

MAKİNE ENDÜSTRİSİNDE KARŞILAŞILAN TOZ PATLAMASI OLAYI VE ATEX YÖNERGELERİ

H. Sevil ERGÜR

ÖZET: Gelişen sanayilerde, malzemeden işlemeye kadar, kişilerin sağlıkları ve yaşamları da ayrı bir önem taşıdığı için, işlemler sırasında oluşan tozlar ve daha sonra toz bulutlarının neden olduğu sorunlara gereken önem verilmezse üzücü sonuçlar doğurabilir. “Toz Patlaması” oluştuğunda çalışanlara ve ortama verilen geri dönüşü olmayan hasarlar üretim maliyetini artırır. Endüstriyel toz patlamaları üretim, depolama ve malzeme taşınması sırasında risk oluştururlar. Patlama sırasında ortaya çıkan ısı, yüksek basınçlara neden olduğundan çalışanlara ve ekipmana hasar vererek üretimi kesintiye uğratar. Ülkemiz endüstrisinde toz patlamasının çok iyi bilindiği ve analizinin yapıldığını söylemek oldukça zordur. Bu çalışmada, toz patlamasının önemi, tanımı, oluşumu, özellikleri, korunma/önleme yolları ve yapılması gereken tavsiyeler üzerine durulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Toz Patlaması, Toz Bulutu, Partikül Boyutu, ATEX Yönergeleri.

DUST EXPLOSION PHENOMENA IN MECHANICAL INDUSTRY AND ATEX INSTRUCTIONS

ABSTRACT: Developing industries are always come across several type of problems. Various problems can be easily solved which might occur between the beginning of supply trend up to manufacturing point. At the solution cycle, human health is so important. Dusts which do arise during the production will end with annoying results. “Dust Explosion” will be hazardous to operators and environment. Industrial dust explosion will be risky during production, stocking and transportation. As a result of dust explosion, the heat with high pressure will cause rather heavy injuries. Dust Explosion is not very well known at our country. In this work importance, description, occurrence, characteristics, prevention methods has been handled.

KEYWORDS: Dust Explosion, Dust Cloud, Particle Dimension, ATEX Instructions.

I. GİRİŞ

Toz parçacıkları, çapı genellikle 1 mm' den küçük, hava ortamında asılı kalabilen ve şartlara bağlı olarak çökebilen parçacıklardır. Belirli bir hacim içindeki ağırlık (m^3/mg) ve toz sayısı ($m^3/tane$) cinsinden tanımlanırlar. Ayrıca tane büyüklüğüne göre, çapı 10 mikrondan daha büyük tozlar; çapı 0,1÷10 mikron arasındaki tozlar ve çapları $\leq 0,1 \mu$ arasındaki küçük taneli tozlar şeklinde sınıflandırılırlar. 0,1 mikron ve daha küçük çaplılar havada asılı kalırken, 0,1÷10 mikron büyüklüğündeki sakin (durgun) toz parçacıkları havada asılı kalmazlar. [1].

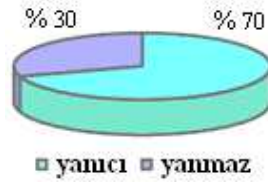
Endüstriyel kuruluşların çoğunda, belli şartlar altında, 420 mikron veya daha küçük çaptaki katı maddecikler olarak bilinen yanıcı ve patlayıcı tozların kullanılması kaçınılmazdır. Yanıcı ve patlayıcı tozlar, hava ortamında veya diğer oksitleyici ortamda ateşlendiğinde, yangın veya patlama riski oluşur. Plastikler, zirai ürünler, her tür gıda, ilaç ve metaller için tozların patlama özellikleri bilinmektedir. Toz patlamasıyla ilgilenen ilk araştırmacı Weber (1878) yaptığı çalışmada, tozlardaki kohezyon ve yayılım üzerinde durmuş ve buğday unundaki yanıcılık ve patlama olaylarını analiz etmiştir [2].

II. TOZ PATLAMASI OLAYI

II.1 Toz Patlaması Nedir?

Yanma, uygun oranlarda karışan toz ve havanın, ateşleme kaynağıyla birleşmesi sonucunda, patlama ise, sadece yanma sonrasında oluşur. Patlama, büyük miktarda enerjinin çok kısa süre içinde serbest kalarak ortamda büyük basınç artışına sebep olur. Kayıtlara göre ilk "Toz Patlaması" olayı 14.12.1875' de İtalya'nın Torino şehrinde bir fırında meydana gelmiştir (Bay Giacomelli Ekmek Fırını, saat 16⁰⁰) [3].

Endüstride kullanılan katı maddelerin çoğu havada, toz bulutu halinde iken dış etkenlerin de katkısıyla yanma riski oluşturmaktadır. Birçok madde üzerinde uzun yıllar yapılan denemeler sonucunda, bunların yaklaşık %70'inin yanıcı, %30'unun yanmaz oldukları belirlenmiştir [4]. Yanıcı toz malzemeler organik ve metaller olmak üzere iki farklı sınıfta ele alınırlar. Tahıllar ve şeker gibi tabii organik malzemeler, plastik ve boyalar gibi sentetik organik malzemeler ile kömür ve kok gibi yakıtlar da, organik malzemeler sınıfındadır [5]. Yanıcı metaller grubunda ise, okside olan kalsiyum, magnezyum, alüminyum, demir vb. malzemeler bulunur.



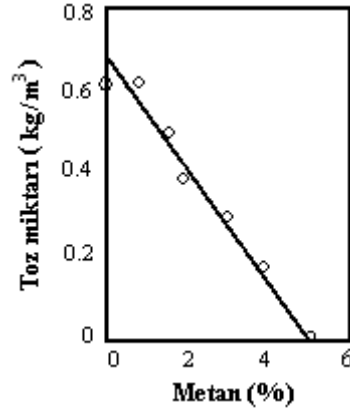
Şekil 1. Maddelerde yanıcılık yüzdeleri [6]

Havada askıda kalan toz parçacıklarının atmosferdeki oksijenle çok şiddetli bir reaksiyona girmesi şeklinde ifade edilen ve kimyasal bir patlama olan toz patlaması, gaz veya buhar bulutu patlamasına benzer bir olaydır. Belirli hacimdeki yanıcı karışım ateşlendiğinde, ortam basıncında hızlı artış ve bulut içinde hareketli ateş görülür. Yanıcı malzemenin hava ortamında yanıcı bulut oluşturması ve içindeki alevin yayılmasıyla oluşan patlamanın şiddeti, ortamdaki oksijen ve yanıcı malzeme yoğunluğuna bağlıdır. Söz konusu değerler altında veya üzerinde toz patlaması oluşmaz [5, 6].

Toz patlamasının yayılması durumunda oluşan sekonder patlama çok daha ciddi sorunlara neden olur. Toz patlamasının neden olduğu maliyeti etkileyen faktörler,

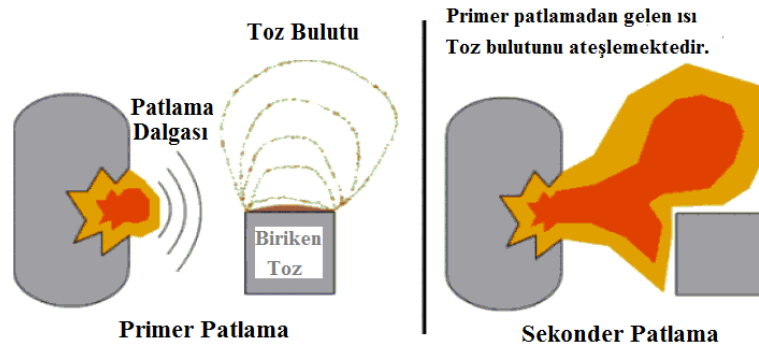
- a) Çalışanların ölümü veya yaralanma riski,
- b) Tesisin kapatılması veya yeniden yapılması,
- c) Ekipman değişimi,
- d) Değiştirilebilir ürün çeşitliliğinin gözden geçirilmesi,
- e) Çalışma süresinin düşmesi,
- f) Ürün tesliminde sorunların ortaya çıkması,
- g) Pazarda hisse senetlerinin düşmesi,
- h) Ortakların güvenlerini yitirmeleri,
- ı) Yıllık kar kaybının önlenememesi,
- i) Sigorta işlemlerinde ağır şartların ortaya çıkması şeklinde özetlenebilir [6].

Toz ve gaz patlamaları arasında benzerlik ve farklılıklar da vardır. Ancak, genellikle toz patlamaları, gaz patlamalarına göre çok daha karmaşıktır. Yerçekimi etkisiyle partiküllerin çökmesi nedeniyle, pratikte toz bulutlarının varlığından söz edilemeyeceğinden, yanan ortam dinamiği, ateşleme ve sonunda yanma işlemini karmaşık hale getirir. Toz bulutunun ateşleme ve yanma ile ilgili kimyasal işlemi de gazlara göre karmaşıktır [6, 7]. Yanmaz ve alev almaz birçok katı madde ince toz haline geldiklerinde yanıcı ve patlayıcı olabilmektedir. Bunlara örnek olarak Al, Fe, Zn, pirit cevheri, flor, şeker, kakao, odun, kömür vb. malzemeler ait tozlar gösterilebilir. Bileneceği üzere, toz halindeki katı partiküllerin hava ile teması diğerlerine göre çok daha fazla olacağından yanma kolaylaşırken bazı tozlar, içlerinde bulunan yanabilen gazları açığa çıkarırlar [7]. Bu da yanma veya patlamaya neden olabilir. Toz patlamasının oluşabilmesi için minimum toz miktarı yaklaşık 60 gr/m^3 mertebesindedir. Ayrıca Metan gazı ilavesinin toz patlamasını düşürdüğü bilinmektedir (Şekil 2).



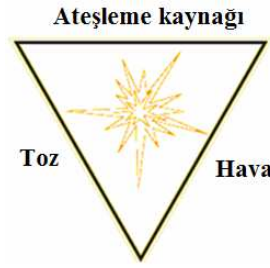
Şekil 2. Metan gazının toz patlamasına etkisi [3]

Toz patlamalarının karakteristikleri gaz patlamalarından farklıdır. Gaz/hava karışımı ateşlenince patlama sonucu ortaya çıkan itici kuvvet, gaz bulutunun hızlıca yayılmasına neden olduğundan, gaz/hava karışım yoğunluğunun düşmesiyle yanma işlemi devam etmeyecektir. Böylece gaz ilave edilmediği sürece, patlama milisaniyeler içinde sona erecektir.



Şekil 3. Primer ve sekonder patlamanın şematik gösterimi [8]

Şekil 3'de gösterildiği gibi, primer ve sekonder olmak üzere, iki tür toz patlamasından söz edilebilir. Primer patlama genelde kapalı ortamda olduğundan, (siklon veya üretim hattının belli bir noktasında, vb.) ortaya çıkacak şok dalgaları tesiste hasara sebep olmaktadır. Ayrıca tozun ve gazların yanmasıyla oluşan patlama ürünlerinin yayılması sonucunda, ortamda birikmiş haldeki tozlar çok daha büyük sekonder patlamaya neden olacaktır [8]. Toz patlaması risk üçgeninin (Şekil 4) dışında gerçekleşen patlama için, beş ayrı şartın gerekliliği unutulmamalıdır.



Şekil 4. Toz patlaması risk üçgeni

Şekil 5' de gösterilen zincirin herhangi bir elemanındaki kopma, patlamayı önleyici yönde etkili olacaktır.

Toz patlamasının oluşmasında etkili şartlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1. Tozların yanabilir olmaları gerekir.
2. İnce taneli tozlarda patlama olasılığı daha fazladır.
3. Toz bulutları üst ve alt patlama sınırları içinde, patlama yoğunluğuna sahip olmalıdır.
4. Patlamanın başlaması ve devamında ortamda yeterli oksijen bulunmalıdır.
5. Ateşleme kaynağının bulunması şarttır.



Şekil 5. Toz patlaması şartları

II.2. Toz Patlaması Oluşumunda Etkili Parametreler

II.2.1 Toz Bulutu Yoğunluğu

Tozlar, gaz ve buharlara benzer şekilde toz bulutu oluşturabilirler. Patlama sınırının özellikle üst limitin, gaz ve buharlarda net olarak tanımlanması çok zordur. Gerçek değerler tozun yapısına, partikül dağılımına ve belirlenen yöntemle bağlıdır. Genellikle alt limitin $50-100 \text{ g/m}^3$; üst limitin $2-3 \text{ kg/m}^3$ mertebesinde olduğu kabul edilir. Patlama oluşmadan önce tutuşabilir toz süspansiyon yoğunluğu, üst ve alt patlama sınırları mertebesinde olmalıdır. Tutuşabilir birçok toz için alt limit açıkça tanımlanmakla birlikte, toz bulutu yoğunluğundaki kararsızlıktan dolayı, üst patlama sınırının belirlenmesi oldukça zordur [9].

II.2.2 Ortam Havaasının Durumu

Tozdaki yanmayı sınırlayan, ateşleme enerjisi arttığı ve havadaki oksijen miktarı düştüğü durumlarda patlamanın şiddeti de düşecektir. Oksijen miktarının azalmasıyla ortama azot veya karbondioksit gazı yüklenebilir. Toz patlaması için ortamda yeterli oksijenin bulunması şarttır. Havadaki oksijen yoğunluğu % 21 mertebesindedir. Bu değer altında, ateşleme sıcaklığının yükselmesi gerekeceğinden toz patlama olasılığı düşecektir. Sistem tasarımında, toz patlamasından korunmada çok etken bir faktör olan, toz patlamasının oluşmayacağı bir oksijen sınır yoğunluğu değerinden söz edilmektedir. Toz patlamalarının oksijeni zengin ortamda daha rahat ve şiddetli olacağı bilinmelidir [9].

II.2.3 Partikül Boyutu

Partikül boyutunun, patlamanın şiddeti ve ateşlemenin başlaması açısından önemi büyüktür. Patlamanın şiddeti düşünüldüğünde partikül boyutunun artması, ateşleme enerjisinin düşürülmesini gerektirir. Araştırmacı Echhoff' a göre, her şartı sağlamak için partikül boyutu yaklaşık 50 μ olmalıdır. Araştırmacı 50÷150 μ ' da yaptığı çalışmada, maksimum patlama basıncı ile maksimum basınç miktarının sırasıyla 7,5÷9 bar ve 20÷130 bar olduğunu tespit etmiştir [10].

II.2.4 Tozun Yapısı

Tozun yanmadığı ve ortam gazlarıyla reaksiyona girmediği durumlarda toz patlamasından söz edilemez.

II.2.5 Ateşleme Direnci

Ateşleme enerjisi toz partiküllerini ateşleyecek derecede büyük olmalıdır. Tozlar için bu değer genelde 1÷10 mJ arasında değişmektedir.

II.2.6 Toz Dağılım Miktarı

Dağılım/yığılma sırasında toz yoğunluğu ve efektif partikül boyutu da değişeceği için, yanma da etkilenecektir. Partikülleri iyi dağılmış tozlar çok daha iyi yanacaktır. Dağılım derecesi, genellikle tozun dağılım şekline ve toz bulutu içindeki türbülans derecesine bağlıdır.

II.2.7 Başlangıç Şartları

Başlangıç sıcaklığının artması, ateşleme enerjisini ve patlama alt sınırını düşürür. Ancak, maksimum patlama sıcaklığı hava yoğunluğu düştükçe azalacağından, reaksiyon için gerekli oksijen miktarı da azalacaktır. Başlangıç basıncının artmasıyla patlama basıncı da artmakta, ateşleme enerjisi ise düşmektedir. Toz bulutundaki artışla türbülans da artarsa, patlama olasılığı ve buna bağlı olarak basınç da

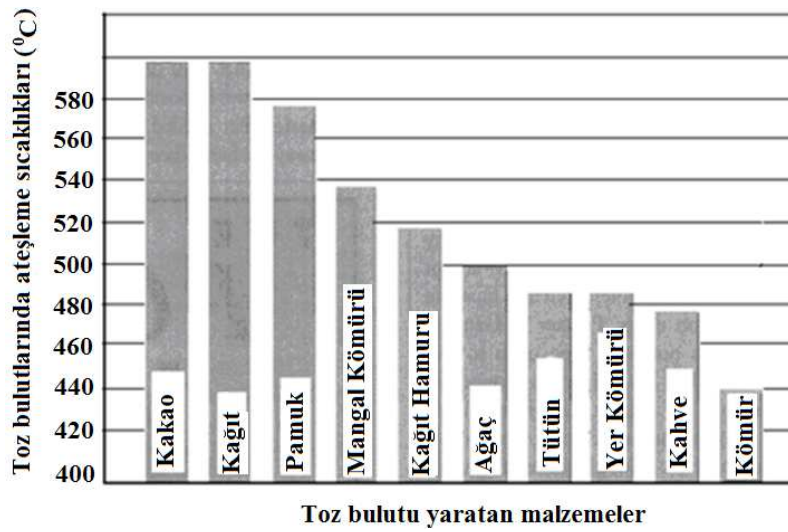
artacaktır. Ateşleme kaynağından gelen enerji düşük değerlerde yayılacağından, düşük türbülans değerlerinde toz bulutu daha kolay ateşlenecektir [11, 12].

II.2.8 Nem Miktarının Patlamaya Etkisi

Tozdaki nem miktarı, ateşleme olasılığını ve patlamanın devamını etkileyecektir. Nem miktarı artınca ateşleme enerjisi de artacağından patlama şiddeti azalacaktır. Toz içerisinde yanabilir çözücünün bulunması, ters bir etki yaratarak ateşleme enerjisini düşürmekte ve patlama şiddetini artırmaktadır.

II.2.9 Ateşleme Kaynakları ve Toz Bulutlarının Ateşleme Sıcaklıkları

Toz patlamasının gerçekleşmesi için bir ateşleme kaynağının bulunması şarttır. Ateşleme kaynağının büyüklüğü, toz patlamasının şiddetini belirleyen en önemli faktördür.



Şekil 6. Toz bulutları ile ateşleme sıcaklıkları [7]

Ateşleme kaynağında ark oluşturabilecek hatalı elektrik tesisatı, elektrik motorları, kaynak işlemleri, sürtünmenin veya metalik parçaların neden olduğu kıvılcımlar, aşırı ısınan yataklar, statik elektriklenme, açık alevler, aşırı ısınan ampuller, kurutucular, sürekli sıcak yüzeyler gibi olumsuzluklardan kaçınılmalıdır. Özetle, toz patlamasında bir ateşleme enerjisine gereksinim vardır. Benzer şekilde, farklı malzemeler için ateşleme sıcaklıklarının bilinmesinde yarar vardır. Böylece işleme sırasında ateşleme sıcaklığına göre gerekli önlemlerin alınması daha kolay olacaktır. Endüstride kullanılan tozların çoğu yanabilir özelliktedir. Bir ateşleme kaynağı ateşlendiğinde, havada asılı haldeki yanabilir toz yoğunluğu, alevin yayılması için yeterli ise patlama oluşacaktır [13, 14].

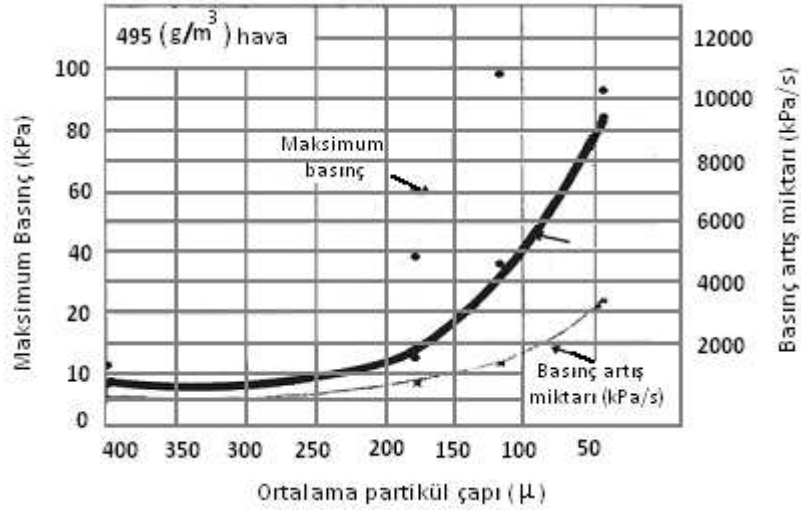
Toz patlamasına ilişkin, risk ve hasar kavramlarına sıkça rastlanır. Bazı durumlarda birbirleri yerine kullanılsalar da gerçekte farklı anlamları vardır. Hasar, zarar ve/veya yaralanmaya neden olan potansiyel olarak tanımlanır. Risk ise, olayın oluşu ile ilgili frekans veya hasara neden olan şartların çarpımıyla elde edilen bir olasılık ürünüdür. Toz bulutlarında patlama riskinin tanımlanması, sistematik yaklaşım açısından önemlidir. Ayrıca patlama sonucunda karşılaşılabilecek durumlar için alınacak emniyet tedbirlerinde, aşağıdaki noktalara özen gösterilmelidir[15, 16].

- Tozun patlama karakteristiklerinin iyi tanımlanması,
- Yanabilir tozların bulunacağı noktaların belirlenmesi,
- Normal ve özel şartlar altında potansiyel ateşleme kaynaklarının tanımlanması,
- Toz patlamalarının ortadan kaldırılması ve/veya azaltılması için uygun tesis tasarımı, kişi ve ekipmanın korunması şarttır.

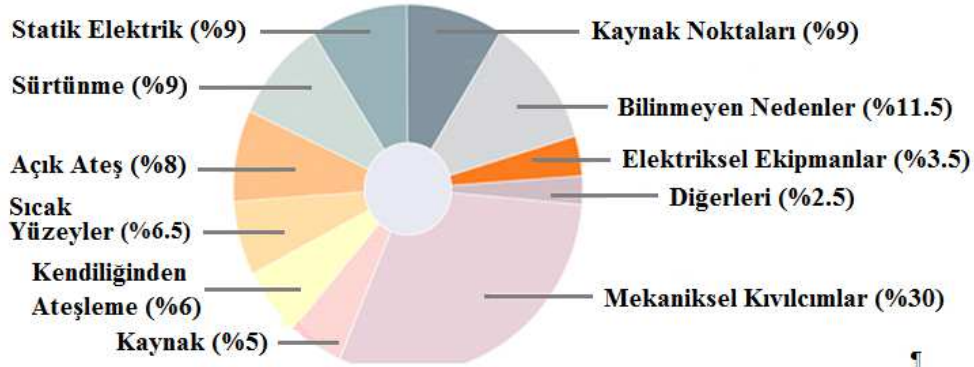
II.2.10 Toz Patlamasını Önlemede Ateşleme Kaynaklarının Kontrolü

1. Uygun elektrik tesisatı ve sargı metotları kullanılmalıdır.
2. Statik elektrik ile birlikte topraklama kontrol altında tutulmalıdır.
3. Sigara içimi açık alanlarda, ateşler ve kıvılcıklar kontrol altında tutulmalıdır.
4. Mekaniksel kıvılcıklar ve sürtünme kontrol edilmelidir.
5. İşlem sırasında ateşlemeye neden olabilecek yabancı maddeler ayıklanmış olmalıdır.
6. Isınan ve ısıtıcı yüzeyler toz yığınlarından ayrı tutulmalıdır.
7. Üretimde kullanılan ekipmanın bakımına özen gösterilmelidir.

Toz patlamasının oluşmasında tüm faktörlerle birlikte partikül çapının etkisi de oldukça büyüktür. Partikül çapının düşmesi ortamda oluşacak basıncı belirgin şekilde artıracaktır. Şekil 7'de görüleceği gibi, 495 g/m³'lük numune üzerine yapılan deneylerde partikül çapı 400µ'dan 50µ'a düşürüldüğünde basınç artışı ve artış miktarında etkili büyüme görülmüştür.



Şekil 7. Toz patlamasında partikül çapının basınca etkisi [16]



Şekil 8. Toz patlamalarında temel nedenler [9].

Şekil 8'de toz patlamalarında ateşleme kaynaklarına ilişkin bir çalışma gösterilmiştir. Görüleceği üzere, patlamaların üçte birine mekaniksel yollarla ortaya çıkan kıvılcımlar sebep olmakta, yaklaşık % 8'i açık ateşten, % 9 sürtünmeden dolayı oluşmaktadır.

Araştırmacı Billinge' ye göre, endüstriyel sürtünmenin neden olduğu ateşleme için gerekli sürtünme kaynakları üç grupta ele alınabilir. Bunlar [13, 16] sırasıyla,

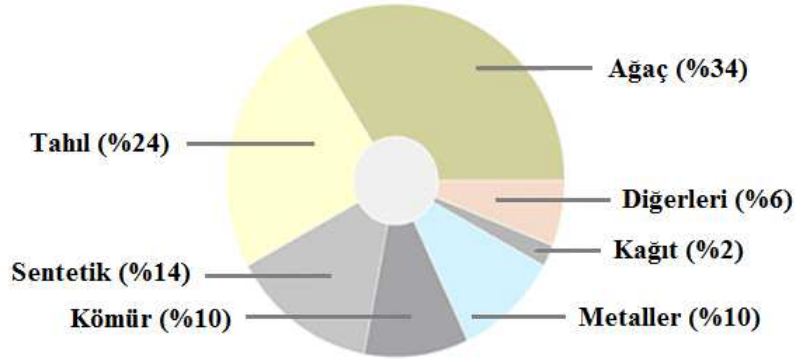
Düşük enerji: 10 J (yaklaşık 500 g' lık kütleinin 2 metre yükseklikte yarattığı enerji)

Orta enerji: 1 KJ, (yaklaşık 25 kg' lık kütleinin 4 metre yükseklikte yarattığı enerji)

Yüksek enerji: 1 MJ, (örneğin yakıt tankerinin çarpışmasıyla ortaya çıkan enerji)

Sürtünme ateşlemelerinde oluşan patlamaların % 50'si, partiküllerin çarpışmalarından kaynaklanmaktadır. Yüzeyler temas ettiklerinde ve çarpıştıklarında sürtünme veya öğütülme,

kıvılcımlara, sıcak noktalara neden olacaktır. Bunların her ikisi de, oluşan toz bulutu veya toz birikimlerine ateşleme kaynağı olacaktır. Temas anında toz sıkıştırılırsa, bazı toz tanecikleri düşük sürtünmede ateşlenerek sıcaklığı artırmakta ve sonuçta toz bulutunun ateşlenmesine neden olmaktadır [10, 14].



Şekil 9. Toz patlamasından en çok etkilenen endüstri dalları [9]

Şekil 9' da, gıda, ağaç, kâğıt, metal, madencilik ve ilaç endüstrisini de içeren toz patlamasından etkilenen kuruluşlar özetlenmiştir. Çalışma şartlarına göre, toz patlaması olayının, sanayinin her dalında görülebileceği açıktır. Ayrıca, beklenmedik bir anda çok ani oluşan özel durumlar da patlamaya yol açabilir. Daha sonra, mevcut durum kayıt altına alınarak toz patlaması risk bölgelerine ilave edilir.

Çizelge 1. Toz patlaması görülen tesisler [10].

Tesis	Yanıcı Toz Riski	Tesis	Yanıcı Toz Riski
Güç tesisi	Kömür tozu	Tekstil sanayi	Her tip ürün tozu
Döküm-kumu hazırlama tesisi	Reçine tozu	PVC üretim tesisi	PVC tozu
Tahıl öğütme tesisi	Un tozu	İlaç üretim tesisi	Vitamin tozu
Alüminyum kaplama tesisi	Alüminyum tozu	Ağaç işleme tesisi	Tahta tozu
Karton kâğıt üretim tesisi	Kâğıt tozu	Tahıl üretim tesisi	Tahıl tozu
Cam yünü yalıtım tesisi	Reçine tozu	Fırın tesisi	Fırın pişirme artıkları
Araç lastiği üretim tesisi	Taşlanmış kauçuk	Kauçuk işleme tesisi	Polietilen tozu
Plastik üretim tesisi	Yazıcı tonerleri	Bisiklet montaj tesisi	Alüminyum tozu
Sığır yem tesisi	Ot tohumları	Toz metalurjisi tesisi	Alüminyum tozu

Bugüne kadar karşılaşılan toz patlamasının en çok görüldüğü tesisler Çizelge 1' de, en çok hangi endüstri dallarına ait işlemlerde görüldüğü ise Çizelge 2' de özetlenmiştir [9,17].

Çizelge 2. Toz patlamasının oluştuğu ortam ve karakteristikler [17].

Ekipman Türü	Patlama Potansiyeli	Yayıma Potansiyeli	Ateşleme Kaynakları
Havali taşıma/bantlı taşıyıcılar	Yüksek	Yüksek	Elektrik arkı, metal kıvılcımı, ısı
Taşlama	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Metal kıvılcım, ısı
Kurutucular	Çok Yüksek	Yüksek	Elektrik arkı, metal kıvılcımı, ısı
Eleme	Orta	Çok Yüksek	Elektrik arkı, metal kıvılcımı, ısı
Tanelere ayırma	Yüksek	Orta	Elektrik arkı, metal kıvılcımı, ısı
Toz toplama	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Elektrik arkı, metal kıvılcımı, ısı
Toz karıştırma	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Elektrik arkı, sürtünme, ısı
Doldurma(torba)	Yüksek	Yüksek	Elektrik arkı, metal kıvılcımı, ısı
Boşaltma(torba)	Yüksek	Yüksek	Elektrik arkı, metal kıvılcımı, ısı

II.2.11 Toz Kontrol Noktaları

Havada patlayıcı toz yoğunluğu oluşmadıkça patlama tehlikesi olmayacağından, çalışma ortam havasına toz kaçırmamak ve birikmesini önlemek önemlidir. İstenmeyen ürün olarak tanımlanan tozun üretildiği herhangi bir işlemde, toz miktarının mümkün olduğunca düşük değerlerde olması gerekir.

III. TOZ PATLAMASININ OLUŞMASI İÇİN GEREKLİ ŞARTLAR

Toz patlamasının oluşabilmesi için aşağıda açıklanan altı farklı şarttan birisinin oluşması yeterlidir [14, 17].

- 1. Tozun yanabilir olması gerekir.** Bu nedenle toz patlamasının ilk aşamasında tozun bulut haline dönüştüğü ve yanıp yanmayacağı belirlenmelidir. Tozun yanabilmesi yapılacak testlerle belirlenebilir.
- 2. Hava ortamında toz bulunmalıdır.** Tozun aniden alevlenip yanması partikül yüzeyi ile oksitleyicinin, havadaki oksijen ile yakın temasını gerektirir. Çünkü birçok tozun yanmayı desteklemesi için yeterince oksijen olmayabilir. Partikül etrafında oksijen bulunmaması oldukça zayıf yanmaya neden olur.
- 3. Toz yoğunluğu patlama sınırları içinde olmalıdır.** Toz bulutuna ait yoğunluk, minimum patlama yoğunluğunun altında ise patlama oluşmaz. Bunun sebebi ise, partiküller arasındaki boşluğun oldukça büyük olmasından dolayı yanan partikülden diğer partiküle enerji aktarımının oldukça zor olması şeklinde gösterilir. Yüksek toz yoğunluklarında, partikül yüzeyinde yetersiz oksijen olacağından patlamanın şiddeti düşecektir.
- 4. Toz içerisinde bulunan partikül boyutunun alev yayma kapasitesine sahip olması gerekir.** Toz partikülleri küçüldükçe oksidasyon için gerekli toplam alan büyüyeceğinden toz bulutunun ateşlenmeye karşı hassasiyeti ve patlamanın şiddeti düşecektir.

5. Toz bulutunun bulunduğu ortamın yanmayı desteklemesi gerekir. Toz bulutunun patlaması için ortamda yeterince oksitleyicinin bulunması gerekir. Uygulamada, havadaki oksijen en çok görülen oksitleyicidir. Diğer oksitleyiciler ise klor, azot oksit, azot-tetra-oksit olabilir. Oksitleyici yoğunluğu için “sınır değer” laboratuvar testleriyle belirlenebilir.

6. Alev yayılımını başlatmak için yeterli enerjiye sahip ateşleme kaynağı bulunmalıdır. Toz taşıma ve/veya işleme tesislerinde toz patlamasının ana nedeni ateşleme kaynağıdır. Bunlara ek olarak kaynak, kesme, ısıtma, mekaniksel arızaların neden olduğu kıvılcımlar, mekaniksel çarpışmaların neden olduğu kıvılcımlar, alevler, yanan malzemeler, elektriksel kıvılcımlar da gösterilebilir.

IV. TOZLARIN PATLAMA DEĞERLERİ

Riskin derecesi genelde toz türüne ve uygulanan yöntemeye bağlıdır. Yeni Zelanda tarafından geliştirilen “DSIR” patlama indeksinde 0-100 arası değerler kullanılmıştır. 0, patlama riskinin olmadığı, 100 ise çok ciddi patlama riskinin bulunduğu durumları tanımlamaktadır. Düzenlenen risk dağılımı, daha sonra kendi içinde zayıf, orta şiddette, kuvvetli veya şiddetli olmak üzere, alt sınıflara ayrılmaktadır.

Patlama Riski			
Patlama İndeksi			
Zayıf	Orta	Kuvvetli	Şiddetli
0-20	20-50	50-80	> 80



Şekil 10. Patlama indeksine göre patlama risk değerleri [6].

IV.1. Patlama Tahliye Noktaları

Patlama tahliye noktaları, toz geçirmez ve aşınmaya direnç gösterecek şekilde yeterli mukavemete sahip olmalıdırlar. Ayrıca potansiyel ateşleme kaynağına en yakın noktaya yerleştirilmelerinde yarar vardır. Açık havalandırmalar en etkin kullanım şekilleri olmakla birlikte, ürünün korunması, meteoroloji ve atmosfere toz atımından dolayı, uygulamada sorun yaratabileceği için, diğer tedbirlerden yararlanılır.

IV.1.1 Patlama Panelleri ve Kapakları

Değişik türde malzemelerden yapılırlar. Dikkat edilecek en önemli nokta, tesis içindeki basınca karşı göstereceği direnç ve artan basınçla malzemenin patlamasıdır. Diğer önemli noktalar ise, ateşe ve meteorolojik değişimlere karşı gösterecekleri dirençtir.



Şekil 11. Basıncı düşürülmesinde kullanılan merkezi yırtılmış diskin şematik gösterimi [10].

Kullanılan malzemeler su geçirmez kâğıt, kahverengi ambalaj kâğıdı, cilalı bez, polietilen levha, selüloz, metal folyo ve kauçuk şeklindedir. Basıncın düşürülmesi, disk ortasına açılacak delikle sağlanabilir (Şekil 11).

IV.1.2 Patlama Kapıları

Hafif menteşeli kapılar açık havalandırmalar kadar etkindir. Çok hızlı devreye girebilmeleri için ataletlerinin dolayısıyla ağırlıklarının oldukça küçük tutulmasında yarar vardır. Çalışma şartlarına göre farklılık göstermekle birlikte, 10 kg/m^2 sınır değeri olarak kabul edilmiştir. Diğer tip kapılarda mıknatıs, yay ve ince yaprak metallere dayanarak yararlanılabilir. Patlama anında çevreye çok büyük hasar verecekleri düşünüldüğünde bu tip kapıların tesise bağlanarak çalışma ortamına fırlamaları önlenmelidir [10].

V. TOZ PATLAMALARININ ÖNLENMESİ VE KORUNMASI

V.1 Önleme Yolları

Tesiste yanabilir ortamların önceden belirlenmesi gerekir. Tüm ekipmanların birer ateşleme kaynağı olabilecekleri düşüncesiyle, işlemlerin baştan belirlenmesinde yarar vardır (sürtünme, elektrostatik, sürekli ısıtma vb.) Ayrıca toz bulutu ateşleme yüzdelerinin analizi gerekeceğinden toz patlama testleri de yapılmalıdır [11].

V.2 Korunma Yolları

Toz patlamasının oluşması durumunda, çalışanların ve çevrede yaşayanların patlamaya karşı korunmaları sağlanmalıdır. Bunun için alınması gereken önlemler aşağıda verilmiştir [11, 14].

1. Patlayıcı toz bulutunun oluşabileceği noktalar belirlenip tanıtılmalıdır.
2. Laboratuvar deneyleriyle patlamanın ciddiyeti belirlenmelidir.
3. Mevcut yasalara uygun patlama sistemleri tasarlanmalıdır.

4. Patlama sonrası ortaya çıkacak ürünlerin emniyetli ortama atılabilmesi için gereken önlemler alınmalıdır.
5. Taşıyıcı faz olarak hava yerine azot gazı kullanımı sağlanmalıdır.
6. Silolarda sızdırmazlık işlemlerinde azot gazından yararlanmalıdır.
7. Toz yayılımını önlemek için silolarda siklonlardan yararlanılmalıdır.
8. Partikül boyutu kontrol altında tutulmalıdır.
9. Silo ve torba filtrelerde elektrostatik problemler azaltılmalıdır.
10. Silo ve tesisattaki nem miktarı kontrol altında tutulmalıdır.
11. Sürtünme ile ortaya çıkabilecek ısıнын sebep olacağı patlamayı önlemek için düşük kütleli debilerde çalışılmalıdır.
12. Silolarda biriktirilen tozların oluşturabileceği elektriksel alanların gözlenmelidir.
13. Silolar arasında patlama yalıtım valfleri yerleştirilerek, patlamanın silolar arasında yayılımı önlenmelidir.
14. Toz yoğunluğu patlama yoğunluğunun altında tutulmalıdır.
15. Taşıma hatlarında, patlama blok tasarımı yapılarak denenmelidir.
16. İşlemlerde kullanılan ekipman veya havalandırma sistemlerinden kaynaklanan olası toz kaçakları azaltılmalıdır.
17. Toz toplama filtreleri kullanılmalıdır.
18. Toz birikimini azaltacak yüzeyler tercih edilmeli ve temizleme aygıtları kullanılmalıdır.
19. Tesiste görülmesi zor olan kör noktalar belirlenmelidir.
20. Belli aralıklarda açık ve gizli noktalardaki artıklar kontrol edilmelidir.
21. Toz artıklarının belli süreler içinde temizlenmelidir.
22. Ateşleme kaynaklarının bulunması durumunda toz bulutu yaratmayacak temizleme metotlarından yararlanmak gerekir.
23. Toz toplamada sadece vakumlu toplayıcılar kullanılmalıdır.
24. Emniyet valfleri toz patlama riski olan noktalardan uzağa monte edilmelidir.

Toz patlamasından korunma ve önlemede çeşitli önlemler yaratılabilir. Çalışma ortamı ve ürün ve/veya ürünler önceden bilindiğine göre, ortamda oluşan tozlarla ilgili ön araştırma ve analizler patlama, dolayısıyla yanmanın önlenmesinde yararlı olacaktır. Toz numunesi alınarak, toz patlamasına ait patlama sınırları, maksimum patlama basıncı ve artış değeri, minimum ateşleme enerjisi, oksijenin yoğunluk sınırı ve ateşleme sıcaklığı belirlenebilir.

Tüm önlemlerin alınmasına rağmen, yine de patlama önlenemeyebilir. Bu durumda toz patlamasının neden olabileceği hasar ve tehlikelerin azaltılması için aşağıdaki önerilere uyulması uygun olacaktır [6, 9, 11].

- Riskin ayrılması sağlanmalıdır. (mesafe ile izole yapılmasında yarar vardır)
- Riskin ayrışması gerekir. (İzolasyonda bariyer kullanılmalıdır)
- Bina, oda ve alanda parlama önleyici alev tutucu kullanılmalıdır.
- Tüm ekipmanlarda basınç emniyet valfi kullanılmalıdır.
- Patlama koruyucu sistemler kullanılmalıdır.
- Püskürtme ve sönmüleme sistemleri kullanılmalıdır

VI. ATEX TANIMI VE YÖNERGELERİ

VI.1. ATEX ve Yönergeleri Nedir?

ATEX, potansiyel patlayıcı ortamlarda kullanılmak amacıyla üretilen ekipman ve koruyucu sistemler olarak bilinmektedir. ATEX kelimesi, Fransızca "**AT**mosphere **EX**posable" kelimelerinin ilk heceleri kullanılarak meydana getirilmiştir. ATEX talimatları ise, ex-proof diye adlandırılan, patlayıcı ortamlarda kullanılan elektriksel ekipmanlara uygulanacak teknik zorunluluklar şeklinde, yeni yaklaşımları içeren kurallar sistemidir.

ATEX talimatı, şaşırtıcı bir şekilde denizaşırı sabit platformlar, petrokimya tesisleri, maden ocakları ve potansiyel patlayıcı ortamların bulunduğu diğer alanları da içeren çok geniş bir yelpazeye yayılmış ekipmanların kullanımını kapsar. Bu tür ekipmanlar için Avrupa pazarının 3 milyar Euro' ya ulaştığı tahmin edilmektedir [18].

VI.2. ATEX Yönergeleri

Toz patlamasıyla ilgili ülkemizde herhangi bir standart şu ana kadar hazırlanmamıştır. Ancak İşçi Sağlığı ve İş Tüzüğü'nün ilgili maddelerinde, her tür patlama ve bunlardan korunma yollarından söz edilmektedir. Avrupa Birliği'ne giriş çalışmalarının son aşamalara gelmesiyle, ABD' de kullanılan ATEX (Atmosphere Exposable-Patlayıcı Ortam) Yönergesine (94/9/EC) uyulmasında yarar olacaktır. Yönerge, mekanik ekipmanlar ile elektrikli ekipmanları kapsamaktadır. ATEX Yönergesi ve sunduğu talimatlar 01.07.2003'den itibaren uygulamaya konulmuştur. Bu yönergede, patlayıcı ortamlara ait bölgeler ve ürünler için sınıflamalar tanımlanarak, bu ortamlarda kullanılacak ürünlerde CE sertifikasına uygunluk gerekli görülmüştür. Bu aşamada ise, her ürün için kullanım kılavuzu verilmesi şartı konulmuştur. Yönergede sunulan talimatlar ilk defa tozlu ortamlardan çıkarılarak kapsam içine alınmış, toz koruma, gaz koruma talimatlarına göre, bölge ve kullanılacak ürünler esas alınarak sınıflara ayrılmıştır. ATEX

talimatındaki gerekli koşulları yerine getiren, CE markası sahibi üretici firmalar ex-proof ürünlerini Avrupa'nın her yerinde ek bir yükümlülüğe tabi olmadan rahatlıkla satabilirler. Bu durum, 450 milyonluk bir insan topluluğunu içeren dünyanın en büyük ortak pazarına ulaşmak anlamına gelmektedir [5, 19, 20]. ATEX 100a (1994) ve ATEX 118a (1999) patlayıcı atmosferi, ateşleme oluştuğundan sonra, yanmanın tüm yanmayan karışıma yayılması şartıyla gaz, buharlar, dumanlar veya tozlar şeklinde yanabilir maddelerin atmosferik şartlar altında hava ile karışımıdır şeklinde tanımlanmaktadır.

ATEX talimatları ATEX 137 ve ATEX 95 olmak üzere iki grupta ele alınır. ATEX 137, bu dizide işçi koruma direktiflerini, ATEX 95 imalatçı tarafından yapılması gerekenler için verilen direktifleri içermektedir. ATEX 137'e göre tesis kuran imalatçılar, bölge tarifi, sıcaklık sınıfı, patlama grubu, çevre sıcaklığı tanımlarını, ATEX 95'e göre ise; cihaz sınıflaması, sıcaklık sınıfı, patlama grubu ve çevre sıcaklığını tanımlamalıdır. ATEX 137 patlayıcı ortamlarda risk altında olan işçilerin korunması için hazırlanmıştır. Silolar, un değirmenleri, ağaç tozları, süt tozları ve bunların taşıma alanları bu grup içindedir.

ATEX'e göre, tehlikeli yerler ve patlayıcı ortamın oluşma sıklığı ve söz konusu ortamın devam etmesi esas alınarak bazı risk bölgeleri belirlenmiştir. Bunlar, patlamaya sebep olacak oluşumlar, elektrik kaynaklı patlamalar, imalat sırasında oluşan kıvılcım veya ark, çalışma sırasında oluşan ısı, (Mekaniksel patlama ve kıvılcım, sürtünme ve sıkışmanın neden olacağı ısı artışı) ile açık ateş veya alev, her tür fren sistemi, yanıcı malzemeler gibi patlamaya neden olabilecek diğer kaynaklar şeklinde sınıflandırılabilir.

ATEX'e göre; Bölge ve Kategori tanımında Bölge 0-Kategori 1, Bölge 1-Kategori 2, Bölge 2- Kategori 3 ifadeleri kullanılır [5, 20]. Bunlara en çok rastlanan ortamlar sırasıyla, kimyasal ürün imalatçıları, tank imalat ve kuruluşları, rafineriler, atık arıtma tesisleri, güç istasyonları, boya fabrikaları olarak özetlenebilir. Yine ATEX'e göre, toz içeren patlayıcı ortamlara örnek olarak, madenler, kimyasal fabrikalar, enerji santralleri, boya ve çimento fabrikaları, un değirmenleri gösterilebilir. Tozlar için bölge tanımı ise; Bölge 20, Bölge 21 ve Bölge 22 şeklinde ifade edilmektedir. ATEX'e göre kullanılacak ekipmanlar için, grup M1 uygunluk kategorisi, grup M2 uygunluk kategorisi gibi "Uygunluk Kategorileri" hazırlanmıştır. Kullanılacak ekipmanın ATEX'e uygun olduğunu gösteren etiket ile donatılması şarttır. Etiketle birlikte güvenlik, montaj, kullanım talimatlarıyla, servis ve acil durum bakım onarım bilgisi, eğitim talimatları, elektrik ve basınç bilgileri, sıcaklık ve diğer sınır değerler, kullanım bilgileri, sistem koruyucuları ile birlikte güvenlik uyarıları da verilmelidir [19, 20].

VII. SONUÇLAR

Yanabilir tozlarla ilişkili tüm sanayi kuruluşlarında ve her ülkede toz patlaması ile karşılaşmak kaçınılmazdır. Ancak çok az sayıda büyük patlamalar oluşurken, küçük patlamaların kayıt altına alınmaması nedeniyle, sorunun çözümüne yönelik daha detaylı istatistiksel bilgilere ulaşlamamaktadır. Bunun sonucunda ise, patlama riskleriyle ilgili çok kapsamlı bilgiler tüm kullanıcılara aktarılamamaktadır.

Sanayi kuruluşlarında toz patlamasından korunmaya yönelik yaklaşımlar önümüzdeki yıllarda daha az dogmatik olacak ve daha iyi analiz edilecektir. Bu sorunla karşılaşması muhtemel kurumlar, maliyeti yüksek emniyet tedbirleriyle karşı karşıya geleceklerdir. Toz patlaması olayına verilen önemle birlikte üretim ve uygulama aşamasında yanabilir tozların etkilerinden kurtulmak için her tür önlem alınacaktır. Söz konusu emniyet tedbirleri toz bulut yapıları, potansiyel ateşleme kaynakları, alev yayılımı ve basınç artışı hakkında bilgi birikimi gerektirecektir. Birikimin sağlanması için, toz bulutu oluşumu ve alev yayılım işlemlerinin matematiksel modellenmesinin yapılması, konu hakkında çok daha yeni fikirler geliştirilerek geniş ufuklar açacaktır. Matematiksel modelleme sonucunda elde edilecek konvansiyonel ampirik formül ve grafikler, olayın analizini kolaylaştıracaktır. Ateşleme kaynaklarıyla ilgili matematiksel modelleme, çeşitli ateşleme işlemlerine (ısıtma, sıcak yüzeyler, elektriksel ve elektrostatik kıvılcımlar, metal kıvılcımlar, vb.) ait simülasyonlar şeklinde geliştirilmektedir.

VIII. KAYNAKLAR

- [1] BARTEC Group, “Basic concepts for explosion protection”, <http://www.bartec.de>, Erişim tarihi: 2010.
- [2] R.Stahl Group, “Basics of dust explosion protection”, Schaltgerate GmbH, http://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/tgus/Documents/ExProtection_Global-America-Basics.pdf, Erişim tarihi: 2009.
- [3] K. Billinge, “The frictional ignition hazard in industry—a survey of reported incidents from 1958–1978” Fire Prevention Science and Technology, Vol. 24, No. 6, pp. 242–250, 1979.
- [4] “Combustion and explosion characteristics of dusts” (BIA-Report 13/97) <http://www.dguv.de/ifa/en/pub/rep/rep02/biar1397/index.jsp>, Erişim tarihi; 2009.
- [5] H. Çilingir, “ATEX talimatları ve pnömatik”, IV Ulusal Hidrolik–Pnömatik Kongresi, 1–4 Aralık 2005, İzmir, Bildiri kitabı, ss. 417–426.
- [6] P. Zeeuwen, “Percentage of flammability of substances”, Chilworth Technology Ltd., Southhampton, U.K., 2010, pp. 11–19.

- [7] T. Abbasi and S.A. Abbasi “Dust explosions—cases, causes, consequences and control” *Journal of Hazardous Materials*, Vol.140, No. 1–2, pp. 7–44, 2007.
- [8] A. Dustidar, “Dust explosion testing” In: *Dust Explosion Testing, Requirement Under New OSHA*”, Fauske & Associates, Limited Liability Company, Illinois, U.S.A., 2008.
- [9] E. Randeberg, “*Electric Spark Ignition of Sensitive Dust Clouds*” Department of physics and technology, University of Bergen, Norway, 2006.
- [10] R.F. Eckhoff, “*Dust Explosions In The Process Industries*”, 3rd edition, Gulf Professional Publishing, 2003.
- [11] C.W. Griffith, “Dust explosions”, *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol.10, No. 11, pp. 93–105, 1978.
- [12] A.J. Kaulfersch, “*Control Engineering*”, Barrington Stoke Publishers, U.K., 2007.
- [13] D.K., Pritchard, “*Literature Review-Explosion Hazards Associated with Nanopowders*”, Fire and Explosion Science Group, EC/04/03, Harpur Hill, Bookstone, England, 2004.
- [14] “Safe use of granulators in the plastics industry”, *Occupational Safety and Health Archive*, , ISBN 0–477–03472–1, pp. 1–22, Wellington, New Zealand, 1990.
- [15] A.R. Ogle, “New strategy for dust explosion research”, Phd. Thesis, Graduate College, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, 1986.
- [16] M. Seminario, “6th Conference on Occupational Safety and Health”, September 22–24, Boston, MA., 2010.
- [17] M. Jacobson, J. Nagy and A.R. Cooper, “*Explosibility of Dusts Used in The Industry*”, U.S. Bureau of Mines Report of Investigation, 1962.
- [18] V. Ebadat, “Dust explosion hazard assessment”, ASSE Professional Development Conference and Explosion, June 12–15, New Orleans, Louisiana, 2005.
- [19] "ATEX Belgelendirme, ATEX Eğitimleri, ATEX 94/9/EC, ATEX 137, Exproof", <http://atexbelgelendirme.com>, Erişim tarihi: 2012.
- [20] ATEX Guidelines (Second Edition), "Directorate General–Enterprise and Industry of the European Commission", 2005.