

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE TOZ PATLAMALARI,
MODELLENMESİ VE RİSK AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meryem Müge ASANA

506111014

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hikmet İSKENDER

NİSAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Meryem Müge ASANA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE TOZ PATLAMALARI, MODELLENMESİ VE RİSK AZALTILMASI”** başlıklı

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hikmet İSKENDER

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Dursun Ali ŞAŞMAZ

Prof. Dr. Mehmet KANDAZ

Teslim Tarihi : 15 Aralık 2014

Savunma Tarihi : 17 Nisan 2015

ÖNSÖZ

Endüstriyel tesislerdeki toz patlamaların incelendiği yüksek lisans tezimin yazımı aşamasında, desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hikmet İskender’e teşekkürlerimi sunarım.

Nisan 2015

Meryem Müge Asana
Kimya Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. TOZ PATLAMALARI	3
2.1 Toz Nedir?.....	3
2.2 Patlama Nedir?	3
2.3 Patlama Türleri.....	3
2.4 Toz Patlamaları	3
2.5 Toz Patlaması için Uygun Koşullar	4
2.5.1 Tozların sınıflandırılması.....	5
2.5.2 HM Tesis Gözetim Departmanı sınıflandırması, UK	5
2.5.3 Yanıcı sınıf sıralaması.....	6
2.5.4 K_{st} değerine göre sınıflandırma	6
2.6 Tozların Patlayıcılığının Belirlenmesi için Yapılan Testler.....	8
2.7 Toz Patlamalarında Etkili Olan Etmenler	8
2.7.1 Partikül boyutu	10
2.7.2 Toz konsantrasyonu	10
2.7.3 Oksidan konsantrasyonu	10
2.7.4 Tutuşma sıcaklığı	11
2.7.5 Türbülansın rolü.....	12
2.7.6 Basınç artışının maksimum hızı	12
2.7.7 Karıştırılmış inert toz konsantrasyonu	14
2.7.8 Yanıcı gazların varlığı.....	14
3. TOZ PATLAMALARDAN ETKİLENEN SANAYİ DALLARI VE TEHLİKELERİN BELİRLENMESİ.....	17
3.1 Patlamanın En Çok Meydana Geldiği Toz Çeşitleri	17
3.2 Risk ve Tehlike Değerlendirmesi.....	18
3.2.1 Risk analizi.....	18
3.2.1.1 Hata ağacı analizi (Fault Tree Analysis).....	19
3.2.1.2 Olay ağacı analizi (Event Tree Analysis).....	21
4. ENDÜSTRİYEL TESİSLERDEKİ TOZ PATLAMALARI İÇİN RİSK AZALTMA YÖNTEM VE YÖNETMELİKLERİ.....	23
4.1 Yasal Mevzuatlar ve Standartlar	23
4.1.1 Türk mevzuatı ve standartları	23
4.1.2 Seveso direktifleri	24
4.1.2.1 Seveso II ve Seveso III direktifleri.....	24

4.1.2.2 Büyük endüstriyel kaza	26
4.1.2.3 Türkiye'nin Seveso III Direktifi'ne uyum çalışmaları ve Seveso bildirimi	26
4.1.3 Toz patlamaları ile ilgili NFPA standartları	27
4.1.3.1 NFPA 654.....	27
4.1.3.2 NFPA 484.....	28
4.1.3.3 Diğer NFPA standartları.....	29
4.1.4 ATEX yönergeleri	30
4.2 Toz Patlamaları için Önleyici ve Hafifletici Parametreler	30
4.2.1 Tozun patlayıcılık özelliklerinin belirlenmesi.....	30
4.2.2 Yapısal olmayan önlemler.....	33
4.2.2.1 Tehlikeli maddeler yerine yanma özelliği bulunmayan maddelerin kullanılması	33
4.2.2.2 Toz miktarının minimize edilmesi	33
4.2.2.3 Oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi.....	33
4.2.2.4 Tutuşturucuların uzaklaştırılması	34
4.2.3 Organizasyonel önlemler.....	35
4.2.4 Diğer önlemler.....	35
4.2.5 Toz patlamaların zararlı etkilerinin hafifletilmesi.....	36
4.2.5.1 Patlamaya dirençli tasarım	36
4.2.5.2 Havalandırma uygulamaları	38
4.2.5.3 Baskılama yöntemi uygulaması	42
4.2.5.4 Patlamanın izolasyonu.....	43
4.2.6 Proses güvenliği için kurum yönetiminin görevleri	44
5. TOZ PATLAMA MODEL DENKLEMLERİ, YAZILIMLAR VE PARAMETRELERİ	47
6. TOZ PATLAMA ÖRNEKLEMELERİ	51
6.1 West Gübre Tesisi Patlaması.....	51
6.1.1 Yorum.....	53
6.2 Kunshan Zhongrong Patlaması	53
6.2.1 Yorum.....	54
6.3 Imperial Sugar Patlaması	55
6.3.1 Yorum.....	58
6.4 Rouse Polymerics International Patlaması	58
6.4.1 Yorum.....	59
6.5 Hayes Lemmerz Patlaması	60
6.5.1 Yorum.....	61
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKÇA	65
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

CC	: Combustible Class
UK	: United Kingdom
OSHA	: Occupational Health and Safety Association
MSDS	: Material Safety Data Sheet
MIT	: Minimum Ignition Temperature
BTE	: Bulut Tutuşma Enerjisi
PB	: Patlama Basıncı
PK	: Patlama Konsantrasyonu
ESD	: Electrostatic Discharge
CLP	: Classifying, Labelling and Packaging
NFPA	: National Fire Protection Association,
ASME	: American Society of Mechanical Engineers
HAZOP	: Hazard and Operability Analysis
FTA	: Fault Tree Analysis
ETA	: Event Tree Analysis
FMEA	: Failure Mode and Effects Analysis
EPA	: Environmental Protection Agency
CSB	: Chemical Safety and Hazard Investigation Board

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Bazı tozların patlama özellikleri.....	7
Çizelge 2.2: Toz patlamalarına etki eden faktörler.....	9
Çizelge 3.1: Ekipman ve prosese göre tehlike potansiyelleri.	20
Çizelge 4.1: Seveso direktiflerinin yerine getirilmesindeki boşluk analizi.	25
Çizelge 4.2 Seveso II ve Seveso III sınıflandırmaları.....	26
Çizelge 4.3: Toz patlamalarına ilişkin NFPA standartları.....	29
Çizelge 4.4: Toz patlamalar için alınacak önlemler.	31
Çizelge 4.5: Toz patlamalar için koruyucu önlemler.....	32

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Patlama beşgeni	4
Şekil 3.1 Patlayıcı toz türüne göre patlama oranları	17
Şekil 3.2 FTA ve ETA'nın odak noktalarına bağlı olarak kaza.....	21
Şekil 4.1 Hayes Lemmers fabrikasının toz toplama istemlerinde NFPA 484 gerekliliklerine uyulmadığı için meydana gelen patlama	28
Şekil 4.2 Örnek bir proseste nitrojenle inertleştirme ve oksijen konsantrasyonunu ölçme ve izleme	34
Şekil 4.3 Patlama basıncına dirençli bölmelere örnekler	38
Şekil 4.4 Patlama havalandırması	39
Şekil 4.5 Havalandırma kapağı	41
Şekil 4.6 Baskılama yönteminin çalışma prensibi	42
Şekil 4.7 Patlamanın, vida konveyörleriyle izolasyonu	43
Şekil 4.8 Patlamanın hızlı geçiş valfi ile izolasyonu	43
Şekil 4.9 Patlamanın kimyasal söndürme bariyeriyle izole edilmesi	44
Şekil 4.10 Proses güvenliği döngüsü	44
Şekil 6.1 West Gübre Tesisi patlaması	51
Şekil 6.2 West patlamasının çevreye etkileri	52
Şekil 6.3 West patlamasının uzaktan çekilmiş fotoğrafı.....	53
Şekil 6.4 Kunshan Zhongrong patlaması	54
Şekil 6.5 Imperial Sugar	55
Şekil 6.6 Imperial Sugar patlaması sonrası görüntüleri	56
Şekil 6.7 Imperial Sugar patlaması sonrası görüntüleri - 2.....	57
Şekil 6.8 Imperial Sugar patlaması	58
Şekil 6.9 Rouse Polymerics International Inc.'te yaşanan patlama	60
Şekil 6.10 Hayes Lemmerz patlaması sonrası çıkan yangın.....	61
Şekil 6.11 Hayes Lemmerz patlaması.....	62

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE TOZ PATLAMALARI, MODELLENMESİ VE RİSK AZALTILMASI

ÖZET

Patlamaların tek bir tanımı olmamakla birlikte, ani bir basınç dalgası sonucunda ortaya çıkan kimyasal enerji ile meydana gelmektedir. Gaz ve toz patlamalar olmak üzere ikiye ayrılmakla birlikte, yaygın bir inanişaya göre, gaz patlamalar kadar tehlikeli olarak görülmemektedirler. Bunun yanı sıra, prosesinde toz bulunan sanayi dallarının da pek çoğunda, kullanılan tozun yanıcılık özellikleri bilinmemektedir. Ancak bu inanişın aksine, yanıcı tozları proseslerinde bulunduran sanayi dalları ve işletmelerde gerekli önlemler alınmadığı takdirde büyük maddi ve manevi zarara yol açabilecek toz patlama riskleri bulunmaktadır. Örneğin, un, şeker, nişasta gibi ürünlerin üretimleri, metanol, propanol gibi yanıcı gazların üretiminin aksine, ilk bakışta patlamaya sebebiyet vermeyecekmiş gibi gözükse de, bu ürünlerin patlayıcı özellikte olmaları sebebiyle ciddi bir toz bulutu oluşturma ve buna bağlı olarak da toz patlama riski teşkil etmektedir.

Toz patlamaların meydana gelmesi için gerekli olan koşullara bakılırsa, bunun için, kapalı bir ortamda patlamaya uygun toz-hava karışımı, tutuşturma kaynağı, yakıt ve oksitleyici bulunması yeterlidir. Bu aşamada, çalışılan tozun patlayıcılık özelliklerine bağlı olarak sınıflandırılmasının incelenmiş olması büyük önem taşır. Çeşitli sınıflandırmaların bulunuyor olmasıyla birlikte, bunların en yaygın olanları CC (Combustible Class) ve K_{st} sınıflandırmalarıdır.

Toz patlama riski olan tesislerde, bu riski minimize etmek için patlamaya uygun bir tasarım yapmak gerekmektedir. Uygun tasarım için de modelleme yazılımları kullanılabilir. Uygun tasarımın ardından, yürürlükte olan yönetmeliklere uymak gerekmektedir. Dünya çapında, toz patlamaları önlemek ve oluşması durumunda da risklerini azaltmak için pek çok yönetmelik üzerine çalışılmaktadır. Türkiye’de de 2016 Ocak itibarıyla yürürlüğe girecek olan SEVESO III Direktifleri ve Amerika’nın kabul ettiği NFPA (National Fire Protection Association) Standartları en kapsamlı olanlarıdır.

Toz patlamaları incelerken göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametre ise partikül boyutudur. Tasarım ve prosesin işlerliği aşamalarında kullanılan tozun partikül boyutuna dikkat edilmelidir.

Endüstriyel tesislerde yaşanan ve yaşanması olası toz patlamaların doğasının incelendiği bu çalışmada, risklerin azaltılması için alınabilecek önlemler ve patlamanın gerçekleşmesi durumunda da, zararlarının azaltılabilmesine yönelik alınması gereken eylemler üzerinde durulmuştur. Yaşanmış büyük toz patlamalarından örnekler verilirken, dünya çapında geçerliliği olan yönetmelikler baz alınarak, toz patlaması modellerinin tasarımındaki önemli eksiklikler vurgulanmıştır.

DEFINITION, MODELLING AND RISK REDUCTION OF DUST EXPLOSIONS OCCUR IN INDUSTRIAL PLANTS

SUMMARY

Any solid material that can burn in air will do so with a violence and speed that increases with increasing degree of subdivision of the material [1]. In consequence, dust explosion occurs.

In a general conception, dust explosions are considered less important and alongside a very narrow industrial application areas' problem in comparison with gas explosions. The flammability and explosibility of many kinds of dusts present in industry are not known with respect to fluids like gasoline and methanol. Vast majority of dusts used or generated in the industry shows flammable or explosive behaviour. Even nutrients like flour, sugar, cacao, tea may generate dust clouds causing big explosions under appropriate conditions.

Industries, which work with combustible dusts, are always under risk of dust explosion. At this point, defining dusts are essential. Particle size must be the most important parameter of design. After classifying the dust as exposable, then, due to its particle size, using some modelling softwares, appropriate designs should be taken place. In some industries, ALOHA, ASPEN, FLUCS, EFFECTGIS type softwares have been using. Making the design with using these kind of simulators provides safer designs.

In industrial applications, designs made without taking proper precautions and neglecting dust explosion parameters cause loss of life and property, halt of production, negative effects on production continuity and most importantly, severe or permanent damages in the environment [2].

There are four main structural protective measures against dust explosions which are: designs resistant to explosions, ventilation, suppression and insulation.

The explosion resistant designs allow controlled damage during the explosion. It is practically difficult for the installations in large facilities nevertheless it is possible to apply in equipment basis. The cost-effectiveness and heavy weight is considered to be a disadvantage of explosion resistant designs.

Ventilation is one of the most important factors for reducing risk potentials. It is essential to construct proper ventilation in every unit and channel in the facility where there is a risk of explosion. The European standard EN14492 and American NFPA 68 are the most common ventilation standards among others.

Explosions, before occurring, reach to the explosion point in a certain time period. The initial measurements can give the signals of explosion to the sensors in this period and the extinguishers can be activated meantime. With this suppression method, flame can be eliminated thus it prevents the upcoming fire. The advantages of suppression are that it lowers the probability of toxic and corrosive materials exposure; suppression also provides flexibility for the mobility of the equipments.

The investment and maintenance costs are the disadvantages in comparison with ventilation systems.

The reason of explosion insulation is to prevent secondary explosions from happening directly or indirectly linked to the primary explosions. With the rapid system shut-down designs, the valves in the pipes which connect the tanks, can be activated by explosion sensing pressure detectors. The explosions can be insulated either by a chemical's release or a mechanical mechanism.

Besides appropriate design, following the prepared legal directions is a must. There are some kind of regulations for decreasing the potential risks and hazards in big industrial accidents, which include explosion safety rules and standards, as well. Most well-known and applied directives are Seveso Directives, United States of America's National Fire Protection Association (NFPA) Standards and ATEX Directives.

Seveso Directives are the regulations which are prepared to prevent large industrial accidents and minimize risks where it is inevitable to prevent the accidents. Seveso II Directive is directly applicable to the companies that keep enough quantity of dangerous materials in their production process, for sales or only for storage, which may cause accidents and only related with the presence of such dangerous materials. Seveso III, partially effective starting from 2015 and will be fully replacing with Seveso II on July, 1st of 2015, is simplified to ease the applicability and configured in accordance with the European Classification, Labelling and Packaging (CLP) Directive. This direction also will be fully applied to Turkish regulations in January, 2016.

Another standards are NFPA Standards, which is current legislation of United States of America. NFPA Standards are applied in the processes where production, processing, blending, transportation with conveyor belts, packaging and use of all flammable solid particles take place. NFPA determines the structural necessities of the facilities, equipment types to be used, choosing and designing of the proper explosion prevention systems. There are two main NFPA standards, which are totally related with dusts and dust explosions: NFPA 484 applies to fine particle sized metals like aluminum and magnesium. During an explosion, these fine dusts release very big amounts of energy so the accident prevention systems have rather different standard than NFPA 654, which has almost all kinds of dusts other than the specific dusts examined in NFPA 484.

The abbreviation of "atmosphere explosive" ATEX is effective since 2003 in the US and it consists of chapters such as classifications for products and facilities in the explosive environments. ATEX Directive takes into account of possibility and frequency of explosive environment formations, identifies risk zones. Also, the equipments used in these zones are grouped. These groups are named as "Conformity Categories".

Following these regulations provides continuous improvement, risk awareness and risk minimizing.

According to analysed dust explosion cases, it can easily be said that, not making design appropriate to explosions, neglecting the regulations and being not aware of dust explosions are the main causes of the accidents. If during designing plants, modelling were used, then management could be aware of potential risks and reduce risks with appropriate design. Preparing quality systems in the companies are

essential to create corporate culture, which includes continuous improvement, risk awareness, education, proficiency and creating know-how.

In this article, industrial dust explosions have been analysed throughout some cases and for risk reduction, prevention and protection methods have been defined. According to global directives, some inadequacies on dust explosion modelling design have been identified and solutions have been suggested. It has been aimed to reduce risks of the dust explosions occur in industrial plants with this article.

1. GİRİŞ

Toz patlamalar, yaygın bir inanişaya göre, gaz patlamalarına kıyasla, daha az önemli görülmekte ve bunun yanı sıra, çok kısıtlı bir endüstriyel uygulama alanının problemi olarak düşünülmektedir. Yanıcı ve patlayıcı özellikleri bilinen benzin, metanol gibi sıvılarla, metan, propan gibi gazların yanında, endüstride karşımıza çıkan tozların çoğunun yanıcılık ve patlayıcılık özellikleri bilinmemektedir. Endüstride kullanılan veya açığa çıkan tozların çok büyük bir kısmı yanıcı ve patlayıcı özellik göstermektedir. Un, şeker, kakao, çay gibi gıda maddeleri bile, büyük patlamalara sebebiyet verebilecek toz bulutları oluşturup, uygun koşullar altında patlama meydana getirebilir.

Endüstriyel uygulamalarda, gerekli önlemlerin alınmaması ve toz patlamaları parametrelerinin göz önünde bulundurulmadan yapılan tasarımlar sonucunda meydana gelen toz patlamalarında, yüksek can ve mal kayıpları meydana gelmekte, tesisler çalışmayı durdurmak zorunda kalmakta ve çevre, kalıcı ve ciddi zararlar görmektedir [1].

Bu çalışmada, toz patlamaların doğası ve işleyişi üzerinde durulmuş olup, bu toz patlamalardan etkilenen sanayi dalları belirlenip, yasal mevzuatlar doğrultusunda, tasarım modelleri oluşturulup, yöntemler önerilerek, risk azaltılması amaçlanmıştır.

2. TOZ PATLAMALARI

2.1 Toz Nedir?

İngiliz standardı BS 2955:1958'e [2] göre, partikül boyutu 1000 μm 'dan küçük olan malzemeler "pudra" olarak tanımlanırken, 76 μm 'dan küçük partikül boyutlu malzemeler "toz" olarak tanımlanmaktadır.

Endüstriyel süreçlerde kullanılan ya da açığa çıkan tozların da %70'den fazlası patlayıcıdır [3]. Bu doğrultuda, proseslerinde toz barındıran ekipmanlar kullanan endüstriyel tesislerin toz patlamalarla karşılaşma olasılıklarının yüksek olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2 Patlama Nedir?

Patlama, hacimdeki ani artış, buna bağlı olarak çok yüksek miktarda enerjinin açığa çıkması ve genellikle yüksek sıcaklıkların ve gazların bu doğrultuda açığa çıkması şeklinde genel bir ifade ile tanımlansa da, kesin ve tek bir tanımdan söz etmek mümkün değildir. Sabit hacimde, ani ve yüksek basınç artışına sebep olan ve ekzotermik bir yapı gösteren patlama, ani basınç dalgası ve proseste açığa çıkan kimyasal enerji ile açığa çıkmaktadır [4].

2.3 Patlama Türleri

Endüstriyel alanda, toz patlamalar ve gaz patlamalarla karşılaşılabilir. Gaz patlamalar, gaz karışımının yanmasıyla birlikte açığa çıkan ani basınç artışının yol açtığı prosesler olarak tanımlanırken, toz patlamalar, uygun hava-toz karışımının yarattığı bulutun ani patlaması olarak nitelendirilebilir [4].

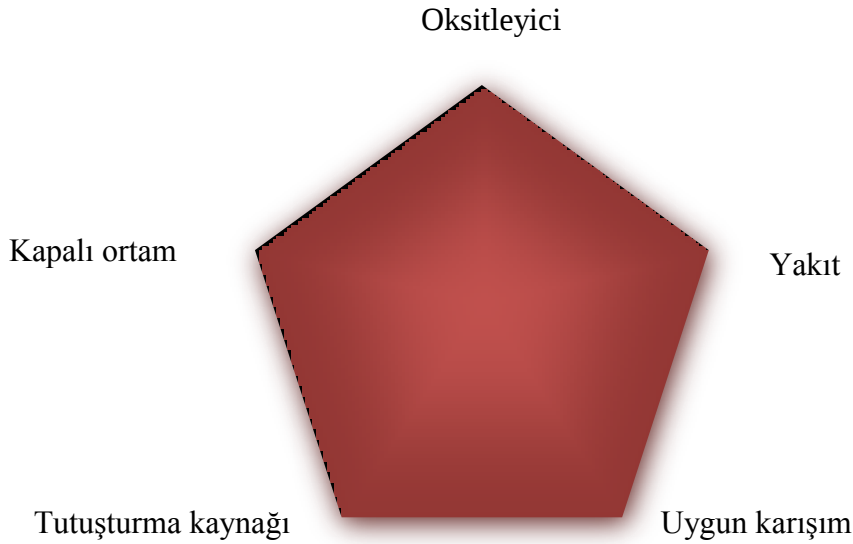
2.4 Toz Patlamaları

Bir toz patlama, havada asılı duran parlayıcı partiküllerin aniden ve hızlıca yanmasıyla meydana gelir. Yanma esnasında, havadaki yanabilen katı parçacıkların partikül boyutları küçüldükçe, patlamanın hızı ve şiddeti de artacaktır [5]. Toz

patlaması kavramına bir örnek verecek olursak; örneğin, bir parça odun ateşe verildiğinde ağır bir şekilde ve ısını uzun süre yayarak yanar. Odun küçük parçalara bölünüp talaş haline getirildiğinde ise yanma hızı artacaktır, çünkü yanıcı madde ile hava arasında temas yüzeyi artmış olacaktır. Bu şekilde odun parçaları daha da ufalanarak 0.1mm ya da daha küçük boyutlu taneler elde edildiğinde ve bu toz parçacıkları serbestçe yanabilecekleri hacimde hava içerisinde bulunduğunda, hem yanma hızı çok yükselecek hem de tutuşmaları çok daha kolaylaşacaktır. İşte bu toz-hava karışımının bir proses ekipmanı yada bir çalışma bölmesi gibi kapalı bir ortamda gerçekleşmesi sonucu ortam basıncı hızla yükselerek tahribata sebep olacaktır [6].

2.5 Toz Patlaması için Uygun Koşullar

Bir yangının meydana gelmesi için, yakıt, oksitleyici ve tutuşturma kaynağı koşullarına ihtiyaç varken, toz patlamaların meydana gelmesi için fazladan iki koşula daha ihtiyaç vardır: Kapalı bir ortam ve toz-hava karışımı. Bu beş koşulu bir araya getiren Şekil 2.1’de görülen beşgen ise toz patlama beşgeni olarak nitelendirilir.



Şekil 2.1: Patlama beşgeni.

Yanıcı tozun havadaki uygun karışımı ile oluşmuş kapalı bir ortamda, yakıt ve oksitleyicinin bulunmasıyla tutuşma kaynağının bir araya gelmesi toz patlamaya sebep olmaktadır.

2.5.1 Tozların sınıflandırılması

Potansiyel ölüm riski oluşturan tozlara bağlı yangın ve patlamalar, tozlarla ve katı maddelerle çalışan tüm tesisler için olası bir tehdit unsurudur. Bu tip operasyonlarda, yalnızca katı üretimi yapan bölümlerde değil, toz yapıda hammaddelerin, ara ürünlerin, katalizörlerin ya da katkı maddelerinin de bölümler de tehdit altındadır. Bu tip yangın ve patlamalar, ölüm, yaralanma, ekipmanların zarar görmesi, verimliliğin düşmesi, yanlış tasarım ve operasyonlar gerçekleştirilen katı ürün üretim tesislerinde kaçınılmaz sonuçlardır. Bunun için kullanılan malzemeyi, katı ve toz formdaki özelliklerini iyi biliyor olmak ve buna uygun bir tasarım yapmak gereklidir.

Tozlar, yanıcılık ve patlayıcılıklarına göre sınıflandırılabilirken, dışarıdan bir kaynak tarafından tutuşturulabilen ve kaynak uzaklaştırıldığı zaman da alevlerin yayılabileceği kadar enerji açığa çıkarmaya devam eden bir toz tabakası, yanıcı olarak nitelendirilebilir [7]. Her patlayıcı toz aynı zamanda yanıcı olarak sınıflandırılabilirken, her yanıcı malzeme patlayıcı özellikte olmak zorunda değildir. Örneğin, antrasit ve grafit, oldukça yüksek yanma ısısına sahipken, kolaylıkla patlamazlar. Bir tozun patlayıcı olup olmadığına dair çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan bazı hesaplama ve testlerle karar verilmektedir. Geçerliliği ve yaygınlığı en yüksek olan birkaç sınıflandırma şu şekildedir:

- Birleşik Krallık tarafından kabul edilen, HM Tesis Gözetim Departmanı sınıflandırması
- Yanıcı sınıf CC (combustible class) sınıflandırması
- Maksimum basınç artışı, K_{st} değerine göre yapılan sınıflandırmalarıdır.

2.5.2 HM Tesis Gözetim Departmanı sınıflandırması, UK

Bu sınıflandırmaya göre, tutuşturulduğunda kıvılcım çıkaran tozlar, A grubu olarak sınıflandırılırken; kıvılcım çıkarmayanlar, B grubu olarak sınıflandırılır. Buradaki test yapılırken, tozların tutuşturulduğu esnada, atmosfer sıcaklığı (25°C) veya çevresinde olması gerekmektedir. B grubu olarak sınıflandırılan bazı tozlar, yüksek

sıcaklıklarda patlayıcı özellik gösterebilmektedir. Örneğin, uçuşan küller tutuşturulabilirken, patlayıcı özellik göstermez ancak uflanmış kömür veya petrol koku ile karıştırıldığında patlayıcı olur. Buna, yakıt tozunun, uçucu madde miktarında yarattığı artış sebep olmaktadır [8].

2.5.3 Yanıcı sınıf sıralaması

Bir diğer sınıflandırma da, toz tabakasının tutuşturulması ve bu tabakanın yanma yoğunluğuna göre yapılan yanıcı sınıf (combustion class – CC) sıralamasıdır. Bu sınıflandırma, gaz kıvılcımı veya sıcak platin tel ile temas ettirilen belirli bir kümenin davranışlarının incelenmesi prensibine dayanır [6].

CC sınıflandırması:

- CC1: Tutuşmaz
- CC2: Kısa süreli tutuşur ve hemen söner, kısa süreli yerel yanmalar oluşturur
- CC3: Bölgesel yanmalar oluşturur, ancak alevler yayılmaz
- CC4: Yayılabilir parlama meydana gelir
- CC5: Kuvvetli yanma gerçekleşir, alevler tamamen yayılabilir
- CC6: Patlayabilir yanma

2.5.4 K_{st} değerine göre sınıflandırma

K_{st} , tozun tutuşma indeksi olup, diğer tozlara kıyasla tozun patlama şiddetini ifade eder. Buradaki ölçüm, $1m^3$ 'lük bir tankta, 10 KJ'lük bir tutuşma kaynağıyla gerçekleştirilir. K_{st} , meydana getirilen patlamanın basınçta meydana getirdiği maksimum artış oranı olarak tanımlanabilir. Buradaki “st” indeksi ise, toz anlamına gelen Almanca “staub” kelimesinden gelmektedir. K_{st} ile toz patlamaların şiddeti sınıflandırılmaktadır [9]

Toz Patlama Sınıfı	K_{st} (bar.m/s)	Patlayıcılık Karakteri
St 0	0	Patlayıcı değil
St 1	$0 < K_{st} < 200$	Zayıf patlayıcı
St 2	$200 < K_{st} < 300$	Kuvvetli patlayıcı
St 3	$K_{st} > 300$	Çok kuvvetli patlayıcı

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max} \times V^{1/3} = \text{sabit} \equiv K_{st} \quad (2.1)$$

K_{st} yukarıdaki formülle hesaplanır [10].

Bazı toz maddelerin patlayıcı özellikleri, minimum başlangıç tutuşturma enerjisi (BTE), maksimum patlama basıncı (PB), vb. Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Bazı tozların patlama özellikleri [1].

Toz Cinsi	Patlama Sıcaklığı (°C)		Min. BTE (mJ)	Maks. PB (bar)	K_{st} (bar *m/s)	Min. Patlama Konsant. (g/m ³)	Limitleyici O ₂ Konsant. (% hacim)
	Bulut	5 mm film					
Antrakinin	550	Süblimleşme	3	9.1	298	30	-
Leblebi tozu	560	260	40	-	-	-	15
Linyit Köm.	390	180	30	11.0	151	60	12
Alüminyum	550	740	15	13.0	750	60	5
Kömür	610	170	60	9.8	114	15	14
Mısır unu	380	330	40	10.3	125	60	9
Tahta	470	260	40	10.2	142	60	10
Buğday unu	380	360	50	9.8	70	125	11
Yağsız süt	490	200	50	9.8	125	60	-
Şeker	370	400	30	9.5	138	60	-
Sülfür	280	113	5	6.8	151	30	-
Çinko	690	540	9600	7.8	93	250	-

2.6 Tozların Patlayıcılığının Belirlenmesi için Yapılan Testler

Toz patlamalardan korunma ve toz patlamaların kontrolü, “tozların patlayıcılığı”, “minimum patlayıcı toz konsantrasyonu”, “minimum tutuşturma enerjisi” ve “minimum tutuşma sıcaklığı” çevresinde sağlanması beklenmektedir. Bunun için de bazı ölçümlerin yapılması ve bu ölçümleri etkileyen belirsizliklerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Genellikle toz patlayıcılıkları ölçümler için iki aparat kullanılmaktadır: “Hartmann dikey tüpü” ve “201 küresi”. Hartmann tüpü, ilk kullanılmaya başlanmış aparat olup, 1980lerden önceki verilerin elde edilmesinde kullanılmıştır [4]. Hartmann tüpü, içerisinde tozların disperse edildiği hava bulunan, 1.21 L’lik dikey bir tüptür. Sıcak bir tel veya ateşleyicinin tutuşma kaynağı olarak kullanıldığı bu sistem sayesinde, kıvılcım oluşumu, partikül boyutu, toz konsantrasyonu, tutuşturma enerjisi, sıcaklık vs. gibi parametrelere bağlı bir fonksiyon haline getirilebilir.

Hartmann dikey tüpü ve benzerleri – yatay tüp ve ateşleyici aparatlar – geçmişte çokça kullanılmasına rağmen, yakın zamanda, çok da homojen bir toz dağılımı ve türbülans sağlayamadığı ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, Hartmann tüpü, kıvılcımla çok rahat ateşlenemeyen ve daha güçlü bir ateşleme kaynağına ihtiyacı olan tozlar için de çok uygun değildir [6]. Bu yan etkileri azaltmak amacıyla, Choie ve arkadaşları [11] bu tüplere titreştirici, elek ve tozları hareket ettirici ekleyerek tüpü modifiye ettiler ancak halen daha test aşamasını sürdürmektedirler.

2.7 Toz Patlamalarında Etkili Olan Etmenler

Toz patlamaları, tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerin yanı sıra, çevresel faktörlerden de etkilenmektedir. Bu etmenleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Partikül boyutu
- Toz konsantrasyonu / oksidan konsantrasyonu
- Tutuşma sıcaklığı
- Toz bulutu türbülansı
- Basınç artışıdaki maksimum hız
- Karıştırılmış inert toz konsantrasyonu
- Yanıcı gaz varlığı

Çizelge 2.2’de patlayıcılığın hangi parametrelere bağlı olarak kuvvetlenip, güçsüzleştiği gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: Toz patlamalarına etki eden faktörler [6].

Parametre	Artma faktörü	Azalma faktörü
Patlamayı başlatmada tane boyutunun etkisi	50-70 μm < tane boyutu (μm) < 500 μm	Tane boyutu (μm) > 500 μm
Toz maddenin patlayabilirliği	- Düşük patlayıcı konsantrasyonu - Minimum tutuşma sıcaklığı - Düşük minimum tutuşma enerjisi - Yanma hızı - Maksimum basınç artış hızı - COOH, OH, NH₂, NO₂ gibi grupların varlığı - Tozun içerisindeki uçucu madde miktarının %10 üzerinde olması - Tanecik boyutunun küçük olması - Artan oksijen miktarı	- Cl, Br, F gruplarının varlığı - İnert madde içeriğinin %10-20 üzeri olması - Tozun barındırdığı nemin %30’un üzerinde olması
Minimum patlayıcı konsantrasyonu	- Artan nem miktarı - Artan inert madde miktarı	- Azalan tane boyutu - Artan uçucu madde içeriği - Artan oksijen konsantrasyonu
Minimum tutuşma sıcaklığı	- Artan nem miktarı - Artan inert madde miktarı	- Azalan tane boyutu - Artan uçucu madde içeriği - Artan oksijen konsantrasyonu - Artan toz katmanı kalınlığı
Maksimum izin verilebilir oksijen konsantrasyonu	Düşen toz sıcaklığı	Artan toz sıcaklığı ile
Maksimum patlama basıncı	Az da olsa azalan tane boyutu	
Maksimum basınç artış hızı	- Azalan tane boyutu - Artan uçucu madde içeriği - Artan oksijen miktarı	- Artan nem miktarı - Artan inert madde içeriği

2.7.1 Partikül boyutu

Birim ağırlığa denk gelen yüzey alanı ne kadar büyükse, patlamanın yaratacağı potansiyel etkiler de o kadar artar. Fakat bazı durumlarda, parçacık boyutunun fazlaca küçülmesi toz partiküllerinin birleşip öbeklenmesi de söz konusu olabilir. Bu durumun gerçekleşmesi sonucunda, patlayıcılık azalır ve bir araya gelmiş toz kümesinin tane boyutu 500 μm 'i geçtiğinde tutuşmayan bir malzeme halini alır.

Partikül yüzey alanının değişimi ile patlayıcılık lineer bir şekilde değişmez ancak etkisi kuvvetlidir. Bu etkinin sebebi ise, toz konsantrasyonundan ve uçucuların yanma hızından gelmektedir.

2.7.2 Toz konsantrasyonu

Yalnızca belirli aralıklar arasındaki toz konsantrasyonunda toz bulutu patlayabilir. Bunlar genel olarak:

- 50-100 g/m^3 : en düşük konsantrasyon
- 2-3 kg/m^3 : maksimum konsantrasyon

Hertzberg ve arkadaşlarına [12] göre, yeni yakıt uçucuları üretilmeden önce, havadaki katı faz yakıtı uçucularının, belli bir sitokiyometrik konsantrasyonda karışımın tutuşturulması gereklidir. En düşük konsantrasyon limiti, yanmayı devam ettirmek için gereken minimum yakıt parçacığı miktarına göre belirlenmektedir. Toz konsantrasyonu ile tutuşma enerjisi arasında neredeyse parabolik bir ilişki vardır. Toz konsantrasyonu düşerken de, tutuşturma enerjisinde yükselme meydana gelir [6].

Maksimum konsantrasyon limitleri de, patlama için gereken minimum oksijen miktarına bakarak belirlenir.

Yanıcılık karakteristiklerinde, farklı testlerde, aynı tozun patlayıcılıkları değişiklik gösterebilir [4]. Her ne kadar daha önceden bahsettiğimiz testlerin işleyişinde çok büyük gelişmeler kat edilmiş olsa da, hala test sonuçlarında belirgin farklılıklar mevcuttur ve kontrol stratejileri geliştirilirken çok fazla test yapılmalı ve dikkatli olunmalıdır.

2.7.3 Oksidan konsantrasyonu

“Toz patlama beşgeni”nin bir tarafını oksidan oluşturmaktadır. Bu oksidan, genellikle havada bulunan oksijendir. Oksijen konsantrasyonu, patlama prosesini çok

geniş alanlara taşıyabilir. %21'den fazla olan oksijen konsantrasyonu, yakıtın yanma hızını arttıracaktır, ancak %21'in altındaki oksijen konsantrasyonlarında ise, bu yanma hızı düşecektir. Bunun sebebi, yanma prosesinde oksijen tüketilirken, oksijen konsantrasyonunun bu işlemde gitgide azalmasıdır. Bunun sonucunda da, yanma ile birlikte, tozların yanması zamanla azalacaktır. En sonunda da, yanma zamanla sönümlenecektir. Bir patlamanın gerçekleşmesi daha düşük bir olasılıktır. Yangının sürebilmesi için, oksijen konsantrasyonunun %10'un üzerinde olması gerekmektedir.

2.7.4 Tutuşma sıcaklığı

Tutuşabilen toz ve hava karışımı ısıtılırsa, bir noktada alev alabilir. Bu tür bir tutuşmanın gerçekleştiği en düşük sıcaklığa minimum tutuşma sıcaklığı (MIT) denir. Tablo 2.2'de özetlendiği gibi MIT, toz bulutundaki nem ve diğer inertlerin varlığıyla artar ama küçülen parçacık boyutu ve artan uçucu maddeler, oksijen konsantrasyonu ve toz katmanının kalınlığıyla düşer.

Tutuşma kaynaklarının ve patlama engelleme sistemlerinin tasarlanması için MIT'nin ölçülmesi şarttır.

Toz-oksidan bulutu MIT'den daha yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında bulutun yanma alt sıcaklığı ve minimum patlayabilir konsantrasyonunun düşmesi beklenir. Ama maksimum kesin yanma basıncı, P_{max} da düşer [1]. Kömür tozları için Cashdollar [12], yüksek sıcaklıklarda kömür ile reaksiyona girecek daha az oksidan molekülünün mevcut olması nedeniyle bu etkinin belirlediğini açıklamıştır. Yazar, 20l çember test aparatı kullanarak 60°C ve 80° C'de minimum kesin yanma konsantrasyonunu (MEC) ölçmüştür. Hidrokarbonlar için Burgers-Wheeler yasasının modifiye halini uygulayarak iki veri noktasının ekstrapolasyonu ile sıcaklık ve MEC arasındaki ilişkinin eğrisini elde etmiştir.

Relatif nemliliği %30-90 arasındaki havada genel tozların tipik tutuşma sıcaklığı:

- Buğday unu : 410 - 430 °C
- Mısır nişastası : 410 - 450 °C
- Çavdar tozu : 430 - 500 °C

Tahıl ve un tozlarının çoğu 400-500 °C'lerde sıcaklığa maruz kalan yüzeylere püskürtüldüğünde tutuşabilir. Yaklaşık 200°C sıcaklıkta bile uygun koşullar sağlandığında toz tutuşabilir ve bu da patlamaya sebep olabilir.

2.7.5 Türbülansın rolü

Toz bulutunu oluşturan parçacıkların, üç boyutlu düzlemde gelişigüzel olarak hızlıca hareketleri türbülansı oluşturur. İçerisinde tozların dağılmış olduğu bir türbülans bulutu oluşacaktır. Böyle bir bulut, ateş yakaladığı zaman, türbülans, çırpma benzeri bir harekete sebep olacaktır: buluttaki, henüz yanmamış ya da yanmakta olan parçaların, henüz yanmamış soğuk parçalarla karışması, yeni yanmaya elverişli alanlar oluşmasını sağlar. Kısacası, toz bulutunda oluşan bir kıvılcımın ardından, türbülansa girmiş olan bu bulutta kuvvetli bir patlama meydana gelir.

Türbülansın iki türü vardır ve tozları içeren endüstriyel prosesten kaynaklanırlar. İlki hava jeti, mikser, çuval filtresi, pnömatik taşıma borusu ve kova asansörü gibi üretim operasyonlarıyla oluşur. Bu tür türbülansa sıklıkla “ilk türbülans” denir.

İkinci tip türbülans, toz bulutu tutuşturulduktan sonra, yanma prosesi esnasında meydana gelir. Bu, tutuşmadan sonraki, henüz yanmamış tozların, patlama indükleyici akışıdır. Akışın hızı ve geometrik yapısı türbülansın şiddetini belirler. Örneğin, kova asansörlerindeki havalandırma açıklıkları ve kovaya benzeyen yapılar, türbülans oluşumunu güçlendirir. Bunların sonucunda, kıvılcımın başlattığı türbülans gitgide büyür [5].

Bazı yazarlara göre [13], yanma hızı ve toz patlamalarla ilgili diğer kimyasal reaksiyonların karakteristiklerinin belirlenmesinde, yanma hızı ve türbülans gibi hayati önem taşıyan parametreler, toz patlama modelinin oluşturulmasındaki en önemli faktörlerdir.

2.7.6 Basınç artışının maksimum hızı

Tozun tutuşturulmasından sonraki basınç artış hızı, yalnızca tozun “patlayıcılığın” ölçümü için değil, aynı zamanda, pek çok patlama denetleme tasarımının da anahtar noktasıdır.

Klasik yanma teorisine göre [14], ideal koşullarda, mutlak basıncın zamana göre fonksiyonu, $P(t)$, sabit hacimde, küresel bir patlama; kısmi hacim, $V(t)$ ’e bağlıdır [12]:

$$\frac{P(t)-P_o}{P_{max}-P_o} = k \frac{V(t)}{V_o} \quad (2.2)$$

Burada, P_o , başlangıç basıncı olup, V_o , çemberin hacmi ve k ise, yanmış ve yanmamış gazların arasındaki kompresibilite (sıkıştırılabilirlik) değişimine bağlı bir düzeltme katsayısıdır. Noktasal bir kaynaktan çıkan, küresel bir parlama:

$$\frac{V(t)}{V_o} = \left[\frac{r(t)}{r_o} \right]^3 = \left[\frac{S_b t}{r_o} \right]^3 \quad (2.3)$$

Buradaki $r(t)$, ateş topu yarıçapı iken, r_o , çember yarıçapı ve S_b de aşağıda belirtildiği üzere, alev hızıdır:

$$S_b = \frac{dr(t)}{dt} = \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} \right) S_u \quad (2.4)$$

Burada, $\frac{\rho_u}{\rho_b}$, sabit basınçta, yanmamış gaz yoğunluğunun, yanmış gaz yoğunluğuna oranıdır. Yanma hızı olan S_u da, yanmamış gazların alevlenme hızıdır. S_b ve S_u , lineer olmayan koşullardaki türbülanslardaki toz patlamaları için geçerlidir. Küresel çemberdeki tutuşmada, maksimum basınca, alevin duvarla teması esnasında ulaşılır. Bu anda, $k=1$ 'dir. 2.2 denkleminin, zamana göre diferansiyeli alındıktan sonra, 2.3 ve 2.4 denklemlerine yerleştirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilebilir:

$$\frac{dP(t)}{dt} = 3(P_{max} - P_o) \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} \right) S_u \frac{r(t)^2}{r_o^3} \quad (2.5)$$

$$r(t) = r_o = \left(\frac{3V_o}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.6)$$

$$\frac{\rho_u}{\rho_b} \approx \frac{T_b}{T_o} \approx \frac{P_{max}}{P_o} \quad (2.7)$$

$$K_{st} \left[\frac{dP(t)}{dt} \right]_{max} V_o^{1/3} = \left(\frac{P_{max}}{P_o} - 1 \right) P_{max} S_u \quad (2.8)$$

K_{st} , maksimum basınç artış hızının normalize edilmiş büyüklüğüdür. Daha önce de belirtildiği gibi, St , Almanca'da toz anlamına gelen "staub"u simgeler.

Bartknecht [15] ve Wiemann [16], başlangıç basıncının, P_{max} ve K_{st} değerlerine etkisini çalışmışlar ve 1 ila 4 bar basınçları arasında, P_{max} değerinin, başlangıç

basıncının artışıyla lineer olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, K_{st} değerinin de başlangıç basıncı ile artış gösterdiğini bulmuşlardır.

K_{st} , limitli bir yaklaşım olmasına rağmen, patlama kontrol modellerinin tasarımında anahtar görevi görmektedir [17].

2.7.7 Karıştırılmış inert toz konsantrasyonu

Kömür, mısır nişastası, polietilen ve antraknon vb. tozu üzerinde, sodyum bikarbonat, potasyum bikarbonat, monoamonyumfosfat ve kalsiyum karbonatın önleyici etkisi üzerinde Chatrathi ve Going'in [18] deneyleri yakıt/inert toz karışımları için yanıcılık eğrileri yaratılabildiğini göstermiştir. Tozların yanıcılık eğrileri gaz karışımlarının yanıcılığıyla aynı karakteristiğe sahiptir ve alt yanıcı limit, üst yanıcı limit ve inertleşme konsantrasyonu ile karakterize edilir. İnceleme sonuçları, yüksek K_{st} indisi ve metal toz parlamalarının söndürülebildiğini ve maksimum patlama basıncının kabul edilebilir bir seviyeye düşürülebildiğini göstermiştir. Kullanılan söndürme ajanının etkililiği, yakıt tozunun ve inert tozun uyumluluğuna bağlıdır. Özgül ısı, ısıl iletkenlik, emicilik, parçacık geometrisi ve parçacık ayrışımı, söndürücülerin etkililiğinde önemli rol oynamaktadır. Kıvılcım sıcaklığı ve yanma ısıyla birlikte bu faktörler söndürme etkililiğindeki ve patlama şiddetindeki varyasyonu açıklayabilir.

2.7.8 Yanıcı gazların varlığı

Tozun ortasında yanıcı bir gaz da varsa, tozun patlayıcılığı artar. Minimum patlayıcı konsantrasyonu, minimum ateşleme sıcaklığı ve minimum ateşleme enerjisi azalır ve maksimum basınç artış hızı yükselir.

Bu nedenle yanıcı gaz, toz için normal düşük patlayıcı limitin altındaki toz konsantrasyonunda ve gazın normal düşük patlayıcı limitinin altında gaz konsantrasyonunda patlayıcı hale getirebilir [6]. Normalde patlayıcı olmayan olmayacak büyüklükte parçacık boyutundaki tozu patlayıcı yapabilir. Örnek olarak, St 0 sınıfındaki toz, sırasıyla %1, %3, %5 ve %7 metan konsantrasyonunda St 1, 1/2, 2 ve 3 sınıfına dönebilir; aynı şekilde propan konsantrasyonunun %0,9 %2,7 ve %4,5 olduğu durumda ST 1, 2/3 ve 3'e dönebilir [4]. Hibrit hava/metan-mantar tozu karışımları için Piao ve arkadaşları [19], metan konsantrasyonundaki artışla beraber patlama riskinin arttığını gözlemlemişlerdir. Poliüretan-siklopentan ve plastik tozu-

siklopentan hibrit karışımlarının siklopentan gazı olmayan toza göre iki kat daha duyarlıdır. Hidrokarbon tozları ve gazların karışımı için Le Chatelier'in karışım kanunu uygulanabilir [6].

Toz-yanıcı gaz karışımlarının minimum tutuşma enerjisi, tozun tek başına tutuşma enerjisinden küçüktür.

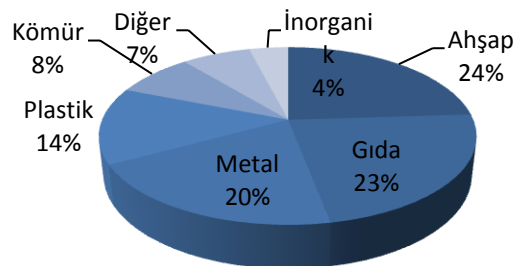
3. TOZ PATLAMALARDAN ETKİLENEN SANAYİ DALLARI VE TEHLİKELERİN BELİRLENMESİ

Toz patlamaları, yanıcı tozların üretimde kullanıldığı ya da yan ürün olarak proseste açığa çıktığı tüm endüstriyel uygulamalarda meydana gelebilir. İşletme alanı bazında toz patlamaların meydana gelme sıklıklarına göre uygulamaları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [5]:

- Ahşap işleme ve depolama işletmeleri
- Tahıl siloları
- Un ve tahıl değirmenleri
- Alüminyum ve magnezyum üretimi veya depolaması yapan işletmeler
- Kimyasal üretimi yapan işletmeler
- Plastik üretimi yapan işletmeler
- Nişasta veya şeker üretimi yapan işletmeler
- Kakao üretimi yapan işletmeler
- Kömür madeni veya işletmeleri
- İlaç üretimi yapan işletmeler

3.1 Patlamanın En Çok Meydana Geldiği Toz Çeşitleri

Sanayi dallarına bağlı olarak verilmiş toz patlama yüzdeleri Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1: Patlayıcı toz türüne göre patlama oranları.

Tozlardan daha önce de bahsetmiş olduğumuz gibi, yanıcı olan ve hatta bazen yanıcı bile olmayan tozlar büyük patlamalara sebep olabilirler. 1980- 2013 yılları arasında ABD ve Almanya’da meydana gelen toz patlamalarının %20’sinden fazlası ahşap, gıda ve metal tozları, %14’ü ise plastik tozları sebebiyle meydana gelmiştir [1].

3.2 Risk ve Tehlike Değerlendirmesi

Tehlikelerin tanımlanarak, meydana gelme olasılık ve sıklıklarının belirlenmesinin ardından, olası etkilerini göz önünde bulundurarak, bu tehlikelere bağlı risklerin ortaya çıkmasını önlemek ya da risk büyüklüğünün azaltılmasını sağlamak amacıyla değerlendirme yapılmalı, buna bağlı bir yönetim planı çizilmeli ve ilgili aksiyonlar alınmalıdır [20]. Bu değerlendirmenin yapılıp, yönetilebilmesi için, tanımlanan tehlikeler ve riskler göz önünde bulundurularak bir analiz yapılması gerekmektedir.

3.2.1 Risk analizi

“Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik”in 6. maddesine göre “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği” hükümlerine uygun olarak risk analizi yapılması gerekmektedir. Bu risklerin analizi yapılırken dikkat edilmesi gereken maddeler aşağıda sıralanmıştır:

- Patlayıcı ortam oluşma olasılığı ve bu ortamın kalıcılığı,
- Statik elektrik de dâhil tutuşturucu kaynakların bulunma, aktif ve etkili hale gelme ihtimalleri,
- İşyerinde bulunan tesis, kullanılan maddeler, prosesler ile bunların olası karşılıklı etkileşimleri,
- Olabilecek patlamanın etkisinin büyüklüğü.

Analiz yapılırken, tehlikenin tanımlanmasında aşağıdaki teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır [21]:

- Kontrol listeleri
- Birincil tehlike analizi
- Hata ağacı analizi (FTA – Fault Tree Analysis)
- Olay ağacı analizi (ETA – Event Tree Analysis)

- Tehlike ve işletilebilirlik analizi (HAZOP – Hazard and Operatability Analysis)
- Hata modları ve etkileri analizi (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis)
- Proses izleme ve test etme
- Pilot tesis işletimleri

Bu analiz tiplerinin bazılarının uygulamaları da aşağıda anlatılmaktadır.

Çeşitli proses ve ekipmanlar için patlamanın yayılması ve başlama potansiyeli Çizelge 3.1’de görülmektedir [22].

Risk analizinin başarılı olabilmesi, tüm tehlikelerin belirlenebilmesine bağlıdır. Bu tehlikeler; mekanik, elektriksel, elektro-mekanik ve elektronik öğeleri, kimyasal reaksiyonları, operasyonların ve prosedürlerin adımlarını, tesis koşullarını, proses başlatma ve kapatma adımlarını, acil durum durdurmasını ve bakım onarım işlemlerini içermelidir [22].

3.2.1.1 Hata ağacı analizi (Fault Tree Analysis)

Hata ağacı analizi, tek bir kazaya veya temel sistem hatasına odaklanır ve bu yaşanmış olayın sebeplerini anlamak için bir metot geliştirmeyi sağlar. Hata ağaçları, kaza ve olaylara sebep olabilecek olan çeşitli ekipman hatası kombinasyonlarını, insan hatalarını ve diğer etmenlere bağlı Boolean mantık kuralları kullanılarak oluşturulan grafik modelleri gösteren sistemlerdir ve bu sayede nitelikli bir analiz yapmak mümkün hale gelir [22]. Bu nitelikli analiz sonucunda, analistler, önleyici ölçümlere odaklanarak, böyle bir olayın oluşma olasılığının azalmasını sağlayabilirler. Bu teknik, dünya çapında pek çok sisteme uygulanabilmektedir.

FTA sayesinde, benzer istenmeyen olaylar belirlenerek, bunlara sebep olabilecek etmenler göz önünde bulundurularak kazaların önüne geçilebilir.

Temel düzeyde bir hata ağacı uygulaması kolay olmakla birlikte, karmaşık sistemler için uygulanabilecek bir hata ağacı analizi için uzun yılların deneyimi gerekir.

Uygulama çok zor olmamakla birlikte, çok zaman almaktadır. Uygulama için hazırlanmış bilgisayar programları da bulunmaktadır.

Çizelge 3.1: Ekipman ve prosese göre tehlike potansiyelleri.

Proses Ekipmanı	Patlama Potansiyeli	Yayılma Potansiyeli	Olası Başlatıcılar
Taşıma (asansörler, taşıma bandı)	Yüksek	Yüksek	Elektrostatik boşalma (ESD), metal kıvılcımları, sürtünme, ısı
Aktarma (ayırıcılar, siklonlar)	Orta-Yüksek	Orta-Yüksek	ESD, metal kıvılcımları, sıcak közler
Öğütme	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Metal kıvılcımları, ısı
Harmanlama	Çok Yüksek	Yüksek	Metal kıvılcımları, ısı, ESD
Kurutucular	Çok Yüksek	Yüksek	Isı, ESD, sürtünme, sıcak közler
Eleme	Orta	Çok Yüksek	ESD, sürtünme, sıcak közler, metal kıvılcımları
Kumlama	Yüksek	Orta	ESD, sürtünme, ısı, sıcak közler
Toz Toplayıcılar	Çok Yüksek	Çok Yüksek	ESD, metal kıvılcımları, sürtünme, ısı
Reaktör Besleme	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Metal kıvılcımları, ısı, ESD
Torbalama, Çuval Doldurma	Yüksek	Yüksek	ESD, sıcak közler, metal kıvılcımları, ısı
Torba/Çuval Boşaltma	Yüksek	Yüksek	ESD, sıcak közler, metal kıvılcımları, ısı

3.2.1.2 Olay ağacı analizi (Event Tree Analysis)

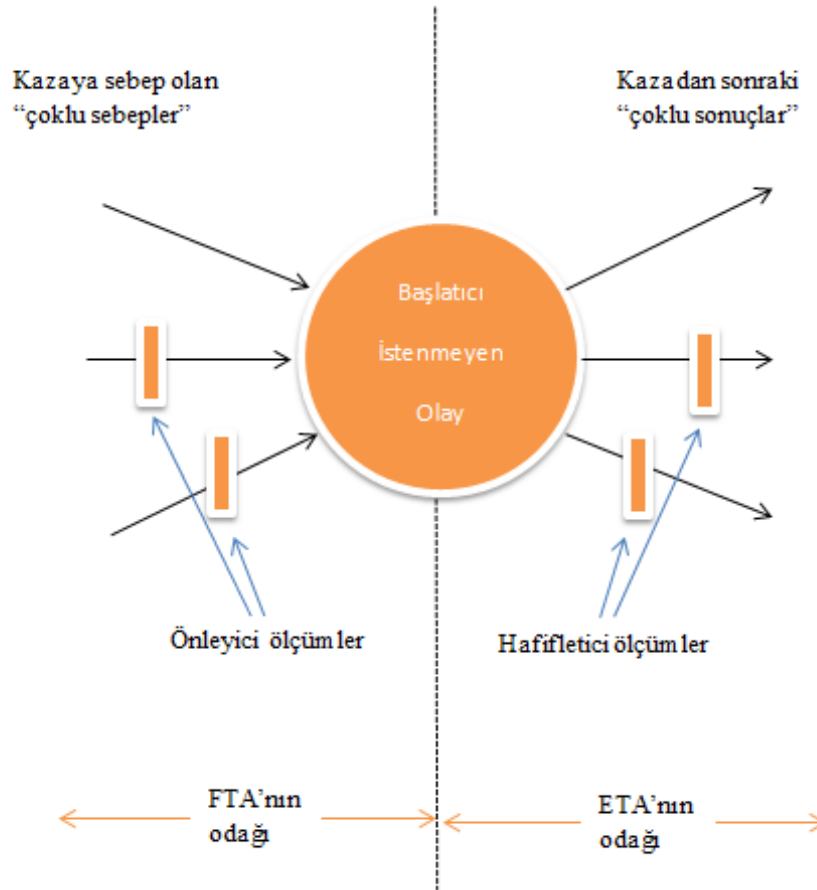
Olay ağacı analizinde, başlatıcı olay olarak bilinen, ekipman hataları ya da proses eksiklikleri sebebiyle oluşabilecek kazanın potansiyeli analiz edilir [22].

Bu analizde, üzerinde çalışılan model, pek çok farklı etmen sonucunda meydana gelebilecek olaylar zinciridir. Bir olay ağacı içerisinde, farklı ara basamak olayları sonucu ortaya çıkabilecek kaza modelleri bir arada görülebilir.

Olay ağacı analizi, kaza zincirinin sistematik bir şekilde tutulmasının yanı sıra, başlatıcı etmenlerle ardından birbirini tetikleyen olaylar arasındaki ilişkinin anlaşılmasını da sağlar.

Uygulama çok zor olmamakla birlikte FTA gibi uzun zaman almaktadır ve deneyim gerektirmektedir.

Şekil 3.2’de FTA ve ETA’nın odak noktaları ortak bir biçimde gösterilmiştir.



Şekil 3.2: FTA ve ETA’nın odak noktalarına bağlı olarak kaza.

4. ENDÜSTRİYEL TESİSLERDEKİ TOZ PATLAMALARI İÇİN RISK AZALTMA YÖNTEM VE YÖNETMELİKLERİ

4.1 Yasal Mevzuatlar ve Standartlar

4.1.1 Türk mevzuatı ve standartları

Endüstriyel işletmelerde, patlamalardan korunulması için bazı önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemlerle ilgili yasal düzenlemeler yapılmış olup, halen geçerli olan 24.12.1973 tarih ve 14752 no'lu Resmi Gazete'de yayınlanan "Parlayıcı, Patlayıcı, Tehlikeli ve Zararlı Maddelerle Çalışılan İşyerlerinde ve İşlerde Alınacak Tedbirler Hakkında Tüzük" hazırlanmıştır. Tüzükte bulunan toz patlamalarla ilgili kısım EK-A'da verilmiştir.

1973'te yayınlanmış tüzükte bulunan maddelere benzer maddeler içeren, 11370 sayılı "Yangın Önleme, Parlama ve Patlama, Genel" Türk Standardı, patlama tehlikesi barındıran tesislerde alınacak yangın önlemlerini içermektedir. Standardın toz patlamaları ve yangınların önlenmesiyle ilgili maddelerine EK-B'den ulaşılabilir.

28/6/1990 tarihli ve 90/394/EC sayılı, 27/6/1997 tarihli ve 97/42/EC sayılı ve 29/4/1999 tarihli ve 1999/38/EC sayılı Avrupa Birliği Direktifleri (ATEX) esas alınarak hazırlanmış olan "Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik", ilk olarak 26.12.2003 tarihinde ve 25328 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmış olup, son hali, 30.04.2013'de, 28633 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmıştır. Yönetmeliğe, EK-C'den ulaşılabilir.

Muhtemel patlayıcı ortamda kullanılan teçhizatın ve koruyucu sistemlerin güvenli olarak piyasaya arzı için gerekli emniyet kuralları ile uygunluk değerlendirme prosedürlerine ilişkin usul ve esasları belirleme amacıyla, il olarak, 27/10/2002 tarihli ve 24919 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiş ve son olarak da 30/12/2006 tarihli ve 26392 sayılı Resmi Gazetede güncellenmiş olan "Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemlerle İlgili Yönetmelik"de bulunmaktadır. Yönetmeliğe Ek-D'den ulaşılabilir.

4.1.2 Seveso direktifleri

Seveso, kuzeybatı İtalya’da Milano’ya 20 km uzaklıkta, Lombardi yakınlarında bulunan küçük bir kasabadır. Kente oldukça yakın mesafede bulunan, ICMESA Kimya Firması’na ait fabrikada 10/07/1976 günü triklorofenol (TCP) üretimi yapan bir reaktördeki patlama sonucunda beyaz bir gaz bulutu çevreye yayılmıştır. Bu zehirli gaz, şimdiye dek bilinen en zehirli gazlardan dioksindir. Kasabada kısa bir süre içinde hayvan ölümleri görülmeye başlanmış, patlamanın ardından geçen beş günün sonunda da hastaneye başvurular başlamıştır. Yapılan kontroller sonunda, kasabada geniş bir bölgenin tamamının kirlendiği anlaşılmış ve çevredeki evler tamamen boşaltılmıştır.

Bu dramatik kazanın ardından, büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve etkilerinin azaltılmasına yönelik olarak hazırlanmış olan Seveso Direktifi (82/501/EEC) kabul edilmiştir. 9 Aralık 1996’da ise 96/82/EC sayılı “Tehlikeli Maddeleri İçeren Büyük Kaza Risklerinin Kontrolüne İlişkin Direktif (Seveso II Direktifi)” yayımlanmıştır. Seveso II Direktifinin, Türk mevzuatına uyumlaştıran “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” de bu daha önce bahsedildiği üzere yayınlanmış ve yürürlüğe girmiştir. 24/07/2012’de yayınlanmış olan ve kısmı olarak 01/01/2015 ve 01/07/2015 tarihi itibarıyla de Seveso II Direktifi yerine tamamen geçerli olacak olan Seveso III Direktifi, kapsamı genişletmiştir.

- SEVESO I Direktifi 82/501/EEC (24/06/1982)
- SEVESO II Direktifi 96/82/CE (12/09/1999)
- SEVESO II Genişletmesi 2003/105/ CE (17/08/1999)
- SEVESO III Direktifi 2012/18/UE (07/04/2012)

4.1.2.1 Seveso II ve Seveso III direktifleri

Seveso Direktifleri, daha önce de bahsedilmiş olduğu üzere, büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve gerçekleşmesinin kaçınılmaz olduğu durumlarda da risklerin azaltılmasına yönelik hazırlanmış yönetmeliklerdir.

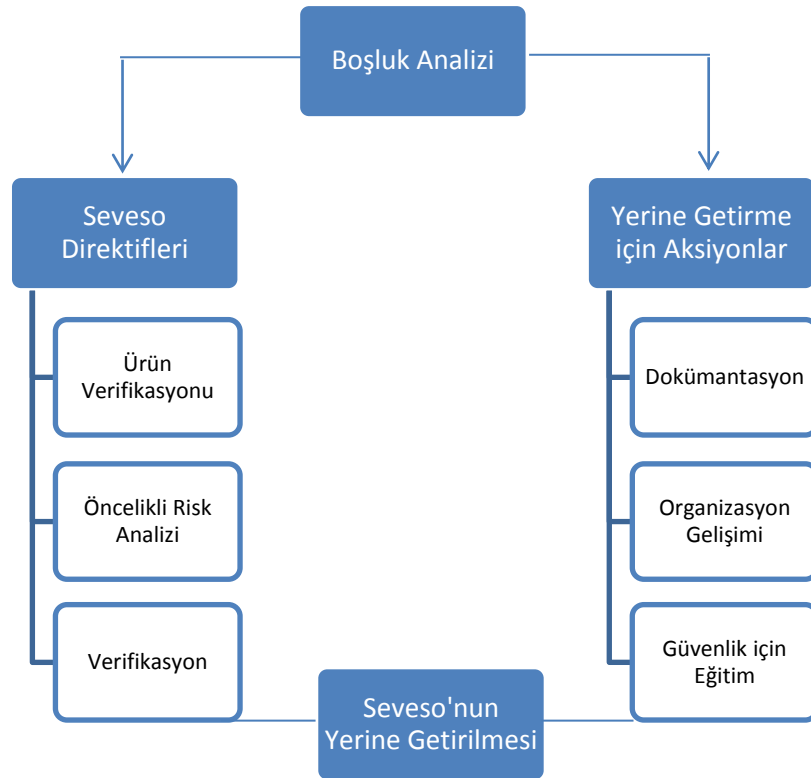
Seveso II Direktifleri ile bünyesinde üretim, depolama ve/veya satış amacıyla tehlikeli maddeleri bulunduran tesislerde, büyük endüstriyel kazaların önlenmesi, doğabilecek kazaların insanlara ve çevreye zararlarının en asgari seviyeye indirilebilmesi, etkin bir korunmayı ve risk azaltılmasını sağlamak amacıyla alınması

gereken tüm önlemlerin belirlenmesi amaçlanmaktaydı. Bu yönetmelik doğrudan kazaya sebebiyet verebilecek miktarda tehlikeli madde bulundurulan kuruluşlara uygulanabilmekteydi ve yalnızca bu tehlikeli maddelerin mevcudiyeti ile ilgiliydi. Seveso III ise aşağıda anlatılacağı üzere, bu maddelerin sınıflandırılması, etiketlenmesi ve ambalajlanmasına ilişkin maddeleri de kapsamaktadır.

Seveso III Yönetmeliği, Seveso II Yönetmeliğinden farklı olarak, uygulanabilirliğini kolaylaştırmak açısından sadeleştirilmiş ve Avrupa Birliği'nin kabul ettiği "Sınıflandırma, Etiketleme ve Ambalajlama" (CLP) mevzuatına uygun bir şekilde düzenlenmiştir. 01/07/2015 itibariyle tamamen Seveso II Direktifleri'nin yerine yürürlüğe geçecek olan yönetmelik, kısmi olarak 2015 başı itibariyle de yürürlüğe girmiştir.

Seveso Direktiflerinin yerine getirilmesindeki ilişki Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1: Seveso direktiflerinin yerine getirilmesindeki boşluk analizi.



Seveso III Direktifleri kapsamına, Seveso II'den farklı olarak aşağıdaki konular dahil edilmiştir:

- Tehlikeli maddelerin tanımlandığı Ek 1 kısmı, maddelerin sınıflandırılması ile ilgili Avrupa Birliği mevzuatı olan CLP tüzüğüne uyumlu hale getirilmesi,
- Büyük çaptaki endüstriyel kazalarla ilgili, kamuoyunun güvenli bilgiye erişimi ve karar almada daha etkili şekilde yer almasının sağlanması,
- Denetim mekanizmalarının daha sıkı kurallara tabi olması ve devletin ilgili birimlerine yeni yükümlülükler getirilmesi.

Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere, CLP tüzüğüne uyum kapsamında yapılan değişikliğe göre, yeni sınıflandırma tanımlamaları yapılmış ve Seveso II Direktifi'ndeki sınıflandırma şu şekilde geliştirilmiştir:

Çizelge 4.2 Seveso II ve Seveso III sınıflandırmaları [23].

Seveso II Sınıflandırması	Seveso III Sınıflandırması
3 – Çok Toksik	Akut Toksik 1
Toksik	Akut Toksik 2: Tüm maruziyet yolları
	Akut Toksik 3: Dermal ve soluma yolları

4.1.2.2 Büyük endüstriyel kaza

Büyük Endüstriyel Kaza, herhangi bir kuruluşun işletilmesi esnasında, kontrolsüz gelişmelerden kaynaklanan ve kuruluş içinde veya dışında çevre ve insan sağlığı için anında veya daha sonra ciddi tehlikeye yol açabilen bir veya birden fazla tehlikeli maddenin sebep olduğu büyük bir emisyon, yangın veya patlama olayını ifade etmektedir.

4.1.2.3 Türkiye'nin Seveso III Direktifi'ne uyum çalışmaları ve Seveso bildirimi

Türkiye'de, Çevre ve Ormancılık Bakanlığı tarafından yürütülen çalışmalar doğrultusunda, “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik”te yer alan “Tehlikeli Kimyasal Maddeleri” [24] bulunduran kuruluşlar, bakanlığın portalı üzerinden beyanda bulunmak zorundadırlar. Bu yönetmelik, Seveso II Direktifi baz alınarak hazırlanmış olup, henüz tamamen

yürürlüğe girmemiştir. Yönetmeliğin maddeleri, kademeli olarak zorunluluk kapsamına girecektir ancak Seveso III ile ilgili olarak bir kapsam genişletmesi yapılmaktadır.

Türkiye’de Seveso III Direktifi’nin uygulama kapasitesinin artırılması için teknik yardım projesi sürdürülmekte olup, bu proje kapsamında, Avrupa’daki uygulamalar yerinde incelenmiş ve uygulamaya konmuştur. 2016 Ocak itibarıyla de Seveso III Direktifleri, Türkiye için de yasal zorunluluk haline gelecektir.

4.1.3 Toz patlamaları ile ilgili NFPA standartları

1896 yılında kurulmuş olan NFPA (Ulusal Yangından Korunma Birliği), dünya çapında yangınların çıkmasını, standartlar oluşturup, araştırmalar yapıp, eğitimler vererek buna bağlı doğabilecek zararların azaltılmasını hedefleyen bir kuruluştur.

Toz patlaması risklerinin önlenmesi ve kontrolüne ilişkin iki temel NFPA standardı bulunmaktadır:

1. **NFPA 654**, “Yanıcı Katı Partiküllerin Kullanılması, İşlenmesi ve Üretilmesinden Kaynaklanan Toz Patlamalarının ve Yangınlarının Önlenmesi Standardı”
2. **NFPA 484**, “Yanıcı Metaller Standardı”

4.1.3.1 NFPA 654

Spesifik tozlarla ilgili diğer NFPA standartları haricinde (örneğin NFPA 484) tüm yanıcı tozları kapsayan bu standart, yanıcı katı partiküllerin ve tozlarının üretimi, işlenmesi, harmanlanması, konveyörler ile taşınması, paketlenmesi ve kullanılması işlemlerine uygulanmaktadır.

NFPA 654 yanıcı tozların tehlikeleri hakkında detayları verir, binaların yapısal gerekliliklerini ve tozlarla yapılan çalışmalarda kullanılacak ekipman türlerini belirler. Diğer NFPA standartlarını referans ederek, işyerlerinde uygulanabilecek patlamadan korunma sistemlerinin seçimi ve tasarımına ilişkin esasları kapsayan bu standartta ayrıca, işyerlerinde toz patlamalarından korunulmasına yönelik aşağıdaki bileşenleri içeren yönetim sistemlerinin geliştirilmesini ve yürütülmesini önerir:

- Tehlike değerlendirmesi,
- Değişiklik yönetimi,

- Bakım ve kontrol,
- Düzen,
- Prosedürler ve eğitim.

4.1.3.2 NFPA 484

NFPA 654 standardından farklı olarak NFPA 484, alüminyum ve magnezyum gibi kolay tutuşmaya meyilli, toz tanecikleri ince olan metalleri kapsayan bir standarttır. Bu tozlar patlama sırasında çok büyük miktarlarda enerji açığa çıkardıklarından koruma sistemlerinin standartları NFPA 654 için uygun değildir.

Genel olarak NFPA 484, ekipman tasarımları, korunma ve yönetim sistemleri hakkında detaylı bilgiler içererek, tehlikenin belirlenebilmesi için gerekli olan testleri kapsar.

2003 yılında Hayes Lemmers fabrikasında gerçekleşen patlama sonrasında yapılan incelemeler, eğer NFPA 484 standardının sağlamış olduğu toz toplama sistemlerinin tasarım ve bakımları ile patlamadan korunma önlemleri uygulanmış olsaydı ortaya çıkmış olan ve Şekil 4.1’de görülen zarar çok daha az olacaktı.



Şekil 4.1: Hayes Lemmers fabrikasının toz toplama istemlerinde NFPA 484 gerekliliklerine uyulmadığı için meydana gelen patlama.

4.1.3.3 Diğer NFPA standartları

Toz patlamalarına ilişkin faktörler, yanıcı tozların üretildiği ve kullanıldığı tesisler ile ilgili yayınlanan diğer NFPA standartları, kapsam ve amaçları ile Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.3: Toz patlamalarına ilişkin NFPA standartları.

Standart	Adı	Kapsam ve Amaç
NFPA 61	Tarım ve Gıda İşleme tesislerinde Yangın ve Toz Patlamalarından Korunma Standardı, 2002	- Bulk halindeki tarım ürünlerini veya tozlarını alan, kurutan, kullanan, işleyen, harmanlayan, öğüten, paketleyen, depolayan veya taşıyan tesisler, - Nişasta üreten veya kullanan tesisler, - Yağlı tohum işleyen ve kullanan tesisler
NFPA 68	Patlamanın Havalandırma Yoluyla Giderilmesi Rehberi, 2002	Patlama menfezlerinin tasarımı, boyutlandırılması, kurulması ve bakımına ilişkin teknik rehberlik sağlar.
NFPA 69	Patlama Önleme Sistemleri Standardı, 2002	Patlama önleme, koruma ve zarar azaltma sistemlerini ele alır.
NFPA 70	Ulusal Elektrik Kodu, 2005	Patlayıcı ortamlarda kullanılacak elektriksel donanım ve tesisat gerekliliklerini kapsar. Yanıcı tozların sınıflandırıldığı bölgeleri tanımlar.
NFPA 499	Kimyasal Proses Alanlarındaki Yanıcı Tozların Sınıflandırılması Ve Elektrik Tesisatları İçin Tehlikeli Olarak Sınıflandırılan Bölgeler İçin Önerilen Uygulamalar, 2005	Elektrik tesisatlarının kurulumu için toz işlenen alanların sınıflandırılması hakkında rehberlik sağlar.
NFPA 655	Sülfür Yangınlarının ve Patlamalarının Önlenmesi Standardı	Elementel sülfürü kullanan, öğüten, işleyen, toz haline getiren ya da ezen tesisler için geçerlidir.
NFPA 664	Ahşap İşleme ve Marangozluk Tesislerinde Yangın ve Patlamaların Önlenmesi Standardı	Ahşap ve ahşap ürünlerini işleyen, üreten tesisler ya da talaş tozu oluşan tesisler için geçerlidir.

4.1.4 ATEX yönergeleri

ATEX, Fransızca “Atmosphere Exposable” olarak patlayıcı ortamları ifade eden kelimelerin ilk heceleri kullanılarak meydana gelmiş, patlayıcı ortamlarda kullanılmak üzere üretilmiş ekipman ve koruyucu sistemler olarak ifade edilebilir. Bu kurallar sistemi, patlayıcı ortamlarda kullanılacak elektrikli ekipmanlara uygulanacak teknik zorunlulukları içerir.

ABD’de 01/07/2003 tarihinden beri yürürlükte olan 94/9/EC ATEX direktifleri, patlayıcı ortamlara ait bölümler ve ürünler için sınıflamalar yapılmasını ve bu ortamlarda kullanılacak ürünlerde CE sertifikasına uygunluk gerekliliğini ortaya koymuştur. Tozlu ortamlardaki koruma göz önüne alınarak ilk olarak oluşturulmuş ATEX direktifleri, daha sonraki aşamalarda, toz koruma, gaz koruma talimatlarına göre, bölge ve ürünler temel alınarak alt başlıklara bölünmüştür [25].

ATEX direktiflerine göre, patlayıcı ortam oluşma sıklığı ve olasılığını göz önünde bulundurularak risk bölgeleri belirlenmiştir. Bu risk bölgelerine göre, tozlar için bu bölgelere, madenler, kimyasal fabrikalar, enerji santralleri, un ve tahıl değirmenleri ve siloları, boya ve çimento fabrikaları örnek gösterilebilir. Bu bölgelerde kullanılabilecek ekipmanlar da gruplandırılmış olup, “Uygunluk Kategorileri” olarak adlandırılmıştır.

4.2 Toz Patlamaları için Önleyici ve Hafifletici Parametreler

Toz patlamaların, henüz oluşmadan önlenmesi için yapılabilecekler Çizelge 4.4’te belirtilmiştir.

Çizelge 4.5’te, patlamaları önlemek ve olası etkilerini hafifletebilmek için rolü olabilecek parametreler verilmiştir.

4.2.1 Tozun patlayıcılık özelliklerinin belirlenmesi

Malzeme Güvenlik Bilgi Formlarının (MSDS – Material Safety Data Sheet) ve tozun kimyasal yapı ve formülünün iyi değerlendirilmesi, endüstriyel proseslerde patlamanın önlenmesi için büyük önem arz etmektedir. Tozun yanıcılığı, toz katmanları ve bulutu oluşturma potansiyelleri ve sebep olabileceği patlamanın şiddeti önemli parametrelerdir [1].

Çizelge 4.4: Toz patlamalar için alınacak önlemler [22].

Uygulanacak Yöntem	Tanımı
Minimize etme	Yüksek toz konsantrasyonu oluşumunun kaçınılmaz olduğu durumlarda, tek seferde daha az miktar madde işlemek
Yerine koyma	Tehlikeli maddeyi, daha az tehlikeli bir maddeyle değiştirmek ya da bunu tamamen prosesten çıkarmak
Uyumlaştırma	Tehlike doğurabilecek tozun, en az tehlikeli halinde kullanmak
Basitleştirme	Tasarım aşamasında, prosesin ve buna bağlı prosedürlerin tehlikeyi azaltmak amacıyla olabildiğince basit hale getirmek

Bir toz patlamasının şiddeti aşağıdakilerin bir fonksiyonudur [22]:

- Tozun fiziksel ve kimyasal özellikleri;
- Toz/hava karışımının içindeki tozun konsantrasyonu;
- Toz/hava karışımının homojenliği ve sirkülasyonu;
- Ateşleme kaynağının yeri, enerjisi ve tipi;
- Kabin geometrik şekli;
- Patlayıcı toz/hava karışımının sıcaklığı, basıncı ve nemi

Bu parametrelere bağlı olarak incelenen toz, daha sonraki aşamada endüstriyel tesisin tasarımında kullanılacaktır. Bu tasarımın yapılmasında, Chilworth ve CV Technology gibi proses güvenliği konusunda danışmanlık yapan özel şirketler tarafından hazırlanan paket programlar aracılığıyla, özel tozların yanıcılık / patlayıcılık özellikleri ve patlama modelleri belirlenebilmektedir [22].

Toz patlamalara sebebiyet verebilecek tozun yanma ve patlama parametreleri fiziksel sabitler olmayıp, koşullara ve araştırma yöntemine bağlı olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 4.5: Toz patlamalar için koruyucu önlemler [1].

Koruyucu önlemler	Koruyucu önlemlerin tasarımı için gerekli parametreler
Patlamaları Önleme	
Yanıcı materyallerin yerine başkalarının kullanılması	Yanıcılık, patlayıcılık
Konsantrasyon sınırlandırması	Patlama limitleri
Eylemsizleştirme / Inertleştirme	Oksijen konsantrasyonunun sınırlandırılması
Ateşleme kaynaklarının ortadan kaldırılması	• Minimum ateşleme sıcaklıkları (yerdeki, havadaki toz için) • Ayırışma sıcaklığı • Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı • İçin için yanma sıcaklığı • Minimum tutuşma enerjisi • Darbe hassasiyeti • Elektrostatik davranış (özdirenç)
Patlamalara Karşı Yapısal Korunma	
Patlamaya dirençli yapı	Maksimum patlama aşırı basıncı (p_{max}) ya da düşürülmüş maksimum patlama aşırı basıncı (p_{red})
Patlama basınç boşaltma	Maksimum patlama aşırı basıncı (p_{max}) ve maksimum basınç artış oranı ($(dp/dt)_{max}$) ya da K_{st} değeri
Patlamanın baskılama yoluyla giderilmesi	Maksimum patlama aşırı basıncı (p_{max}) ve maksimum basınç artış oranı ($(dp/dt)_{max}$) ya da K_{st} değeri
Patlamanın izolasyonu	Geçiş genişliği sınırları Toz bulutunun minimum tutuşma sıcaklığı Minimum tutuşma enerjisi (MIE)

4.2.2 Yapısal olmayan önlemler

Patlamaları önlemek için alınabilecek yapısal olmayan önlemler aşağıda listelenmiştir:

- Yanıcı tozun yerine yanma özelliği bulunmayan bir tozun kullanılması,
- Toz konsantrasyonunun patlayıcı toz / hava karışımının oluşamayacağı kadar düşük seviyede tutulması,
- Tozun patlayarak yanması için gerekli oksijen konsantrasyonunun oluşmasının önlenmesi,
- Etkili ateşleme kaynaklarının dışarıda tutulması.

4.2.2.1 Tehlikeli maddeler yerine yanma özelliği bulunmayan maddelerin kullanılması

Bu önlem, teoride mümkün olsa da, yeterince uygulanabilir değildir [1].

4.2.2.2 Toz miktarının minimize edilmesi

Bu önlemin de tozlarda uygulanabilirliği sınırlıdır, çünkü toz konsantrasyonları aşağıdaki durumlarda çok hızlı bir şekilde değişebilmektedir [5]:

- Sedimentasyon / çökme,
- Hava hareketlerinde değişiklik
- Oksijen konsantrasyonunun sınırlandırılması (eylemsizleştirme/inertleştirme)

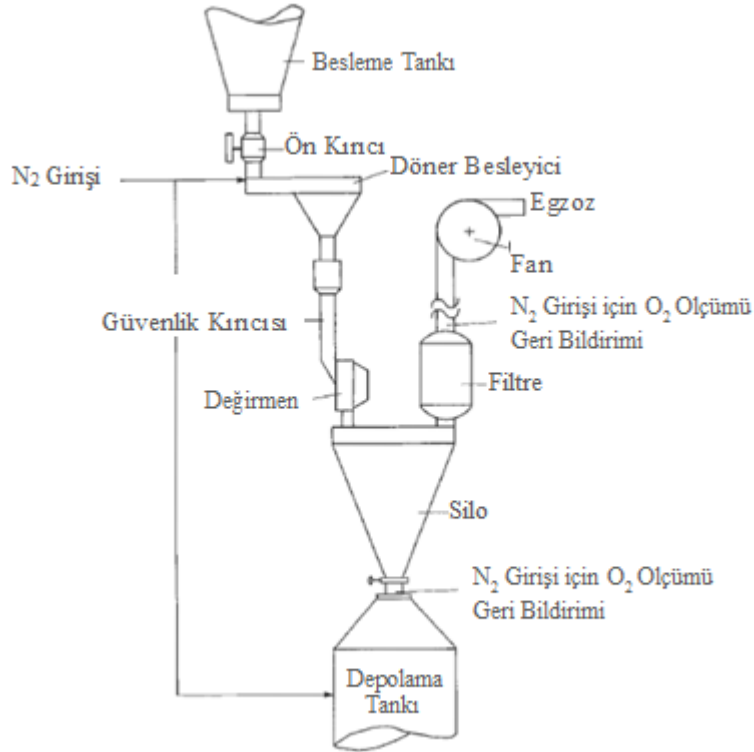
4.2.2.3 Oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi

İnertleştirme ya da eylemsizleştirme olarak da adlandırılabilir bu yöntemde, ortama inert bir madde eklenir ve bu şekilde oksijen seviyesinde düşüş sağlanmış olur. İnertleştirme genellikle, azot ve CO₂ gibi gazların tanka basılmasıyla sağlanır. Proseslerde, inert gaz seçimi de çok büyük önem taşır. Buradaki seçimde en çok dikkat edilmesi gereken unsurlar, sıcaklık gibi proses koşulları ve seçilecek gazın yanıcı toz madde ile tepkimeye girmemesidir. Örnek inertleştirme şeması, Şekil 4.2’de gösterilmiştir [5].

İnert gaz kullanımının sağladığı avantajlardan biri de, yanmanın ve buna bağlı olarak ürünün zarar görmesinin önlemesidir.

Dezavantajlar ise şunlardır:

- Bakım ve inert gazdan kaynaklanan maliyet yükselişi
- Sızıntı durumunda, alandaki çalışanların boğulma tehlikesi



Şekil 4.2: Örnek bir proseste nitrojenle inertleştirme ve oksijen konsantrasyonunu ölçme ve izleme.

4.2.2.4 Tutuşturucuların uzaklaştırılması

Koruyucu önlem olarak sadece tutuşturucuların ortadan kaldırılması yöntemi kullanılacaksa, iyi bir risk analizi yapılmalıdır.

Endüstriyel tesislerde bulunabilecek etkili ateşleme kaynakları aşağıdaki gruplara ayrılabilir [26]:

- Mekanik kıvılcım ve sürtünmeden kaynaklanan ısı: rulman, kayışlı cisimler, yabancı cisimler...
- Çıplak alev ve kıvılcımlar
- Elektriksel ve elektrostatik kıvılcımlar
- Kendinden ısınma, akkor maddeler

- Sıcak yüzeyler, yanıcı tozların minimum tutuşma enerjisinin maksimum %80'i kadar enerji taşımalıdır
- Yıldırımlar

4.2.3 Organizasyonel önlemler

Patlamalar gibi, büyük tehlikeler barındıran riskler karşısında, mühendis yaklaşımının yanı sıra idari bir yaklaşım da söz konusu olmalıdır. Buna bağlı olarak, idarenin de organizasyonel anlamda aşağıda bulunan görevleri yerine getirmesi gerekmektedir:

- Patlamadan korunma dokümanının hazırlanması,
- Çalışma yönergelerinin hazırlanması,
- Çalışanların düzenli olarak bilgilendirilmesi,
- Koruyucu giysi ve ekipmanların kullanılması,
- Fabrika birimlerinin ve çevrelerinin temiz tutulması,
- Tesisteki birim ve ekipmanın güvenliğinin izlenmesi ve sürdürülmesi,
- Tehlikeli alanlarda gerçekleştirilecek özel çalışmalarda yetkinin şart koşulması,
- Teknik bakımların düzenli olarak bakımının yaptırılması,
- Yüksek risk altındaki bölgelerin işaretlenmesi ya da şeritlerle çevrilmesi [26].

4.2.4 Diğer önlemler

Tasarımsal ve prosese dair önlemlerin yanı sıra, aşağıda sıralanan önlemlerin alınması da tamamlayıcı olarak toz patlamalardan korunmada önemli rol oynar:

- Endüstriyel tesis içerisinde, toz patlama tehlikesinin bulunduğu alanları, dayanıklı ve boşluk içermeyen fiziksel bariyerler kullanarak ayırmak,
- Patlama riski bulunan alanı, diğer alanlardan uzak bir yere kurmak
- Binada NFPA standartlarına bağlı olarak, aktif (sprinkler, dolap, hortum, söndürme tüpleri, vs.) ve pasif (yangın kapıları, kaçış yolları, yangına dayanıklı alanlar, vs.) yangın güvenlik korunma önlemleri almış olmak
- Uygun proses ekipmanlarının, 27/10/2002 tarihli ve 24919 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Muhtemel Patlayıcı Ortamda

- Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemlerle İlgili Yönetmelik”te belirtilen kategorilere göre seçmek.

4.2.5 Toz patlamaların zararlı etkilerinin hafifletilmesi

Patlamanın gerçekleşmesini önlemek için alınabilecek tedbirlere rağmen, patlama engellenemeyebilir. Patlamanın meydana gelmesi durumunda ortaya çıkabilecek zararların hafifletilmesi amacıyla bazı aksiyonlar almak gerekebilir [8].

Bir toz patlamasının zararlı etkileri aşağıdaki koşulların sağlanmasıyla azaltılabilir [26]:

- Patlamaya dirençli tasarımın yapılması
- Patlamanın havalandırma yoluyla giderilmesi
- Patlamanın baskılama yöntemiyle baskılanması
- Patlama izolasyonu

4.2.5.1 Patlamaya dirençli tasarım

Endüstriyel işletme kurulurken, patlamaya dayanıklı bir tasarım yapılmışsa, patlamanın yaratacağı zarar kontrol altına alınabilir. Büyük tesislerin kurulumu aşamasında, pratiğe dökülmesi çok zor olsa da, ekipman bazında uygulanması mümkündür [6].

Yatırım maliyetinin yüksek olması ve bu yapıların ağırlığı sebebiyle yük oluşturması gibi dezavantajlarının da bulunduğu söylenebilir [26].

Burada, patlamaya dayanıklı olarak bahsedilen tasarımlar, yüksek basınca dayanıklı olan tasarımlardır ve Avrupa Standardı (EN) 14460 ve Amerika Makine Mühendisleri Birliği (ASME) Bölüm 8 standartlarına göre yapılması uygun olacaktır. Tasarım esnasında iki temel parametre bulunmaktadır ve bunlar, nominal kalınlık ve izin verilebilir basınçtır. İzin verilebilir basınç, kullanılan malzeme, nominal kalınlık ve tasarım basıncı ile sıcaklığına bağlı olarak belirlenir. Farklı geometrik tasarımlar için aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplamalar yapılabilir [1]:

Silindirik:

$$t = \frac{PR}{SE-0.6P} \quad (4.1)$$

$$[p_w] = \frac{SEt_e}{R+0.6t_e} \quad (4.2)$$

Küresel:

$$t = \frac{PR}{SE-0.2P} \quad (4.3)$$

$$[p_w] = \frac{SEt_e}{R+0.2t_e} \quad (4.4)$$

Eliptik:

$$t = \frac{PD_iK}{2SE\varphi-0.2P} \quad (4.5)$$

$$K = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_i}{2h} \right)^2 \right] \quad (4.6)$$

$$[p_w] = \frac{SEt_e}{R+0.2t_e} \quad (4.7)$$

Torisferik:

$$t = \frac{PR}{SE-0.2P} \quad (4.8)$$

$$[p_w] = \frac{SEt_e}{R+0.2t_e} \quad (4.9)$$

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right) \quad (4.10)$$

Konik:

$$t = \frac{PD_i}{2 \cos \alpha (SE-0.6P)} \quad (4.11)$$

$$[p_w] = \frac{SEt_e \cos \alpha}{D_i + 1.2t_e \cos \alpha} \quad (4.12)$$

Burada,

t_e : efektif kalınlık, mm

P: tasarım iç basıncı, MPa

D_i : iç çap, mm

L: küresel başlık iç çap, mm

S: tasarım sıcaklığında malzeme için izin verilebilir basınç, MPa

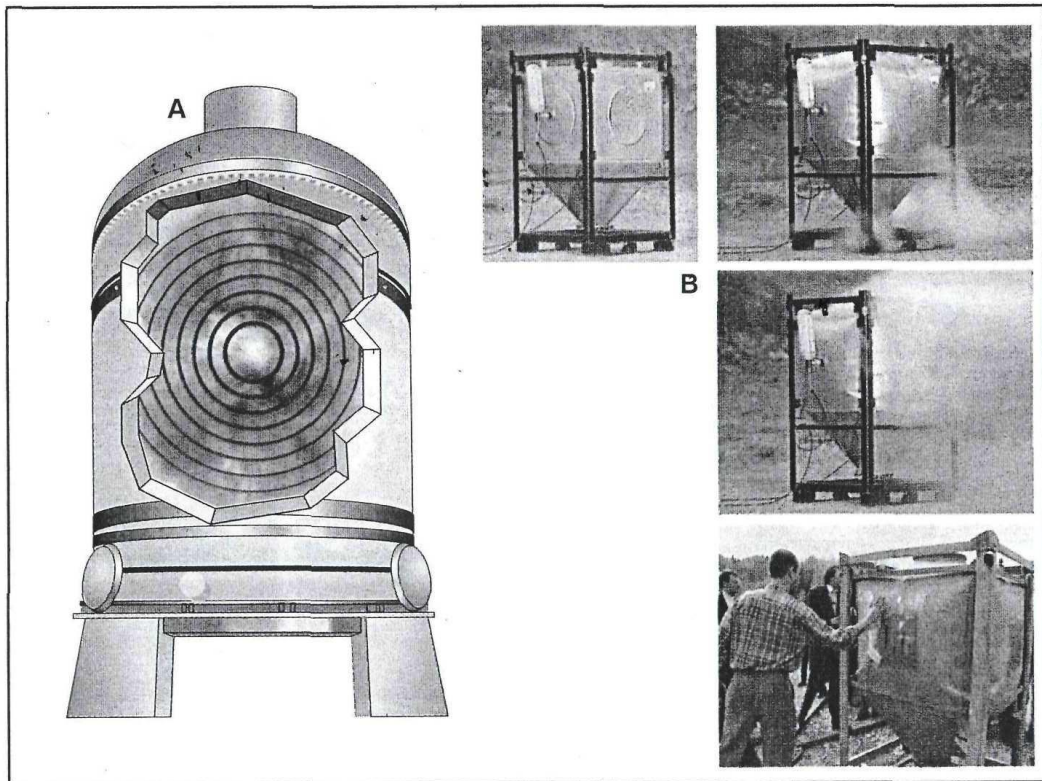
E: kaynak dikiş faktörü

K: eliptik başlıklar için bir sabit

M: torisferik başlık için bir sabit

α : konik başlık için apex açısının yarısı

Patlamaya dirençli tasarım örnekleri Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3: Patlama basıncına dirençli bölmelere örnekler [27].

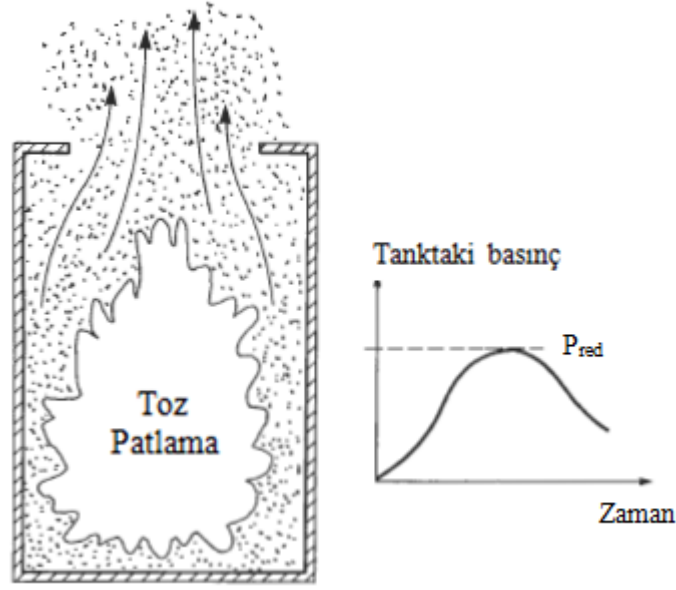
A: Patlama basıncına dirençli yapı

B: Patlama basıncının şokuna dirençli yapı, patlamadan önce ve sonra

4.2.5.2 Havalandırma uygulamaları

Risklerin azaltılmasındaki en önemli faktörlerden bir tanesi de patlama riski olan uygulamalarda, tesisteki tüm birim ve bağlantılarda uygun havalandırmanın sağlanmasıdır.

Şekil 4.4'te, en basit şekliyle patlama havalandırması prensibi gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Patlama havalandırması.

Maksimum düşürülecek patlama basıncı, P_{red} , aşağıdaki iki prosese bağlıdır:

- Isı açığa çıkmasını ve basıncın yükselmesini sağlayan toz bulutunun yanma prosesi
- Yanmış, yanmakta olan ve henüz yanmamış toz bulutu akışının havalandırma yoluyla ortamı terk ederek basıncı azaltması

P_{red} , patlamaya dayanıklı tasarıma bağlıdır. Bu maksimum basınca ulaşıldıktan sonra, havalandırma sayesinde zamanla basınç düşer [5].

Havalandırma yöntemi, yaygın olarak kullanılmakla birlikte bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajları:

- Uygulanacak ekipman, dış alanda bulunuyorsa düşük maliyetli bir sistem olacaktır.
- Bakım giderleri düşüktür.

Havalandırma yöntemin dezavantajları ise şunlardır [1]:

- Patlama esnasında, proseste bulunan yanıcı malzemelerin örneğin toz toplama sistemlerindeki filtrelerin yanması.
- Uygulanacak ekipmanın dış alanda ya da dış cephe duvarlarına yakın bir yerde bulunmasını gerektirmesi.

- Patlama kapağı/panelinin açılacağı yöndeki bölgede bulunan tesisin ve çalışanların yangına maruz kalma olasılığı.
- Prosese bağlı olarak, bazı toksik ve korozyif maddelerin çevreye salınması olasılığı.

4.2.5.2.1. Havalandırma tasarımı

Havalandırmanın tasarımı, bu yöntemin etkili olabilmesindeki en önemli etmendir. Pek çok tasarım standardı olmakla birlikte, bunlardan en yaygın olarak kullanılanları, Avrupa Standardı olan EN 14492 ve NFPA 68'dir. Hesaplamalarda kullanılan parametreler şu şekildedir:

P_{stat} : Statik aktivasyon basıncı, bar

P_{red} : düşürülmüş basınç, bar

$P_{red,max}$: maksimum düşürülmüş yüksek basınç, bar

A_v : gerekli havalandırma alanı

V : hacim, m^3

L/D : uzunluk-çap oranı

4.2.5.2.1.1. Avrupa Standardı EN 14491'e göre;

Geçerli limitler:

$$0.1 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$$

$$0.1 \text{ bar} \leq P_{stat} \leq 0.75 \text{ bar}$$

$$P_{stat} \leq P_{red,max} \leq 2 \text{ bar}$$

$$10 \text{ bar.ms}^{-1} \leq K_{st} \leq 300 \text{ bar.ms}^{-1} : 5 \text{ bar} \leq P_{max} \leq 10 \text{ bar}$$

$$300 \text{ bar.ms}^{-1} \leq K_{st} \leq 800 \text{ bar.ms}^{-1} : 5 \text{ bar} \leq P_{max} \leq 12 \text{ bar}$$

$$0.1 \text{ bar} \leq P_{red,max} \leq 1.5 \text{ bar için;}$$

$$A = B(1 + C \times \log L/D) \quad (4.13)$$

$$B = [3.264 \times 10^{-5} \times P_{max} \times K_{st} \times P_{red,max}^{-0.569} + 0.27 \times (P_{stat} - 0.1) \times P_{red,max}^{-0.5}] \times V^{0.753} \quad (4.14)$$

$$C = -4.305 \times \log P_{red,max} + 0.758 \quad (4.15)$$

$$A_v = \frac{A}{E_f} \quad (4.16)$$

1.5 bar $\leq P_{red,max} \leq 2.0$ bar için;

$$A=B \quad (4.17)$$

$$A_v = \frac{A}{E_f} \quad (4.18)$$

4.2.5.2.1.2. Amerika Ulusal Yangından Korunma Birliği Standardı NFPA 68'e göre;

Geçerli limitler:

$$5 \text{ bar} \leq P_{max} \leq 12 \text{ bar}$$

$$10 \text{ bar.ms}^{-1} \leq K_{st} \leq 800 \text{ bar.ms}^{-1}$$

$$0.1 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$$

$$P_{stat} \leq 0.75 \text{ bar}$$

$$L/D \leq 2 \text{ için};$$

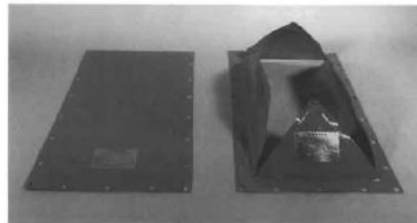
$$A_{vo} = 1 \times 10^{-4} (1 + 1.54 \times P_{stat}^{0.75}) \times K_{st} \times V^{0.75} \times \sqrt{\frac{P_{max}}{P_{red}}} - 1 \quad (4.19)$$

$$2 \leq L/D \leq 6 \text{ için};$$

$$A_{v1} = A_{vo} \times \left[1 + 0.6 \times \left(\frac{L}{D} - 2 \right)^{0.75} \times e^{(-0.95 \times P_{red}^2)} \right] \quad (4.20)$$

4.2.5.2.2. Havalandırma kapakları

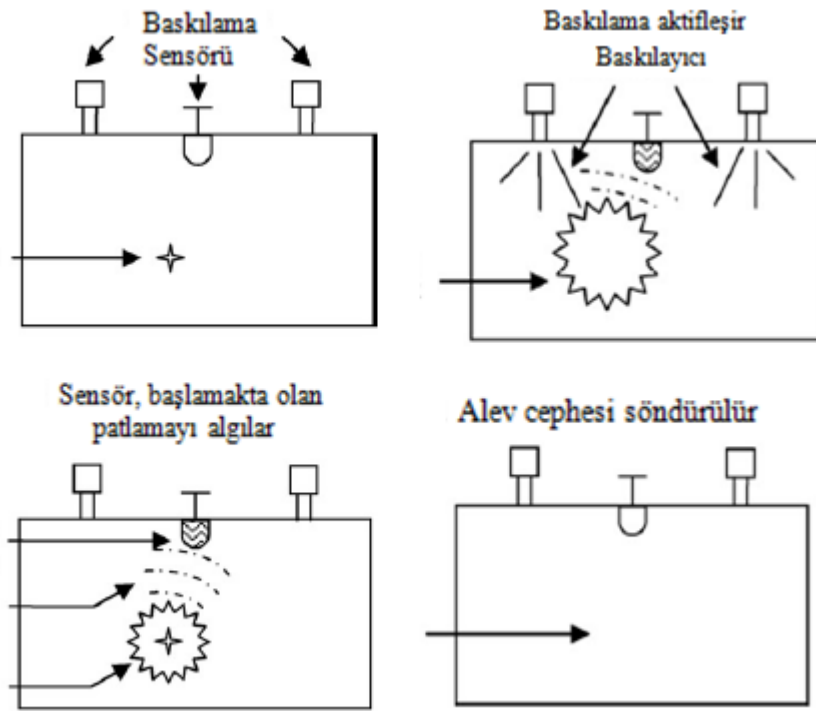
Patlama esnasında, belli bir basınca ulaşıldıktan sonra, patlama doğrultusunda açılmak üzere tasarlanmış kapaklardır, şekilde örneği görülmektedir. Şekil 4.5'teki örnekte solda patlama öncesi kapalı kapak görünürken, patlama sonrası açılmış panel sağ tarafta gösterilmektedir [5]:



Şekil 4.5: Havalandırma kapağı.

4.2.5.3 Baskılama yöntemi uygulaması

Patlamalar meydana gelmeden önce, ölçülebilir bir süre zarfında patlama noktasına erişirler. Bu süreçte, olası patlamanın öncü ölçümler, bir sensör yardımıyla algılanıp, söndürücüler aktive edilebilir. Bu baskılama prensibinin çalışma mekanizması, Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Bu şekilde, patlamanın büyümesi de engellenmiş olur.



Şekil 4.6: Baskılama yönteminin çalışma prensibi.

Bu sistemlerde alev topu fazla büyümeden söndürüldüğü için patlamanın meydana geldiği kabın yırtılması önlenmiş olur.

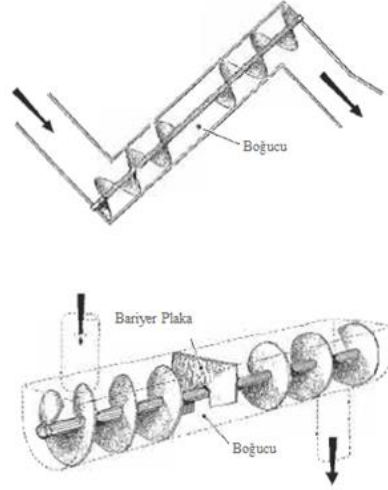
Bu yöntem sayesinde, alev ortadan kaldırılmış ve sonrasında meydana gelebilecek yangınlar önlenmiş olur. Toksik ve korozyif malzemelerin de açığa çıkma olasılığı azalır. Ayrıca, proses ekipmanlarının yerlerinin değişebilmesi konusunda esneklik sağlar. Ancak, sağladığı bu faydaların dışında, havalandırma sistemine göre daha maliyetlidir ve düzenli olarak bakım gerektirir. Ayrıca, bazı metal tozları, asetilen ve hidrojen için uygulanabilir değildir.

Bir baskılama sistemi tasarımında, malzeme türü, tozun K_{st} ve K_G değerleri, tasarımın dayanıklılığı, diğer proses ekipmanları ile olan bağlantılar göz önünde bulundurulmalıdır [5].

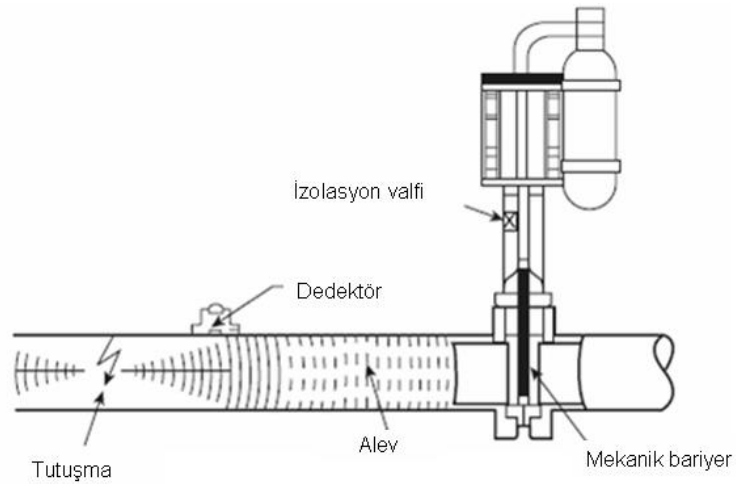
4.2.5.4 Patlamanın izolasyonu

Patlama izolasyonundaki amaç, birincil patlamalar yaşandıktan sonra, direkt bağlantılı ya da bağlantısız diğer alanlara da patlamanın yayılıp ikincil patlamaların gerçekleşmesini önlemektir.

Ani sistem durdurma sistemleri kullanılırken, proseslerin gerçekleştiği tankların bağlantı borularına valfler yerleştirilir ve patlama algılama için yerleştirilmiş basınç detektörleri tarafından aktive edilebilir [6]. Patlamalar kimyasal bir madde salınımı ile ya da sadece mekanik yöntemlerle izole edilebilir. Şekillerde örnekleri görmek mümkündür. Şekil 4.7’de, patlamaların, vida konveyörleriyle, Şekil 4.8’de ise hızlı geçiş valfiyle izolasyonu gösterilmiştir.

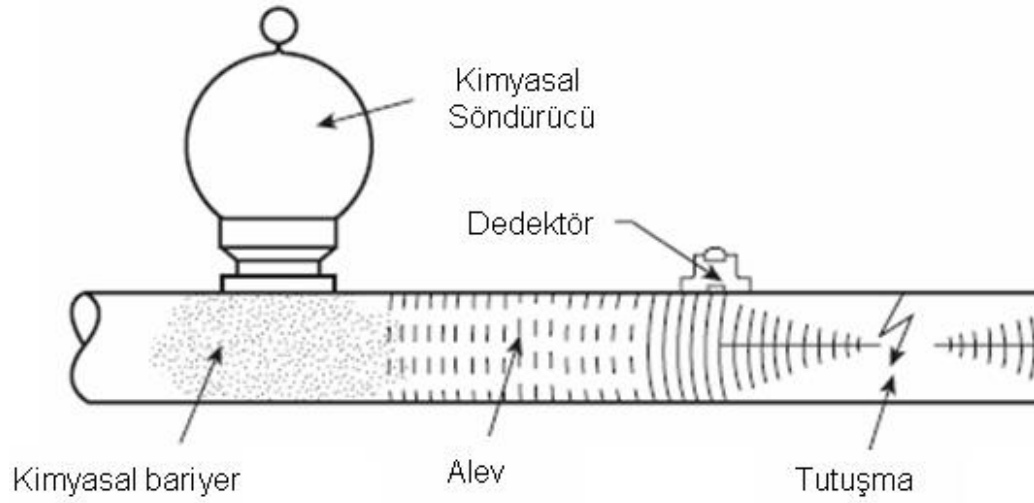


Şekil 4.7: Patlamanın, vida konveyörleriyle izolasyonu [5].



Şekil 4.8: Patlamanın hızlı geçiş valfi ile izolasyonu [26].

Şekil 4.9’da patlamaların kimyasal söndürme bariyeriyle izolasyonu görülmektedir.



Şekil 4.9: Patlamanın kimyasal söndürme bariyeriyle izole edilmesi [5].

4.2.6 Proses güvenliği için kurum yönetiminin görevleri

Genel olarak, kurumda olası olan tüm tehlikeleri önlemek amacıyla, çalışanların proses güvenliğini benimsemesini sağlayacak bir şirket kültürü yaratmak çok önemlidir [22]. Şekil 4.10’da da görüldüğü üzere, tüm görevlerin merkezinde, kurumun yarattığı ve liderlik ettiği şirket kültürü bulunmaktadır.



Şekil 4.10: Proses güvenliği döngüsü.

Bu kültürün oluşturulması, yeni fikirlere ve uygulamaların güncellenmesine açık bir çalışma ortamı yaratır. Risklerin farkında olmak, yalnızca riskleri ve tehlikeleri

tanımlamayı değil, doğurabileceklerinin de bilincinde olmayı gerektirir. Bu risklerin etkilerinin azaltılması için de gerekli bilgi, gerek yazılımlardan, gerekse literatürden elde edilmeli ve bu tehlike barındıran proseslerin uygulanmasında yeterlilik sahibi, konu ile ilgili bilinç ve bilgi sahibi çalışanların görev alması sağlanmalıdır. Bu sistem statik bir sistem olmayıp, dinamik bir yapıda olduğundan, her an güncellemelere açık olup, karşılaşılan risk ve tehlikeler karşısında plan yapıp aksiyon alınması gerekmektedir. Bu döngü takip edildiği sürece, yalnızca toz patlamaların değil olası diğer risklerin de minimize edilmiş olduğundan söz edilebilir.

5. TOZ PATLAMA MODEL DENKLEMLERİ, YAZILIMLAR VE PARAMETRELERİ

Toz patlamalarının davranışları ve bağlı olduğu parametreler hakkında ne kadar bilgi sahibi olunursa, o derecede doğru bir risk analizi yapmak mümkündür. Gerçek hayatta patlama deneyleri yapmak hem zahmetli, hem de pahalı bir süreçtir. Gerekli bilgilerin elde edilmesi ile birlikte çeşitli yazılımlar kullanarak bilgisayar ortamında simülasyonlar oluşturulabilir. Madde ve ortam çeşitliliği ile konsantrasyon ve geometri farklılıkları sayısız çeşitlilikte test senaryosu yaratmaktadır. Bilgisayar simülasyonları sayesinde bu işlemler güvenli ve rahat bir biçimde gerçekleştirilmektedir.

ALOHA, ASPEN, FLACS, EFFECTGIS gibi birçok yazılım sayesinde toz patlama ve yangın simülasyonları yapılmaktadır. Computational Fluid Dynamics (CFD) yani bilişimsel akışkan dinamiği kullanılarak, birden fazla faz içeren, sürekli olmayan ve sıkıştırılabilir akışlar içeren toz patlamalarının diferansiyel denklem çözümleri yapılabilmektedir. İlk olarak Gexcon firmasının 2006 yılında yayınlamış olduğu Dust Explosion Simulation Code (DESC) yazılımı sayesinde, toz patlamaların gerçek hayatta nasıl ve hangi koşullar altında ortaya çıktığı önceden simüle edilmeye başlanmıştır. Bu yazılım sayesinde entalpi, kinetik enerji, momentum ve karışık fraksiyon denklemleri, üç boyutlu kartezyen koordinat ortamında çözülmüştür. Programı kullanan kişinin tek yapması gereken toz patlama senaryosunun oluşturulacağı ortamın geometrisini, ateşleme zamanını, başlangıç ve sınır koşulları gibi parametreleri sisteme girmektir [28]. Simülasyonun ardından kullanıcı eğer isterse DESC yazılımını kullanarak ortam için gerekli olan havalandırma ve izolasyon valfi tasarımlarına da ulaşabilmektedir.

Navier-Stokes adındaki denklem sistemleri sayesinde, toz patlamaların modellenmesi için gerekli olan gaz fazının ve toz taneciklerinin akışı belirlenmektedir. Bu karışımdan oluşan bir sistem için kullanılacak olan denklemler şu şekildedir:

C_d sürüklenme kuvveti katsayısı

d	parçacık çapı (m)
E	fazın toplam içsel enerjisi (J/m ³)
F	arafaz kuvveti (N/m ³)
G	yer çekimi ivmesi (m/s ²)
h	ısı alışverişi katsayısı (W/(m ² K))
n	1 m ³ 'teki parçacık sayısı (1/m ³)
Nu	Nusselt sayısı
p	basınç (Pa)
Q	arafaz ısı akışı (W/m ³)
T	fazın sıcaklığı (K)
u, v	faz hızının bileşenleri (m/s)
λ	gaz fazının ısı iletkenliği (W/(m K))
ρ	fazın yoğunluğu (kg/m ³)
σ_{ij}	gerginlik tensorü (Pa)

Toz tanecikler:

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 u_2}{\partial x} + \frac{\partial \rho_2 v_2}{\partial y} = 0 \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial \rho_2 u_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 u_2^2}{\partial x} + \frac{\partial \rho_2 u_2 v_2}{\partial y} = f_x \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial \rho_2 v_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 v_2^2}{\partial y} + \frac{\partial \rho_2 u_2 v_2}{\partial x} = f_y - g \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial E_2}{\partial t} + \frac{\partial u_2 E_2}{\partial x} + \frac{\partial v_2 E_2}{\partial y} = f_x(u_1 - u_2) + f_y(v_1 - v_2) + Q \quad (5.4)$$

Gaz faz:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 u_1}{\partial x} + \frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial y} = 0 \quad (5.5)$$

$$\frac{\partial \rho_1 u_1}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_1 u_1^2 + p)}{\partial x} + \frac{\partial \rho_1 u_1 v_1}{\partial y} = \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial y} - f_x \quad (5.6)$$

$$\frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_1 v_1^2 + p)}{\partial y} + \frac{\partial \rho_1 u_1 v_1}{\partial x} = \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial y} - f_y \quad (5.7)$$

$$\frac{\partial E_1}{\partial t} + \frac{\partial u_1(E_1+p)}{\partial x} + \frac{\partial v_1(E_1+p)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T_1}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (u_1 \sigma_{11} + v_1 \sigma_{12}) + \frac{\partial}{\partial y} (u_1 \sigma_{21} + v_1 \sigma_{22}) - f_x(u_1 - u_2) - f_y(v_1 - v_2) - Q \quad (5.8)$$

Toz partikülleri ve gaz molekülleri arasında etki eden kuvvet:

$$\vec{f} = n \frac{\pi d^2}{2} C_d \frac{\rho_1 (\vec{V}_1 - \vec{V}_2) |\vec{V}_1 - \vec{V}_2|}{2} \quad (5.9)$$

Yanma olayı sonucu katı ve gaz faz arasında gerçekleşecek ısı transferi de konveksiyonel ısı transferi:

$$Q = n \pi d^2 h (T_1 - T_2) \quad (5.10)$$

Bu eşitliklerin dışında bilgisayar yazılımlarının kullanmakta olduğu bazı ampirik eşitlikler de mevcuttur. Aşağıda bahsi geçen ve Varşova Üniversitesi'nde yapılan bu deney sayesinde, DESC programında kullanılan toz dağılım eşitliği elde edilmiştir. Farklı kalınlıklardaki toz katmanlarının, belli bir kapalı hacmin için konarak vantilatörün oluşturduğu hava akımı ile yükselmesi sağlanmıştır. Bu deneyde, boyutları belli kapalı bir hacim içerisine farklı kalınlıkta toz katmanları konulmuş ve bir vantilatör yardımı ile bu tozların yükselmesi sağlanmıştır. Lazer ışınları yardımıyla farklı yüksekliklerdeki madde miktarı ölçülerek elde edilen kütle akısı için m.s⁻¹ cinsinden hız ampirik eşitliği şu şekilde elde edilmiştir:

$$v_z = 0.004 h_l^{0.216} u^{1.742} d_p^{-0.053} \rho_p^{-0.160} A_p^{0.957} \quad (5.11)$$

"h," toz katmanının kalınlığını (mm), "u", katman üzerindeki akış hızını (ms⁻¹), "d_p", taneciklerin karakteristik boyutunu (μm), "ρ_p", tanecik yoğunluğunu (kg.m⁻³) belirtirken "A_p" boyutsuz ampirik sabittir.

Modellemeler yapılırken, en önemli parametrenin partikül boyutu olduğu unutulmamalıdır. Patlamalara en temelinde tozların partikül boyutuna göre dizayn edilmemiş proses tasarımları sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak ortam koşullarının da göz önünde bulundurularak yapılan modellemeler ışığında patlama riski minimize edilebilir.

6. TOZ PATLAMA ÖRNEKLEMELERİ

6.1 West Gübre Tesisi Patlaması

17 Nisan 2013 tarihinde ABD'nin Teksas Eyaletinde bulunan West Gübre Tesisinde meydana gelen patlamada 15 kişi hayatını kaybederken 170 civarı insan yaralandı ve 70 ev hasar gördü. ABD Jeolojik Araştırmalar Merkezi (USGS) patlamayla beraber tesise 29 km mesafedeki Waco bölgesinde richter ölçeğine göre 2,1 büyüklüğünde deprem oluştuğunu duyurdu. Tetikleyen etmenin ne olduğu henüz belirlenememekle birlikte uzmanlar, patlayan malzemenin amonyum nitrat olduğunu doğruladılar [29]. West Gübre Tesisi patlamasının görüntüsü Şekil 6.1'de görülmektedir.



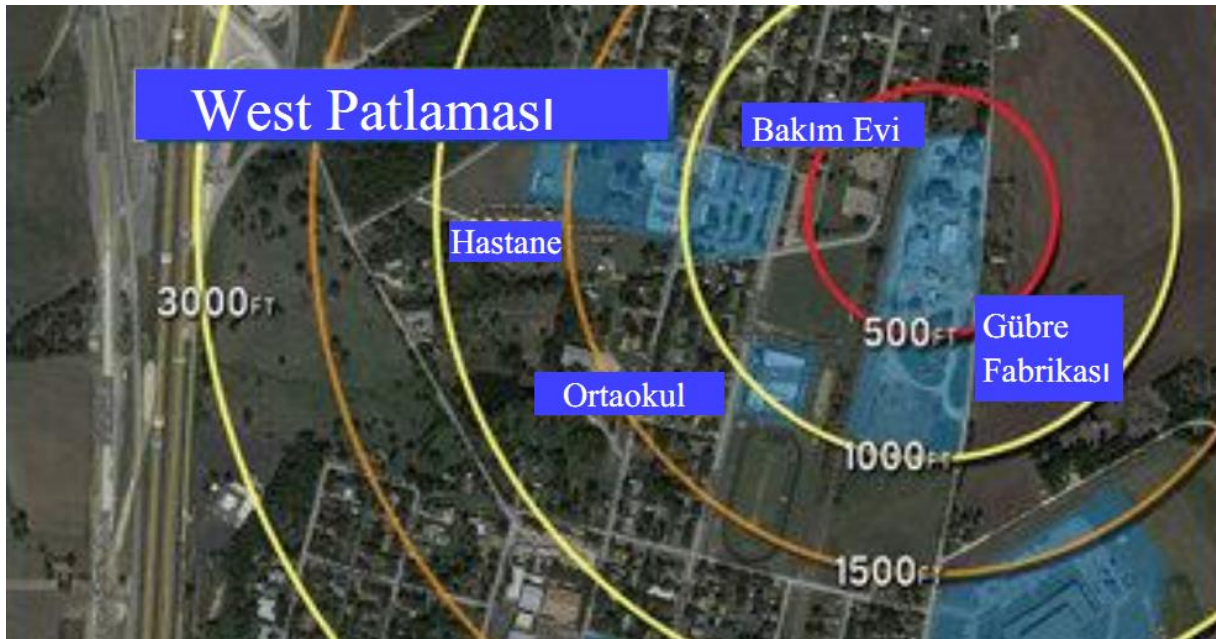
Şekil 6.1: West Gübre Tesisi patlaması.

West Fertilizer Co. adlı fabrika, resmi kayıtlarda "emisyon izni" bulunan bir gübre karıştırma ve depolama tesisi olarak geçiyor. 1962'den beri faaliyette olan fabrikada 9 işçi çalışıyordu. İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu'nun (OSHA) en son 1986'da denetlemiş olduğu tesiste susuz amonyağın ruhsatsız olarak depolandığı belirlendi. İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu, aynı zamanda tesisin havalandırma koruma standartlarını da ihlal ettiğini belirtti ancak bunun için herhangi bir yaptırım

uygulamadı. OSHA yetkilileri tesisin bir üretici olmaması, daha önce bir kaza kaydı bulunmaması ve Çevresel Koruma Ajansı (EPA)'nın tesisi majör risk olarak değerlendirmemesi nedeniyle kendi “Ulusal Önem Planı”nda olmadığını ve OSHA tarafından denetlenmediğini belirtti [30].

2006 yılında EPA, tesis sahiplerine zamanında risk yönetim planı sunamadıkları gerekçesiyle 2300 Amerikan Doları ceza kesti. 2011 yılında EPA'ya şirket yetkililerinin sunduğu acil durum planı raporunda, amonyak depolama tanklarının ciddi bir yangın veya patlama tehlikesi yaratmadığını belirtildi.

2012 Haziran ayında ise Birleşik Devletler Ulaşım Bakanlığı'nın Boru Hattı ve Tehlikeli Maddeler Güvenlik Kurumu, tesise, izinsiz olarak susuz amonyak depolaması nedeniyle 5.250 Amerikan Doları ceza kesti. 2012 yılındaki son EPA raporuna göre tesiste 240 Ton amonyum nitrat ve 50 Ton susuz amonyak depoluyordu. Patlamadan etkilenen alan Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.2: West patlamasının çevreye etkileri.

Patlamanın bir hafta ardından Amerikan İç Güvenlik Sekreteri, senato soruşturmacılarına firmanın amonyum nitrat stoğunu kendilerine bildirmediği notunu ilettili. Federal kanuna göre, İç Güvenlik Bakanlığı'na 1 tonun üzerindeki veya eğer yanıcı malzemeler ile birlikte ise 180 kg üzerindeki amonyum nitrat stoğunu bildirilmek zorundadır. Patlamanın şehir merkezinden çekilmiş fotoğrafı Şekil 6.3'te görülmektedir.



Şekil 6.3: West patlamasının uzaktan çekilmiş fotoğrafı.

6.1.1 Yorum

2013 yılında yaşanmış olan West patlaması, tesis tarafından uyulması gereken kurallara uyulmaması ve yetkili mercilerin ihmali sonucu, denetleme yapmaması sebebiyle gerçekleşmiştir. OSHA ve EPA'nin gerekli denetimleri yapmayıp, dışına çıkılmış kurallar için herhangi bir yaptırım uygulamamış olması, risklerin azaltılmasındaki adımı ortadan kaldırmıştır. Tesis kurulumunda, yeterli fizibilite çalışması yapılmamış ve çevresel koşullar ile yerleşim yeri iyi tahlil edilememiştir, bunun sonucunda da çevreye ve tesisin etrafında bulunan yaşam alanına ciddi zararlar vermiştir.

6.2 Kunshan Zhongrong Patlaması

2 Ağustos 2014 tarihinde Amerikan otomobil üreticisi General Motors firmasının Çin'in Jiangsu eyaletinde bulunan otomobil parçası imalatı yaptığı fabrikada patlama meydana geldi. Patlamanın yaşandığı gün fabrikada 260 işçinin bulunduğu, bu sayının hafta sonları verilen çift mesai ücretleri nedeni ile normal çalışma günlerinden daha kalabalık olduğu bilgisi alındı. Patlamada 44 kişinin olay yerinde, 34 kişinin ise hastanede olmak üzere toplam 71 kişinin hayatını kaybetti ve 187 kişi yaralandı. Patlamaya, biriken tozların yanında oluşan ateş sebep oldu. Yetkililerin ilk

incelemeler sonrası yaptığı açıklamada, tekerlek atölyesinde meydana gelen patlamanın kapalı ortamda biriken metal parlatma tozlarının alev alması sonucu olduğu belirtildi [31]. Şekil 6.4'te Kunshan Zhongrong patlaması görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 6.4: Kunshan Zhongrong patlaması.

General Motors tarafından yapılan açıklamada fabrikanın, Kunshan Zhongrong Metal Ürün Şirketi tarafından işletildiği ve kendileri için de parça ürettikleri belirtildi. Bu patlama, 2014 yılında, 119 kişinin hayatına kaybetmesine yol açan tavuk çiftliğindeki yangın, ülkede meydana gelen en ciddi sanayi kazası olarak kayda geçti.

6.2.1 Yorum

2014 yılında meydana gelen bu patlama, tesis tasarımının, proseslerde kullanılan malzemelere uygun bir biçimde yapılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Tasarım esnasında, kapalı ortamlarında tozların birikmesini engellemek için dahil edilecek bir filtre veya boşaltım sistemi bulunmuş olsaydı, belki de kazaya hiç taban oluşturulmamış olacaktı. General Motors firmasının da, fason olarak üretim yaptırdığı fabrikayı gerekli şekilde denetlememiş, denetlemiş olsa dahi gerekli yaptırımları uygulamamış olması patlamanın gerçekleşmesinde rol oynamaktadır.

6.3 Imperial Sugar Patlaması

7 Şubat 2008’de, Amerika Birleşik Devletleri’nin Georgia Eyaletinde bulunan Imperial Sugar şeker fabrikasında meydana gelen patlamada 36 kişi yaralandı, 14 kişi de hayatını kaybetti. 16.000.000 Amerikan Doları maddi hasar oluştu.

Port Wentworth’da 1927 yılında kurulmuş olan tesisin, 81.000 m²’lik bir kapalı alanı bulunmakla birlikte, 700.000 Ton/yıllık bir üretim kapasitesi bulunmaktaydı. Tesiste, şeker ve nişasta üretimi bulunmakta olup, yaklaşık çalışan sayısı 350 idi. Bünyesinde, Üst Yönetim’e bağlı bulunan bir Güvenlik Müdürlüğü de bulunmaktaydı. Şekil 6.5’te patlamanın meydana geldiği bölge görülmektedir.



Şekil 6.5: Imperial Sugar.

Fabrika içinde ekipmanlardan dökülen ve çeşitli yerlerde biriken şeker tozunun neden olduğu patlamalar sonucunda fabrika büyük hasar gördü. Üretilen şeker, tesis içerisinde yaklaşık 30 m boyundaki 3 adet siloda depolanıyordu ve buradan paketleme bölümüne veya esmer şeker ve pudra şekeri gibi özel ürünlerin üretildiği alanlara taşınıyordu. Taşıma sırasında, konveyör bantlar ve sepet asansörleri kullanılıyordu ve tüm taşıma işlemi boyunca çok miktarda şeker dökülüyordu. Dökülen şeker, zeminde birkaç santimetre kalınlıktayken aynı zamanda daha küçük

taneler de havaya saçılıyordu. Ayrıca, pudra şekeri üretiminde kullanılan değirmenler sayesinde daha fazla şeker tozu havaya karışıyordu. Değirmenlere bağlı toz toplayıcı mekanizmalar yeterli olmamakla birlikte, taşıma sisteminde bu sistem bulunmuyordu. Havada asılı bulunan şeker tozunun konsantrasyonu, işçilerin yerdeki tozu basınçlı hava tabancalarıyla temizlemek istemesiyle daha da arttı. Siloların altında bulunan tünelde, borular yardımıyla, taşıyıcı banda şeker dökülüyordu. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de patlama sonrası ekipmanların görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 6.6: Imperial Sugar patlaması sonrası görüntüleri.

Büyük şeker kütlelerinin boruları tıkadığı zamanlarda, yürüyen bandın üzerindeki şeker dökülebiliyordu. Tünelin yeterince büyük olması nedeniyle havadaki şeker tozu konsantrasyonu tehlikeli seviyeye ulaşmıyordu. 2007 yılında ise, hijyenik sebeplerle, taşıma hattının etrafının kapatılmasına karar verilmesi ile birlikte hat boyunca dökülen şekerlerden saçılan tozlar, kapalı bir hacimde hapsolmaya başladı. 2008 yılında, muhtemelen sistemdeki bir ısı kaynağı ya da kaçak sebebiyle bu tünelde büyük bir patlama meydana geldi. Patlamadan sonra, tüm çalışma alanı boyunca ikincil patlamalar meydana geldi; patlama ve yangın hızlı bir şekilde yayıldı [32].

2009 yılının Eylül ayında, Amerikan Kimyasal Güvenlik Kurulu'nun yayınladığı bir raporda özetle bu başlıklar yer alıyordu:

- Kazaya, şeker tozu patlaması sebep oldu
- Kaza, tamamen önlenebilirdi
- Toz patlaması riski, 1926 yılından beri şeker endüstrisinde biliniyordu
- Yaşanmış küçük olaylar mevcuttu
- Deneysel ortamda, patlayıcı tozlar araştırılmıştı
- Tahliye planları yetersizdi
- Acil aydınlatma uygun değildi
- Ciroyu düşen şirket, üretim artışına yönelmişti
- Bakım ekipmanları ve ekipman tasarımları yeterli değildi
- Konveyörlerin içinde toz birikimini önleyecek tasarım değişikliği yapılmıştı
- Yangın senaryosu oluşturulmamıştı
- Tahliye tatbikatları jenerikti
- Şirket içi eğitimlerde toz patlamaları ele alınmamıştı



Şekil 6.7: Imperial Sugar patlaması sonrası görüntüleri – 2.

Kazanın ardından Amerika'da iş güvenliği yasaları ve kodlar gözden geçirildi. 2009 yılında “yanabilen katı parçacıkların üretiminde işlenmesinde, kullanılmasında oluşabilecek toz patlamaların engellenmesine” yönelik standart olan NFPA 654 yürürlüğe girdi. Patlama sonrası fabrika ve çevresinin görüntüsü Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.8: Imperial Sugar patlaması.

6.3.1 Yorum

Amerika Kimyasal Güvenlik Kurulu tarafından hazırlanmış patlama raporunda da belirtildiği üzere, patlamanın meydana gelmesi için pek çok ihmal gerçekleşmişti. Patlamanın gerçekleştiği yıllarda, şeker üretim tesislerinin, toz patlamaların meydana gelebileceği tesisler olduğu bilinmesine rağmen tesis, tasarım aşamasında da pek çok dikkat etmesi gereken unsuru göz ardı etmiş ve patlamaya davetiye çıkarmıştır. Hijyenik sebeplerden ötürü, tesiste yapılan değişikliklerin, patlamaya sebep oluşturabilecek sonuçlar oluşturulması üzerinde durulmamış ve havada asılı kalan şeker partikülü konsantrasyonunun, patlamaya başlama konsantrasyonuna erişmesine sebep olmuştur. Bununla birlikte, şirket içi eğitimler düzenlendiği halde, tesisin başlıca tehditlerinden biri olan toz patlamalar, gündeme dahil edilmeyip, çalışanlar, konu ile ilgili olarak bilinçlendirilmemiştir. Yangın senaryosu oluşturulmamış, pratikte, tatbikatlar yapılmamıştır. Tüm bu tasarım, denetim ve iş güvenliği ihmalleri sonucunda, büyük bir paylama meydana gelmiştir ve pek çok cana mal olmuştur. Böylesi büyük ve sonuçları ağır kazanın ardından, Amerika Birleşik Devletleri'nin konuyu gündeme alıp, tezin 4. Bölümünde anlatıldığı üzere, NFPA 654 Yönetmeliği oluşturmuştur.

6.4 Rouse Polymerics International Patlaması

16 Mayıs 2002'de Amerika Birleşik Devletleri'nin Mississippi eyaletinde bulunan Rouse Polymerics International Inc. Şirketinde, 5 işçinin ölümü ve 7 işçinin yaralanmasıyla sonuçlanan bir patlama meydana geldi.

Vicksburg, Mississippi'deki kauçuk geri dönüşüm fabrikasının torbalama kutusu tesisinde, saat 18:00 sularında patlama olduğunda, içeride 20 işçi bulunuyordu. İçeride patlamanın ardından yayılan yangın nedeniyle bina yok oldu.

Olay sonrasında Rouse Polymerics firması, yasal yaptırımlarla da karşılaştı. OSHA, kaza sonrasında firmaya 210.600 Amerikan Doları ceza verdi. Cezaların sebebi olarak da, tesiste 2 adet kasıtlı, 22 adet de ciddi ihmal gösterildi. OSHA, firmanın işçilerini, birikmiş kauçuk tozu ve uygun olmayan ekipman ve tesisat nedeniyle yangın tehlikesine maruz bıraktığını belirtti. Bundan 8 gün sonra, Rouse Polymerics ve OSHA iki kasıtlı ihmalin de, "ciddi kasıt" seviyesine indirildiğini ve cezanın 187.680 Amerikan Doları'na düşürüldüğünü belirten bir açıklama yaptılar. Ayrıca kazazedelerin açtığı bazı davalar oldu [33].

Federal mahkemece, Rouse Polymerics fabrikasının 2 No'lu kurutma sisteminin bakım ve güvenlik kontrolünü yapan ve üretimden sorumlu kişilerin aleyhine yasal yaptırımlar uygulandı.

Patlamanın ardından birçok insanın hayatı değiştiği gibi, Rouse Polymerics fabrikasının da işleyişi değişti.

Firma bu patlamadan sonra 2003 yılında yüksek teknoloji polimer üretimine başladı.

Yeni yapılan binaya üç üretim hattı kuruldu fakat değişen operasyon nedeniyle işçi sayısında büyük bir azalma gözlemlendi. Yangın öncesinde 100 işçinin çalıştığı fabrikada yapılan değişiklik nedeniyle işçi sayısı 20'ye düştü [33].

6.4.1 Yorum

Rouse Polymerics fabrikasında 2002 yılında gerçekleşmiş olan patlama, OSHA raporlarına göre, ihmaller sebebiyle meydana gelmiştir. Tahliye tasarımı, gereğine uygun yapılmamış, havada asılı kalan kauçuk tozlarının konantrasyonu herhangi bir şekilde ölçülmemiş ve Imperial Sugar patlamasında da bahsedildiği üzere, çalışanlar toz patlamalar ve yangın riskine karşı eğitilmemiştir. Şekil 6.9'da yaşanan patlama sonrası fabrikanın görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 6.9: Rouse Polymeric International Inc.'te yaşanan patlama.

Tesis tasarımı aşamasında yazılımlara başvurulmuş olsa, tasarım aşamasından sonra da çalışanların farkındalığını sağlayıcı eğitimler sağlanmış olsaydı, patlamanın büyük olasılıkla önüne geçilebilirdi.

6.5 Hayes Lemmerz Patlaması

Amerika Birleşik Devletleri'nin Indiana Eyaleti'nin Huntington kentinde bulunan Hayes Lemmerz International jant üretim tesisinde 29 Ekim 2013 tarihinde, saat 20:30 sularında bir patlama meydana geldi. Patlamanın, alüminyum tozundan kaynaklandığı bildirildi. Patlamanın ardından çıkan yangında bir çalışan hayatını kaybetti. Biri kritik, iki çalışanda da yanıklar oluştu. Biri taşeron, üçü firma çalışanı olmak üzere 4 kişide hafif yaralanmalar meydana geldi [34].

Patlama, alüminyum döküm tesisindeki bir ocağın yanında bulunan hurda geri dönüşüm alanında gerçekleşti ve bina dışındaki toz toplama ekipmanının tamamını yok etti. Bina içindeki ekipmanlar hafif zarar gördüler. Patlama, aynı zamanda ocaklardan birinin üzerindeki çatının bir kısmını havaya kaldırdı ve bir yangın başlattı. Yalıtım malzemeleri ve patlayıcı malzemeler birkaç saat boyunca yanmaya devam etti. Tesis dışında herhangi bir yaralanma veya zarar gözlemlenmedi. Şekil 6.10'da patlama sonrası Hayes Lemmerz'in görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 6.10: Hayes Lemmerz patlaması sonrası çıkan yangın.

Endüstriyel toz patlamaları kaynaklı ölüm ve yaralanmalar sebebiyle, Amerika Birleşik Devletleri Kimyasal Güvenlik ve Risk Araştırma Kurulu (Chemical Safety and Hazard Investigation Board, CSB), ana ve yan sebepleri belirlemek ve benzer durumların meydana gelmesini önlemek amacıyla bir araştırma başlattı. Patlayan alüminyum tozu, ekipmandan ve jant işleme sürecinde ortaya çıkan hurdanın yeniden eritilmesinde kullanılan bir prosesten çıkıyordu. CSB, soruşturmada, yangın önleme standartlarının uygulanabilirliğine, toz oluşumuna ve risk farkındalığına ve yeni sistemlerdeki güvenlik gözden geçirmeleri ile bakım-onarım pratiklerine odaklandı [34].

CSB, raporunda, kazanın sebepleri olarak aşağıdaki kök sebepleri belirtti [34]:

- Hayes, hurda işleme sisteminin neden aşırı toz saldıdığı konusunda bir gözden geçirme yapılmamıştır.
- Alüminyum tozunun riski belirlenmemiştir.
- Hayes Lemmerz, toz toplama sisteminin tasarımını ve kurulumunu, NFPA standardına göre düzgün yaptırmamıştır.
- Hayes Lemmerz'in döküm alanında meydana gelebilecek, özellikle alüminyum tozu kaynaklı, yangına karşı düzeltici faaliyetleri soruşturacak ve tatbik edecek resmi, belgelenmiş bir programı yoktur.

6.5.1 Yorum

Daha önceki örneklerde de karşımıza çıktığı üzere, Hayes Lemmerz toz patlamasında da en büyük etmen yanlış tasarım ve gerekli direktiflere uymamaktır. Tesisin, proseslerinde patlayıcı bir toz olan alüminyum tozu oluşumu meydana geliyor olduğunu göz önünde bulundurmadan uygun tasarımı yapmamış, çalışanlarını konu

hakkında bilgilendirmemiş ve üretim tesisleri açısından da bir zorunluluk olan Kalite Yönetim Sistemi çerçevesinde bir çalışma gerçekleştirmeyerek, patlama oluşumuna ciddi bir zemin hazırlamıştır. Hayes Lemmerz patlaması sonrası çıkan yangının görüntüsü Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11 Hayes Lemmerz patlaması.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatür araştırmaları doğrultusunda, tozların yapıları, patlayıcılık özellikleri, toz patlamaların doğası ve sebepleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, endüstriyel işletmelerde karşılaşılabilecek toz patlamalarının risk ve etkilerinin azaltılması için başvurulabilecek yöntemler ve uyulması gereken mevzuat ile direktifler detaylıca listelenmiş, önemli örnek toz patlamaları incelenerek, eksiklikler belirlenmiştir.

Günümüze dek yaşanmış büyük toz patlama örnekleri de göz önünde bulundurularak, endüstriyel tesislerin tasarımı aşamasında, riskleri ve etkileri simüle etmek amacıyla ALOHA, ASPEN, GEXCON gibi yazılımlara başvurulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Yapılan bu çalışmada özellikle, milli yazılımların oluşturulabilmesi için gereken faktörler tespit edilmiştir. Tasarım parametrelerini önem düzeylerine göre sınıflandırıp, bu doğrultuda tasarımı gerçekleştirmek, kazalar için önemli bir önleyici etmen oluşturacaktır. Tesislerin bu yazılımlara başvurması hayat kurtarıcı bir önem teşkil etmektedir. Bu tip yazılımların, patlamadaki parametreleri göz önünde bulundurarak tasarımlar yapmaya olanak sunması, patlamaların oluşma riskini minimize etmektedir.

Yalnızca Türkiye’de değil, yaptırım gücü yüksek direktif ve mevzuatların bulunduğu ABD ve Avrupa ülkelerinde dahi uygunsuzlukların ve ihmallerin sebep olduğu çok büyük toz patlamalarla karşılaşmıştır. Bu doğrultuda, bu direktiflerin Türkiye’ye uyarlanmış halleri de incelenmiş ve yaptırımlarının arttırılması için sürdürülen projelerden bahsedilmiştir. Türkiye’ye uyarlanmış olan Seveso II Direktifi’nin geliştirilmiş bir versiyonu olan Seveso III Direktifi de, 2016 yılının Ocak ayı itibarıyla, Türkiye’de yasal olarak yürürlüğe girecektir.

Türkiye’deki güncel mevzuatlar çerçevesinde, Çevre ve Ormancılık Bakanlığı tarafından, patlamaya sebebiyet verebilecek tozlarla çalışan işletmelerin bildirimlerde bulunması için denetimler yapılmaktadır. İleriki dönemlerde verilerin analiz edilebilmesi için Bakanlık bu işletmelerin istatistiklerini de tutmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] R. Eckhoff, *Dust Explosions in the Process Industries*, 3rd ed., USA: Gulf Professional Publishing, 2003.
- [2] J. Barton, *Dust Explosion, Prevention and Protection*, Massachusetts: Gulf Publishing Company, 2002.
- [3] BS2955: 1958, *Glossary of Terms Relating to Powder*, London: British Standard Institute, 1958.
- [4] G. Vijayaraghavan, «Impact assessment, modelling, and control of dust explosions in chemical industries,» Coimbatore Institute of Technologie, Coimbatore, 2004.
- [5] F. Lees, *Loss Prevention in the Process Industries*, S. Mannan, Dü., Oxford, 2005.
- [6] T. Abbasi ve S. A. Abbasi, «Dust Explosions - Cases, causes, consequences, and control,» *Journal of Hazardous Materials*, no. 140, pp. 7-44, 2007.
- [7] P. Kosinski ve A. Hoffman, «Dust explosions in connected vessels: mathematical modelling,» *Powder Technologies*, no. 155, pp. 108-116, 2005.
- [8] P. Amyotte, A. Basu ve F. Khan, «Dust explosion hazard of pulverized fuel carry-over,» *J. Hazard M.*, no. 122, pp. 23-30, 2005.
- [9] International Standards Organization, *Explosion Protection Systems. Part 1. Determination of Explosion Indices of Combustible Dusts in Air, ISO 6184/1*, Geneva: ISO, 1985.
- [10] R. Eckhoff, «Partial inerting-an additional degree of freedom in dust explosion protection,» *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, no. 17, 2004.
- [11] K. Choi, M. Yamaguma ve M. Takeuchi, «Development of a new apparatus using ultrasonic vibration to measure the electric spark ignition energy for dust clouds,» *Journal of Jpn. Soc. Safety Eng.*, no. 42, pp. 60-67, 2002.
- [12] M. Hertzberg, L. Zlochower ve K. Cashdollar, «Volatility model for coal dust flame propagation and extinguishment,» %1 içinde *The Combustion Institute*, Pittsburgh, 1988.

- [13] F. Tamanini, «The role of turbulence in dust explosions,» *Journal of Loss Prevent. Process Ind.*, no. 11, pp. 1-10, 1998.
- [14] B. Lewis ve G. von Elbe, *Combustion, Flames and Explosions of Gases*, New York: Academic Press, 1961.
- [15] W. Bartnecht, *Dust Explosions: Course, Prevention, Protection*, Berlin: Springer, 1989.
- [16] W. Weinmann, «Influence of temperature and pressure on the explosion characteristics of dust/air and dust/air/inert gas mixtures,» American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 1987.
- [17] NFPA 68, «Guide for Venting of Deflagrations,» National Fire Protection Association, 1998.
- [18] K. Chatrathi ve J. Going, «Dust deflagration extinction,» *Process Safety Programme*, no. 19, pp. 146-153, 2000.
- [19] R. Pilao, E. Ramalho ve C. Pinho, «Influence of initial pressure on the explosiexplosibility,» *J. Loss Prevent. Process Ind.*, no. 17, p. 87–96, 2004.
- [20] Milli Eğitim Bakanlığı Teftiş Başkanlığı, *İç Denetçilerin Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, Madde 4*, 2011.
- [21] C. Kirchsteiger, M. Christou ve G. Papadakis, «Risk Assesment and Management in the Context of the SEVESO II Directive,» 1998.
- [22] P. Amyotte, *An Introduction To Dust Explosions*, Oxford: Elsevier, 2013.
- [23] European Environmental Bureau, «Seveso III Proposal,» European Environmental Bureau, Brüksel, 2012.
- [24] *Güvenlik Bilgi Formları Hakkında Tebliğ*, 11.03.2002 Tarih ve 21634 Sayılı Resmi Gazete.
- [25] H. S. Ergür, «Makine endüstrisinde karşılaşılan toz patlaması olayı ve ATEX yönergeleri,» *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 25, no. 2, 2012.
- [26] NFPA 654, «Standard for the prevention of fire and dust explosions from the manufacturing, processing, and handling of combustible particulate solids,» National Fire Protection Association, Quincy, 2006.
- [27] International Social Security Association (ISSA), «Section for Machine and System Safety,» ISSA, Mannheim, 2003.

- [28] T. Skjold, R. Eckhoff ve B. e. a. Arntzen, «Simplified Modelling of Explosion Propagation by Dust Lifting in Coal Mines,» %1 içinde *5th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*, Edinburgh, 2007.
- [29] Reuters, *Ammonium nitrate was trigger for Texas blast, state agency says*, Reuters, 2013.
- [30] S. Hananel, *Texas Fertilizer Plant Had Last OSHA Inspection in 1985*, The Huffington Post. Associated Press, 2013.
- [31] P. Wen, *"Explosion at factory in China kills 65"*, Reuters, 2014.
- [32] U.S. Chemical Hazard and Investigation Board, «<http://www.csb.gov>, Imperial Sugar,» 2004. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.csb.gov/csb-releases-new-safety-video-inferno-dust-explosion-at-imperial-sugar/>. [14.11.2014 tarihinde erişilmiştir].
- [33] Occupational Safety & Health Administration, «Unchecked Hazards Lead to Fatal Explosion,» 18 Kasım 2002. [Çevrimiçi]. Available: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=NEWS_RELEASES&p_id=9830. [06.04.2015 tarihinde erişilmiştir].
- [34] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, «Investigation Report - Aluminum Dust Explosion,» U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Huntington, 2004.

EKLER

EK-A: Parlayıcı, Patlayıcı Maddeler Tüzüğü ilgili maddeleri

Madde 43 - Patlama tehlikesi yaratabilen tozların bulunduğu yerlerdeki yol verme reostaları, aydınlatma anahtarları ile bütün sigorta ve şalterler ve benzeri cihazlar, tehlikeli ortamın dışında kurulacaktır.

Madde 44 - Motorların durdurulup çalıştırılmasına uzaktan kumanda eden tesisat da diğer bütün elektrik tesisatı gibi, tozlara karşı korunmuş olacaktır.

Madde 49 - Parlama ve patlama tehlikesi yaratabilen organik tozun meydana geldiği, taşındığı, aktarıldığı ve çalışıldığı yerlerde elektrik motor ve jeneratörleri toz geçirmez etanş tipten olacak veya devamlı olarak temiz hava basılan tecritli hücrelerde bulundurulacaktır.

Motorların uzaktan kontrol edildiği hallerde kumanda düğmeleri toz geçirmez tipten imal edilmiş olacak veya toz geçirmeyen ayrı bir odada bulunacaktır.

Madde 50 - Parlama ve patlama tehlikesi yaratabilen organik tozların meydana geldiği, taşındığı, aktarıldığı ve çalışıldığı yerlerde sigortalar tehlikeli ortamın dışında kurulacaktır.

Buna olanak bulunmayan hallerde sigortalar toz geçirmez etanş kutular içinde bulunacak ve bu kutular ancak akım kesildikten sonra açılabilir ve bu gibi kutular üzerinde, bu hususu belirten uyarı levha veya yazılar bulundurulacaktır.

Madde 51 - Parlama ve patlama tehlikesi yaratabilen organik tozların işlendiği, taşındığı veya aktarıldığı konveyörler, elevatörler, silolar veya benzeri tertibatın içini aydınlatmakta kullanılacak elektrik lambaları toz geçirmez (etanş) globların içine alınacak ve elektrik tesisatı ayrıca, çarpma, düşme gibi mekanik tehlikelere karşı uygun tarzda korunmuş ve buralarda dışarıya tesis edilmiş olan toz geçirmez (etanş) anahtarlar kullanılacaktır.

Madde 70 - Toz veya parça halinde kömür, yağ veya herhangi bir parlayıcı madde ile bulaşmış kırpıntılar, paçavralar, pamuklar, üstüğü veya kendiliğinden tutuşabilecek bütün maddeler işyerinde bulundurulmayacak veya biriktirilmeyecektir.

Bu gibi maddeler binanın güvenlik alanları dışında bu işe ayrılmış belirli bir yere taşınacak ve orada etkisiz hale getirilecektir.

Madde 117 - Tahriş edici ve zehirleyici kuru maddelerin doldurulmasında, boşaltılmasında ve benzeri işlemlerde kullanılan transportörler, eğimli yollar, huniler, asansörler, ayırıcılar ve ayırıcıların menfezleri, elekler, kırıcılar, öğütücüler, kurutucular, ambalaj makinaları ve diğer araçlar toz toplayıcılarına uygun şekilde bağlanacaktır.

Madde 176 - Nişastanın kurutulması, kuru nişastanın öğütülmesi, elenmesi tane ve toz halindeki nişastanın toptan ambalajı, parça halindeki nişastanın pişirilmesi, prese edilmesi, ayrılması ve ambalajı gibi işlemler birbirinden yanmaz duvarlarla ayrılmış binalarda yapılacaktır.

Birden fazla katlı binalarda taban ve tavan betonarme olarak inşa edilmiş, tabanı ve duvarlarının 2 metre yüksekliğe kadar olan kısmı çimento veya benzeri ile kaplanmış olacaktır.

Madde 178 - Nişastanın öğütülmesi tamamen kapalı sistemde yapılacak, doldurma ve ambalajlamaya kadar bütün işlemlerde, nişasta tozlarının ortalığa dağılmasına meydan verilmeyecektir. Bu husus sağlanamadığı hallerde tozlar teşekkül ettiği yerde ortama yayılmadan aspirasyon suretiyle dışarı atılacaktır.

Madde 180 - Şeker, kakao, mantar ve benzeri organik maddelerin toz haline getirildiği işyerlerinde, bu maddelere ait tozlarla havanın meydana getirdiği karışımın patlama oranında bir karışım haline dönüşmemesi için gerekli bütün tedbirler alınacaktır.

EK-B: TS 11370 Standardının ilgili maddeleri

1 - KURALLAR

1.1.4 - Yapılan işlerin niteliğine göre, personel ile tezgah ve makine arasına cam, mika, tahta, saç, kalkan gibi koruyucu perdeler yerleştirilmelidir,

1.1.12.6 - Statik elektrik boşalması için gerekli bütün tedbirler alınmalıdır.

1.1.13 - Patlayıcı Madde İle Çalışılan Yerlerde Bakım ve Onarımdan Önce Alınması Gereken Tedbirler

1.1.13.1 - İş kısmen veya tamamen durdurulmalıdır.

1.1.13.2 - Bütün patlayıcı, parlayıcı, tehlikeli, zararlı maddeler ile bunların bileşimlerine giren diğer maddeler onarım yerinden uzaklaştırılmalıdır.

1.1.13.3 - Onarılacak bölüm, patlayıcı, parlayıcı, tehlikeli ve zararlı madde artıklarından ve bulaşıklarından usulüne uygun olarak temizlenmelidir.

1.1.13.4 - Yerler su ile yıkanmalıdır.

1.1.13.5 - Bakım ve onarım, yetkili birim amirinin yazılı izni ile başlamalıdır.

1.1.13.6 - Bakım ve onarım sorumlu bir teknik elemanın gözetiminde olmalıdır.

1.1.13.7 - Elektrik ve oksijen kaynağı gibi onarım cihazları, gerekli tedbirler alınmak şartı ile kullanılmalıdır.

1.1.13.8 - Onarım ve değişiklikler bina, tesisat makina ve tezgahların ilk güvenlik durumunu bozmayacak veya azaltmayacak biçimde yapılmalıdır.

1.1.15 - Personele, özellikle, karşılaşabilecekleri tehlikeler, yangın halinde alınması gereken tedbirler, artıkların zararsız hale getirilmesi, yükleme, boşaltma, taşıma ve temizlik gibi işler hakkında uygulamalı eğitim yaptırılmalıdır.

1.1.17 - Kapılar silahlı ve kontrol saatli koruma görevlileri tarafından günün yirmidört saatinde gözetim altında tutulmalıdır.

1.1.18 - Patlayıcı ve yanıcı madde bulundurarak risk meydana gelen yerlerin etrafı duvar, tel örgü veya tel kafesle çevrilmelidir.

1.1.19 - Patlayıcı ve yanıcı madde bulundurarak risk meydana gelen yerlerin etrafı amaca uygun biçimde yapılmış bekçi kulelerindeki projektörlerle aydınlatılmalıdır.

1.1.20 - Hiç bir yabancının, işletmenin sorumlusunun izni ile beraberinde nezaretçi bulunmadan gerekli bilgiler verilmeden ve uygun giysilerle donatılmadan fabrika, imalathane vb. tesislere girmesine müsaade edilmemelidir.

1.1.21 - Yangın riski olan alan içinde, sigara ve benzerlerinin içilmesine, kibrit, çakmak, ateş kızgın veya akkor halinde cisimlerle parlayabilecek veya yangın meydana getirebilecek maddelerin taşınması, bulundurulması ve kullanılması yasaklanmalıdır.

1.1.21.3 - Personelin sigara içebileceği özel bölümler bulunmalıdır.

1.1.25 - Üç kişiden az olmamak üzere, çalışan toplam personel sayısının en az %5'i ilk yardım ve kurtarma kurslarından geçirilmelidir.

1.1.26 - İlk yardım ve kurtarma kurslarından geçirilenlerin ad ve soyadlarını gösteren listeler uygun yerlere asılmalıdır.

1.1.27 - Yanık olaylarında ilk yardım amacıyla, tehlikeli yerlerin civarında suyla dolu tank veya havuzlar ya da gerekli yerlere duş tertibatı yaptırılmalıdır.

1.1.28 - Ecza dolaplarında yanık ilaçları da bulundurulmalıdır.

1.1.39 - Yıldırıma Karşı Alınması Gerekli Tedbirler

1.1.39.1 - Koruma sistemi en az yılda bir kez uzmana kontrol ettirilmelidir.

1.1.39.2 - Sistemde belirlenen arıza ve noksanlar bir deftere yazılmalıdır.

1.1.39.3 - Tesbit edilen arıza ve noksanlar derhal giderilmelidir.

1.1.39.4 - Onarım tamamlandığında, onarıma ilişkin belge düzenlenerek ilgililerin her istendiğinde gösterilmek üzere işyeri dosyasında saklanmalıdır.

1.1.40 - Elektrik tesisatı ile statik elektrik donanımı bir yılı geçmeyen süreler içinde uzmanlarca bakım ve onarımdan geçirilmelidir. Bu husus istendiğinde gösterilmek üzere, özel defterine yazılmalıdır.

1.1.44 - Binaların duvarları yanmaz maddeden, tavanları hafif ve yanmaz malzemeden dış yan cephelerine bakan pencereler ince kırılmaz camlı olacak ve patlamalarda büyük parçalar halinde havaya fırlamayacak malzemeden yapılmış olmalıdır.

1.1.51 - Binaların bütün pencereleri, gerektiğinde çıkış için kullanılabilecek şekilde yapılmış olmalıdır.

1.1.52 - Pencerelere demir parmaklık veya kafes konulmamalıdır.

1.1.56 - Asansörler ve merdivenler yanmaz malzemeden yapılmış ve binanın diğer kısımlarından ayrı bölmelerde veya binanın tamamen dışında kurulmuş olmalıdır.

1.1.57 - Asansörlerin kapıları otomatik, kendiliğinden kapanan, toz geçirmez şekilde olmalıdır.

1.1.58 - Kullanılacak aspiratörlerin motorları kapalı tip olmalıdır.

1.1.59 - Aspiratörlerin emme boruları, yanmaz malzemeden, yeterli bir kapasitede ve binanın bütün menfezlerinden uygun bir mesafede havaya açılmış olarak yapılmalıdır.

1.1.60 - Aspiratörlerin emme boruları yanabilen her maddeden tecrit edilmiş ve uygun şekilde topraklanmış bulunmalıdır.

1.1.61 - Parlayıcı, patlayıcı, tehlikeli ve zararlı gazlar, buharlar, sisler, dumanlar, tozlar ve lifler intişar ettiği noktada otomatik olarak emilmeli ve gerekli tedbirler alındıktan sonra dışarı atılmalıdır.

1.1.62 - Parlayıcı, patlayıcı, tehlikeli ve zararlı sıvı ve gaz maddeler, emme veya basınç sureti ile özel borular içerisinden sevk edilmelidir.

1.1.63 - Zararlı gaz ve sıvıların sevkinde ve depolanmasında, herhangi bir kaçağa meydan vermeyecek tedbirler alınmalıdır.

1.1.64 - Parlayıcı, patlayıcı tehlikeli ve zararlı sıvı veya gaz maddelerin üretimine, kullanılmasına veya bu maddeler ile yapılan diğer işlere yarayan alet, cihaz veya boru donatımının bozulması, delinmesi, sızdırması, eklerinden kaçak yapması veya havalandırma gibi sistemlerin arızalanması durumunda iş tamamen durdurulmalıdır.

1.1.65 - Parlayıcı, patlayıcı, tehlikeli ve zararlı maddelerin bulunduğu yerlerde bu maddeleri veya bunların buhar ve gazlarını tutuşturabilecek sıcaklık derecesine yükselen, kıvılcım veya alev çıkarabilen ısıtma sistemleri kullanılmamalıdır.

1.1.66 - Parlayıcı maddelerin bulunduğu tesislerdeki elektrik motorları alev geçirmez tam kapalı korumalı tipten olmalıdır.

1.1.67 - Mekanik bir etkiye maruz kalması muhtemel olan yerlerde, zırhlı kablolar kullanılmalıdır.

1.1.68 - Binaların madeni kısımlarından geçen borular ile kabloların madeni kılıfları tecrit maddesi ile kaplanmalıdır.

1.1.69 - Çıplak hava hatları tehlike alanına girmeden son bulmalı ve uçlarda, gerilim yükselmelerine karşı uygun koruyucu cihazlar bulundurulmalıdır.

1.1.70 - Telekomünikasyon kabloları da dahil, bütün yeraltı kabloları en az 50 cm derinliğe konmalıdır.

1.1.71 - Sık sık bakıma ihtiyaç gösteren elektrik teçizatını devreden tamamen ayırma imkanı sağlanmalıdır.

1.1.72 - Sigortalar daima tehlike bölgesi dışına konmalıdır.

1.1.73 - Sigortalar alev geçirmez kutular içinde bulunmalıdır.

1.1.74 - Aydınlatma devreleri de dahil olmak üzere bütün elektrik tesisatı bir yılı geçmeyen süreler içinde ehliyetli elemanlar tarafından kontrol ve bakıma tabi tutulmalıdır.

1.1.75 - Bütün madeni bölme ve çatı kısımları ile makina ve teçizat uygun şekilde topraklanmış olmalıdır.

1.1.76 - Seyyar elektrik cihazları tehlikeli bir ortam içinde hiç bir sebeple kullanılmamalıdır.

1.1.77 - Parlayıcı, patlayıcı, tehlikeli ve zararlı maddelerin üretildiği işlendiği ve depolandığı binalar, yıldırıma karşı uygun paratönerle korunmalıdır.

1.1.78 - Paratönerler ve yıldırıma karşı alınan diğer koruyucu tertibat yılda en az bir defa, ehliyetli bir elemana kontrol ettirilmelidir.

1.1.80 - Değirmenlerin, un fabrikalarının ve yem fabrikalarının binalarında döşemeler, duvarlar bölmeler ve tavanlar kargir olarak yapılmalıdır. Her 25 m³ iç hacim 1 m² yüzey hesabı ile patlama menfezleri bulunmalıdır.

1.1.81 - Un, yem ve benzeri madde depoları arasında yangın sirayetini önleyecek tedbirler alınmalıdır.

1.1.82 - Hayvan yemleri, ot ve samanlar, glüten, arpa küspeleri ve diğer yağlı küspeler ve kendi kendine tutuşabilen diğer maddeler topluca depolanmamalıdır. Topluca depolanmaları mecburi olan hallerde aşırı neme ve sıcaklıklarının yükselmesine karşı gerekli tedbirler alınmalı ve yığınların yüksekliği 3 m'yi geçtiği zaman bunların içine en çok her 4 metrede bir uygun havalandırma boruları konulmalıdır.

1.1.83 - Şeker, kakao, mantar ve benzeri organik maddelerin toz haline getirildiği işyerlerinde, bu maddelere ait tozlarla havanın meydana getirdiği karışımın patlama oranında bir karışım haline dönüşmemesi için gerekli bütün tedbirler alınmalıdır.

1.1.109 - İşyerlerinde yangının söndürülebilmesi için yeterli miktarda ve basınçta su bulundurulmalıdır.

1.1.110 - Genel su şebekesinden basınçlı su temin edilemediği hallerde yeterli suyu verecek yüksek depolar veya havuzlar yapılmalı ve bunlardan ve akarsulardan suyu çekecek motorlu pompa ve boru tesisatı yapılmış olmalı veya seyyar motopomplar bulunmalıdır.

1.1.111 - Motopomplar her an işler vaziyette bulundurulmalıdır.

1.1.112 - Yangın muslukları, kolay erişilir uygun yerlerde tesis edilmeli, soğuk havalarda suyun donmasını önlemek için, tesisat gerekli şekilde korunmalıdır.

1.1.114 - Herhangi bir yangın esnasında söndürücü olarak kesinlikle su kullanılamayacak yerler ile bu yerlerin giriş kapılarına gerekli uyarı levhaları konulmalıdır.

EK-C: İlgili ATEX Direktifleri

Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik İşyerleri ve İş Ekipmanları İçin Özel Gerekliler

Madde 11 – Patlayıcı ortam oluşma ihtimali bulunan işyerlerinde, işverenler aşağıda belirtilen hususlara uymakla yükümlüdür:

- a) Patlayıcı ortam oluşma ihtimali bulunan yerlerde, bu Yönetmeliğin yayımlandığı tarihte kullanılmakta olan veya kullanıma hazır olan iş ekipmanları, 30/6/2006 tarihine kadar A’da belirtilen asgari gerekleri karşılamak zorundadır.
- b) Patlayıcı ortam oluşma ihtimali bulunan yerlerde kullanılmak üzere bu Yönetmeliğin yayımlandığı tarihten sonra yeni alınacak iş ekipmanları, 30/6/2006 tarihine kadar Ek-II A ve Ek-II B’de verilen asgari gerekleri karşılayacaktır.
- c) Patlayıcı ortam oluşabilecek kısımları bulunan ve 30/6/2006 tarihinden sonra açılacak işyerleri ise bu Yönetmelikte belirtilen şartlara uygun olarak kurulacaktır.
- d) Patlayıcı ortam oluşabilecek kısımları bulunan ve 30/6/2006 tarihinden önce açılmış olan işyerleri, bu Yönetmeliğin yayımlandığı tarihten itibaren en geç üç yıl içinde bu Yönetmelik hükümlerine tam olarak uygun hale getirilecektir.

Patlayıcı ortam oluşabilecek kısımları bulunan işyerlerinde 30/6/2006 tarihinden sonra herhangi bir değişiklik, eklenti veya tadilat yapıldığında, işveren bu Yönetmelik hükümlerine tam olarak uyulmasını sağlayacaktır.

EK-D: Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemlerle İlgili Yönetmelik

A. Çalışanların Sağlık Ve Güvenliklerinin Patlayıcı Ortam Risklerinden Korunması İçin Asgari Gerekler:

- a) İşyerlerinin, iş ekipmanının, kullanılan maddelerin veya yürütülen faaliyetin yapısından kaynaklanan patlayıcı ortam riski bulunan ve Ek-1'e göre tehlikeli sınıfına giren yerlere,
- b) Tehlikeli yerlerde bulunan ekipmanın güvenli bir şekilde çalışması için gerekli olan veya bu ekipmanların güvenli çalışmasına yardımcı olan ancak kendisi tehlikeli bölgede bulunmayan ekipmanlara, uygulanacaktır.

1. Organizasyon Önlemleri

1.1. Çalışanların Eğitimi

İşveren, patlayıcı ortam oluşabilen yerlerde çalışanlara, patlamadan korunma konusunda yeterli ve uygun eğitimi sağlayacaktır.

1.2. Yazılı Talimatlar ve Çalışma İzni

Patlamadan Korunma Dokümanında gerekli görülmesi halinde;

- a) Tehlikeli yerlerdeki çalışma, işverence düzenlenen yazılı talimatlara uygun yapılacaktır.
- b) Gerek tehlikeli işlerin yapılmasında, gerekse başka çalışmaları etkileyerek tehlikeye neden olabilecek diğer işlerin yapılmasında, bir "Çalışma İzni" sistemi uygulanacaktır.

Çalışma izni, bu konuda yetkili ve sorumlu olan bir kişi tarafından işe başlamadan önce yazılı olarak verilecektir.

2. Patlamadan Korunma Önlemleri

2.1. Patlama tehlikesine neden olabilecek patlayıcı gazlar, buharlar, sisler veya yanıcı tozların isteyerek veya istemeyerek ortaya çıkması halinde, bunların güvenli bir yere uygun şekilde yönlendirilmesi veya uzaklaştırılması sağlanacak, bunun yapılması pratik olarak mümkün değilse yayılmalarını önleyecek başka uygun önlemler alınacaktır.

2.2. Eğer patlayıcı ortam birkaç çeşit patlayıcı ve/veya yanıcı gazlar, buharlar, sisler veya tozlardan oluşuyorsa, alınacak koruyucu önlem en yüksek riske uygun olacaktır.

2.3. Özellikle, çalışanların ve çalışma ortamının statik elektrik taşıyıcısı veya üreticisi olabileceği durumlarda, bu Yönetmeliğin 5'inci maddesinde belirtilen tutuşturma tehlikesinin önlenmesinde, statik elektrik boşalmaları da dikkate alınacaktır. Patlayıcı ortamı tutuşturabilen statik elektrik oluşumunu önlemek için çalışanlara uygun malzemeden yapılmış kişisel koruyucu giysiler verilecektir.

2.4. Tesis, ekipman, koruyucu sistemler ve bunlarla bağlantılı cihazların patlayıcı ortamda güvenle kullanılabileceğinin, Patlamadan Korunma Dokümanında belirtilmesi halinde bunlar hizmete sokulabilir. Bu kural 27/10/2002 tarihli ve 24919 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemlerle İlgili Yönetmelik'e göre ekipman veya koruyucu sistem sayılmayan ancak tesiste yerleştirildikleri yerlerde kendileri bir

tutuşturma tehlikesi oluşturan iş ekipmanları ve bağlantı elemanları için de geçerlidir. Bağlantı elemanlarında herhangi bir karışıklığa meydan vermemek için gerekli önlem alınacaktır.

2.5. Patlama riskini en aza indirmek ve olası bir patlamada, patlamayı kontrol altına almak, işyerine ve iş ekipmanlarına yayılmasını en aza indirebilmek için; işyerleri, iş ekipmanları ve bunlarla bağlantılı tüm cihazların tasarımı, inşası, montajı ve yerleştirilmesi, bakım, onarım ve işletilmesinde gerekli tüm önlemler alınacaktır. Işyerlerinde patlamanın fiziksel tesirlerinden çalışanların etkilenme riskini en aza indirmek için uygun önlemler alınacaktır.

2.6. Gereken durumlarda, patlama şartları oluşmadan önce, çalışanların sesli ve/veya görsel işaretlerle uyarılması ve ortamdan uzaklaşması sağlanacaktır.

2.7. Patlamadan Korunma Dokümanında gerekli görülmesi halinde; bir tehlike durumunda çalışanların tehlikeli bölgeden anında ve güvenli bir şekilde uzaklaşabilmeleri için tahliye sistemi kurulacak ve her an işler durumda bulunması sağlanacaktır.

2.8. Patlayıcı ortam oluşabilecek bölümleri bulunan işyerlerinde; faaliyete başlanılmadan önce bütün işyerinin patlama yönünden güvenliğinin sağlandığı kanıtlanacaktır. Patlamadan korunmayı sağlamak için bütün koşullar yerine getirilecektir.

Patlama yönünden güvenliğin sağlandığının kanıtlanması, patlamadan korunma konusunda eğitim almış ve deneyimli uzman kişilerce yapılacaktır.

2.9. Yapılan risk değerlendirmesinin gerektirmesi halinde;

a) Her hangi bir g kesilmesinin ilave risklere neden olabileceği durumlarda, ekipmanın ve güvenlik sistemlerinin, tesisin diğer kısımlarından bağımsız olarak güvenli bir şekilde çalışmasını sürdürmesi mümkün olacaktır.

b) Otomatik proseslerde amaçlanan çalışma koşullarından her hangi bir sapma meydana geldiğinde, otomatik sistemle bağlantılı ekipmana ve koruyucu sistemlere güvenliği tehlikeye atmamak şartıyla el ile müdahale yapılabilir olacaktır. Bu müdahaleyi sadece bu işte yetkili çalışanlar yapacaktır.

c) Sistemin acil durdurulması halinde, biriken enerji mümkün olduğu kadar çabuk ve güvenli bir şekilde boşaltılacak veya tehlike oluşturmayacak şekilde izole edilecektir.

B. Ekipmanların Ve Koruyucu Sistemlerin Seçiminde Uyulacak Kriterler:

Risk değerlendirmesine göre hazırlanan patlamadan korunma dokümanında aksi belirtilmemesi halinde, patlayıcı ortam oluşabilecek tüm yerlerdeki ekipman ve koruyucu sistemler, 27/10/2002 tarihli ve 24919 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemlerle İlgili Yönetmelikte belirtilen kategorilere göre seçilecektir.

Özellikle gazlar, buharlar, sisler ve tozlar için aşağıda belirtilen bölgelerde, karşılarında verilen kategorideki ekipman kullanılacaktır.

Blęe 0 veya Blęe 20 : Kategori 1 ekipman,

Blęe 1 veya Blęe 21 : Kategori 1 veya 2 ekipman,

Blęe 2 veya Blęe 22 : Kategori 1, 2 veya 3 ekipman.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad	: Meryem Müge Asana
Doğum Yeri ve Tarihi	: İran/Tahran, 02.01.1989
E-Posta	: muge.asana@gmail.com
Telefon	: +90 533 328 64 69
İkamet	: Kadıköy, İstanbul
Öğrenim Durumu	
Lise	:2007, Kadıköy Anadolu Lisesi
Lisans	:2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
İş Tecrübesi	
2011 – Şimdi	:Biesterfeld Özel Kimyasallar, Kozmetik Departmanı Satış Yöneticisi