmıştır.
- d. İçeride yayılan bütan için havalandırma tertibatı bulunur ve sensör sistemli bu havalandırma sistemi bölümün taban kısmındaki kanallardan otomatik olarak çalışan ve tribünlerle bütanı dışarıya atar. Havalandırma kanalları ve motorlar Exproof malzeme kullanılarak donatılmıştır.
- e. Bu bölümdeki tüm aydınlatma kaynakları Exproof malzemedendir.
- f. Topraklama yapılan bütün yüzeyler topraklama baralarına bağlıdır.
- g. Topraklama tesisatı ve elektrik tesisatı ölçümleri EMO yıllık olarak yaptırılmaktadır.
- h. Köpük sistemi ile donatılmış otomatik yangın algılama ve söndürme sistemi mevcuttur.
- i. Zemin ise yalıtkan epoksi malzeme ile kaplanmıştır. Tüm çalışanlarda statik elektrik birikimine karşı antistatik kıyafet kullanılmaktadır.

Resim 7 Çakmak dolum tesisi üretim hattı görüntüsü



4.2.2. Boya Fabrikasında Statik Elektrik Tedbirleri

Boya fabrikası 20000 m2 alanda kuruludur ve 110 çalışanı vardır. Statik elektrik tehlikeleri ve alınan önlemler yönünden incelenmiştir. 1993’de ilk üretim binası tamamlanarak faaliyete geçen boya fabrikasına ek olarak, 2008’de yeni üretim binası tamamlanarak faaliyete alınmıştır.

“Üretim alanlarında kullanılan ekipmanların tamamı exproof özelliktedir.”

Resim 8 Gebze organize sanayii bölgesinde bir boya fabrikası



4.2.2.1. Yasal sorumluluklar

Yasal sorumluluklar çerçevesinde çalışılmakta, çalışanlar yıllık olarak periyodik sağlık kontrollerinden geçirilmektedir. Fabrika bünyesinde iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi ve revir aktif olarak kullanılmaktadır.

Tüm çalışanların mesleki eğitim sertifikaları bulunmaktadır. Boya sektöründe mesleki eğitim sertifikası alan ilk firmadır. Bakım operatörleri ATEX eğitimi almış sertifikalı çalışanlardır ve ekipman bakımlarından sorumludur. Eğitim çalışmaları mevzuata uygun olarak yıllık tekrarlanmaktadır. Tool-box talk eğitim projesi kapsamında haftada 2 gün her departman belirlenen eğitimleri personellerine imzalı olarak vermektedir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan satış sorumluları için online eğitim sistemi yapılarak sertifikaları sınav sonrası iş güvenliği konusunda eğitimleri tamamlanmaktadır. Fabrika sahası içerisine giren taşeronlar gerekli eğitimleri aldıklarını deklare etmeden ve İSG eğitimi almadan fabrika sahasına kabul edilmemektedir.

Çalışanların kapsamlı sağlık tetkikleri yapılmaktadır ayrıca testler arasından kanser antijenleri de bulunmaktadır. 2012-2013 yıllarında ayrıca tam kapsamlı check-up yaptırılmıştır.

Aylık olarak iş güvenliği kurul toplantıları yapılmaktadır.

Tüm satış kadrosuna gerekli durumlarda kullanmaları için KKD çantaları yaptırılarak gönderilmiştir. Kullanılan tüm KKD' ler CE sertifikalı ve konusunda uzman markalardan tedarik edilmektedir. (3M, Draeger, Ansell vb.) Operatörler için antistatik ve alev almaz iş elbiseleri tedarik edilmektedir.

Tüm ekipman ve alanlar için ayrı ayrı risk analizleri yapılmıştır. Kullanılan tüm kimyasallar için ayrıca maruziyet risk analizi yapılmıştır. Üretilen mamullerin Türkçe güvenlik bilgi formları tüketiciye verilmektedir. Malzeme Güvenlik Bilgi Formları TSE'den onaylı personel tarafından imzalıdır. Tüm güvenlik bilgi formları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı sistemine yüklenmiştir. Kullanılan tüm hammaddelerin Türkçe tehlikelerini anlatan iş sağlığı ve güvenliği etiketleri fabrika sahasına girişte kullanılmadan önce yapıştırılmaktadır. Tüm hammadde ve mamullerin güvenlik bilgi formları çalışanların kolayca ulaşabileceği bir dolapta kontrollü kopya olarak saklanmaktadır.

Yıllık olarak yapılan eğitimlere ek olarak acil durum tatbikatları Organize Sanayii Bölgesi itfaiye müdürlüğü ile beraber ortaklaşa yapılmaktadır.

Fabrika sahası içerisinde gerekli izinler alınmadan kaynak işleri, yüksekte çalışma işleri ve temizlik işleri yapılmamaktadır.

ADR kapsamında sertifikalı personel ve Ulaştırma Bakanlığı'ndan alınmış izinler bulunmaktadır.

Mevzuat gereği Patlamadan Korunma Dökümanı da bulunmaktadır.

Üretim sahası içerisinde exproof özellikte olmayan herhangi bir ekipman bulunmamaktadır. Kaldırma ve yürütme araçları periyodik olarak kontrol edilerek raporlanmaktadır. Tüm yangın sistemi ve söndürücü ekipmanlar periyodik olarak kontrol edilerek raporlanmaktadır.

ISO 9001, ISO 14001 ve OHSAS 18001 sertifikasyonuna sahiptir. Ayrıca Norveç merkez ve tedarikçilerden tarafından periyodik olarak denetimler geçirmektedir.

Yıllık olarak tüm iş güvenliği hakkında detaylı rapor gönderilmektedir.

Meydana gelen iş kazaları mevzuat gereği online olarak bildirilmektedir. 2014 yılında 2 adet iş kazası bulunmaktadır. Toplam iş günü kaybı kazalar sonucu 13 gündür. Kaza sıklık oranı değeri 2,7'dir. Global kabul 4 altı olması istenmektedir. Vizitelerden dolayı 2014 yılı işgünü kaybı 619 gündür. Bu kayıp şirket geneline oranı %1,04'dür.

Çalışanların önerilerinin değerlendirilmesi için sistematik yaklaşım bulunmaktadır. Toplam verilen öneri sayısı 1100 adettir

4.2.2.2. Firma & Seveso direktifi

SEVESO direktifi kapsamında uzman bir firma ile sözleşme imzalanmıştır.

Öncelikli olarak HAZOP konusunda öncü eğitimler alınmıştır. HAZOP ekibi kurulmuştur. HAZOP takımı P&ID' ler üzerinden çalışmalarına başlamıştır. Dow&Fei çalışması tamamlanmıştır. CLP' ye uyumlu kimyasal tasnif çalışması devam etmektedir.

4.2.2.3. Fabrika exproof malzeme örnekleri

Resim 9 Boya fabrikası exproof kazan sistemleri



Resim 10 Boya fabrikası exproof kazan sistemleri



İşletmede bulunan boya karıştırma kazanları ve renklendirme kazanları tamamen Exproof özellikte ve ATEX sertifikalıdır.

Resim 11 Gövde topraklaması



Tüm plate' lerde ATEX no yazmakta ayrıca tüm ekipmanların ATEX sertifikaları bakım departmanında saklanmaktadır.

4.2.2.4. Exproof hammadde taşıma sistemi

Resim 12 Exproof hammadde taşıma sistemi



Fabrika içerisindeki tüm vana sistemleri, tüm ufak ekipmanlar (basınç transmitter'ı, flowmetre vb) atex sertifikalıdır.

Resim 13 Hammadde taşıma sistemi motorları



Hammadde taşıma sistemi motorları tamamen ATEX sertifikalı ve topraklamalıdır. Tüm topraklama sistemi tek bir noktaya bağlıdır ve 6 ayda bir yapılan ölçümlerde ortalama değerler 0,8 ohm çıkmaktadır.

Resim 14 Hammade taşıma sistemi motorları



Boru izolasyonu içerisinde kullanılan ısıtma kabloları da exproof özelliğindedir.



Tüm kablo rekorları exproof özellikte ve ATEX sertifikalıdır.



Patlayıcı alan (zone alanları) içerisinde bulunan tüm elektrik bağlantı kutuları, pnomatik ekipmanlar exproof özellikte ve ATEX sertifikalıdır.

4.2.2.5. Hava ve elektrik çalışan tam otomatik dolum makinası

Resim 15 Boya dolum



Boya dolunları hava ve elektrik ile çalışan tam otomatik dolum makinası ile yapılmaktadır.

4.2.2.6. Kontrol panosu

Resim 16 Kontrol panosu



Kontrol panosu tamamen pnomatik özelliindedir.

4.2.2.7. Topraklamalar

Resim 17 Topraklama maşası



Gerekli durumlarda (manuel dolum, varil boşaltımları vb.) kullanılan topraklama maşaları Norveç HSE tarafından onaylı ve bütün Dünyada standart olan İsveç firması ATC markasıdır.

Resim 18 Topraklama maşası



4.2.2.8. Antistatik ve tutuşmaz tulum

Resim 19 Antistatik tulum



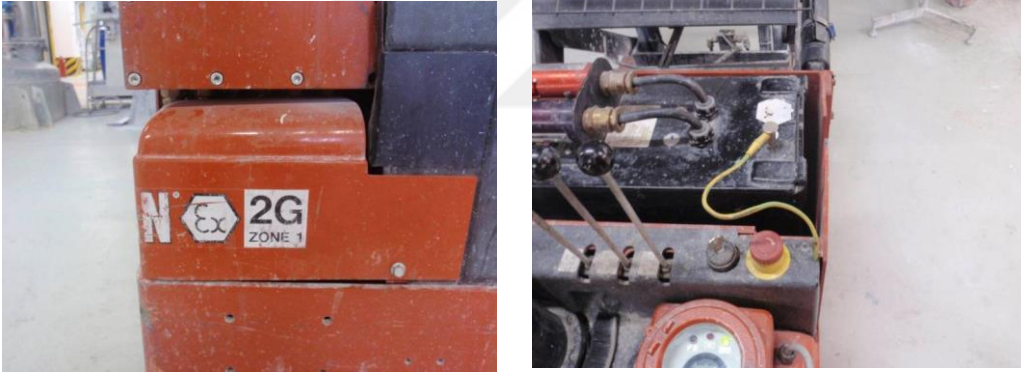
- EN 1149-5:2008: Antistatik özellik
- EN 11612:2008: Antiflammable özellik

4.2.2.9. Exproof transpalet



2 Ton kaldırma kapasiteli, terazili ve zone 1 alanları için uygundur.

Resim 20 Exproof transpalet



4.2.2.10. Yangın algılama ve önleme sistemi

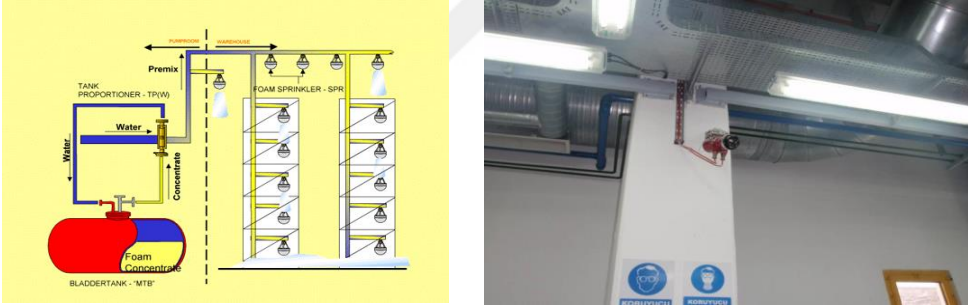


540 Ton su ve 1000 Galon köpük konstrasyonu rezerv kapasiteli yangın algılama sistemi NFPA standartlarına göre uygulanmıştır. 120 Dk. boyunca bu kapasite yeterli gelmektedir.

Resim 21 Yangın söndürme sistemi

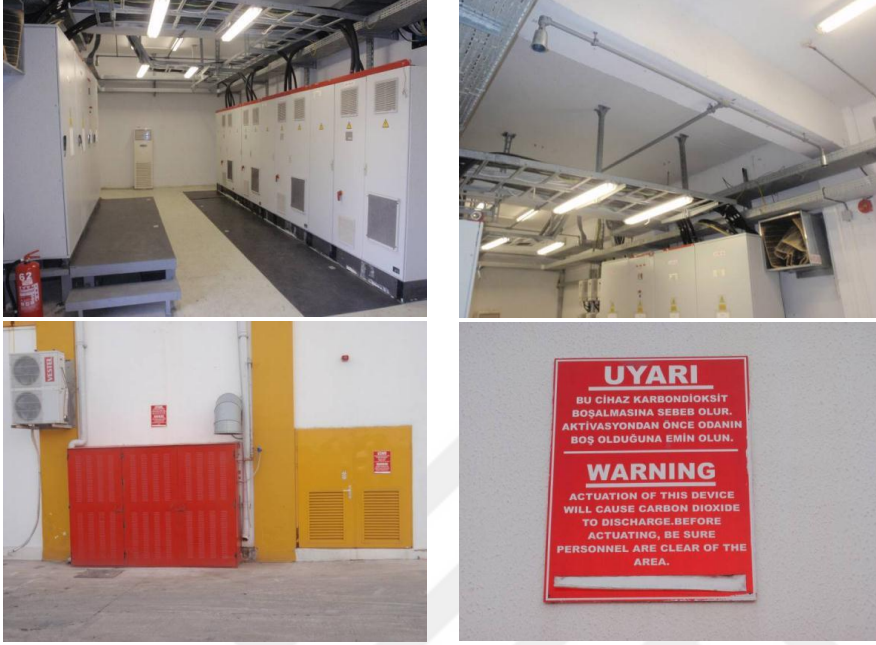


Resim 22 Yangın söndürme sistemi



4.2.2.11. CO2 söndürme sistemi

Resim 23 CO2 söndürme sistemi



4.2.2.12. Depo sprinkler sistemi

Resim 24 Sprinkler sistemi



4.2.2.13. Exproof aydınlatma

Resim 25 Exproof aydınlatma



4.2.2.14. Exproof Elektrik Prizleri

Resim 26 Exproof Elektrik Prizleri



4.2.2.15. Havalandırma İyileştirilmesi

Resim 27 Exproof Havalandırma Sistemi



4.2.2.16. ESD ölçüm cihazı

Resim 28 ESD ölçüm cihazı



4.2.2.17. Exproof Isıtma Sistemi

Resim 29 Exproof Isıtma Sistemi



4.2.2.18. Exproof toz tozlama sistemi

Resim 30 Exproof toz tozlama sistemi



6000 m3/saat kapasiteli exproof Donaldson marka toz toplama ünitesi.

4.2.2.19. Exproof ve normal manipulatör sistemleri

Resim 31 Exproof ve normal manipulatör sistemleri



5. TARTIŞMA

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, statik elektrik endüstride tutuşturma kaynağı oluşturan büyük bir tehlikedir. Statik elektrik başta yangın ve patlama olmak üzere ürün güvenliği ve insan güvenliği üzerinde birçok olumsuz etki yaratmaktadır.

Dünyada oluşan kazaların büyük bir çoğunluğunun elektrik kaynaklı kazalar olduğu bilinmektedir. Bu sebeple Avrupa, İngiltere ve Amerika da konu ile ilgili çeşitli standartlar bulunmaktadır.

İngiltere:

BS 5859:1 British Standart Code of Practice for control of Undesirable static Electricity.

BS 5859:2 Recommaditions for particular industrial situations.

Avrupa:

CENELEC/TR 50404 Cenelec Code of practice for the avoidance of hazard due to static electricity.

IEC60079-32 Explosive Atmospheres, Electrostatic Hazards, guidance

Amerika:

NFPA77 Recommended practice on static electricity

Dünyada kullanılan standartlar da karşılaştırıldığında görölmüştür ki en detaylı olarak hazırlanmış ve kabul görmüş olan NFPA77 standardıdır. Bu tezde NFPA77 statik elektrik kaynaklarından oluşan tehlikeler ve tehlikelerin önlenmesi standardına bağlı kalınarak hazırlanmıştır.

Statik elektrik ile ilgili yararlanılan tüm kaynaklar göstermiştir ki Statik elektrik önlemlerinin tamamı topraklama ve bağlama sistemleri kullanılarak kontrol altına alınabilir.

5.1. Statik Elektrik Ateşleme Tehlikelerinin Kontrol Yöntemleri

Bir statik elektrik tehlikesini kontrol etmenin amacı, herhangi bir sebeple ayrılmış yüklerin boşalım oluşturmada önce zararsız bir şekilde yeniden birleşmeleri için bir yöntem sağlamaktır.

Statik elektrikten kaynaklanan ateşleme tehlikeleri aşağıdaki yöntemlerle denetlenebilir:

1. Ateşlenebilir karışımı, statik elektriğin boşalımı sebep olabileceği alandan kaldırmak,
2. Yük üretimini ve yük birikimini ve hatta her ikisini birden süreç ya da ürün modifikasyonu aracılığıyla azaltmak,
3. Yükün şarjı esnasında, iletkenlerin topraklanması ve hava iyonizasyonu öncelikli metottur.

5.2. Ekipmanlardaki Ateşlenebilir Karışımların Kontrolü

İyi tasarım aracılığıyla statik elektrik yüklerinin birikmesinin önlemeye çalışılmasına rağmen, yalıtkan malzemeler veya yalıtkan ekipmanları kullanılmasını içeren pek çok operasyon mühendislik çözümlerine yanıt vermezler. Bu durumda, söz konusu malzemelerin doğasına bağlı olarak, aşağıdakilerden birisi gibi başka ölçütlerin sağlanması istenir veya gerekli olur:

1. Ekipmanların eylemsizleştirilmesi
2. Ekipmanın veya bulunduğu yerin havalandırılması
3. Ekipmanın daha güvenli bir alana taşınması

5.2.1. Eylemsizleştirme

Proses kabı gibi ateşlenebilir bir karışımın bulunduğu yerlerde, karışımı ateşlenebilir olmaktan çıkartmaya yetecek asal gaz (örneğin azot veya yanma gazı) eklenerek oksijen oranı azaltılabilir. Bu teknik *eylemsizleştirme* olarak bilinir. (Britton, L. G., "Using Material Data in Static Hazard Assessment," *Plant/Operations Progress*, April 1992, pp. 56–70.)

İşlemlerin normalde üst yanma limitinin (UFL) üzerinde bir karışım içeren bir atmosferde yürütüldüğü durumlarda, asal gazı sadece karışımın yanıcı aralıktan geçtiği zamanlarda eklenmesi pratik olabilir.

5.2.2. Havalandırma

Yanıcı bir malzemenin konsantrasyonunu bir gaz veya buhar durumunda alt yanma limitinin (LFL) çok altında bir noktaya veya bir toz durumunda minimum patlama konsantrasyonunun (MEC) altına seyreltmek için mekanik havalandırma kullanılabilir. Genelde, böyle bir indirgeme alt limiti yüzde 25' inde altında bir konsantrasyon seyreltme anlamına gelir. Ayrıca, hava hareketini uygun şekilde yönlendirerek, malzemenin kontrol edilemez bir statik elektrik tehlikesi bulunan bir operasyon alanına yaklaşmasını önlemek de yararlı olabilir.

5.2.3. Taşıma

Bir statik elektrik yükü biriktirebilecek ekipmanların gereksiz bir şekilde tehlikeli bir alanda bulunduğu durumlarda, başka tehlike kontrolü yollarına başvurmaksızın ekipmanı güvenli bir yere taşımak mümkün olabilir.

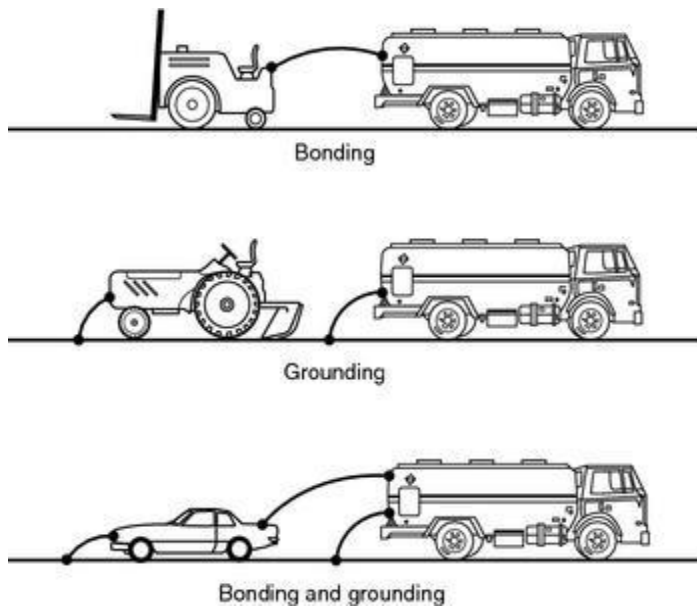
5.3. Statik Yük Üretiminin Kontrolü

Elektrik yükleri, malzemelerin temas ettirilip sonra ayrıldıkları durumlarda ayrışırlar. İndirgeme işlemi hızları ve akış hızları yük üretimi hızını azaltır. Bu tür yük ayrışımı plastik parçalar ve yapılar, yalıtıcı filmler ve ağlar, sıvılar ve parçacıklı malzemelerin kullanıldığı durumlarda görülür. Eğer malzeme yeterince yavaş bir hızda akıyorsa, normalde tehlikeli seviyede aşırı yük birikmez. Bu statik elektrik kontrolü yöntemi işlem gerekliliklerinden dolayı pratik olmayabilir.

5.4. Yüklerin Dağılıması

5.4.1. Bağlanma ve Topraklama

Bağlanma, sistem topraklanmış olmasa bile, iletken cisimler arasındaki potansiyel farkını en aza indirmek için kullanılır. Öte yandan topraklama yani toprağa bağlama, cisimler ile toprak arasında büyük bir gerilim farkını eşitler. Bağlanma ve topraklamanın örnekleri Şekil 22' de resmedilmiştir.



Şekil 22 Bağlanma ve Topraklama
Kaynak: NFPA77 Bonding and grounding, page:30

İletken bir cisim toprağa doğrudan bir iletken yol ile veya zaten toprağa bağlı bir başka iletken cisme bağlayarak topraklanabilir. Bazı cisimler, toprakla olan temaslarından dolayı kendiliğinden bağlı veya kendiliğinden topraklıdır. Kendiliğinden topraklı cisimler, yeraltı metal borular ve toprak üzerinde duran büyük metal depolama tanklarıdır.

Topraklanmış bir cisim ile toprak arasındaki toplam direnç; toprak telinin, konektörlerinin, hedeflenen topraklama yolu boyunca bulunan diğer iletken malzemelerin, tek tek dirençleri ile toprak elektrotunun yani toprak çubuğunun, toprağa direncinin toplamıdır. Bir toprak bağlantısındaki direncin çoğu, toprak elektrotu ile toprak

arasında bulunur. Topraklama direnci oldukça değişkendir, çünkü temas alanına, toprağın direncine ve toprakta bulunan nem miktarına bağlıdır.

İletken ekipmanlarda statik elektrik birikmesini önlemek için, toprak yolunun toprağa olan toplam direnci, mevcut olası yükleri dağıtmaya yeterli olmalıdır.

Bağlama/topraklama sisteminin tamamen metal olduğu durumlarda, sürekli toprak yollarındaki direnç tipik olarak 10 ohm dan azdır. Bu sistemler arasında birden fazla bileşeni olanlar da bulunur. Daha büyük direnç genelde metal yolun genellikle gevşek bağlantılar veya korozyon yüzünden sürekli olmadığını gösterir. Güç devreleri veya yıldırımdan korunma sistemleri için kabul edilebilir bir topraklama sistemi, statik elektrik topraklama sistemi için fazlasıyla uygundur.

Tel iletkenler kullanıldığında, bağlama veya topraklama telinin minimum büyüklüğü akım taşıma kapasite ile değil, mekanik mukavemeti ile belirlenir. Sık sık bağlanıp sökülecek bağlama telleri olarak bükülü veya örülü teller kullanılmalıdır.

Topraklama iletkenleri yalıtılmış gömlekli veya plastik kaplı bir kablo veya yalıtılmamış yani çıplak iletkenler de olabilirler. Kusurların saptanması daha kolay olduğu için, yalıtılmamış iletkenler kullanılmalıdır.

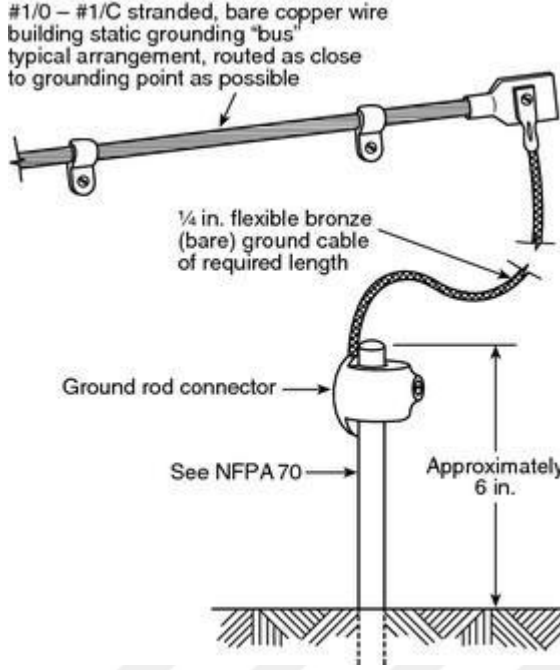
Kalıcı bağlama veya topraklama bağlantıları lehim veya kaynakla yapılabilir. Geçici bağlantılar cıvatalar, basınçlı topraklama kelepçeleri veya başka özel kelepçeler kullanılarak yapılabilir. Basınçlı kelepçelerde taban malzeme ile teması garantilemek için her türlü koruyucu kaplamayı, pası veya dökülmüş malzemenin içine girebilecek basınç bulunmalıdır.

Alanda bulunan gerilim, toprağa giden akım 3 mA' den daha az bir değerde sınırlayan dirençle topraklamalıdır. *Yumuşak topraklama* olarak anılan bu yöntem hat gerilimlerinden veya kaçak akımlardan kaynaklanan elektrik çarpması yüzünden yaralanmaları önlemek için kullanılır.

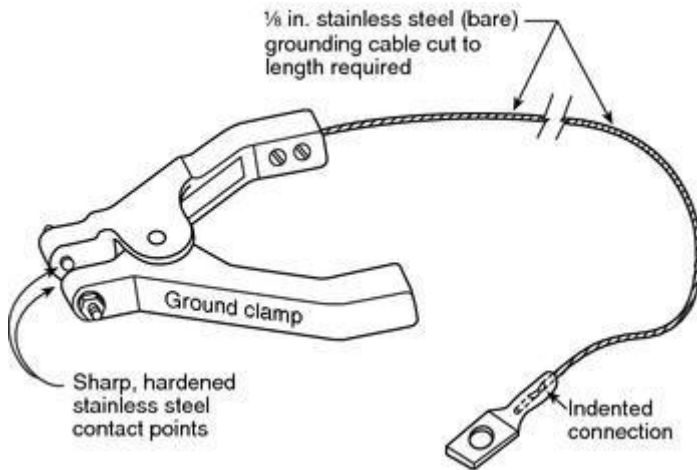
5.4.1.1. Topraklama uygulama örnekleri

Şekil 23 ile Şekil 33 arasında, Boya ve Kaplama Fabrikalarında, *Statik Elektrik Üretimi ve Kontrolü* resimlerle ele alınmıştır.

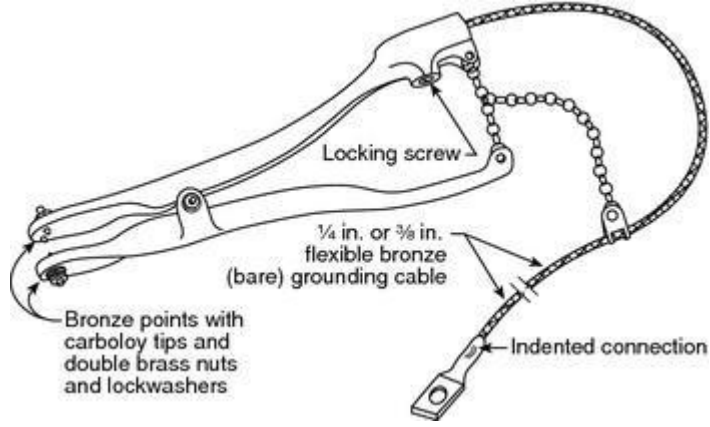
İlerideki bölümlerde de bir boya fabrikasında statik elektrik açısından uygulamada alınan tedbirler incelenecektir.



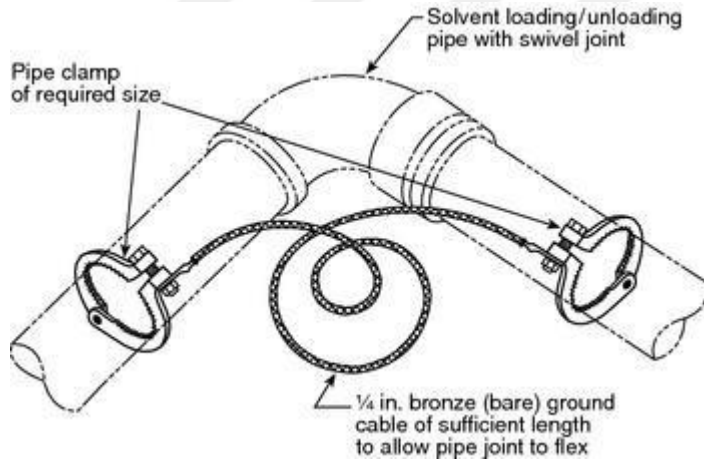
Şekil 23 Topraklama Barasının Topraklama Elektroduna Bağlantısı
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



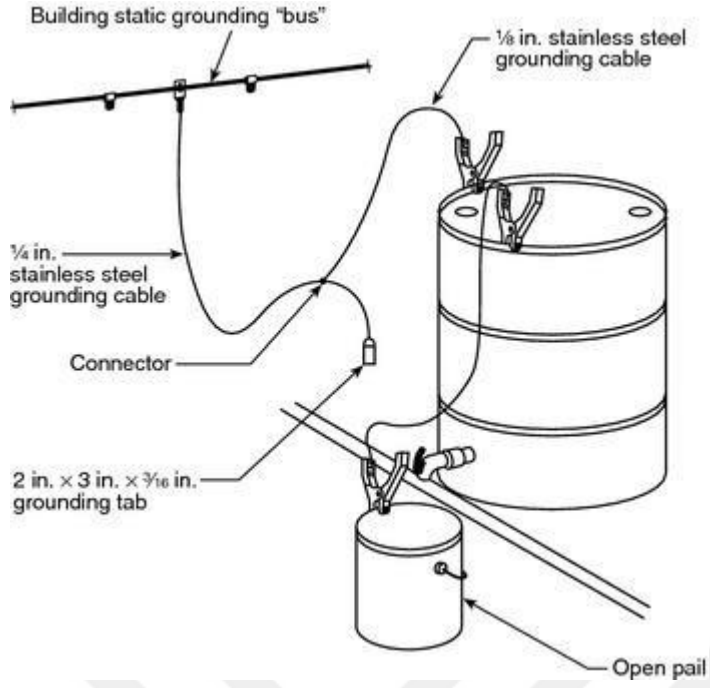
Şekil 24 Küçük Topraklama Kelepçesi
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



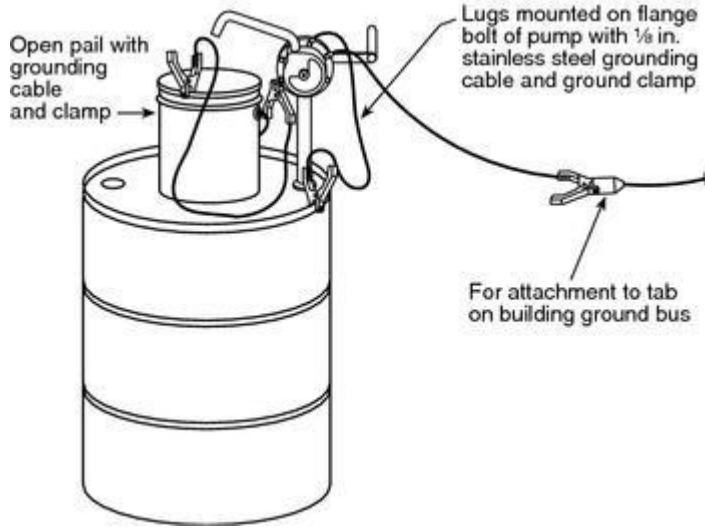
Şekil 25 Büyük Topraklama Kelepçesi
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



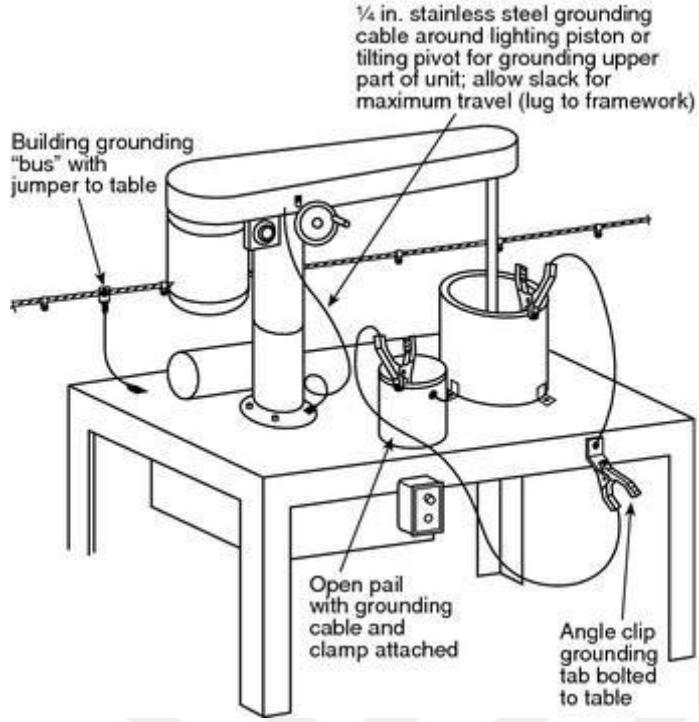
Şekil 26 Boru Topraklama Köprülemesi
(Kaynak: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



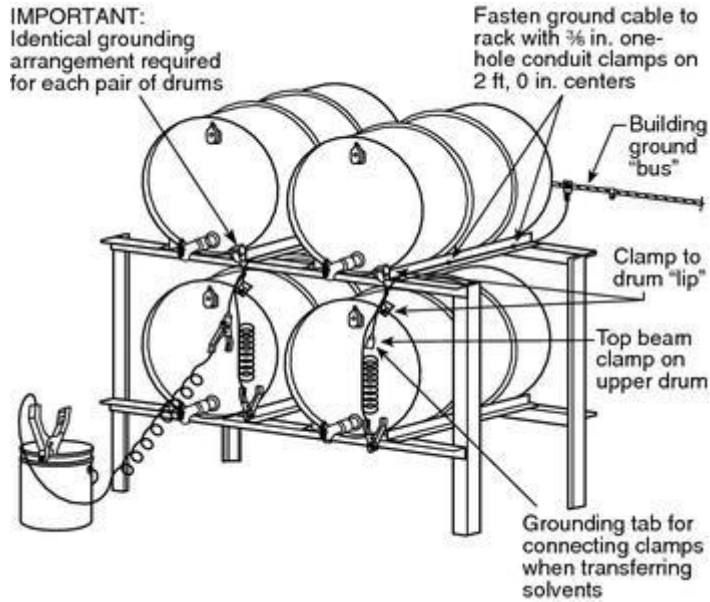
Şekil 27 Bidon Muslukları için Topraklama
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



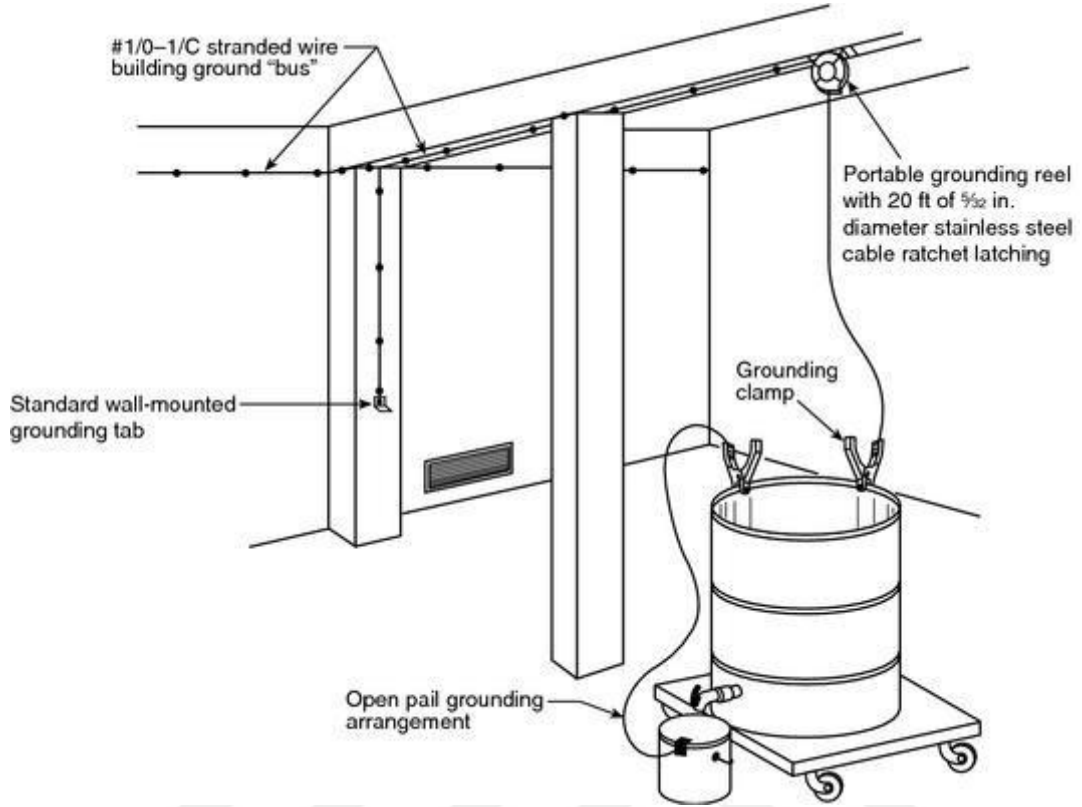
Şekil 28 Bidon Pompalar için Topraklama
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



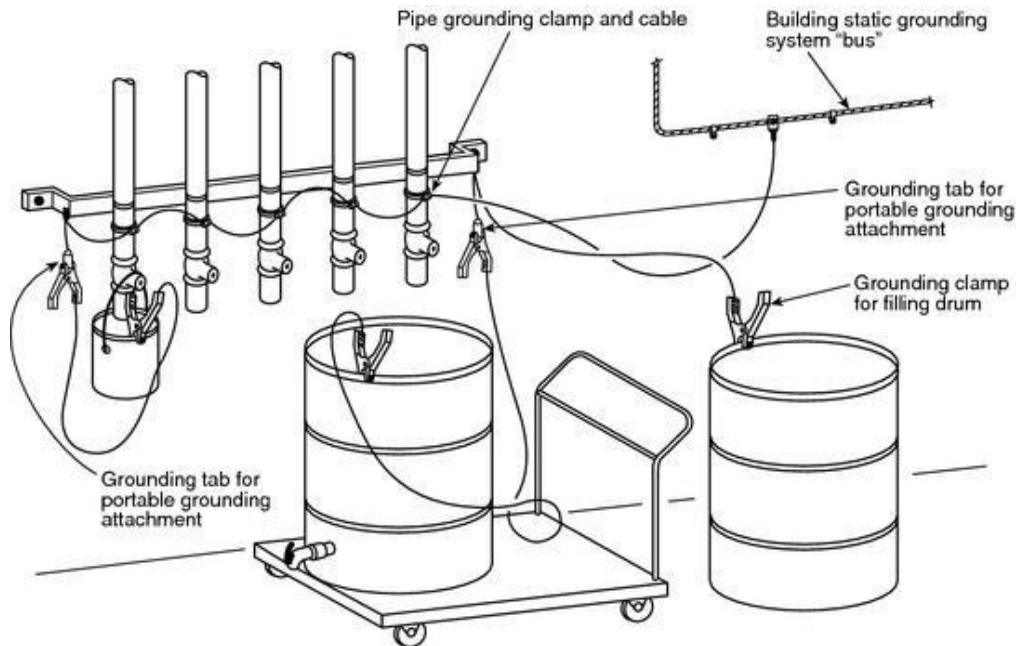
Şekil 29 Küçük Ekipmanlar için Topraklama
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



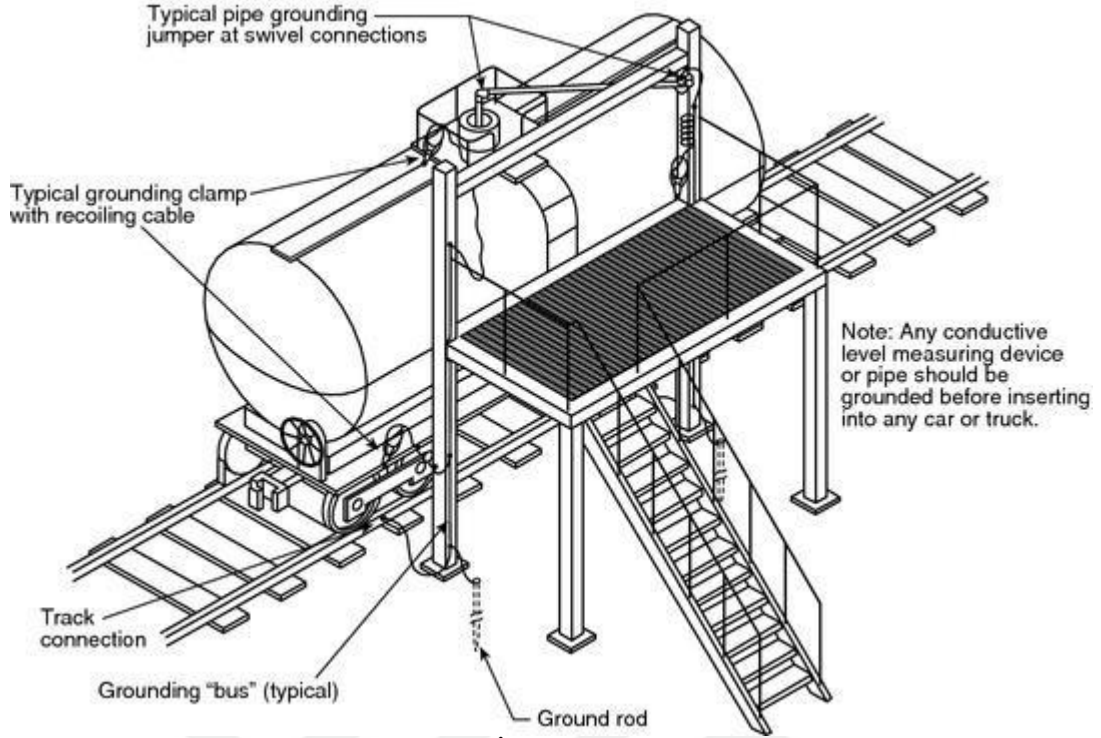
Şekil 30 Dağıtım İstasyonları için Topraklama
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



Şekil 31 Mobil Depo ve Bidon Aktarımları Sırasında Uygulanan Topraklama
 (Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



Şekil 32 Bidonlar ve Platformları için Topraklama
 (Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)



Şekil 33 Tankerlerin Doldurma/Boşaltma İstasyonu Topraklaması
(Source: NPCA, Generation and Control of Static Electricity.)

5.4.2. Nemlendirme

Pek çok malzemenin yüzey direnci çevrenin nemi ile kontrol edilebilir. Yüzde 65 veya daha yüksek nemlerde, çoğu malzemenin yüzeyi statik elektrik birikmesini önlemeye yetecek bir yüzey iletkenliği sağlayacak kadar nem soğurur. Yüzde 30' un altında düştüğünde, aynı malzemeler iyi yalıtıcı haline gelebilirler ve bu durumda yük birikimi artar.

Nem malzemenin yüzey iletkenliği arttırdığı halde, yük ancak toprağa bir iletken yol varsa dağılacaktır.

Nemlendirme, statik elektrik sorunları için her şeyi halledebilen bir çözüm değildir. Bazı yalıtkanlar havadaki nemi soğurmazlar ve yüksek nem yüzey dirençlerini fark edilir ölçüde değiştirmez. Bu tür yalıtkanların örnekleri arasında plastik borular, konteynerler ve filmler gibi bazı polimer kirlenmemiş yüzeyleri ile petrol sıvılarının yüzeyleri bulunur. Bu yüzeyler, atmosferde yüzde 100 nem olduğu zaman bile bir statik elektrik yükü toplayabilirler.

5.4.3. Yük Gevşemesi ve Antistatik İşlemler

Özelliklerine bağlı olarak, bir statik elektrik yükü taşıyan sıvı ve katı malzemelerin yükü dağıtmaları veya "gevşetmeleri" gerekir. Bazı durumlarda, tehlikeli bir alana veya sürece sokulmadan önce malzemelerin gevşemesi için yeterli zaman tanınması gerekebilir.

Yük gevşemesi ancak yükün iletilmesi için toprağa bir yol varsa oluşabilir. Eğer malzeme topraktan yalıtılmış olarak kalırsa, malzemenin iletkenliğinin artırılması tehlikeleri ortadan kaldırmaz.

Yalıtkan bir malzeme sıklıkla ya bileşimine iletken maddeler eklenerek ya da havadaki nemi çekmesi için yüzeyine higroskop maddeler uygulanarak statik elektrik yüklerini dağıtmaya yetecek kadar iletken hale getirilebilir.

İletkenliği arttırmak için bazı plastıklere veya kauçuklara karbon siyahı eklenebilir. Karbonla dolu plastikler ve kauçuk eşyalar bazen metal cisimler gibi topraklanmaya gerektirecek kadar iletken olabilirler. Yük gevşemesini başlatmak için sıvılara ve parçacıklı akışlara antistatik katkı maddeleri de eklenebilir.

Bazı durumlarda, özellikle plastik filmler veya astarlarda, havadaki nemi yüzeye çekip yüzey iletkenliğini arttırmak için bir malzeme eklenebilir. Antistatik plastik film veya kaplamaların düşük nemli koşullarda kullanıldığı yerlere dikkat edilmelidir. Nemin yüzde 30' dan az olduğu ortamlarda, film veya kaplama yalıtkan hale gelebilir ve statik elektrik yükü biriktirebilir.

Üste uygulanan higroskop kaplamalar havadaki nemi çekerek kaplı malzemenin yüzeyini iletken hale getirirler. Ancak, bu kaplamalar kolaylıkla suyla çıkabilir veya silinebilir ya da zaman içinde etkinliklerini yitirebilirler. Bu tür kaplamalar, sadece statik elektrik yükü birikimini azaltmak için geçici bir önlem olarak düşünülmelidir.

Daha iyi bir statik dağılıma için iletken polimerler, iletken elemanlı lamineler ve metalleştirilmiş filmler geliştirilmiştir.

5.5. Yük Nötrleştirilmesi

Havanın yüzeylere çekilen hareketli iyonlar içermesi sağlanabilir ve bu da bu yüzeylerdeki dengesiz statik elektrik yükünü ortadan kaldırır. Hava iyonlaştırıcılar kullanılırken, bunların etkinliklerini etkileyebilecek çevresel koşullar (örneğin toz ve sıcaklık) ile cihazın işlenen malzemeye, makine parçalarına ve personele olan konumlanması gibi belirli etkenler göz önüne alınmalıdır. Bu kontrol cihazlarının statik elektrik yükünün oluşturulmasını engellemediklerine dikkat etmek gerekir. Bunlar, oluşturulan statik elektrik yükünü nötrleştirecek zıt kutupsallıkta iyonlar temin ederler.

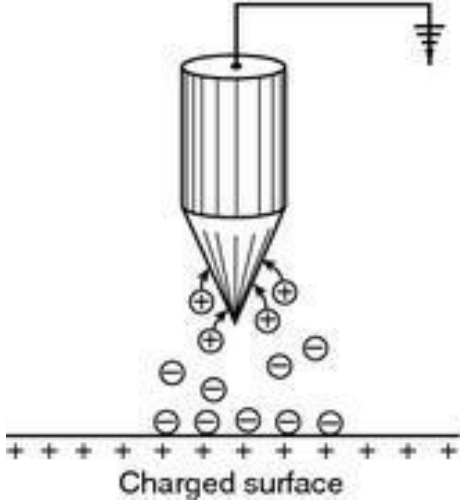
5.5.1. Endüktif Nötrleştiriciler

Endüktif nötrleştiriciler aşağıdakileri içerirler:

1. Bir dizi iğne benzeri yayıcı ile donatılmış metal çubuklar olan iğne çubuklar
2. Metal tülle sarılmış metal tüpler
3. İletken ip
4. Metal lif veya iletken liflerden yapılmış fırçalar

Her tür endüktif nötrleştiricinin tasarımı, yüklü yüzeylerin yakınındaki statik elektrik alanına yerleştirilmek üzere düzenlenmiş keskin uçlu elemanlar dayanır veya bunlardan oluşur.

Topraktan endüktif bir nötrleştiriciye çekilen yük uçlarda konsantre bir elektrik alan oluşturur. Eğer uçlar kesin bir şekilde sivriyse, elektrik alan havanın lokalize bir şekilde elektriksel bozunmasını sağlamaya yeterli olacaktır (yani 3 kV/mm'den büyük). Korona olarak bilinen bu elektriksel bozunma, havaya zıt kutupsallıktaki uzak yüklere gitmekte serbest olan iyonlar enjekte eder. Korona da üretilen iyonların akışı nötrleştirici bir akım oluşturur.



Şekil 34 Endüktif Nötrleştirici

Ucuz ve kolay kurulum olmalarına rağmen, endüktif nötrleştiriciler koronayı ve nötrleştirme işlemini başlatmak için cisim ile iğne uç arasında bir minimum potansiyel fark gerektirirler. Bu minimum yük mevcut değilse, nötrleştirme gerçekleşmez ve yüzeyin yaklaşık 12 mm yakınında keskin endüktif uçların bulunduğu malzemede birkaç bin voltluk bir artı potansiyel kalır.

Endüktif nötrleştiricilerin güvenli bir toprağa bağlanmaları son derece önemlidir. Eğer endüktif nötrleştirici topraklanmazsa, endüksiyon çubuğunda kıvılcımlar oluşabilir.

5.5.2. Etkin Elektrikli Statik Nötrleştiricileri

Elektrikli statik nötrleştiricileri, keskin elektrotlardan korona oluşturmak için bir yüksek gerilim güç kaynağı kullanırlar. Cihazın yakınındaki bir cisimdeki yük, koronadaki yükleri çekerek, nötrleştirmeyi gerçekleştirir. Yüksek gerilimli güç kaynağı kullanılması, endüktif nötrleştiricilerin alanları korona oluşma eşiğinin altında olan yükleri kontrol etmedeki sınırlamalarını ortadan kaldırır.

Bir elektrikli statik nötrleştirici kullanıldığı yere uygun olmalı ve bir ateşleme kaynağı oluşturmamalıdır. Örneğin, üzerinde elektrik yokken veya arıza durumunda, bir elektrikli statik nötrleştiricisi bir endüksiyon nötrleştiricisi olarak işlev görecektir şekilde tasarlanabilir.

Alternatif akım (AC) kullanan elektrikli statik nötrleştiricileri, 50 Hz ila 60 Hz' deki korona elektrotlarına enerji sağlayacak şekilde bir yüksek gerilim güç kaynağı kullanırlar. Alternatif bir alan kullanılması, elektrotları nötrleştirme işleminde kullanılmak üzere hem pozitif hem de negatif yükler üretmeye zorlar. Güç kaynağından gelen akım keskin elektrotların her birisine veya birkaç tanesine sıgal olarak eşlenerek bir kısa devre durumunda kıvılcım enerjisini sınırlarlar. Bir elektrikli statik nötrleştirici kullanıldığı yere uygun olmalı ve bir ateşleme kaynağı oluşturmamalıdır.

Darbeli veya durağan durum çift kutuplu doğrudan akım (DC) kullanan elektrikli statik nötrleştiricileri, elektrotları nötrleştirme işleminde kullanılmak üzere yük üretmeye zorlamak için darbeli veya durağan bir alan kullanırlar. Bir kısa devre durumunda, kıvılcım enerjisi akım sınırlayan rezistörlerle kontrol edilir. Darbeli veya çift kutuplu DC iyonlaştırıcılar kullanıldığı yere uygun olmalı ve bir ateşleme kaynağı oluşturmamalıdır.

5.5.3. Etkin Radyoaktif Statik Nötrleştiriciler

Radyoaktif (nükleer) iyonlaştırıcılar statik elektrik yüklerinin nötrleştirilmesi için iyon üretmek amacıyla iyonlaştırıcı radyasyon kullanırlar. En yaygın radyoaktif iyonlaştırıcılar polonyum-210' un (^{210}Po) bozunmasından kaynaklanan alfa parçacığı üretimine dayanırlar.

Radyoaktif iyonlaştırıcıların performansı radyoaktif malzemenin bozunması ile azalır. Nötrleştiriciler tescilli olmalı, periyodik olarak (en azından yıllık olarak) değiştirilmelidirler, çünkü iyonlaşma becerisi radyoaktif bozunma ile azalır. Radyoaktif iyonlaştırıcılar yüksek yük yoğunluklarını kontrol etmek üzere genellikle endüktif nötrleştiriciler ile birlikte kullanılırlar.

Radyoaktif iyonlaştırıcılarda maliyet ve yönetmeliklere uyum sorunları olduğu halde, bunlar yanmaya neden olmazlar, kablolama gerektirmezler ve statik elektrik yüklerini en düşük seviyelere indirgeyebilirler.

5.6. Personel Üzerindeki Statik Yükün Kontrolü

İnsan vücudu bir elektrik iletkenidir ve eğer topraktan yalıtılırsa statik yük biriktirebilir. Bu yük ayakkabıların zemin kaplamalarına değmesi ve ayrılması, endüksiyon ya da çeşitli üretim işlemlerinde farklı versiyonlar ile ortaya çıkar. Ateşleyici karışımların bulunduğu yerlerde, yüklü insan vücudunun ateşleme oluşturma olasılığı vardır ve insan vücudunda statik elektrik yükü birikmesini önlemek için tedbirler gerekli olabilir. (API RP 2003, *Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents*, 6th edition, 1998.)

5.6.1. Yük Birikiminin Önlenmesi

Yük birikiminin önlenmesi ile ilgili adımlar aşağıdakilerin kullanımını içerir:

1. İletken zemin ve ayakkabı
2. Çalışanı topraklayan cihazlar
3. Antistatik veya iletken giysiler

5.6.2. İletken Zemin ve Ayakkabı

İletken veya antistatik zemin kaplamaları statik elektriğin çalışandan etkin bir şekilde dağılmasını sağlarlar. Malzemeler katı olabilirler veya aşınma karakteristikleri, kimyasal dirençleri ve kaplanması gereken zemin alanına uygun olarak seçilen kaplamalar olabilir. Ufak alanlar topraklanmış metal plaka ile halledilebilir. Zemin kaplama sistemlerinin tipik toprak direnci 108 ohm dan az olmalıdır. Moloz, balmumu veya başka yüksek dirençli malzemelerin birikimi zeminin iletkenliğini bozar.

İletken zemin kaplamaları için kullanılan elektrostatik dağıtıcı (ESD) ayakkabılar, insan vücudundan kaynaklanan statik elektrik yüklerini kontrol etmenin ve dağıtmanın bir yoludur. ESD ayakkabılar ve iletken zemin kaplamasından toprağa kadar olan direnç 106 ohm ile 109 ohm arasında olmalıdır. Çok düşük ateşlenme enerjili malzemeler için, ayakkabılar ve iletken zemin kaplamasından toprağa kadar olan direnç 106 ohm dan az olmalıdır. Direnç, piyasada bulunan ayakkabı iletkenliği test cihazları ile ölçülebilir.

Ayakkabıların direnci ayakkabıda moloz birikmesi, ortopedik tabanlar kullanılması ve azalan zemin temas alanı ile artabilir. Ayakkabıların iletkenliği, işlevselliklerini doğrulamak amacıyla periyodik olarak test edilebilir.

İletken ayakkabılar, ayakkabılar ve iletken zemin kaplamasından toprağa kadar olan direnç 106 ohm dan az olacak şekilde tasarlanmış ayakkabılardır. Tipik olarak, patlayıcılar ve itici yakıtlar gibi düşük ateşleme enerjili malzemeler ile uğraşılan yerlerde kullanılır. Hat gerilimlerinden kaynaklanan bir elektrik çarpması tehlikesinin olduğu yerlerde, iletken ayakkabılar kullanılmamalıdır. (API RP 2003, *Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents*, 6th edition, 1998.)

5.6.3. Çalışanı Topraklayan Cihazlar

ESD ayakkabılarının yeterli personel topraklanması sağlanmadığı durumlarda, bütünüleyici cihazlar kullanılmalıdır. Bu cihazlar arasında bilek kayışları, topuk/ayak parmağı topraklayıcıları ve iletken galoşlar bulunur.

Bütünüleyici cihazlar tehlikeli statik elektrik yükünün birikmesi önlenirken, elektrik çarpması riskinin artmayacağı şekilde seçilmelidir. Çoğu pratik durumda, personelin topraklanması cildin toprağa direncinin yaklaşık 108 ohm veya daha olması sağlanarak gerçekleştirilir. Bir topraklama cihazı aracılığıyla elektrik çarpmasına karşı korunma cildin toprak direncinin minimum 106 ohm olmasını gerektirir. Cilt teması ile zemine temasa dayanılarak, özellikle de ayakkabının tüm tabanının zemin temas etmediği durumlarda (örneğin diz çökmek), etkinlik bozulabilir. Topraklama cihazlarının direnci elektrik çarpmasında korunma için minimum 106 ohm olmalıdır.

En basit ticari cihaz, elektrik çarpmasından korunma için tipik olarak 106 ohm luk toprak direnci sağlayan entegre rezistörlü bir topraklama kelepçesidir. Bu türden bilek kayışları en fazla havalandırma davlumbazlarında ve operatörün hareketliliğinin kısıtlanmasının tolere edilebileceği yerlerde kullanılırlar. Acil durum çıkışı gereken yerlerde kopabilir bilek bağı sistemleri gerekli olabilir. Bir davlumbaz, ayrı kullanıcılar tarafından çıkartılabilir ve saklanabilir manşon ek parçalı iki harici sarılı topraklama kablosu ile donatılabilir.

Bir voltmetre veya volt-ohmmetre ya da ticari bir test cihazı kullanılarak toprak sürekliliğinin üreticinin belirttiği limitlere uygunluğu periyodik olarak kontrol edilmelidir.

5.6.4. Antistatik veya İletken Giysiler

İpek ve çoğu sentetik lif mükemmel yalıtkan olduğu ve bunlardan yapılan iç çamaşırları statik olaylar sergilediği halde, bu tür iç çamaşırlarının giyilmesinin bir tehlike oluşturduğunu belirtecek kesin delil mevcut değildir. Ancak, üst giysilerin çıkartılması hastane ameliyathaneleri, patlayıcı madde üretin tesisleri ve benzer yerler gibi çalışma alanlarında ve giysilerin yanıcı sıvılarla kirlendiği durumlarda fazlasıyla tehlikelidir. Bu alanlarda kullanılan üst giysiler çalışma alanına uygun ve antistatik olmalıdır.

Topraklanmış bir kişinin herhangi bir türde giysi yüzünden alev alma olasılığı genelde çok düşük olsa da, personelin yüklenmesi olasılığı (örneğin personel bir forkliftten inerken) yüksek dirence sahip giysiler yüzünden büyük ölçüde artar.

Sıvı oksijen dolun tesislerindeki gibi oksijenle zenginleştirilmiş atmosferlerde, soğutulan gazdan çıkan buhar bir çalışanın giysisinin içine girerek tutuşuculuğunu arttırabilir. Çalışan üzerinde biriken ve ardından aniden boşalan bir statik elektrik yükü giysileri ateşe verebilir.

5.6.5. Eldivenler

Eldivenler, ayakkabılar için belirtilen dirençlere sahip, antistatik veya iletken olmalıdırlar. Eldivenler, ayakkabılar ile birlikte test edilmelidirler.

5.6.6. Temizlik veya Silme Bezleri

Temizlik veya silme bezlerinde kullanılan sentetik kumaşlar, çözücü buharlarını ateşleyebilecek boşalımlar üretmeye yetecek statik elektrik yükü geliştirebilirler. Parlama noktalarının üstünde kullanılan yanıcı sıvılar ve tutuşucu sıvılar, sentetik temizlik veya

silme bezleri ile birlikte kullanıldıklarında yangın riskini arttırlar. Tipik olarak, yük üretimi silme hareketinin hızı ve sertliği ile artar. Temizlenen veya silinen malzeme de, eğer yalıtkan değilse, yanmaya sebep olabilecek bir yük biriktirebilir.

Eğer statik elektrik yükü üretiminin kontrol edilmesi gerekiyorsa, özellikle temizlik veya silme için yanıcı çözücüler kullanılıyorsa, bir antistatik bileşimle işleme sokulmuş pamuklu veya sentetik kumaşlar kullanılmalıdır. İletken çözücüler kullanılmalıdır.

5.7. Bakım ve Test

Çalışanların statik elektriğinin kontrolü için, alınan bütün önlemlerin etkin kalmaları bakımından, bakımları yapılmalı ve test edilmelidirler.

5.8. Statik Elektrik Kaynaklı Rahatsızlık ve Yaralanma

Statik elektrik çarpması rahatsızlığı ve bazı durumlarda da yaralanmaya sebep olabilir. Boşalımın kendisi insanlar için tehlikeli olmasa bile, düşmeye veya hareketli makineye takılmaya yol açabilecek istemsiz bir tepkiye sebep olabilir. Eğer yük birikmesinden kaçınılamıyorsa ve yanıcı gaz ya da buhar mevcut değilse, metal parçalarla teması ortadan kaldıracak çeşitli yöntemler göz önüne alınmalıdır. Bu tür yöntemler arasında metal olmayan tırabzanlar, yalıtılmış kapı kolları ve diğer yalıtkan kalkanlar bulunur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma göstermiştir ki, statik elektrik deşarjı sonucunda oluşan ateşlemelerin enerji düzeylerinin hesaplanması gereklidir. Ortamdaki maddenin en düşük tutuşma enerjisi ile ateşleme enerjisi mukayese edilmeli ve riskin gerçek boyutu hakkında bilgi sahibi olunmasına yönelik bir yöntem belirlenmelidir.

Endüstriyel uygulamalarda bu etkilerin ölçülmesine ve riskin boyutunun tespit edilmesine yönelik sağlıklı yöntemlerin sayısı yok denecek kadar azdır.

Statik Elektrik kontrol altına alınmaz ve statik elektrikten faydalanılamaz.

Statik elektrik deşarjının olma ihtimali olan yerde, yanıcı, parlayıcı ya da patlayıcı bir ortam varsa, bu ateşlemenin patlama ve yangına sebep olacağı açıktır. Yangın oluşması için yanıcı madde, oksijen ve yakıcı unsurlarının aynı anda ortamda bulunması gereklidir. Elektrostatik kıvılcımlar sıvı veya katı yakıtları tutuşturamazlar. Tutuşmanın gerçekleşmesi için yanıcı maddenin mutlaka buhar haline geçmesi için gerekli ısının transfer olmaya devam etmesi gereklidir. Dolayısıyla, eğer ortamda yeterli yanıcı madde ve parlayıcı buhar bulunmuyorsa statik elektriklenme kıvılcımı sebebiyle yangın tehlikesi oluşmaz veya yok denecek kadar azdır. Ancak tabanca ile yapılan boya işlerinde boyahane ortamında yanıcı ve parlayıcı boya hava karışımı bulunur ve elektrik deşarjı karışımı kolaylıkla tutuşturabilir.

Bu bağlamda, yangını engellemenin ilk adımı, statik elektrik deşarjına mani olmaktır. Elbette ki aynı zamanda ortamda parlama ve patlamaya hazır konsantrasyonda buhar veya homojen olarak dağılmış organik, inorganik toz bulunmasına engel olunmalıdır. Bunun için, düşük parlama noktasına sahip sıvılar kapalı kap içinde, yüksek parlama sıcaklığındakiler ise bu sıcaklık seviyesinin altında muhafaza edilmelidir. Ayrıca, ortamda yanıcı ve parlayıcı seviyede buhar veya toz konsantrasyonlarının oluşmasına engel olmak üzere uygun şekilde projelendirilmiş havalandırma sistemi uygulanmalıdır. Yangın sırasında alınabilecek bir diğer önlem ise oksijen oranını azaltmaktır. Ortamdaki oksijen oranını % 8 ile % 11 arasına indirilmesi halinde yanma olayı daha fazla devam edemez.

Statik elektrikten kaynaklı dolaylı riskler şöyle incelenebilir:

1. Elektrik şoku büyüklüğündeki yüksek potansiyel statik elektrik deşarjlarına, maruz kalan işçiler, dönen makine ile ya da düşme tehlikesi olan riskli yerlerde çalışıyorlarsa, ani refleks hareketleri ile iş kazalarına maruz kalabilirler.

2. İletken olmayan malzemelerin işlendiği veya kullanıldığı basım işleri ve benzeri çalışmalarda statik elektrik yükü birikmesi, tabakaların birbirlerine yapışmasına veya ayrılmasına neden olarak üretimi kötü bir şekilde etkileyebilir.

3. Hassas elektrik alet ve cihazları ile yapılan çalışmalarda statik elektrik manyetik alan oluşturarak cihazın hatalı ölçüm yapmasına neden olabilir. Hatta statik elektrik ile temas eden cihazlar, bazı parçalarında bozulma ve hasar gözlenebilir.

4. Statik elektriğin insanda aşırı birikmesi, vücuttaki elektrik dengesini bozabilir ve sinirsel sistemi kötü yönde etkileyebilir.

Genelde, statik elektrik oluşmasına engel olunamaz. Ancak, bu yüklerin tehlikeli bir seviyeye ulaşması ve yüksek potansiyel farkı yaratarak kıvılcım oluşturması engellenebilir.

Statik elektrik deşarjına mani olmak üzere tatbik edilebilecek başlıca metodlar şunlardır:

1. Kısa devreleme ve topraklama:

İletken cisimler arasındaki statik elektriklenmeye engel olmak üzere kullanılır. Bu metod da, cisimler arasındaki statik elektrik yükünün farklı olması sebebiyle, bütün iletken kısımlar birbirlerine bağlanır, yani kısa devrelenerek toprağa irtibatlandırılır. Kısa devreleme sonucunda, farklı yüklenen cisimler, yük transferi yapılarak eş potansiyele getirilir. Dolayısıyla potansiyel fark kalmadığı için bir deşarjdan da bahsedilemez. Topraklama ile cisimlerin yükleri toprağa boşaltılarak, toprak potansiyeline getirilir. Böylece cisimler ile toprak arasında bir boşalma olmasının da önüne geçilmiş olur.

Yalıtkan yüzeylerde biriken statik elektrik yüklerini bu şekilde engellemek mümkün değildir. Kısa devrelenen noktalarda gerçek bir iletken yüzey olmalıdır.

Daha önce yürürlükte olan İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğü'nün 341 maddesinde de belirtildiği gibi, büyük sentetik akaryakıt kaplarının iletken maddelerle kaplanması ve bilahare topraklanması gereklidir.

Bu metodun başlıca uygulanma yerleri aşağıda belirtilmiştir:

- Parlayıcı sıvıların konulduğu bütün depolar, boru donanımları ve bağlantıları, oluşabilecek statik elektriğin boşaltılması için uygun bir şekilde topraklanmalıdır. Bu topraklanma, depo veya tank inşa edilirken sabit olarak yapılmalıdır. Parlayıcı sıvıların (parlama noktası 38°C dan aşağı olan sıvılar) depolama tanklarından kara ve deniz tankerlerine aktarılması esnasında, ayrıca topraklı olan depo tanklarının madeni aksamı ile tankerlerin madeni aksamı kısa devrelenerek, eş potansiyel yüzeye getirilmelidir. Kısa devreleme ve topraklama, parlayıcı sıvıların bir kaptan ötekisine aktarılması işlemi esnasında da yapılmalıdır. Sıvı parlayıcı ve patlayıcı maddelerin çok büyük akış hızları ile doldurulup boşaltılmasından, sıçramalı ve yüksek basınçla doldurulmasından kaçınılmalıdır. Aksi takdirde, statik elektrik yükü birikimi fazla olacaktır. Boru sistemlerinde, bu yükün teşekkülü akış oranına (litre/dak.), sıvı hızına (metre/san.), boru çapına ve uzunluğuna bağlıdır.
- Statik elektrik, öğütülerek toz haline getirilmiş maddelerin pnömatik konveyörlerle taşınması esnasında da meydana gelir. Meydana gelecek statik elektrik yüklerinin, ark yapmadan sürekli olarak boşaltılmasını sağlamak için, konveyörün ayrıntılı metal boruları, bütün hat boyunca birbirlerine bağlanmalı, yani kısa devrelenmeli ve ayrıca topraklanmalıdır.
- Tabanca boyası işinde, boya tabancası, boyanacak metal parçalar, boya hücresinin bütün metal aksamı, aspirasyon sistemleri, boya kapları arasında bir potansiyel farkı olmamalıdır. Bu maksatla, bütün bu kısımlar topraklanmalı ve aynı toprak potansiyeline getirilmelidir.
- Makine ve tezgahların transmisyon tertibatlarında ki miller, yataklar, kayış ve kasnaklarda statik elektrik yükleri birikir. Eğer makine ve tezgahın uygun topraklaması

varsa, miller, yataklar ve kasnaklar metalden olup iletken ve topraklı kısımla iyi temas halinde iseler, bu kısımlardaki yük toprağa intikal eder. Fakat, genellikle transmisyon kayışları iletken olmayan malzemedan yapıldıkları için, sürtünme sebebiyle teşekkül eden yüklerin boşalmasını temin etmek üzere, kayışın kasnağı terk ettiği kısma, topraklanmış olan fırça veya tarak şeklindeki statik elektrik kolektörleri konulmalıdır. Bu fırça ve tarakların eni kayışın eni kadar olmalı, kayışa 1/4 inch (6,35 mm) kadar yaklaştırılmak ve ayrıca kayışın kasnağı terk ettiği yerde kasnaktan 4 inch (101,6 mm) mesafede olmalıdır. Ayrıca, kayışlar üzerlerinde statik elektrik yüklerinin birikmemesi için, özel iletken maddeden yapılabilir veya böyle bir madde ile kaplanabilir.

2. Nemlendirme

Yalıtkan maddeler, biriken statik elektrik yükünü kolay kolay boşaltamazlar. Ayrıca, maddeler üzerindeki yük dağılımı da homojen değildir. Bilinen en kolay deney ile izah edilecek olursa; cam yada mum bir çubuk, kumaşa sürtüldüğünde, sürtünme sonucu çubuk üzerinde statik elektrik yükü birikir. Cam çubuk pozitif, eğer çubuk mumundan yapılmış ise negatif ile yüklenir. Ancak yüklenme sadece çubuğun kumaşa sürülen kısmında birikir yani çubuk boyunca homojen olarak yayılmaz. Çubuğun elektrikle ucu küçük kağıt parçalarına yaklaştırıldığında, kağıt parçalarını çeker. Bu işlem iletken olan bir metal çubuk ile yapılamaz, çünkü metal çubukta meydana gelen statik elektrik yükleri, çubuk iletken olduğu için bütün çubuk yüzeyine homojen olarak dağılır. Çıplak elle tutulması halinde topraklanma gerçekleşir. Metal çubuğun yalıtkan bir malzeme tutulması halinde yük yalıtkan madde üzerinde birikmeye meyillidir. Bu durumda yalıtkan madde üzerinde biriken yükü topraklamak için iletken bir tabaka oluşturulur. Bu durumda en kolay yapılabilecek nem ile iletken tabaka oluşturmaktır. Nemli ortamlarda yalıtkan malzemelerin yalıtkan özellikleri azalmaktadır. Zaten pek çok yalıtkan madde içerisinde bir miktar nem bulundurur (kumaş, ağaç, kağıt, beton vb.). Ortamdaki nem arttırıldığında, cisimler üzerinde nemden oluşmuş ince iletken bir tabaka oluşur. Benzer durum antistatik spreylere vasıtasıyla da meydana getirilebilir.

Nemlendirmenin diğer bir amacı da, nemli ortamda statik elektrik yüklerinin daha az oranda oluşmasıdır. Havadaki nem oranı arttıkça, sürtünmeler sebebiyle ortaya çıkacak yük azalır. Ayrıca, havada nem oranı arttıkça havanın yalıtkanlık özelliği de azalmakta ve meydana gelecek yüklerin tehlikeli bir seviyeye erişmeden ve ark yapmadan hafif

iletken özelliğindeki nemli hava ortamından geçerek diğer bir cisim veya toprak üzerinden boşalması sağlanmaktadır.

Genellikle, 70F (21C) derecesinde nem oranı % 60 veya daha fazla olursa, ortamda statik elektrik yükleri tehlikeli bir seviyede meydana gelmeyecektir.

Pratikte doğru bir şekilde nemlendirme, özel nemlendirme cihazları (humidifiers) vasıtasıyla yapılabilir. Bu metod, tabanca boyasının yapıldığı bölmelerdeki su perdesi uygulanması için iyi bir örnektir.

3. İyonizasyon

Bu metod, cisimlerin yüzeylerinde biriken statik elektrik yükünü tehlikeli bir seviyeye gelmeden boşaltmak için kullanılır. Örneğin rutubetsiz ortamda yalıtkan cisimler üzerinde birikebilecek yükleri boşaltmak mümkün değildir. Bu durumda statik elektrik yükünün birikebileceği cisim yüzeyi etrafındaki hava iyonize edilir. Böylece ortamda, pozitif ve negatif iyonlar meydana getirilerek, ortamda, bu iyonlar vasıtasıyla geçici bir iletkenlik sağlanmakta ve yüklerin serbestçe hareket ederek dengeyi sağlamaları ve cisimleri nötr hale getirmeleri temin edilmektedir. İyonların bu hareketi, kesinlikle bir elektrik akımı değildir. Fakat etki olarak elektrik akımının etkisinin aynıdır. Yani farklı potansiyellerdeki, iki cisim arasındaki bu farkı ortadan kaldırmak için meydana gelen enerji transferidir.

a. Elektriksel İyonizasyon:

İyonize edilecek ortam elektrik alanından geçirilir. Yüksek gerilimli AC statik elektrik nötralizatörlerinden geçirilen havada elektrik koronası (korona deşarjı) meydana getirirler. Böylece atom yapısındaki yörüngesel elektronlar kolaylıkla çekilir, pozitif ve negatif iyonlar meydana getirilir.

Elektriksel iyonizasyon üretici, parlayıcı ortamlar için uygun değildir. Çünkü harcadıkları enerjiden daha fazlasını çevreye yayarlar. Bu enerji ise parlayıcı bir ortamda ateşleme kaynağı teşkil eder.

b. Radyoaktif İyonizasyon:

İyonizasyon oluşumu, elektronları atomdan kopartılarak ortamda pozitif ve negatif iyonlar elde etmek için radyoaktif statik eliminatörler kullanılır. Bunlar genelde,

alfa parçacıkları yayan kaynaklardır. Ancak bunun yanında, beta parçacıkları ve gama radyasyonu yayan radyoaktif kaynaklar da kullanılır. Radyoaktif iyonizasyon üretici, bir ateşleme kaynağı yaratmaz ve alfa parçacığı kullanılması halinde tehlikeleri kolaylıkla kontrol edilebilir. Alfa radyasyonu, bir kağıt tabakası veya cilt tarafından kolaylıkla durdurulabilir ve dış radyasyon tehlikesi doğurmaz. Ancak beta ve gama radyasyonunda dış radyasyon tehlikesi mevcuttur. Bu tehlikeyi açıklamanın yolu, kaynağa belli bir mesafede durmak ve araya ekran koymaktır.

Radyoaktif başlıklı; paratoner bu metodun bir uygulamasıdır. Başlık etrafında hava sürekli olarak iyonize edilmekte, temin edilen iletken bir ortam üzerinden, tehlikeli bir seviyeye erişmeden havadaki yükler çekilmekte ve toprağa verilmektedir.

c. Gaz Alevi veya Enfranj Isıtıcılar Vasıtasıyla İyonizasyon:

Hava ayrıca gaz alevi veya enfranj ısıtıcılar aracılığıyla da iyonize edilebilir. Küçük bir alev huzmesi veya enfranj ısıtıcı, statik elektriğin izole edileceği ortam yakınına tatbik edilir. Dengesiz yükler, yaratılan iyonize edilmiş saha boyunca alev çerçevesine veya ısıtıcı alete intikal ettirilerek dengelenir.

Bu metod parlayıcı buhar ve tozların mevcut olabileceği yerlerde kullanılmamalıdır.

3. Personelin Korunması

Çıplak insan vücudu, genel olarak oldukça iyi bir iletkenidir. Ancak gelişen teknolojilerle birlikte hem topraklanmayı önleyici yapıda izole edilmiş hem de statik elektriklenmeyi önleyici pek çok iş elbiseleri üretilmiştir. Eğer çalışan antistatik özellikte iletken sayılabilecek ayakkabı giyer ve ayrıca iletken bir zemin üzerinde durursa, potansiyel fark önlenemez ve vücutta oluşan yük bu yolla topraklanabilecektir.

Pek çok elektriklenme giyilen kıyafetlerden meydana gelir. En iyi kumaş pamukludur ve pamuk özelliği gereği nem çektiğinden kumaşın iletkenlik özelliği de artar.

Son dönemlerde, içinde ince metal iplikler bulunan iletken özellikte polietilen malzemedan yapılmış özel iş elbiseleri geliştirilmiştir.

Geçmişte, zeminin iletken yapılması ve bakımı, çok pahalı olması göz önünde bulundurularak kullanılmamış olsa da etkinliği dikkate alındığında bu amaçla piyasaya yeni malzemeler girmiştir.

Genel tedbir olarak, parlayıcı ve patlayıcı gaz, buhar ve tozların bulunduğu işyeri bölümleri, diğer bölümlerden ayrılmalı, girişler kontrollü olmalı, ayrıca bu girişlerde insan vücudu üzerindeki statik elektrik yükünü boşaltacak "Nötralizatörler" bulundurulmalıdır. Çalışanlar böyle bir alana girerken, genellikle bakır kullanılarak yapılan bu nötralizatöre temas ederek, üzerlerinde birikmiş olan statik elektrik yükünü boşaltmalıdır.

Bu bağlamda önerilerim şunlar olabilir:

- a. Ülkemizde statik elektrik konusunda standart oluşturulmalı,
- b. Tehlikesi bilinen sektörlerde bu konu ile ilgili alınması gereken önlemler kanun koyucu tarafından yasalaştırılmalı,
- c. Endüstriyel uygulamalarda statik elektrik ateşlemelerin enerji düzeylerinin hesaplanması, etkilerin ölçülmesine ve riskin boyutunun tespit edilmesine yönelik sağlıklı yöntemler kullanılmalı,
- d. Dünyada meydana gelen kazalar ışığında, aynı veya benzer kazaların tekrar yaşanmaması için gerekli mühendislik çalışmalar yapılarak tedbirler genele yayılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

American Institute of Chemical Engineers, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5901.

Britton, L. G., "Using Material Data in Static Hazard Assessment," Plant/Operations Progress, April 1992, pp. 56–70.

American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.

API RP 2003, Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents, 6th edition, 1998.

ASTM D 257, Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials, 1999.

ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, P.O. Box C700, West Conshohocken, PA19428-2959.

BS 5958, Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity, Part 1, General Considerations, British Standards Institution, London, 1991.

CENELEC, Rue de Stassartstraat, 35, B - 1050 Brussels, Belgium.

EN 61241-2-2, Electrical Apparatus for Use in the Presence of Combustible Dust — Part2: Test Methods; Section 2: Method for Determining the Electrical Resistivity of Dust in Layers, International Electrotechnical Commission, Brussels, 1996.

Glor, M., Electrostatic Hazards in Powder Handling, Research Studies Press, Ltd., Letchworth, Hertfordshire, England, 1988.

Institute of Makers of Explosives, 1120 Nineteenth Street, NW, Suite 310, Washington, DC 20036-3605.

International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals, 4th Edition, Witherby and Co., Ltd., London, 1996.

Japan Industrial Standards. 1-3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8901, Japan.

JIS B 9915, Measuring Methods for Dust Resistivity (with Parallel Electrodes), Japan Industrial Standards, Tokyo, 1989.

MEGEP, 2007

Merriam-Webster's Collegiate Dictionary, 11th edition, Merriam-Webster, Inc., Springfield, MA, 2003.

National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169-7471.

NFPA 30, Flammable and Combustible Liquids Code, 2003 edition.

NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems, 2002 edition.

NFPA 70, National Electrical Code®[®], 2005 edition.

NFPA 99, Standard for Health Care Facilities, 2005 edition.

NFPA 220, Standard on Types of Building Construction, 2006 edition.

NFPA 495, Explosive Materials Code, 2006 edition.

NFPA 496, Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment, 2003 edition.

NFPA 498, Standard for Safe Havens and Interchange Lots for Vehicles Transporting Explosives, 2006

NFPA 1124, Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles, 2006 edition.

Pratt, T. H., Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions, Burgoyne, Inc., Marietta, GA, 1997.

Safety Library Publication No. 3, Suggested Code of Regulations for the Manufacture, Transportation, Storage, Sale, Possession, and Use of Explosive Materials.

Safety Library Publication No. 17, Safety in the Transportation, Storage, Handling, and Use of Explosive Materials.

Standard 4145.26M, Contractors' Safety Manual for Ammunition and Explosives.

Standard 6055.9, Ammunition and Explosive Safety Standards.

Walmsley, H. L., "Avoidance of Electrostatic Hazards in the Petroleum Industry," Journal of Electrostatics, vol. 27, No. 1 and No. 2, Elsevier, New York, 1992.

http://www.emo.org.tr/ekler/cf64379eb6f29a4_ek.pdf?dergi=167

http://www.emo.org.tr/ekler/8e7b0f0b1cd8d64_ek.pdf?dergi=927

http://www.emo.org.tr/ekler/49d427e4194e12b_ek.pdf

EKLER

EK1 - Özgeçmiş

Adı Soyadı: Şebnem Karul TONKA

Doğum Yeri ve Tarihi: Çanakkale- 31.12.1972

Yabancı Dili: İngilizce

İletişim (Telefon/e-posta): 0(532) 377 99 94

sebnemkarul@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Çanakkale Lisesi, 1989

Lisans: Uludağ Üniversitesi – Çevre Mühendisliği,1996

Yüksek Lisans: Üsküdar Üniversitesi- İş Sağlığı ve İş Güvenliği, 2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

- | | |
|-------------------|-------------|
| 1. LINEADDECOR | 1998 – 2003 |
| 2. ÖNALANLAR YAPI | 2003 - 2005 |
| 3. ENKAY GROUP | 2005 - 2010 |

Yayımları (SCI ve diğer) :