

# Bölüm 1

## TARIMSAL ALANLARDA TOZ

Fazilet Nezahat ALAYUNT<sup>1</sup>  
Cemal TEKİN<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Artan dünya nüfusu ve buna yetecek gıda gereksinimini karşılamak üzere yapılan tarımsal faaliyetler önemini her zaman korumaktadır. Bitkisel, hayvansal üretim içerisinde bu uğraşlar açık, kapalı ya da yarı açık alanlarda sürdürülmektedir. Kapalı alanlardaki faaliyetler ise tarım ve tarıma dayalı sanayii de içermektedir.

Tarımsal faaliyetler tehlike sınıfları içerisinde çok tehlikeli, tehlikeli ve az tehlikeli olmak üzere tüm tehlike sınıflarını içerisinde bulundurmaktadır. Tüm iş kolları içerisinde tarımsal faaliyetler NACE kodlarına göre ayrı ayrı incelendiğinde, kullanılan materyalden, çevre koşullarından kaynaklanan etkenler yönü ile de kendi içerisinde gizli kalmış birçok tehlikeyi barındırdığı anlaşılmaktadır.

İster açık alanlarda olsun ister kapalı alanda olsun tarımsal faaliyetin yapıldığı her alanda toz ve bu etmenin oluşturabileceği riskler ciddi sorunlara yol açmaktadır.

Tarımsal faaliyetleri zorlaştıran unsurların başında da zamanlama gelmektedir. Yaklaşık bir yıla yakın süreçte, üretimin her aşamasında değişen doğa koşullarına uyumun sağlanması, gerekli önlemlerin alınması önem taşımaktadır. Bu nedenledir ki kayıpların azaltılması ve emeğin boşa gitmesini engellemek için çalışmaların tam zamanında yapılması gerekmektedir. İşlemler için uygun zamanı kaçırmamak için acele ile yapılan işlerde iş güvenliğinin temelinde yer alan koruma, önleme faaliyetleri gereği gibi yapılamamaktadır. Bilgi eksikliği, umursamazlık, ihmal gibi nedenler de düşünüldüğünde, tarımda iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kazalar, yaralanmaların ne derece ciddi boyutlarda olduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Tarımda 100 000 işçi başına ölüm/ağır yaralanma oranlarını HSE Büyük Britanya 'da ( 4.1%) olarak (1), UMASH ABD'de

<sup>1</sup> Prof. Dr., Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, fazilet.alayunt@ege.edu.tr, 0000-0002-2990-7664

<sup>2</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Ege Üniversitesi, cmltkn@gmail.com, 0009-0002-6072-9947

23.1 (2) olarak, Avustralya İş Sağlığı ve Güvenliği istatistikleri (3) 10.4 olarak birinci sırada göstermiştir.

## **TOZ VE ÖZELLİKLERİ**

Tozla mücadele yönetmeliğine göre toz, işyeri ortam havasına yayılan veya yayılma potansiyeli olan parçacıklar olarak tanımlanmaktadır.

Toz, incelenen özelliğe bağlı olarak fiziksel/ kimyasal/biyolojik risk faktörü olarak değerlendirilebilir. Kimyasal, biyolojik ya da fiziksel yapısına göre de sınıflara ayrılmaktadır. Aynı partikül, şekil itibarı ile lifsi bir görünümde olabilir ancak, kimyasal içeriği ile adlandırılmada farklılık gösterebilir.

Tozlar;

Fiziksel özelliklerine göre;

- ✓ Kristal tozlar (moleküler dizilimi belli)
- ✓ Amorf tozlar (moleküler dizilimi belli olmayan)

Kimyasal özelliklerine göre;

- ✓ Organik tozlar (odun tozu, pamuk tozu vb.)
- ✓ İnorganik tozlar (asbest, silis, kömür tozu vb.)

Biyolojik özelliklerine (insan sağlığına etkilerine) göre;

✓ Fibrojen Tozlar: Silikoz, asbestoz gibi akciğer toz hastalığı (pnömokonyoza) sebep olan tozlar

✓ Toksik Tozlar: Çinko, krom, kadmiyum, manganez, vanadyum gibi ağır metal tozları, vücuda alındıklarında akut veya kronik zehirlenmeye sebep olan tozlar

✓ Kanserojen Tozlar: Asbest, arsenik, berilyum, kromatlar, nikel tozları gibi kansere sebep olan tozlar

✓ Radyoaktif Tozlar: Örnek olarak; uranyum, seryum, zirkonyum bileşikleri, trityum ve radyum tozları doku hasarı, kanserojen etkisi ve genetik bozukluklara neden olan tozlar

✓ Alerji Yapan Tozlar: Çeşitli bakteriler, maya, küf ve polenler alerji yapan, astım ve egzama gibi hastalıklara sebep olan tozlar

✓ İnert Tozlar: Akciğerde birikebilen fakat herhangi bir hastalık yapmayan tozlar,

olarak belirtilebilmektedir (4,5).

Tozun boyutu:

- 10 mikrondan büyük ise → solunmaz, bir kısmı tutulur,
- 5-10 mikron → nefesle dışarı atılır,
- 0,5-5 mikron → alveollere ulaşır.
- Tozların olumsuz etkileri genel anlamda aşağıdaki şekillerde açıklanabilir.
- Çalışanları rahatsız eder,
- İş verimini düşürür,
- Toz patlamaları nedeni ile doğrudan, çeşitli ortamlarda görüşü azalması nedeni ile dolaylı olarak kazalara neden olur,
- Meslek hastalıklarına neden olur.

Mesleki maruziyet, iş yerlerinde çalışma koşullarından kaynaklanan partikül maddelerin sınırlandırılması için farklı düzenlemeleri gerektirmektedir. Konu ile ilgili tanımlamalardan Eşik Sınır Değer – ESD (Threshold Limit Value-TLV), 8 saatlik çalışma için belirlenmiş olan ortalama sınır değerdir ve bir insanın çalışma yaşamında sürekli maruz kalabileceği güvenli kişisel maruziyet seviyesini ifade etmektedir (6).

ESD, çalışanların mesleki toz maruziyet sınır değeri olup genel halk sağlığını ilgilendiren hava kalitesi indeksi değerlerinden farklıdır.

Hava kalitesinin yükseltilmesi ile ilgili düzenlemeler, halk sağlığını koruma amacı ile havadaki belirli kirleticilerin yoğunluklarının sınırlandırılmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan EPA Hava Kalitesi İndeksi (Air Quality Index – AQI) günlük kirleticilere göre ölçülerek belirlenmekte ve sınıflandırılmaktadır. Bunlar; İyi (0-50  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), orta (51-100  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), hassas gruplar için sağlığa zararlı (101-150  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), sağlığa zararlı (151-200  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), sağlığa çok zararlı (201-300  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), tehlikeli (301-500  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) (7).

## **TARIMSAL FAALİYETLERDE TOZ**

Tarımsal faaliyetin gerçekleştirildiği açık, kapalı ya da yarı açık alanların yanı sıra tarıma dayalı sanayide farklı uğraşlar yer almaktadır. Tarımsal faaliyetlerin sonucunda elde edilen ürünün işlenmesi, muhafazası, taşınması sırasında ortaya çıkan tozun olumsuz etkilerine maruz kalılabilmektedir. Yem fabrikaları, sınıflandırma – temizleme işlemlerinin yapıldığı işletmeler, un fabrikaları, tohum – baharat işleme paketleme fabrikaları gibi işletmelerde farklı işlemler yapılmaktadır. Belirtilen işletmelerle bağlantılı alt sektörlerde yapılan işlemler sırasında, çalışanlar inorganik (mineral) ve organik tozlara maruz kalmaktadır. Tarımsal faaliyetler sırasında biyolojik risk faktörleri olarak da

adlandırabileceğimiz çiçek tozları, mantar sporları, bakteriler vb. den çalışanlar etkilenmektedir (8). Ölümcül çiftçi akciğeri hastalığına, en çok antijen termofilik aktinomiçese neden olmakta, sıcak ambar ve ahırlardaki küflü çürük saman, kültür mantarı ve şeker kamışlarında üremektedir. Ayrıca bu hastalığa birçok mantar çeşidi de neden olmaktadır. Bu tür rahatsızlık oluşturan antijenlerle temastan kaçınılması ya da koruyucu önlemlerin alınması önerilmektedir. Çiftçi Akciğeri bir tür hipersensitivite pnömonisidir (HP). Mantara bağlı HP çiftçiler dışında gıda sanayi çalışanlarında, sıklıkla görülmektedir. Çiftçilerde çiftçi akciğeri görülme prevalansı %1-19, güvercin besleyicilerinde HP görülme prevalansı %6-20 olarak saptanmıştır (9). Hayvansal üretimde altlık olarak ifade edilen saman vb. ile hayvan deri, tüy döküntüleri, dışkı partikülleri de solunumla alınmaktadır.

Bitkisel üretimde tarımsal faaliyetler; toprak hazırlığından hasat ve kısmen hasat sonrası aşamasına kadar devam etmektedir. Üretimin her aşamasında toprakla uğraşmakta bu nedenle de inorganik tozlar yoğun olarak bulunmakta, üretilen ürün ya da çevrede bulunan bitkisel- hayvansal ürün artıkları da organik tozları etrafa yaymaktadır. İnorganik tozların büyük bir kısmı silikatlardan oluşmaktadır. Açık havada tarımsal ortamlardan alınan toz numuneleri, yaklaşık olarak %10 ila %20 veya daha yüksek konsantrasyonlarda kristalin silikadan oluşmaktadır. Solunabilir lifli mineraller dahil olmak üzere çeşitli silikatlara maruz kalma ve kullanıldığı bilinen mika ve kil silikatlar dahil olmak üzere lifsiz silikat malzemeler pulmoner fibroza neden olmaktadır (10).

Toz, solunum sistemi ile akciğerlere yerleşerek ve kana karışarak insanları olumsuz etkilemekte, meslek hastalıklarına sebep olmaktadır. Toz konsantrasyonuna, maruz kalma süresine, yaşa, cinsiyete ve sigara alışkanlığına bağlı olarak değişen solunum yolu rahatsızlıkları ve hastalıkları görülmektedir (8). Kuzey Carolina'da yapılan toza maruziyet ölçüm çalışmalarında, solunabilir silikaya maruz kalma durumu değişkenlik göstermekte, bazı tarımsal faaliyetler sırasında eşik sınır değer olan 0,05 mg/m<sup>3</sup> üzerine çıkma olasılığının bulunduğu da belirtilmektedir. Topraktaki silika seviyelerinin coğrafi koşullara bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştır (11).

Türkiye'de tarla tarımında çalışanların maruz kaldığı toz konsantrasyonları ile ilgili sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. PM<sub>10</sub> (10 mikron ve daha küçük partiküller madde) konsantrasyonları OSHA tarafından belirlenen mesleki maruziyet sınır değerinin (15000 µg m<sup>-3</sup>) üzerinde olup rotovator ile toprak işlemede (25770 µg m<sup>-3</sup>), buğday hasadında (29300 µg m<sup>-3</sup>) ve saman yapma işleminde (24640 µg m<sup>-3</sup>) değerlerinde bulunmuştur. Benzer şekilde, PM<sub>2.5</sub>

yoğunlukları da bu işlemlerde (sırasıyla 5888, 10560, 8470  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) sınır değerini (5000  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) üzerinde ölçülmüştür. PM1 konsantrasyonu, özellikle buğday hasadında ve saman yapmada oldukça yüksek düzeylerde (sırasıyla 3130 ve 6026  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) olup saman yapma işleminde PM2.5 sınır değerini de aşmıştır (12).

Robert Bhavesh vd. (10), tarım alanlarının potansiyel olarak solunum yolu rahatsızlıkları/hastalıklarına neden olduğunu belirtmişler, havadaki mineral toz konsantrasyonları ve maruz kalma potansiyelinin bölgesel jeolojik yapı, iklim koşulları, yağış miktarı, yetiştirilen mahsulün türü, yapılan çalışmalarla bağlantılı olduğunu vurgulamıştır. (Bkz. Çizelge 1)

**Çizelge 1. Tarım kaynaklı solunum hastalıkları (13)**

Etken	Kaynak	Çevre	Solunum Hastalığı
Organik Toz	Tahıl, saman, endotoksin, silaj, pamuk, hayvan yemi, mikroorganizmalar	Hayvan barınakları, alanları, silo, hasat ve işleme faaliyetleri	Astım, astım benzeri sendrom, ODTS <sup>3</sup> , HP <sup>4</sup> , Kronik Bronşit
İnorganik Toz	Silikatlar	Hasat, toprak işleme	Pulmonary fibrosis, Kronik Bronşit

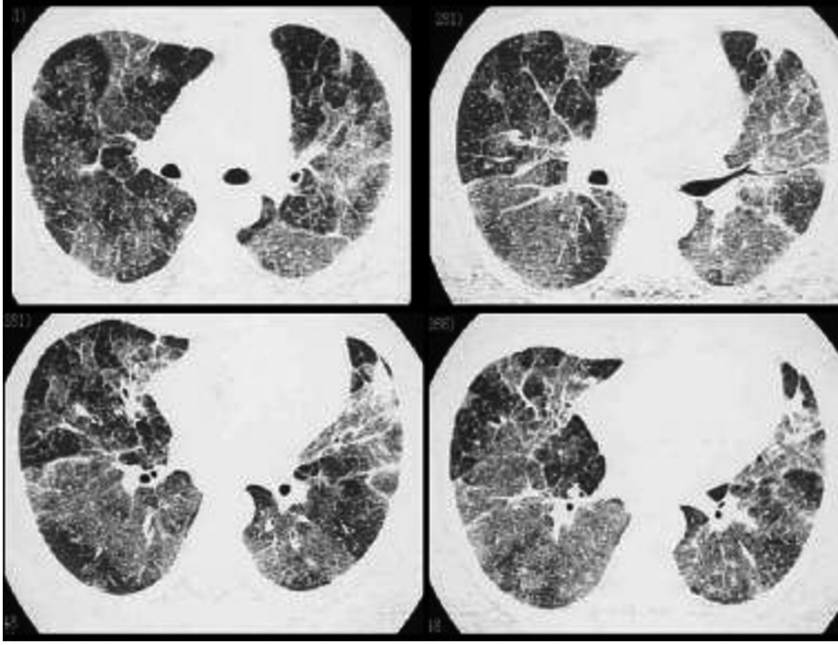
Tahıl işleme ve depolama alanlarında, hayvan barınaklarında çalışma yapılırken organik toz nedeniyle kronik öksürük, kronik bronşit, tahıl nezlesi (toksik organik toz sendromu), burun ve cilt tahrişi gibi rahatsızlıklara rastlanmaktadır. Bhaversh vd., konu ile ilgili araştırmalarında Ye TT vd. (14) nin yapmış oldukları çalışmalarına atıfta bulunmuşlar, tarımsal üretim sürecinde işçilerde görülen akciğer hastalığına soya fasulyesi tozlarının, yanmış pirinç kabuğu tozlarının etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Kapalı ahırlarda genellikle ot, saman ve/veya mısır silajı ile inekleri besleme sırasında, değişen derecelerde organik toza maruz kalındığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda alerjik alveolit oranlarının özellikle küçük, kapalı ahırlarda samana maruz kalan işçilerde yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Hipersensitivite pnömonitisi olarak da adlandırılan akciğerin aşırı duyarlılık zatürresinin farklı sebeplerinin bulunduğu, en fazla kuş besleme, tarım işleri ve klimaların neden olabileceği belirtilmektedir. (Bkz. Şekil 1)

<sup>3</sup> ODTS: Toksik organik toz sendromu

<sup>4</sup> HP: hypersensitivity pneumonitis



Şekil 1. Aşırı Duyarlılık Zatürresi (15)

Kimbell-Dunn M.R vd. (16), Yeni Zelandadaki çiftçilerle anket çalışması yapmış, işçilerin yaptıkları iş ve solunumla ilgili semptomlar hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çiftçilerin %77,6'sının verdikleri yanıtlar incelenmiş, tahıl değirmenleri kullananlarda ve bu ürünlerin taşıma ve iletiminde bulunanlarda toksik organik toz sendromu / çiftçi akciğeri hastalıklarının ortaya çıktığı, domuz, kümes hayvanları, at yetiştiricilerinde nefes darlığı, tahıl, kuru ot üretimi yapanlarda solunum semptomları bulunduğu ve ilişkinin önemli olduğu anlaşılmıştır. Sığır ve koyun yetiştiricilerinde solunum ile ilgili semptomlar ile çalışma alanları arasında çok fazla ilişki bulunamamıştır.

Ülkeler ulusal kuruluşları aracılığı ile işyeri çevresel faktörlerini değerlendirmek amacı ile farklı bazı kriterler geliştirmişlerdir. Çizelge 2'de ABD'deki kuruluşların (İş Güvenliği ve Sağlığı Ulusal Enstitüsü (NIOSH), Amerikan Hükümeti Endüstriyel Hijyenistleri Topluluğu (ACGIH) ve iş sağlığı ve güvenliği ajansı (OSHA)'nın uyguladıkları organik tozlara ilişkin bazı sınır değerler görülmektedir. İngiltere'de Sağlık ve Güvenlik Kurulu (Health and Safety Executive-HSE) da tahıl tozu için 8 saat zaman ağırlıklı ortalama (Time Weighted Average-TWA) değeri olmak üzere maksimum maruziyet sınırını (Maximum Exposure Limit-MEL) 10 mg/m<sup>3</sup> olarak belirlemiştir (HSE, 1998). OSHA dışında, Sağlığa Zararlı Maddelerin

## İş Sağlığı ve Güvenliğinde Güncel Araştırmalar

Kontrolü Düzenlemesi (COSHH) de tahıl tozu için iş yeri maruziyet sınır değeri (Work Exposure Limit-WEL) belirlemiş ve WEL değerinin maksimum sınır olduğu, ancak hedef değer olmadığı özellikle vurgulanmıştır (17). Hatta mümkünse maruziyet düzeyi WEL sınırlarının çok altında tutulmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

**Çizelge 2. Tarımda önerilen maksimum maruziyet düzeyleri (13)**

Tehlike	OSHA İzin verilen maruziyet miktarı (Permissible Exposure Levels -PEL)	NIOSH Önerilen maruziyet düzeyi (Recommended Exposure Limits - REL)	ACGIH Eşik sınır değerleri (Threshold Limit Values -TLV)	Kapalı ortamlarda yapılan hayvan yetiştiriciliği araştırmaları
Genel rahatsızlık veren toplam toz	15 mg m-3	-	10 mg m-3	
Rahatsızlık veren solunabilir toz	5 mg m-3		3 mg m-3 -	
Tahıl tozu	10 mg m-3	4 mg m-3	4 mg m-3	
Organik toz				2.4-2.5 mg m-3
Solunabilir organik toz				0.16-0.23 mg m-3
Endotoksin				640-1000 mg m-3
Amonyak	50 ppm	25 ppm	25 ppm	7.5 ppm

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, ülkemizde organik ve inorganik toz için maruziyet sınır değerlerini Tozla Mücadele Yönetmeliğinde belirlemiştir. (Bkz. Çizelge 3)

**Çizelge 3. Türkiye’de yürürlükte olan organik ve inorganik toz mesleki maruziyet sınır değerleri**

Maddenin adı	Toplam toz miktarı (mg m-3)	Solunabilir toz miktarı TWA /ZAOD (mg m-3)
Keten	0.5	0.9
Un, nişasta	15	5
Odun tozu		5
Pamuk tozu (Çırçır, hallaç, iplik)		0.5
Pamuk tozu (Dokuma)		0.75
Pamuk tozu (Konfeksiyon)		1

Türkiye’deki yem fabrikalarında toz konsantrasyonları hakkında yapılan çalışmalarda, PM10 konsantrasyonlarının PM2.5’ten yüksek olduğu, en yüksek PM10 konsantrasyonunun kırıcıların bulunduğu bölümlerde (7867  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), bunu yığın depolama (4855  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), dozajlama (2438  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) ve paketlenme (2328  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) bölümlerinin izlediği, PM2.5 düzeyinin ise, en yüksek kırıcı bölümünde (3033  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), en düşük dozajlama bölümünde (782  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) bulunduğu belirtilmektedir. Hem PM10 hem de PM2.5 konsantrasyonları çalışanların sağlığına olumsuz etki edecek düzeyde olmadığı vurgulanmıştır (18).

## **TOZ PATLAMALARI**

### **1. Toz patlaması tanımı**

Havada asılı duran partikül maddenin tutuşmasından kaynaklanan ve genellikle hızlı yanma olayları olarak adlandırılan toz patlamaları, tarımsal üretim de dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel sektörlerde önemli bir tehlike oluşturmaktadır (19). Bu patlamalar, üretme ve işleme faaliyetleri sırasında oluşan yanıcı toz parçacıklarının bir tutuşturma kaynağıyla etkileşerek şok dalgası ve ateş topu şeklinde ani bir enerji salınımına yol açmasıyla meydana gelir.

Tahıl işleme, öğütme ve depolama gibi faaliyetleri kapsayan tarım sektörü, organik materyallerin doğal mevcudiyeti ve bu tür olayların meydana gelmesi için gereken özel koşullar nedeniyle toz patlamalarına karşı özellikle hassastır. Toz patlamalarının görülebildiği ekipman olarak kovalı elevatörler, silolar, besleme



hunileri, filtre ve siklonlar, karıştırıcılar, borular ve pnömatik transport sistemleri sayılabilir. Çalışmalar, çapı bir inç kadar küçük olan endüstriyel ölçekli borularda patlama yayılımının mümkün olduğunu göstermektedir (20).

Toz patlamaları ile ilgili bazı tanım ve özellikler;

### **Toz**

Yaklaşık 500 µm'lik bir parçacık boyutunun altında herhangi bir şekil, yapı ve yoğunluktaki ince parçalanmış katı madde.

### **Patlama**

Sıcaklık, basınç veya her ikisinde aynı anda artışa neden olan ani oksidasyon reaksiyonu.

### **KSt değeri**

VDI Esasları 3673, Kısım 1 ve 2263, Kısım 1 ve ayrıca ISO 6184/1'de belirtilen test koşulları altında 1 m<sup>3</sup>'lük kaptaki maksimum patlama basıncı artış hızı değerine eşittir. (Bkz. Çizelge 4)

### **Sınırlayıcı oksijen konsantrasyonu (LOC)**

Belirli test koşulları altında bir patlamanın meydana gelmediği bir toz/hava/soy gaz karışımındaki maksimum oksijen konsantrasyonu.

### **Alt patlama limiti (LEL)**

Toz/hava karışımının patlamasına neden olabilecek havadaki toz konsantrasyonu aralığının alt sınırı.

### **Maksimum patlama (aşırı) basıncı (p<sub>max</sub>)**

Kapalı bir kapta optimum konsantrasyondaki toz/hava karışımının belirli test koşulları altında patlaması sırasında meydana gelen maksimum basınç değeri.

### **Maksimum patlama basıncı artışı oranı [(dp/dt)<sub>max</sub>]**

Belirli test koşulları altında optimum konsantrasyona sahip bir toz/hava karışımının patlaması sırasında kapalı bir kapta meydana gelen birim zaman başına basınç artışının maksimum değeri

### **Medyan değer (MV)**

Ortalama parçacık boyutu değeri (tozun ağırlığının %50'si medyan değerden daha kalın ve ağırlığın %50'si daha incedir).

### **Minimum ateşleme enerjisi (MIE)**

Belirli test koşulları altında, boşaldığında en tutuşabilir toz ve hava karışımını tutuşturmak için yeterli olan, bir kondansatörde depolanan en düşük elektrik enerjisi.

### **Bir toz bulutunun minimum tutuşma sıcaklığı (IT)**

Belirtilen test koşulları altında en yanıcı toz ve hava karışımının tutuştuğu sıcak bir yüzeyin en düşük sıcaklığı.

### **5 mm kalınlığındaki bir toz tabakasının minimum tutuşma sıcaklığı (GT)**

Belirtilen test koşulları altında 5 mm kalınlığında bir toz tabakasında tutuşmanın meydana geldiği sıcak bir yüzeyin en düşük sıcaklığı (21).

**Çizelge 4: Tozların KSt değerlerine göre sınıflandırıldığı kategoriler**

<b>Toz Patlama Sınıfı</b>	<b>KSt (bar · m · s-1)</b>
St 1	> 0 - 200
St 2	>200 - 300
St 3	>300

### **1.1. Toz patlaması için gerekli temel unsurlar**

Toz patlamalarının doğasını anlamak için, bir toz patlamasının gerçekleşmesi için bir arada bulunması gereken beş kritik unsuru vurgulayan bir çerçeve olan “toz patlaması pentagonu” kavramını anlamak önemlidir (22). Bu pentagon (beşgen), yanıcı bir tozun, tutuşturucu bir kaynağın, oksijenin, tozun bulut halinde dağılmasını ve kapalı sınırlandırılmış bir alanın varlığını kapsar. Bu elementler arasındaki etkileşim, hızlı yanmaya elverişli bir durum oluşturarak, enerjinin yıkıcı bir şekilde ortaya çıkmasına neden olur. Tarımsal üretim bağlamında, genellikle tahıllar, tozlar ve parçacıklar biçimindeki organik maddelerin, silolar veya depolama alanları gibi kapalı alanlardaki potansiyel tutuşturma kaynakları ile birleşimi, toz patlamalarına zemin hazırlar. Bu unsurların karşılıklı etkileşimini kavramak, toz patlamalarının neden olduğu tehlikeleri önlemek için etkili önleme ve azaltma stratejileri geliştirmek için çok kritiktir.

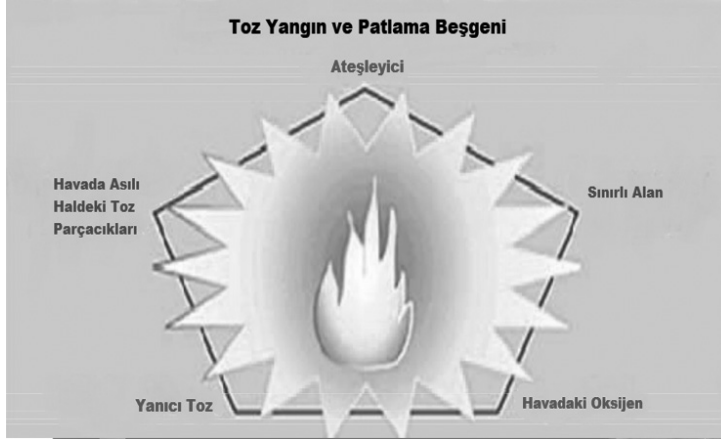
Toz Patlamasının Unsurları Bir Yangın İçin Gerekli Unsurlar (Yangın Üçgeni):

1. Yanıcı toz (yakıt),
2. Ateşleme kaynağı (ısı),
3. Havadaki oksijen (oksitleyici).

Yanıcı Toz Patlaması İçin Gerekli Ek Unsurlar:

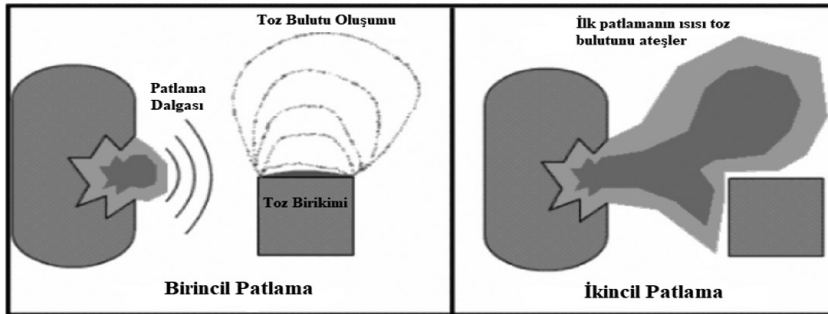
4. Toz parçacıklarının yeterli miktarda ve konsantrasyonda dağılımı,
5. Toz bulutunun sınırlandırılması (23).

Son iki ögenin yangın üçgenine eklenmesi, “patlama pentagonu” kavramını oluşturur. (Bkz. Şekil 2)



Şekil 2. Patlama Pentagonu (24)

Kapalı veya yarı kapalı bir araç, alan veya bina içinde bir toz bulutu (dağılmış yakıt) tutuşursa, çok hızlı yanar ve patlayabilir. Çalışanların güvenliği, çıkan yangınlar, ek patlamalar, uçuşan molozlar ve çöken bina bileşenleri nedeniyle tehdit altındadır. Birincil patlama havaya dağılan ilave tozu tutuşturursa bir veya daha fazla ikincil patlamaya neden olabilir (Bkz. Şekil 3). Bunlar, dağılan yanıcı tozun artan miktarı ve konsantrasyonu nedeniyle birincil bir patlamadan çok daha yıkıcı olabilir.



Şekil 3. Tozun yayılımına neden olan bir birincil patlamayı takip eden ikincil patlama (23)

Toz patlaması sırasındaki tipik bir süreç Çizelge 5'te verilmiştir.

**Çizelge 5: Toz Patlama Süreci (25)**

Zaman (ms)	Patlama Aşaması
0	Primer patlama
25	Ekipmanın (silo, tank) içinde ilk şok dalgası ve titreşim
60	Dış ortamdaki tozların havaya savrulması
80	Ekipmanın delinmesi dış ortamda sekonder patlama başlangıcı
125-200	Sekonder patlamanın işletme içine yayılması

## 1.2. Toz Patlaması Oluşturabilecek Malzemeler

Yakıt + Oksijen → Oksitler + Isı

Çoğu zaman, bir toz patlamasında salınan hızlı enerji, kimyasal reaksiyon tarafından yönetilir: Bu nedenle, yalnızca kararlı oksiti olmayan malzemeler toz patlamasına sebebiyet verebilir. Buna silikatlar, sülfatlar, nitratlar, karbonatlar ve fosfatlar dahil değildir ve bu nedenle Portland çimentosu, kum, kireç taşı vb. toz bulutları toz patlamasına neden olamaz. Bu tür patlamalara neden olabilecek başlıca dört malzeme grubu şunlardır:

- doğal organik malzemeler (tahıl, ağaç, keten, şeker vb.),
- sentetik organik malzemeler (plastikler, organik pigmentler, böcek ilaçları, farmasötikler vb.),
- kömür ve turba,
- metaller (alüminyum, magnezyum, titanyum, çinko, demir vb.) (26).

## 1.3. Toz Patlamalarını Etkileyen Faktörler

Toz bulutlarının tutuşabilirliğini ve patlayabilirliğini etkileyen faktörlerin bir listesi aşağıdaki gibi görünebilir:

- a. Nem içeriği de dahil olmak üzere tozun kimyasal bileşimi. Toz ne kadar kuru olursa patlama da o kadar şiddetli olur.
- b. Tozun dağıldığı gaz fazının kimyasal bileşimi ve başlangıç basıncı ve sıcaklığı.
- c. Tozdaki parçacık boyutlarının ve şekillerinin dağılımı (tamamen dağılmış durumdaki tozun özgül yüzey alanını belirleyin).
- d. Toz parçacıklarının aglomerasyon derecesi, gerçek endüstriyel durumda toz bulutunda yanma işlemi için mevcut olan etkin spesifik yüzey alanını belirleme.

- e. Gerçek buluttaki toz konsantrasyonunun dağılımı.
- f. Gerçek bulutta ilk türbülansın dağılımı.
- g. Bulutun henüz yanmamış kısmında patlama kaynaklı türbülans oluşturma olasılığı (ateşleme kaynağının konumu önemli bir parametredir).
- h. Türbülansın başka mekanizmalar tarafından alev cephesi bozulması olasılığı.
- i. Önemli ölçüde ışınlama ile ısı transferi olasılığı (yüksek oranda alev sıcaklığına bağlıdır ve bu da partikül kimyasına bağlıdır).

a, b, c ve belki de i faktörleri, patlayıcı toz bulutunun temel parametreleri olarak kabul edilebilir. Ancak, d'den h'ye kadar olan faktörler, gerçek endüstriyel toz bulutu oluşturma sürecinden ve patlama gelişiminden etkilenir (26).

## **2. Tarımsal Üretimde Toz Patlamalarının Nedenleri**

### **2.1. Toz oluşumu ve yanıcı toz kaynakları**

Tarımsal üretimdeki toz patlamalarının kaynağı genellikle çeşitli üretim ve işleme faaliyetleri sırasında oluşan ince parçacıklardır. Tahıl öğütme ve kurutma gibi işlemleri içeren bu faaliyetler, organik maddelerin kolayca yanıcı toz bulutlarını oluşturan daha küçük, asılı partiküllere indirgenmiş bir patlama için bir zemin oluşturabilir. Bu toz bulutları ekipmanda, havalandırma sistemlerinde ve kapalı alanlarda birikerek olası patlamalara kolayca zemin hazırlayabilir.

Tarımsal ortamlardaki yanıcı toz kaynakları çok çeşitlidir. Tahıllardan tutun yem, un ve diğer bitki malzemelerinden elde edilen tozlara kadar değişir. Bu malzemeler işlenirken, taşınırken ve depolanırken, ilgili mekanik işlem onları havada asılı kalmaya duyarlı hale gelen ince parçalanmış partiküllere ayırabilir. Tutuşturma kaynaklarıyla birleştiğinde toz patlaması koşullarının karşılanabileceği yer bu toz bulutlarıdır.

Toz patlaması riskini etkili bir şekilde ele almak, bu kaynakların ve bunları oluşturan süreçlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Kapalı sistemler kullanmak, uygun ekipman bakımı ve etkili havalandırma gibi toz oluşumunu azaltacak önlemler, toz patlaması olasılığını önemli ölçüde azaltabilir ve genel güvenliği artırabilir (27).

#### **2.1.1. Tahıl üretim ve işleme operasyonları**

Tahıl üretim ve işleme operasyonları, tarımsal üretimde önemli bir yanıcı toz kaynağını temsil eder. Tahılları yükleme, boşaltma, taşıma ve aktarma gibi faaliyetler, havada asılı kalarak potansiyel olarak patlayıcı toz bulutları oluşturan ince partiküller oluşturabilir. Taneler mekanik sistemler aracılığıyla taşınırken,

sürtünme ve çarpma ile parçalanarak yüzey alanları artmış toz partikülleri üretebilir.

Özellikle un üretimi ve yem işleme dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için tahılların öğütülmesi ve parçalanması sırasında, tanelere uygulanan mekanik kuvvetler kolayca dağılan ince tozların oluşmasına yol açabilir. Bu tozlar ekipman ve tesislerde birikebilir ve toz patlamaları için uygun bir zemin hazırlayabilir.

Tahıl üretim ve işleme ile uğraşan tarımsal tesisler, bu işlemlerden kaynaklanan potansiyel toz patlaması tehlikelerinin farkında olmalıdır. Uygun toz kontrol önlemlerinin uygulanması, toz oluşumunu en aza indirmek için ekipmanın bakımını yapmak ve toz birikimini önlemek için düzenli temizlik, toz patlaması riskini azaltmada kritik adımlardır (19).

### **2.1.2. Kurutma işlemleri**

Tarımsal üretimdeki kurutma işlemleri, potansiyel bir toz patlaması riski oluşturan yanıcı tozun oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulunan diğer bir unsurdur. Kurutma işlemleri, ince partiküllerin oluşmasına yol açabilen tahıllar, tohumlar ve diğer tarım ürünleri dahil olmak üzere çeşitli organik materyallerden nemin uzaklaştırılmasını içerir. Bu malzemeler kurutma sırasında ısıya ve hava akışına maruz kaldıklarından, havada toz bulutları olarak asılı kalmaya duyarlı daha küçük partiküllere parçalanabilirler.

Kurutma işlemleri sırasında üretilen daha ince partiküller, oksijenle daha verimli etkileşime zemin hazırlayarak artan yüzey alanları nedeniyle daha yüksek yanma riski oluşturur. Bu nedenle, tarımsal materyalleri kurutmakla uğraşan tesislerin, faaliyetleriyle ilişkili potansiyel toz patlaması tehlikelerinin farkında olmaları gerekir.

Bu riskleri azaltmak için, kurutma işlemleri sırasında uygun toz kontrol önlemlerinin uygulanması, uygun havalandırma sistemlerinin kullanılması ve düzenli bakım, toz patlaması riskini önemli ölçüde azaltabilir (26).

### **2.2. Tarım tesislerinde yaygın tutuşturma kaynakları**

Tarımsal tesislerde, çeşitli ortak tutuşturma kaynakları toz patlamalarını tetikleyebilir. Anahtarlar, motorlar ve aydınlatma armatürleri de dahil olmak üzere elektrikli ekipmanlar, kıvılcım ve aşırı ısınma nedeniyle potansiyel bir risk oluşturur. Hareketli parçaların oluşturduğu sürtünme veya ekipmandan gelen darbeler gibi mekanik kaynaklar da yanıcı toz bulutlarını tutuşturabilecek kıvılcımlar üretebilir. Kaynak işlemlerinden veya kesme işlemlerinden çıkanlar da dahil olmak üzere açık alevler, tozun yeterli konsantrasyonlarda bulunduğu

ortamlarda doğrudan tutuşma kaynağı oluşturur. Ayrıca, malzemelerin hareketinden veya ayrılmasından kaynaklanan statik elektrik deşarjları, bir toz patlamasını başlatmak için gereken enerjiyi sağlayabilir.

Bu tutuşma kaynakları, toz patlaması riskini azaltmak için tarım tesislerinde özenli ekipman bakımının, uygun topraklamanın ve etkili tehlikeli alan sınıflandırmasının kritik önemini vurgulamaktadır.

### **2.2.1. Elektrik donanımı ve kıvılcıklar**

Tarımsal tesislerdeki elektrikli ekipmanlar, anahtarlar, motorlar ve diğer bileşenlerden kaynaklanan kıvılcıklar ile toz patlamaları için önemli bir tutuşma kaynağı oluşturur. Bu kıvılcıklar, hatalı kablolama, yetersiz topraklama veya elektrikli cihazların normal çalışması dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Bu tür kıvılcıklar, özellikle toz kontrol önlemlerinin yetersiz olduğu ortamlarda mevcut olabilecek yanıcı toz bulutlarını tutuşturmak için yeterli enerjiye sahiptir.

Tozun üretildiği ve işlendiği tesislerde, tutuşma olaylarını önlemek için elektrikli ekipmanın uygun şekilde bakımı çok önemlidir. Toz patlamalarına yol açan kıvılcım riskini azaltmak için düzenli denetimler, hasarlı bileşenlerin hızlı bir şekilde onarılması ve patlamaya dayanıklı veya kendinden güvenli ekipman kullanımı temel stratejilerdir (22).

### **2.2.2. Sıcak yüzeyler ve açık alevler**

Sıcak yüzeyler ve açık alevler, tarım tesislerinde toz patlamalarını tetikleyebilen yaygın tutuşturma kaynaklarıdır. Yanıcı tozun bulunduğu ortamlarda, sürtünme, elektrik direnci veya doğrudan ısı transferi nedeniyle yüksek sıcaklık seviyelerine kadar ısınan yüzeyler, yakındaki toz bulutlarını tutuşturabilir (19).

Sıcak yüzeylerden ve açık alevlerden kaynaklanan tutuşmayı önlemek, potansiyel tutuşma kaynaklarını toza eğilimli alanlardan izole etmek, alev tutucular kullanmak ve açık alev içeren faaliyetler için sıcak çalışma izinleri uygulamak gibi titiz prosedürler gerektirir. Ek olarak, yeterli yalıtım ve soğutma mekanizmalarına sahip ekipman ve tesislerin tasarlanması kazara tutuşma riskini en aza indirmeye yardımcı olabilir.

### **2.2.3. Kaynak ve kesme işlemleri**

Kaynak ve kesme işlemleri, tarımsal tesislerde toz patlamalarını tetikleyebilecek önemli tutuşma kaynakları sunar. Bu işlemler, yanıcı toz bulutlarını tutuşturabilen açık alev ve kıvılcıkların yanı sıra yoğun ısı üretimini içerir. Yüzeylere, ekipmana

veya havalandırma sistemlerine yerleşen toz, kaynak ve kesme faaliyetleri sırasında tutuşma riskini artırarak potansiyel yakıt kaynakları olarak hizmet edebilir.

Kaynak ve kesme işlemleri sırasında toz patlamalarını önlemek, kapsamlı güvenlik önlemlerini gerektirir. Etkili stratejiler, sıcak çalışma yapmadan önce çalışma alanlarının kapsamlı bir şekilde temizlenmesini, havadaki tozu tutmak için toz toplama sistemlerini kullanmayı ve sıkı yangın önleme protokollerinin uygulanmasını içerir. Ayrıca, kaynak yapma ve kesme işleriyle uğraşan personelin uygun şekilde eğitilmesi ve denetlenmesi, toz patlaması olaylarının olasılığını en aza indirmek için çok önemlidir.

#### **2.2.4. Statik elektrik deşarjları**

Statik elektrik deşarjları, tarımsal tesislerde toz patlamalarını tetikleyebilen yaygın bir tutuşturma kaynağı oluşturur. Malzemeler taşınırken, taşınırken veya aktarılırken, sürtünme ve ayrılma yüzeylerinde elektrostatik yüklerin birikmesine yol açabilir. Bu yükler kritik seviyelere ulaştığında, yanıcı parçacıklar içeren toz bulutlarını tutuşturabilen kıvılcımlar ortaya çıkabilirler.

Statik elektriğe bağlı toz patlaması riskini en aza indirmek, çeşitli önleyici tedbirlerin alınmasını gerektirir. İletken malzemeler kullanan, antistatik katkı maddeleri kullanan ve uygun nem seviyelerini koruyan topraklama ekipmanı, elektrostatik yükleri dağıtmak ve bunların birikmesini önlemek için etkili stratejilerdir. Ayrıca, personele statik elektriğin ilkeleri ve potansiyel tehlikeleri hakkında yeterli eğitim verilmesi, tarımsal tesislerde güvenliğin artırılması için gereklidir.

#### **2.3. Sınırlandırma ve kapalı alanların rolü**

Sınırlandırma ve kapalı alanların rolü, tarımsal üretim tesislerinde toz patlamaları potansiyeline önemli ölçüde katkıda bulunur. Sınırlandırma, yanma sırasında oluşan basıncı yoğunlaştıran ve bir patlamanın yıkıcı potansiyelini artıran bir toz bulutunun genişlemesinin kısıtlanmasını ifade eder. Birçok tarımsal ortamda, depolama tankları, silolar ve işleme ekipmanı, bir toz bulutunun tutuşması üzerine basınç oluşumunu kolaylaştıran kapalı alanlar olarak işlev görebilir.

Bu alanların kapalı doğası, daha yüksek toz konsantrasyonuna yol açarak, toz patlama pentagonu koşullarına ulaşma olasılığını artırabilir. Ayrıca, sınırlandırma, yanma sürecinin yayılmasını artırabilir ve bu da etkilenen alanlarda daha önemli hasara ve daha yüksek düzeyde yıkıma neden olabilir.

Sınırlandırma ve kapalı alanların rolüyle ilişkili riskleri azaltmak, patlama tahliye sistemleri, basınç tahliye mekanizmaları ve basınç oluşumu potansiyelini en



aza indiren yeterli tasarım hususlarını uygulamayı içerir. Uygun havalandırmanın sağlanması ve kapalı alanlarda önerilen kullanım sınırlarına uyulması da toz patlamalarının neden olduğu tehlikelerin azaltılmasında önemli adımlardır.

### **3. Risk Değerlendirmesi**

Toz patlamaları tarım ve gıda sektörü için önemli bir risk olmaya devam etmektedir. Toz patlama riski bulunan işletmeler ilgili standartlar hakkında bilgi sahibi olmalı ve tehlikeyi ortadan kaldırmak için gerekli önlemleri veya işçilerin maruziyetini en aza indirmek için gerekli kontrol stratejilerini belirlemek için bir risk değerlendirmesi yapmalıdır. Bu değerlendirmenin bir parçası olarak işveren, kapalı tesislerdeki toz konsantrasyonunu, çeşitli çalışma alanlarında maruz kalma düzeyini ve işçilere yönelik riskleri belirlemek için çalışma ortamındaki toz ölçümlerini yapmalıdır. Risk değerlendirmesi, değişen hava ve iklim koşullarının partikül maruziyetinin sağlık etkileri üzerindeki etkisini dikkate almalıdır (28).

Tozların patlama davranışları genellikle tozun özelliklerine göre belirlenir. Endüstriyel tesislerde etkili bir toz patlamasını azaltma sisteminin uygulanması, toz malzemenin hem fiziksel özelliklerinin hem de patlayabilirlik verilerinin anlaşılmasını gerektirir. Alev yayılımı partikül boyutu, toz özellikleri ve yanma yan ürününün doğasından etkilenir. Farklı tozlar karıştırıldığında, fiziksel ve kimyasal özellikleri bulutun tutuşabilirliğini ve patlayıcılığını etkiler. Partikül boyutları ve konsantrasyonları, karakteristik patlama değerlerini etkileyebilir. Ayrıca, toz patlamasının hassasiyeti, parçacıkların nem içeriği ile belirlenebilir. Chang ve ark. (29) nem içeriğinin bir toz patlaması için toz konsantrasyonu gereksinimini artırabileceğini ve patlama tehlikesini etkili bir şekilde bastırabileceğini düşünmüşlerdir. Nem içeriği belirli bir seviyeye ulaştığında, patlama basıncı artış hızı azalmıştır. Ek olarak, tozun bileşimi bir inhibitör görevi görebilir. Patlayıcı toz bileşimi, etkisizleştirme seviyesinin belirlenmesinde kritik olan özelliklerden biridir. Toz patlamasıyla ilgili araştırmaların yeniliği, tozun tutuşabilirliğini saptamak, ölçmek ve tahmin etmek için yeni tekniklerin ve teknolojilerin geliştirilmesinden gelir (30).

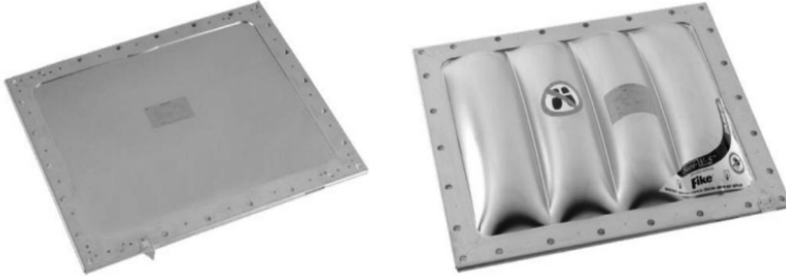
### **4. Önleme ve Azaltma Stratejileri**

Endüstriyel patlamalar, insanoglu malzemeleri işlemeye, depolamaya ve taşımaya başladığından beri bir tehlike olmuştur. Patlama tehlikelerinin yönetimi, test yoluyla ilk olarak malzemelerin patlama özelliklerinin karakterizasyonunu içerir. Tehlike, tanımlandıktan sonra, önleme ve koruma hedeflerinin net bir şekilde belirlenmesi ve ardından uygun koruma yönteminin/yöntemlerinin seçilmesi ve

uygulanması yoluyla yönetilebilir. Patlamaya karşı koruma teknikleri, ayrı ayrı veya kombinasyon halinde patlama kapakları, alevsiz patlama kapakları, bastırma ve izolasyonu içerir. Bu bölüm, bu teknikleri sırayla sunmakta ve uygulama sınırlarını açıklamaktadır.

#### **4.1. Patlama kapağı**

Patlama kapakları, açık ara en popüler patlamaya karşı koruma tekniğidir ve NFPA 68 ve EN 14491 gibi yaygın olarak kabul edilen mühendislik literatürü ve standartlarında kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Kapak, bir kap içinde patlama sırasında oluşan basıncın güvenli bir şekilde çevreye salınmasını sağlar ve böylece kabın patlamasını önler. Kap üzerine bir yırtılma diyaframı yerleştirilmiştir ve kabın tahrip olacağı veya hasar görebileceği basıncın çok altında bir statik patlama basıncında (PSTAT) açılacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4). Havalandırma kapakları, bir mahfazanın içinde oluşan basıncın kontrollü bir şekilde tahliyesini sağlarken, kapaktan ortama yayılan alev tehlikelerini azaltmaz. Bu nedenle, ikincil toz patlaması tehlikeleri nedeniyle iç mekanlarda bulunan mahfazalar için geleneksel patlama kapağı uygulanması önerilmez (31).



**Şekil 4.** Patlama Kapakları (31)

#### **4.2. Alevsiz Patlama Kapağı**

Alevsiz patlama kapağı, tipik olarak bir patlama tahliye paneli ve flanşlı bir metal çerçevenin içinde bulunan bir alev söndürme ünitesi içerir. Çerçeve, elemanı bir toz toplayıcı gibi proses ekipmanına bağlar. Alev söndürme ünitesinin çerçevesi; parçacık tutan, yüksek sıcaklıklı paslanmaz çelik ağ veya karbon çelik ağ katmanlarını çevreler. Alev söndürme ünitesi, tahliye açıklığının şekline uyacak şekilde silindirik, dikdörtgen veya kare olabilir (Şekil 5).



**Şekil 5.** Alevsiz Patlama Kapakları (31)

Proses ekipmanı içindeki bir patlamanın ilk aşamalarında, patlama kapağı açılır (Şekil 5). Patlama genişledikçe alev, yanmış ve yanmamış toz açık kapaktan alev söndürme ünitesine boşalır. Tozun çoğu ünite içinde tutulur ve enerji (ısı) ünite içinden geçerken dağılarak çelik ağ tarafından emilir. Bu, yanan yakıtın sıcaklığını yakıtın tutuşma sıcaklığının altına düşürür, alevi söndürür ve alevin cihazın dışına yayılmasını engeller. Alev söndürme ünitesinden yalnızca az miktarda toz geçer ve patlamadan kaynaklanan yanma sonrası gazlar, cihaz aracılığıyla güvenli bir şekilde etrafındaki dış atmosfere verilir (32).

Alevsiz patlama kapağı yalnızca alevi söndürmekle ve tozu tutmakla kalmaz, aynı zamanda patlama tahliye kanallarına olan ihtiyacı da tamamen ortadan kaldırır ve bina içi patlama tahliyesi için gereken boşaltma alanını en aza indirir. Bazı kapaklar silolar, besleme hunileri, kurutucular, karıştırıcılar, toz toplayıcılar, siklonlar gibi özel depolama ve proses ekipmanlarının yanı sıra bantlı konveyörler, helezonlu konveyörler ve kovalı elevatörler gibi taşıma ekipmanlarına uyacak şekilde tasarlanmıştır.

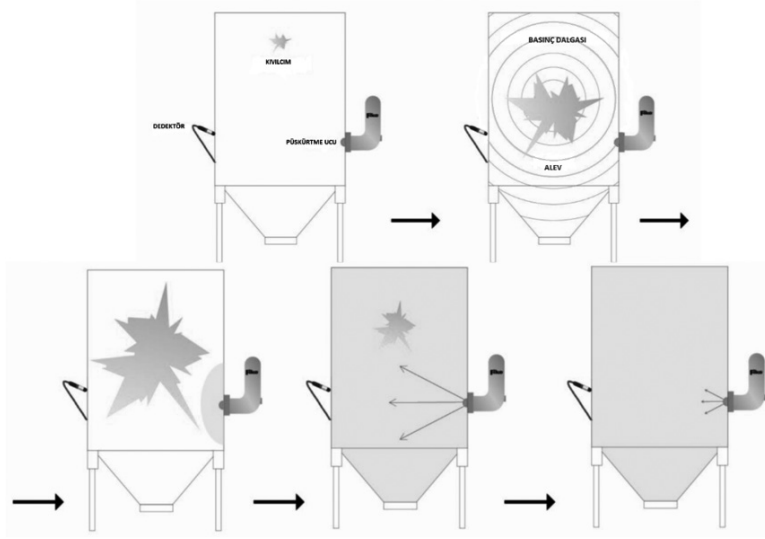


**Şekil 6.** Alevsiz Patlama Kapakları Uygulama Örnekleri (32)

### **4.3. Patlama Bastırma**

Bir patlama bastırma sistemi tipik olarak basınç sensörleri, uygun püskürtme başlıkları ile yüksek oranlı deşarj (HRD) baskılayıcılar ve kontrol panellerinden oluşur. Bir toz bulutunun tutuşmasından sonra alev cephesi genişler ve basınç dalgaları yayılır. Basınç sensörü, basınç artışını algılar ve kontrol paneline bir sinyal gönderir, bu da bastırıcı tahliyesini başlatır. Hem nitrojen hem de baskılayıcı madde hızla kaba salınır ve yanıcı malzemenin sıcaklığını yanmayı sürdürmek için gerekli seviyenin altına düşürerek ateş topunu söndürür (Şekil 6).

Bastırma, geleneksel patlama kapaklarına kıyasla birçok avantajı olan aktif bir tekniktir: patlama mahfaza içinde “kontrol altında tutulduğu” için ortamda basınç, alev veya potansiyel olarak zehirli madde salınımı olmaz. Ayrıca ekipmana verilen zararı azaltır ve bir patlamadan sonra ortaya çıkabilecek olası yangın tehlikelerini azaltır (Şekil 7).



Şekil 7. Bir toz bulutunun tutuşması, alevin genişlemesi, basınç dalgasının algılanması, bastırma kabının etkinleştirilmesi ve sönme (31)

Öte yandan, bastırma sistemleri tipik olarak kapaklardan daha pahalıdır. Basınç yükselme oranları genellikle çok yüksek olduğundan (yani, belirli bir basınç seviyesine ulaşma süresi büyük bir mahfazadan daha kısadır) küçük mahfazalarda (tipik olarak < 1 m<sup>3</sup>) bastırmayı başarmak daha zordur (31).

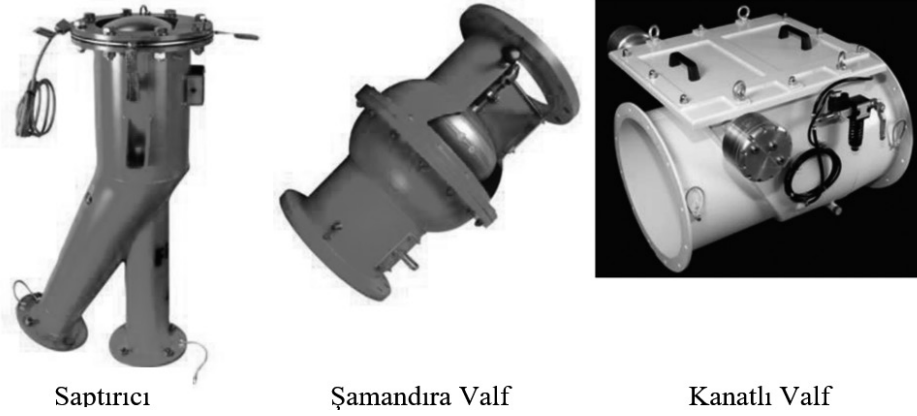
#### 4.4. Patlama izolasyonu

Proses ekipmanları çoğu zaman bir tesisin diğer bölümlerine borularla bağlıdır. Bir mahfazadan kaynaklanan bir toz patlaması, havalandırılmış olsa bile, muhtemelen bu borular boyunca yayılacak ve potansiyel olarak diğer proses ekipmanlarına ulaşacaktır. Yayılarak alev cephesi hızlanacak ve daha güçlü basınç etkileri üretilecektir. Bu, ikincil ekipmanda ortaya çıkan patlamanın, ilk olaydan çok daha şiddetli olabileceği anlamına gelir. Bu, patlama izolasyonunun dikkatlice değerlendirilmesi gereğini vurgulamaktadır. İzolasyonun amaçları birden fazladır:

- alevin ikincil bir muhafazaya yayılmasını önlemek için
- İkincil mahfazada basınç birikmesini ve alev püskürtme tutuşmasını önlemek için
- borularda parlamadan patlamaya geçişi önlemek için

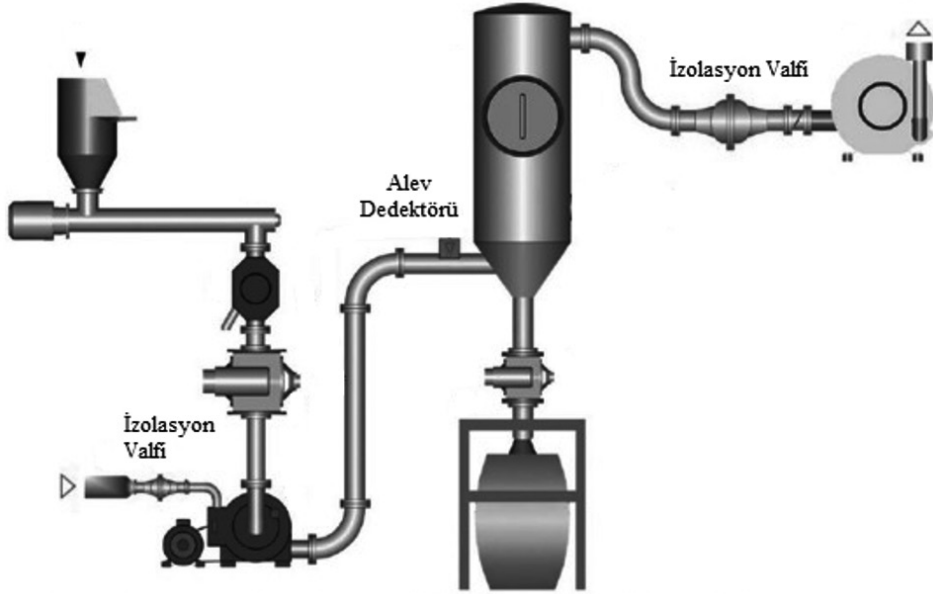
İzolasyon iki farklı şekilde sağlanabilir ya pasif ya da aktif. Pasif sistemler, patlamanın kendisi tarafından etkinleştirilir ve saptırıcılar, şamandıra valfleri

ve kanatlı valfleri içerir (Şekil 8). Bir kanatlı vana örneğinde, patlamanın oluşturduğu basınç bir kapıyı itecek ve boruyu kapatacak, böylece alevin korunan alana yayılmasını önleyecektir. Pasif sistemler daha basittir ve tipik olarak daha az bakım gerektirir. Öte yandan aktif sistemler, aktivasyon için bir sensör tarafından tetikleme gerektirir. Tetikleme üzerine, alev cephesinin önündeki mekanik bir valfi kapatacak veya alevin daha fazla yayılmasını durdurmak için boruya bir söndürücü madde enjekte edeceklerdir. Aktif sistemler arasında kimyasal bariyerler, sürgülü vanalar ve pinç vanaları bulunur (Şekil 9).



Şekil 8. Pasif Patlama İzolasyon Sistemleri (31)

Patlamadan korunma teknikleri, avantajları ve sınırlamaları ile açıklanmıştır. Patlama kapakları en popüler koruma yöntemi olmaya devam ederken, ikincil toz patlaması tehlikeleri nedeniyle iç mekân ekipmanlarına uygulanması mümkün değildir. Havalandırma kanalları, alevsiz patlama kapakları ve bastırma gibi diğer teknikler iyi alternatifler sunar. Patlama izolasyonu genellikle göz ardı edilir. Ancak, etkili bir patlamaya karşı koruma stratejisinin temel bir bileşenidir. Gerçekten de havalandırmalı olsa bile bir mahfazadan kaynaklanan herhangi bir toz patlaması potansiyel olarak borular yoluyla yayılabilir ve diğer proses ekipmanlarına ulaşarak büyük hasara yol açabilir.



Şekil 9. Patlama İzolasyon Sistemleri (33)

Cihazın yerleştirilmesi çok önem arz etmektedir. Bir izolasyon cihazı ateşlemeden çok uzağa yerleştirilirse, tutuşma cihaza ulaşmadan bir patlamaya dönüşebilir ve cihaza zarar verebilir; ateşlemeye çok yakın yerleştirilirse, o zaman tamamen kapanmayabilir ve geldiğinde alev geçişini engelleyemez.

#### **4.5. Düzenli temizlik işlemlerinin önemi**

Düzenli temizlik, tarımsal üretim tesislerinde toz patlaması riskini önlemenin ve azaltmanın kritik bir unsurudur. OSHA, tehlikeli bir toz birikimini 1/32 inç veya daha kalın, yaklaşık bir bozuk para kalınlığı olarak tanımlamıştır (34).

Yüzeylerde, ekipmanlarda ve havalandırma sistemlerinde yanıcı toz birikimini en aza indirmek için temiz ve düzenli bir çalışma alanının sürdürülmesi çok önemlidir. Etkili temizlik uygulamaları, yalnızca toz bulutu oluşma olasılığını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda kıvılcım ve sıcak yüzeyler gibi tutuşma kaynaklarının birikmiş tozla temasını da sınırlandırır.

#### **4.6. İnert gazların patlamaları önlemedeki rolü**

Tarımsal üretim tesislerinde inertleme tekniklerinin uygulanması düşünüldüğünde, inert gazların toz patlamalarını önlemedeki rolü çok önemlidir (22). Nitrojen ve karbon dioksit gibi âtıl gazlar, kapalı alanlardaki oksijen

konsantrasyonunu değiştirerek, yanma için gerekli koşulları bozarak çok önemli bir rol oynar. İnertleme, oksijen seviyelerini düşürerek, toz patlaması riskini etkin bir şekilde azaltır.

#### **4.7. Aleve Dayanıklı Giysiler**

Çoğu zaman fark edilmeyen bir tehlike olan yanıcı toz, kimya üretiminden gıda işlemeye kadar onlarca endüstri için çok büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Etkili olması için çok adımlı, sektöre özgü yanıcı toz azaltma süreçleri gerekir ve tehlike değerlendirmesinin ve standart geliştirmenin zorluğu hafife alınamaz. Yeterli temizlik, çalışan bilinci, güvenlik ekipmanı, etkili tehlike analizi ve havalandırma, yanıcı toz patlamaları olasılığını en aza indirmeye yardımcı olacaktır; ancak, risk altındaki çalışan grupları için ikincil bir etki azaltma stratejisi olarak aleve dayanıklı giysilerin kullanılması, böyle bir patlamanın meydana gelmesi durumunda hafif yaralanma ve ölüm arasındaki farka yol açabilecek son bir koruma kalıntısı sağlayacaktır. Aleve dayanıklı giysilerin, benzer tehlikelere sahip benzer sektörlerde işçi yaralanmalarını ve işveren maliyetlerini önemli ölçüde azalttığı kanıtlanmıştır (24). Aleve dayanıklı giysiler, potansiyel birincil azaltma stratejisi olarak uygulanamaz veya yetersiz olabileceğinden, bir işverenin en değerli varlığını, yani çalışanlarını korumak için güvenli, uygun maliyetli bir ikincil azaltma stratejisidir.

## **SONUÇ**

Tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesi sırasında iş sağlığı ve güvenliğinin temel ilkelerinden olan önleme-koruma faaliyetlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla uygulamalarda son aşama olarak önerdiğimiz ancak müdahalede bulunmakta bertaraf etme, ikame etme, mühendislik önlemleri alma, organizasyonel yöntemleri uygulama gibi yöntemlerden sonra gelen, adı geçen uygulamaların yetersiz kaldığı durumlarda kişisel koruyucu donanımların kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Özellikle açık alan çalışmalarında aşırı rüzgârlı, düşük ortam neminin bulunduğu zamanlarda, ürün neminin az olduğu zamanlarda tarım çalışanlarının daha fazla toza maruz kaldıkları belirtilmekte bu durumda KKD kullanımı önerilmektedir (35).

Toz patlamalarının engellenmesi için makinelerde yataklar, konveyör ve bantların yağlama eksikliğinin giderilmesi, ortamda durgunlaştırma (inerting) olarak adlandırılan oksijen düzeyini, karbondioksit, azot gibi gazlar karıştırılarak patlama oluşmasına engel olunması, vakum uygulamaları ile negatif basınç oluşturarak patlamayı engellemek veya etkilerini azaltmak, anti-statik ortam



oluşturmak amacı ile ortamdaki ve kişilerdeki statik elektrik yüklenmesini engelleyecek statik elektriğin boşalmasını sağlayacak kişisel koruyucular, topraklamaya yönelik önlemler alınması, sigara içilmesinin yasaklanması gibi önlemlerin alınması gerekir.

## **KAYNAKÇA**

1. Agriculture, forestry and fishing statistics in Great Britain, 2022. 2022;
2. Umash. National Farm Safety and Health Week 2023 - Upper Midwest Agricultural Safety and Health Center [Internet]. 2023 [a.yer 13 Ağustos 2023]. Erişim adresi: <https://umash.umn.edu/national-farm-safety-and-health-week-2023/>
3. Key work health and safety statistics Australia 2022 | Safe Work Australia [Internet]. [a.yer 13 Ağustos 2023]. Erişim adresi: <https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/key-work-health-and-safety-statistics-australia-2022>
4. Uğurçekiç, Ü. K. Tarım İşletmelerinde Tozla Mücadele Rehberi. Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü; 2016. 56 s.
5. Karabulut, M. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma Ve Geliştirme Enstitüsü Başkanlığı (İS-GÜM) [Internet]. 2011 [a.yer 13 Ağustos 2023]. Erişim adresi: <https://www.csgeb.gov.tr/media/80072/toz-sunumu-17haziran.pdf>
6. Permissible Exposure Limits – Important Note Regarding the ACGIH TLV | Occupational Safety and Health Administration [Internet]. [a.yer 13 Ağustos 2023]. Erişim adresi: <https://www.osha.gov/annotated-pels/note>
7. Criteria Air Pollutants. America's Children and the Environment. Ocak 2018;(3. Edition).
8. Aslan S, Aybek A. Tarımda Partikül Madde Maruziyetinin Sağlık Üzerine Etkileri, Araştırma Konuları ve Politikalar. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science). Aralık 2016;177-89.
9. Küpeli E, Karnak D. Hipersensitivite pnömonisi. Tüberküloz ve Toraks Dergisi. 2011;2(59):194-204.
10. Bhavesh, R, Pandya, J. Agricultural medicine: a practical guide. New York: Springer; 2006. 541 s. (Agricultural Respiratory Diseases).
11. Archer JD, Cooper GS, Reist PC, Storm JF, Nylander-French LA. Exposure to respirable crystalline silica in eastern North Carolina farm workers. AIHA J (Fairfax, Va). 2002;63(6):750-5.
12. Arslan C, Hamarta E, Uslu M. The relationship between conflict communication, self-esteem and life satisfaction in university students.
13. Kirkhorn SR, Garry VF. Agricultural Lung Diseases. Environmental Health Perspectives. Ağustos 2000;108:705.
14. Ye TT, Huang JX, Shen YE, Lu PL, Christiani DC. Respiratory Symptoms and Pulmonary Function among Chinese Rice-granary Workers. International Journal of Occupational and Environmental Health. 01 Temmuz 1998;4(3):155-9.
15. AŞIRI DUYARLILIK ZATÜRRESİ [Internet]. 2018 [a.yer 15 Ağustos 2023]. Erişim adresi: <https://toraks.org.tr/site/news/4692>

16. Kimbell-Dunn MR, Fishwick RD, Bradshaw L, Erkinjuntti-Pekkanen R, Pearce N. Work-related respiratory symptoms in New Zealand farmers. *Am J Ind Med*. Mart 2001;39(3):292-300.
17. Control of substances hazardous to health regulations 2002 (as amended in 2004) - General enforcement guidance and advice - OC 273/20 [İnternet]. [a.yer 13 Ağustos 2023]. Erişim adresi: [https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/200-299/273\\_20/](https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/200-299/273_20/)
18. Aybek A, Arslan S. The Effect of PM10 and PM2.5 Pollution on Feed Mill Workers. 2009;
19. Abbasi T, Abbasi SA. Dust explosions–Cases, causes, consequences, and control. *Journal of Hazardous Materials*. Şubat 2007;140(1-2):7-44.
20. Taveau J, Lemkowitz S, Hochgreb S, Roekaerts D. Dust Explosion Propagation in Small Diameter Pipes. *Proc Safety Prog* [İnternet]. Eylül 2019 [a.yer 05 Ağustos 2023];38(3). Erişim adresi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.12033>
21. H. Beck, N. Glienke, C. Möhlmann. Combustion and explosion characteristics of dusts.pdf. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften — HVBG; 2021.
22. Amyotte PR, Eckhoff RK. Dust explosion causation, prevention and mitigation: An overview. *J Chem Health Saf*. 01 Ocak 2010;17(1):15-28.
23. Combustible Dust in Industry: Preventing and Mitigating the Effects of Fire and Explosions. [a.yer 05 Ağustos 2023]; Erişim adresi: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/shib073105.pdf>
24. Combustible Dust Hazard: Protecting Workers from Combustible Dust with FR Clothing. [a.yer 05 Ağustos 2023];(522). Erişim adresi: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3878.pdf>
25. Toz Patlaması Olur mu? - Türktest [İnternet]. 2016 [a.yer 15 Ağustos 2023]. Erişim adresi: <https://www.turktest.com.tr/isg-makaleler/mustafa-keskin/toz-patlama-olur-mu.html>
26. Eckhoff RK, Li G. Industrial Dust Explosions. A Brief Review. *Applied Sciences*. 12 Şubat 2021;11(4):1669.
27. Amyotte PR, Pegg MJ, Khan FI. Application of inherent safety principles to dust explosion prevention and mitigation. *Process Safety and Environmental Protection*. Ocak 2009;87(1):35-9.
28. Safety and Health in Agriculture. International Labour Office - Geneva: ILO, 2011.; 328 s.
29. Chang SC, Cheng YC, Zhang XH, Shu CM. Effects of moisture content on explosion characteristics of incense dust in incense factory. *J Therm Anal Calorim*. Şubat 2022;147(4):2885-92.
30. Semawi NH, Sulaiman SZ, Gimbin J, Md Kasmani R, Abdul Mudalip SK, Che Man R, vd. Preliminary study on food-based dust explosion: Effect of physicochemical properties & thermal behaviour. *Materials Today: Proceedings* [İnternet]. 17 Mayıs 2023 [a.yer 05 Haziran 2023]; Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323026081>
31. Taveau J. Application of Dust Explosion Protection Systems. *Procedia Engineering*. 2014;84:297-305.
32. Snoeys J, Going JE, Taveau JR. Advances in Dust Explosion Protection Techniques: Flameless Venting. *Procedia Engineering*. 2012;45:403-13.

33. Taveau J. Dust explosion propagation and isolation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Temmuz 2017;48:320-30.
34. OSHA Technical Manual - Section IV, Chapter 6, Combustible Dusts.
35. Zhang P, Xu H, Hu Z, Chen Y, Cao M, Yu Z, vd. Characteristics of Agricultural Dust Emissions from Harvesting Operations: Case Study of a Whole-Feed Peanut Combine. *Agriculture*. 29 Ekim 2021;11(11):1068.