



Bu bir MMO yayınıdır

# PNÖMATİK SİSTEMLERDE SAĞLIK ve GÜVENLİK

H. Sevil ERGÜR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi



# PNÖMATİK SİSTEMLERDE SAĞLIK ve GÜVENLİK

H. Sevil ERGÜR

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Batı Meşelik-ESKİŞEHİR  
hsergur@ogu.edu.tr Gsm Tel 0544983964

## ÖZET

Pnömatik sistem elemanlarının seçimi ve düzenlenmeleri doğru yapıldığı sürece, bunkerlerden alınan malzemeler kolaylıkla taşınabilir. Tesisin düzenlenmesinde ve çalışma şartlarında yeterince esneklik vardır. Vakumlu sistemlerde, malzemelerin taşınmasında toz birikimine izin verilmez. Pnömatik sistemlerde, taşınan malzeme çeşitliliği oldukça büyüktür. Uygun sistem ve ekipmanlar yardımıyla, riskli malzemelerin emniyetli olarak taşınması mümkündür. Ayrıca, pnömatik sistemlerde toz oluşumu azımsanılmazdır, sağlık ve emniyet yasalarıyla uyumludurlar. Bu sistemler, taşınan malzemenin kirlenmesine izin vermezler. Ancak, çalışma ortamında malzeme ve toz kaçağının oluşumu kaçınılmazdır. Taşınan malzeme partikülleri, çalışanların solunum yolları için tehlikelidir. Bunların tesis üzerinde birikimleri, toz patlamalarına neden olabilir. Taşıma sistemindeki riskleri azaltmak için, çalışanların yapacakları işi ve tehlike sebeplerini çok iyi öğrenmeleri gerekir. Güvenliğin artması, sistem verimliliğini artırarak maliyeti düşürücektir.

**Anahtar Kelimeler:** Pnömatik taşıma, basınçlı hava, pozitif ve negatif basınçlı sistemler, vakum sistemleri, erozif aşınma.

## ABSTRACT

Suitable choice and arrangement of pneumatic conveying equipment, materials can be conveyed from a silos in one location to another location some distance away. Flexibility in both plant layout and operation are possible. In vacuum systems, materials can be picked up from stockpiles, and they are ideal for clearing dust accumulations and spillages. Pneumatic conveying systems are particularly versatile. A very wide range of materials can be handled, and they are totally enclosed by the system and pipeline. This means that potentially hazardous materials can be conveyed quite safely with the correct choice of system and components. There is a minimal risk of dust generation, and so these systems generally meet the requirements of any local health and safety legislation with little or

no difficulty. They do not allow dirt to contaminate the conveyed material but allow material and fugitive dust to escape into work place. The particles can endanger worker's respiratory health or settle on plant surfaces, creating combustible dust hazard. To reduce safety hazards in conveying plant workers need to be learned most common job related injuries and illness. In addition to improving safety, the pneumatic conveying system will enhance productivity by speeding material handling, providing an effective way to justify the cost of system.

**Key Words:** Pneumatic transport, compressed air, positive and negative pressure systems, vacuum systems, erosive wear.

## GİRİŞ

Pnömatik taşıma sistemleri oldukça basit olup, fabrika, şantiye ve tesislerdeki taneli ve toz malzemelerin emniyetli olarak taşınmaları için uygundur. Sistemin çalışması için sıkıştırılmış gaz, genellikle hava, besleme ünitesi, taşıyıcı boru ve gazdan malzemeyi ayırmada kullanılan alıcı (siklon) gerekir [1]. Sistem tamamen çevrili haldedir ve gerektiğinde malzeme ile doğrudan temas etmeyecek hareketli parçalar olmaksızın çalışabilir. Yüksek, düşük veya negatif basınçlı hava malzeme taşımada kullanılabilir. Patlayıcı malzemeler için hava yerine azot gibi asal gaz kullanılabilir [2].

Uygun ekipmanın seçimi ve düzenlenmesiyle malzeme bunker veya silodan alınıp belirlenen mesafedeki bir başka noktaya taşınabilir. Çalışma veya tesisin düzenlenmesinde, çok noktadan veya tek hatlı besleme ile çok sayıda bunkere, malzeme taşınması gibi seçenekler vardır. Vakumlu sistemlerde malzeme, açık depolama alanından veya stoktan seçilip taşınabilir [1]. Bu sistemler, temizleme tozları ve döküntü malzemelerin taşınması için idealdirler. Pnömatik sistemler çok amaçlı olabilirler. Farklı özellikte ve çok sayıda malzemenin taşınması mümkündür. Özellikle, potansiyel olarak tehlikeli malzemeler, uygun sistem ve eleman seçimiyle, emniyetli bir şekilde taşınabilir. Taşıma sırasında ortaya çıkan toz miktarı minimum seviyede olup, yerel sağlık ve güvenlik yasalarının belirlediği sınırlar içerisinde [1, 3].

Ziraat, maden, kimya, metal ve gübre sanayisinde kullanılan dökme malzeme, ilaç, boya, lastik ve gübrenin toz veya taneli halde taşınıp, depolanması mümkündür [2]. Un, şeker, çay, kahve ve süt tozu gibi malzemeleri de pnömatik olarak taşımak mümkündür. Ayrıca şekerleme sanayisinde de başarıyla kullanıldığı bilinmektedir.

## 1. TAŞIMA ŞEKİLLERİ

Boru hattında malzemenin nasıl taşınacağı ve akış şeklinin terminolojisine verilen kafa karıştırıcı olabilir. İlk önce malzemenin kümeler halinde veya sürekli taşınacağı hakkında karar verilmelidir. İki şekilde tanımlanan taşımada seyreltik ve yoğun fazdan söz edilir. Pnömatik sistemlerdeki besleyiciler genellikle bunker altına monte edilirler ve değişik yollarla beslenirler. Toz ve karmaşıklık mekanik konveyör ile bunker arasındaki zayıf integrasyon dolayı olabilir. Kapalı çevrimli olabilirler ve taşıma rotası üzerinde saptırma valfleri dışında hareketli parça bulunmaz. Blowtanklar, ventüriler ve vakum

nozulları gibi besleme ünitelerinde [1] hareketli eleman bulunmaz. Taşıma şekillerinin belirlenmesinde malzeme tane yapısı, hava akış hızı ve kullanılan ekipman etkilidir. Örneğin taneli malzeme taşınması ve tesisatta kullanılacak dirsek sayısının fazla olmasının yanısıra, yeterli basınç ve debiye sahip olunmaması halinde de, malzemenin askıda kalması zorlaşacaktır. Tıkanmaya sebep olan bu faktörler taşınma şekillerinin doğru seçilmesinde önemlidir [1, 2].

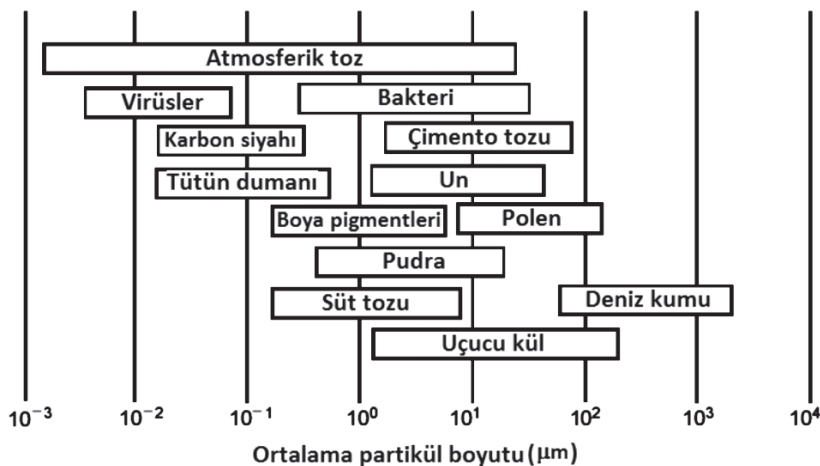
### 1.1. Toz Riskleri

Pnömatik taşıma sırasında oluşan tozların, malzemeyle birlikte sürüklenerek, alıcı bunkerinden atmosfere atılması insan sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca, zehirli olduğu bilinen herhangi bir malzemenin de atmosfere atılmaması gerekir. İnce taneli veya toz halinde bir çok malzemenin ateşleme sonrası oluşan alevi taşıma özellikleri vardır. Bu malzemelere örnek olarak şeker, un, kakao, plastikler, kimyasal ve ilaç ürünleri, metal tozları, kömür, kok ve testere tozu gösterilebilir. Hava ile taşımada toz patlama olasılığı oldukça fazladır. Sistem dışına toz çıkışı olduğu sürece dış ortamda da toz patlaması oluşabilir. Toz patlamasının neden olduğu en büyük ölümcül kaza 1962–1979 yıllarında İngilterede olmuş ve 25 kişi hayatını kaybetmiştir [2]. Benzer şekilde Amerika Birleşik Devletlerinde 1977’de olan kazada 150 kişinin yaralandığı bilinmektedir. Dökme malzeme taşındığında patlama olasılığı her zaman vardır. Malzeme tipine bakılmaksızın bu kazalara, daha çok kovalı elevatörlerde rastlanmaktadır. Pnömatik taşımali sistemlerde daha az görülmektedir.

### 1.2. Toz Emisyonu

Potansiyel patlayıcı malzemelerin dışında, sağlığa zararlı olan tozların partikül boyutları çok küçük olduğundan, ortamda uzun süre askıda kalabilirler. 1  $\mu$  boyutundaki bir silis partikülü için ayrılma hızı 30 saniyede 1 mm iken, bu değer 100  $\mu$  için 300 mm/s’dir. Bu hız malzemenin yoğunluğuna, boyutuna ve şekline bağlıdır ve boyutun karesiyle doğru orantılıdır [2-4].

Boyutları 0.5–5  $\mu$  arasında olan partiküllerin düşerek, ciğerlerin alt bölgesinde toplanması, nefes



Şekil 1. Havadaki Bazı Malzeme Partiküllerinin Boyut Aralıkları [4]

darlığı ve solunum yolları enfeksiyonlarını tetikleyebilir. Dolayısıyla, küçük taneli tozların atmosfere emisyonu engellenmelidir. Büyük taneli partiküllerin emisyonu da benzer sağlık sorunlarına yol açmaktadır.

### 1.2.1. Sağlığa Zararlı Tozlar

Havada asılı halde gözle görülebilen küçük partiküllerin çapları yaklaşık 50-100- $\mu$  arasında değişir. Ancak ciğerler için en tehlikeli partiküllerin 0.2-5 $\mu$  aralığındadır. Çok ince taneli malzemeler ile tozun birlikte olduğu durumlar tehlikelidir. Toz görünmüyor olması, havada tehlikeli tozun olmadığı anlamına gelmez. Büyük partiküller, tehlikeli küçük partiküllere göre tabana çok daha çabuk ulaşırlar. Bunların çoğu ciğerlerde sürekli doku bozulmasına neden olabilirler. Endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan havadaki tozlar genelde 10 mikronun altındadır. Genelde 10  $\mu$ 'nun altındaki tozların insana bulaşması mide, deri ve solunum yoluyla gerçekleşir. Deriden bulaşma çok nadir olsa da ciddi bir sorundur. Krom, nikel ve kobalt gibi metaller allerjik reaksiyonlar yaratabilir. Daha büyük partiküller emilip solunum yolunda depolandıktan sonra, ağıza geri geldiği gibi tükürme ile dışarıya da atılabilir. Büyük sağlık sorunlarına yol açabilen çok ince taneli partiküllerin (<0.2 $\mu$ ) ciğer dokusunda birikmesi kolaydır. Bunları çoğu, değişime uğramadan böbrek veya ciğerler tarafından zehiri alındıktan sonra atılır. Solunumla vücuda giren, kurşun gibi sistemik zehirler öldürücüdür. [4]. En çok görülen silis, asbest ve kömür gibi mineral tozlarının solunum yoluyla emilmesi, kronik fibroz diye tanımlanan pnömokonyoza (toz hastalığı) sebep olur. Semptomların başında genelde kronik nefes darlığı ve solunum yolu enfeksiyonuna hassasiyet gelmektedir [3, 4]. Tozunneden olduğu diğer hastalıklar zatürre ve kanserdir. Bu tozlarla ilgili tehlikeler, aşağıdaki tabloda, I-IV gruplarında verilmiştir.

### 1.2.2. Toz Konsantrasyon Değerleri

1974' de yayınlanan Sağlık ve Güvenlik Yasalarına uygunluğun yanı sıra, hava kaynaklı toz konsantrasyonu da önemlidir. Ölçülmüş konsantrasyon değerleri, çeşitli şekilde tanımlanan ve kişinin toza maruz kalma süresinin bir fonksiyonu olan sınır değerleriyle karşılaştırılmalıdır [5].

**Tablo 1. En Çok Karşılaşılan Tozlar**

#### I. Grup: Çok Tehlikeli

Her zaman uzman tavsiyesi alınmalıdır.

Berilyum: Özellikle oksitleri

Silis ( $\text{SiO}_2$ ), Isıtılmış halde: Bu şartlar altında silis biyolojik değişim göstererek tehlikeli olan sönmüş kizelgura dönüşür.

Krokidolit (mavi asbest): Göğüs ve karın zarında kötü huylu tümör oluşumuna yol açar.

#### II. Grup: Tehlikeli

Bu tozların gözle görünür olmaları veya olmamaları durumu değiştirmez.

Asbest: Mavi asbestten farklı olarak ticari hayatta amozit (kahverengi asbest) ve elyafı serpantin (beyaz asbest)

Silis: Kuvars, silikat tuğla, bileme taşı, vb.

Karışık tozlar: %20 veya daha fazla serbest silis, çömlek tozu, granit tozu ve dökümhane tozu, şamot toprak tozu.

### III. Grup İlimli Risk

Bu tozlara ait emisyonun yarattığı yoğun sis ele alınmıştır. Karışık tozlar, %20 nin altında serbest silis içeren tozlardır. Demir ve demirsiz dökümhane tozları, kömür tozu, kaolin tozu, çin kili, bazı metallerin karbürleri, pamuk tozu, bitkisel esaslı diğer tozlar, sentetik silika, grafit, pudra, asbest içerikli malzemeler ve mikadır.

### IV Grup En Az Riskliler

Alüminyum, cam, amyant, perlit ve tozları, silikatlar, kalay ve oksitleri, zirkonyum silikat ve oksitleri, barit, karbo-randum, çimento, zımpara, ferrosilisyum, demiroksit, kireç taşı, magnezyum oksit ve çinko oksitir [5,6].

### 1.2.3. Tozun Önlenmesi

Tozlu-luk testi veya malzeme ile ilgili deneyimlere göre, tozun üretimi sorun yaratacağından malzeme tozlu-luğunu düşürme metotlarına daha fazla önem verilmelidir. Tozları azaltılması için imalat prose-sini tekrar gözden geçirmek gerekir. Partiküllerin topaklanmasının belirgin etkisi vardır [6]. Taşıma sırasında toz oluşuyorsa, taşıma parametrelerinin veya taşıma yolunun değiştirilmesi gerekebilir.

## 2. PATLAMA RİSKLERİ

Tıkanan ciğerler, kaşınan gözlerin dışında tehlikesiz toz bulutundaki birçok malzeme yanmaya ve patlamaya neden olabilir. Konveyör veya bunkerde olduğu üzere, toz bulutu sınırlandırılmış durumda ise, toz bulutunun ateşlenmesi basınç birikimine yol açacaktır. Bu basınç süspansiyon debisine, mal-zemenin niteliğine ve atmosfere atılma miktarına bağlıdır [6, 7]. Yapılan araştırmalara göre, tehlike için partikül boyutu 200µ'nun altında olmalıdır. Pnömatik taşıma sistemindeki herhangi bir noktada veya taşıma çevrimindeki belli bir sürede, seyreltik ya da yoğun fazda, pozitif veya negatif basınçlı sistemde, malzeme süspansiyon şeklinde dağılmış haldedir. Yasal Sağlık ve Güvenlik şartlarının sağlanması için bir toz patlama uzmanının önerilerine uyulması gerekir [7].

### 2.1. Ateşleme Kaynakları

Patlamanın gerçekleşmesi için iki şartın sağlanması gerekir. Birincisi, yeterince enerjik ateşleme kay-nağının mevcudiyeti, ikincisi hava içindeki malzemenin konsantrasyonudur. Endüstride sıkça rastla-nan iki ateşleme kaynağı olarak, sıcak yüzey ve kıvılcım gösterilebilir. Minimum ateşleme sıcaklığı ve minimum ateşleme enerjisi ateşleme karakteristiği olarak bilinir. Ateşleme belli bir toz bulutu için sabit olmayıp, ölçümünde kullanılan aparatın boyut ve şekline bağlıdır. Şeker, kahve ve kakao için minimum ateşleme sıcaklıkları sırasıyla 3500, 4100 ve 420°C'dir [9]. Minimum ateşleme enerjisi, sıcak kesme, sürtünme ve elektriklemeyle oluşan kıvılcımlarla ilişkilidir. Yüksek sıcaklıkta kısa bir sürede, küçük partikül ya da küçük hacimli gaz ortamında oluşur. Elektrik enerjisiyle oluşan kıvılcım miktarının ölçümü çok kolaydır. Titanyum, strafor ve kömür için minimum ateşleme enerjisinin tipik değerleri sırasıyla 10, 15 ve 60 mJ şeklindedir [8].

## 2.2. Patlayabilirlik Sınırları

Alevin toz bulutu içinde yayılması için havadaki malzeme konsantrasyonu patlayabilirlik sınırının alt ve üst sınır değerleri arasında olmalıdır. Alt patlayabilirlik sınırı veya minimum patlama konsantrasyonunun alev yayılması, bulut veya süspansiyondaki malzemenin minimum konsantrasyonu olarak tanımlanabilir. Ağaç unu ve tahıl tozu için tipik değerler 40 ve 55 g/m<sup>3</sup> şeklindedir [8]. Malzeme konsantrasyonu artırılacak olursa patlamanın gücü artar. Toz konsantrasyonu stokiometrik sınırı aştığında, toz sönmülenir. Sonuç olarak, alev yayılması yok ise, konsantrasyon aranan değer olan üst patlama sınırındadır. Malzemenin uniform dağılımına ulaşması zor olduğu için, bu sınırın belirlenmesi kolay değildir.

## 2.3. Basınç Üretimi

Bir endüstriyel tesiste oluşan toz patlaması sonucunda, sistemdeki olağanüstü tahribat patlamayı hızlandıracaktır. Yapılan testlerle belirlenen patlama karakteristikleri patlama basıncı ve maksimum basınçtaki artış yüzdesidir.

**Çizelge 1.** Bazı Malzemelerin Patlama Karakteristikleri [8]

Malzeme	Minimum ateşleme sıcaklığı (°C)	Minimum patlama konsantrasyonu (kg/m <sup>3</sup> )	Minimum ateşleme enerjisi (°C)	Minimum patlama basıncı (bar)	Maksimum basınç artışı (bar)
Alüminyum	640	0.045	15	6.2	1360
Magnezyum	520	0.02	40	6.6	1020
Çinko	600	0.48	650	3.4	120
Kahve	410	0.085	85	3.4	17
Toz mahsul	430	0.055	55	6.6	190
Buğday Unu	380	0.05	50	6.4	250
Şeker	350	0.035	35	6.1	340
Kömür	610	0.055	55	5.9	150

Çizelge 1'de partiküllerle ilgili patlama karakteristikleri verilmiştir. Büyük partiküllerin emisyonu sosyal ortamda şikayetlere yol açabilir.

## 2.4 Genleşme Etkilerinin Analizi

Tozun yanması ani basınç yükselmesi veya kontrol edilemeyen genleşmeye neden olur. Genleşme kısıtlanacak olursa, toz patlamasının ana tehlikelerinden birinin oluşumu kaçınılmazdır [10]. Yanma ile ortaya çıkan ısı, genleşme etkisinin artmasına neden olur. Kontrolsüz toz patlaması sonucunda ortaya çıkan basınç dalgası, boru içinde zamanla birikmiş tozları hareketlendirdiği gibi çatı kirişlerini, taşıyıcı kolonlarını, çıkıntıları vb. titreşime zorlayabilir. Bunlar ikinci patlamaya zemin hazırlayarak fabrikada yıkıma ve sonuçta yaralanmalara hatta, ölümlere yol açabilir [11]. Bunun için pnömatik sistemlerde oluşacak patlamanın bina içine yönlendirilmesi doğru değildir.

## 2.5. Oksijen Konsantrasyonu

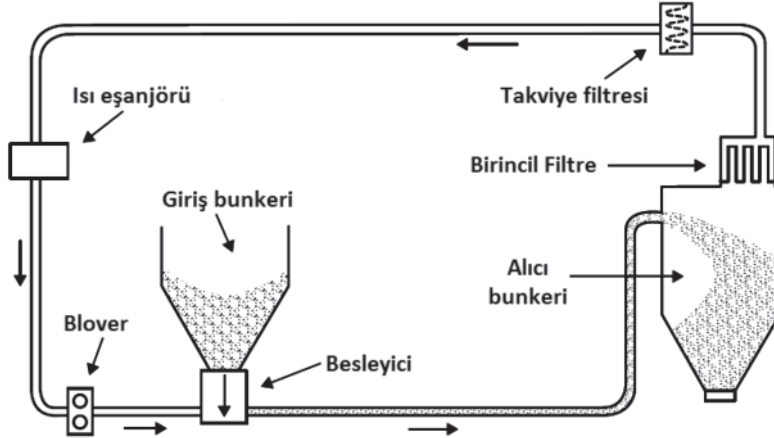
Toz patlamalarında ölçülebilen diğer karakteristik, patlamanın olduğu taşıyıcı gaz içindeki oksijen konsantrasyonudur. Havadaki oksijen yüzdesi azaltılarak elde edilen konsantrasyonda alevin desteklenmesi zorlaşır. Patlayıcı özelliğindeki malzeme için, hava yerine azot gibi asal gaz kullanılması önerilir. Azot kullanımı, özellikle açık sistemlerde maliyeti artıracaktır [10,12] Oksijen yüzdesi küçük oranda düşürülecek olursa, hava içerisine bir miktar azot eklenebilir.

## 3. TAŞIMA SİSTEMLERİ

Taşıma uygulamalarında pnömatik taşıma sistemlerinin önemi büyüktür. Taşıma genellikle konvansiyonel, sürekli çalışan ve açık sistemlerle yapılır. Yapılacak işleme göre dökme malzeme ve kapalı sistemler tercih edilir. Pnömatik taşımada kullanılan temel sistemler pozitif veya negatif basınçlı ya da bileşik sistemler şeklinde adlandırılırlar [13].

### 3.1 Kapalı Sistemler

Zehirli ve radyoaktif malzemelerin taşınmasında taşıyıcı havanın atmosfere atılmaması veya sıkı kontrol altında regüle edilmesi gerektiğinden kapalı sistem (Şekil 2) kullanımı kaçınılmazdır.



Şekil 2. Pnömatik Taşıma Sisteminde Kapalı Çevrim [13]

Asal gaz yardımıyla malzeme taşınması sorun yaratmaz. Bu sistemde taşıyıcı gaz atmosfere atılmayıp sirküle edildiğinden, asal gaz kullanımı maliyetli değildir. Gaz içinde efektif basıncın atmosfer basıncına eşit olacağı bir sıfır noktası belirlenmelidir. Bu nokta, blowerden sonra ise, sistem vakum altında, önce ise pozitif basınçlı sistem olarak çalışacaktır.

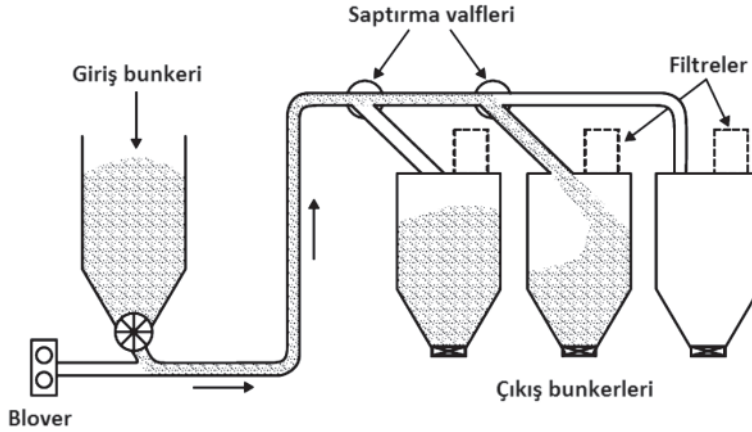


### 3.2. Açık Sistemler

Çok katı çevre kontrolü gerekmiyorsa genelde maliyeti düşük ve kullanımı sorunsuz olduğundan açık sistemler tercih edilir.

#### 3.2.1. Pozitif Basıncılı Sistemler

Şekil 3'de gösterilen bu sistemlerde basıncın yüksek olduğu boru hattına malzeme beslenmesi sorun yaratmaz. Çeşitli besleyici türlerinden yararlanılabilir. Ancak her besleyicide görülecek ortak sorun, sistemden besleyiciye hava kaçağının oluşmasıdır [13,14].



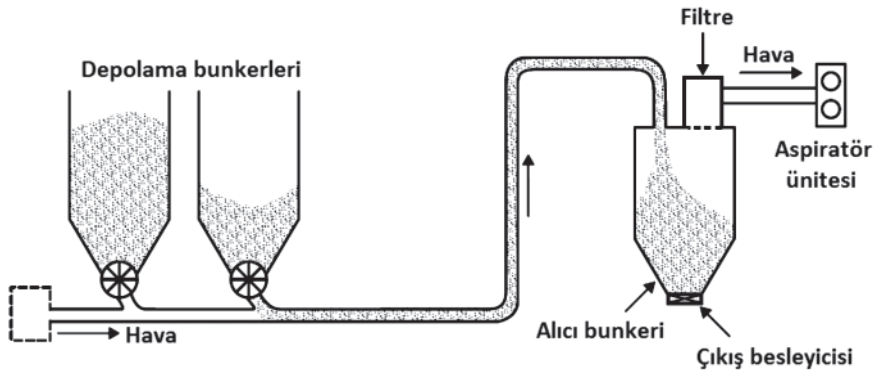
Şekil 3. Pozitif Basıncılı Taşıma Sistemi [14]

Saptırma valfi kullanılarak, çok noktadan malzeme alınması mümkündür. Çok noktadan besleme yapıldığında besleyiciye geri gelen hava kaçağı dikkate alınmalıdır.

#### 3.2.2. Negatif Basıncılı (Vakumlu) Sistemler

Çok noktadan alınıp tek noktaya malzeme taşınmasında tercih edilirler. Sistemdeki besleyicide ters akış söz konusu değil ise, çok noktadan ortak tesisatın beslemesinde sorun yaşanabilir.

Pozitif sistemlerle karşılaştırıldığında, filtrasyon ünitesinin daha büyük olduğu görülür. Şekil 4'de gö-



Şekil 4. Negatif Basıncılı Taşıma Sistemi [15]

rüleceği gibi, kapalı veya açık çevrimli olarak yapılan bu sistemlerde, tehlikeli malzeme taşınmasında, sisteme vakumla hava emildiğinden dış ortamla sorun yaşanmaz. Vakum sistemlerinde kullanılacak filtreler ve davlumbazlar ile ortama toz atılması önlenmiş olur [13,15].

#### 4. SİSTEM ELEMANLARI

Pnömatik taşıma sisteminde, sistem elemanlarının belirlenmesi, doğru sistem seçimi kadar önemlidir. Çok sayıda türlere sahip olan hava hareketlendiriciler, besleyiciler ve gaz–katı ayırıcıların (siklonlar) tümü dikkatle seçilmelidir [16].

##### 4.1. Blowerler ve Kompresörler

Hava aktarımı için genelde pozitif yerdeğiştirmeli makineler tercih edilir. Basınç ve volümetrik debiye göre sınıflandırılan blower ya da kompresörlerin yanlış seçilmesi durumunda, boru hattında biriken toksik malzeme sistemi tıkayacaktır. İdeal bir taşıma işlemi için, minimum gaz hızı tüm tesisatta sağlanmalı ve basınç–sıcaklık değerlerine göre, taşıyıcı gazın sıkışabilirliği unutulmamalıdır. Bir çok hava hareketlendiricide sıkışma işlemi adyabatik olup, kompresörü terk eden havanın sıcaklığı oldukça yüksektir [17]. Örneğin 20°C’de emilen hava pozitif yer değiştirmeli bir blowerde 1 bar basınca sıkıştırıldığında, sıcaklık 84°C’ye, izantropik verim 0.80 olduğunda ise, sıcaklık 100°C’ye kadar çıkabilmektedir. Aynı hava 3 barda kullanıldığında, sıcaklık 200°C’ye ulaşabilir.

##### 4.2. Yağsız Hava

Pnömatik sistemlerde, malzemenin kirlenmemesi için, özellikle gıda ürünleri, ilaçlar ve kimyasal maddelerin taşınmasında, genellikle yağsız hava tercih edilir. Kompresörde kullanılan yağlama yağı, hava ile taşınırken dirsek veya diğer bağlantı elemanlarında birikerek, karbon içerikli madde oluşumuna neden olabilir. Karbonun, zengin atmosferin bulunduğu çevre havasıyla birleşerek yangın tehlikesi oluşturacağı unutulmamalıdır. Birleştirici ikincil filtrenin kullanılması maliyetli olmakla birlikte, havada asılı kalan çok ısınmış yağ ve yağ buharının bu filtrelerden geçerek, hızlıca sisteme geri dönmesini sağlar. Eğer sistemdeki hava soğumuş ise, çok ısınmış yağ buharı sıvılaşarak boru hattının altında birikecek ve yağın bozulmasını hızlandıracaktır. Sonuçta basınçlı hava yanacaktır. Bunu önleyecek tek güvenilir çözüm ise, kompresörlerin içine enjekte edilen yağın, karbon emici tipteki kimyasal ikincil filtrelerde kullanılmasıdır. Isınmış yağ buharı sıgıeri döndüğünde atık oluşacak ve yağın bozulması hızlanacaktır. Bunun için en çok tercih edilen karbon emicilerin kullanımınıdır. Genellikle pahalı olan bu çözüm, sürekli bakım [18] ve karbon filtrelerin değişimini gerektirir.

##### 4.3. Boru hattının beslenmesi

Yoğun fazda ve uzun mesafelerdeki taşımada artan basınç kapasiteleri ve farklı malzeme karakteristiklerindeki debileri karşılayabilmek için birçok besleyici geliştirilmiştir. 1 bardan daha düşük bir

basınçta yapılan taşımalarda, atmosfer basıncına ulaşmak için genellikle pozitif yerdeğiştirmeli bloverler kullanılmakla birlikte, 20 bar ve üzerindeki değerlerde, kimyasal reaktörler ve yanma sistemleri tercih edilir. Pozitif basınçlı sistemlerde karşılaşılan en önemli sorun, basınçlı havanın dolaştığı boru hattına malzeme beslemesi yapılırken ortaya çıkar. Ters basınçtan dolayı, havanın besleyiciye kaçmasını önlemek oldukça zor ve pahalıdır. Bu hava mutlaka toz taşıyacaktır ve kontrolü gerekir [19].

#### 4.3.1 Besleyiciler

Boru hattına malzeme beslemede en çok kullanılan ünitelerdir. Basınç farkı oluştuğunda, rotor kanatları ve gövde arasında meydana gelen hava kaçağı, sistem verimini düşürür. Pozitif basınçlı ve vakum sistemleri için ideal ünitelerdir. Pozitif yerdeğiştirmeli olan besleyicilerde, debi oranı dönüş hızıyla ayarlanabilir. Vidalı besleyicilerde de benzer durum vardır. Kanat uç aralıkları düşürülüp, kanat sayısı artırılarak ve uygun keçe kullanılarak, hava kaçağı azaltılsa da tamamen kaldırılamaz. Kaçak hava, bunkerden besleyiciye gelen havanın girişine izin vermeyebilir. Bunu bir miktar önlemek için besleme ünitesini havalandırmak yeterli olabilir. Havalandırılmış hava içerisinde bir miktar malzeme kalacağından, bu havayı tekrar bunkere yönlendirmekte yarar vardır. Düşük basınçlı sistemlerde kullanılan ventüri düzeneğiyle malzeme tekrar boru hattına gönderilebilir. Patlama riski yüksek bir malzemenin taşınmasında, besleyici kullanımı tekrar gözden geçirilmelidir. Metal kanatlar ve metal gövde arasında oluşacak sürtünmenin malzemeyi ateşleyebileceği bilinmelidir [20–23].

## 5. PNÖMATİK TAŞIMA ANALİZİ

### 5.1. Ham Maddelerin Taşınması

Yüksek hızlara çıkmak mümkün olduğundan, ham maddelerin taşınmasında da pnömatik sistemler kullanılmaktadır. Hatta civata, somun ve rondela gibi, birbirleriyle çarpışmaları halinde kıvılcım çıkarılmaları mümkün olan elemanlar da pnömatik sistemler yardımıyla, hiçbir sorun oluşmadan kolayca taşınabilir [21].

### 5.2. Statik Elektrik Oluşumunun Etkisi

Farklı yapıda iki malzemenin birbiriyle temasında şarj (elektrik yüklemesi) oluşabilir. Şarj miktarı malzeme türüyle birlikte temas şekline de bağlıdır. Tüm malzemeler taşıma sırasında elektrostatik şarj kazanırlar. Elektrostatik etki, genellikle ihmal edilmekte ancak, bazı durumlarda yüksek gerilim alanı yaratarak, tehlike sınırının aşıldığı can sıkıcı olaylara neden olmaktadır. Bu etkiden kurtulmak için, toz birikimi önlenmelidir. Pnömatik taşıma sistemleri, aslında birer statik elektrik üreten jeneratörlerdir [20]. Sürtünme ile ortaya çıkan şarj, alıcı bunkerine kadar boru hattıyla taşınabilir. İletken olmayan malzemelerin taşınmasında, kaçakların önlenememesi, alıcı bunkerinde şarj birikimine neden olur. İletken malzemelerde ise, partiküllerin havada asılı kaldığı durumlarda elektrostatik problemlerle karşılaşılabilir. Her iki durumda da hava, kaçan her bir partikül üzerindeki elektrik şarj oluşumunu önleyecektir. Genellikle alıcı bunkerinde yüksek elektrik alanının oluşması kaçınılmazdır. Bazı durumlarda şarj, kıvılcım yaratabilir. Kıvılcımla bunkerdeki toz bulutu, toz patlamasına neden olabilir [19,21].

### 5.2.1. Pnömatik Taşıma Hattının Topraklanması

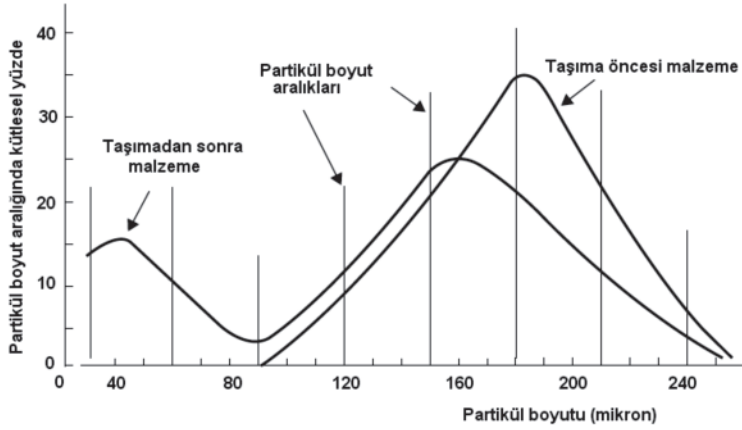
Elektrostatik özelliğinden dolayı, taşıma hattının topraklanması gerekir. Tüm bağlantı noktaları özellikle flanşların, elektrik geçirgenliği yüksek olduğundan, titreşim sönümleyici olarak kullanılan kauçuk veya plastik contalar akım kesme görevi de yaparlar. Bunun yanısıra, düzgün yapılacak bir topraklanma, potansiyel tehlikeleri ve efektif şarj kaynağı olan partiküllerin taşındığı metal boruların yaratacağı olumsuz etkileri de önleyecektir. Taşımada görevli kişilerin, özellikle toz bulutu ile temas halinde iken, söz konusu elektriklemeden etkilenmemeleri için, anti–statik (elektrik akımını durdurucu) elbise ve uygun ayakkabı giymeleri önerilir [21, 23].

### 5.2.2. Taşıma Sistemlerinde Nem Kontrolü

Taşıma sırasında, çevredeki bağıl nem düşerse malzemede statik elektrik üretimi artar. Taşıyıcı havadaki bağıl nemin %60–70 artması sistem sorunlarının çözümünde yararlıdır. Şarj kontrolünde, özellikle nem çeken malzemeler uygun değildir. Bu nedenle, herhangi bir uygulamada, yoğuşma ve donma olasılığı mutlaka dikkate alınmalıdır.

### 5.3. Yıpranmış Malzeme Partiküllerinin Etkisi

Partikül boyutu  $200\mu$  altındaki patlayıcı madde partikülleri sorun yaratabilir. Bu boyutun üzerindeki malzemelerin taşınmasında (Şekil 5); sorunla karşılaşılma olasılığı çok azdır.



Şekil 5. Pnömatik Taşımanın Partikül Boyutuna Etkisi [21]

Kırılgan malzemelerin taşınmasında ise, yıpranan malzemede parçalanma riski artmaktadır. Kesme şekerde olduğu üzere, kırılğan bir malzeme, çok sayıda dirsek bulunan bir tesisatta, yüksek hızlarda, uzun mesafelere taşınacak olursa, yıpranma dolayısıyla malzemede kırılma görülebilir. Kırılma ile oluşan toz, sistem içerisinde patlama riskini artıracaktır.

#### 5.4. Eroziyonun Aşınması

Taşıyacak birçok malzeme abrasif olabilir. Bunlara örnek olarak yığın halindeki çimento, alumina, uçucu kül ve silis kumu verilebilir. Taşıma hızı 20 m/s olan silis kumunun, çelik dirsekte delik açma olasılığı oldukça yüksektir. Eroziyonun aşınma mukavemetli malzeme seçimi ve özel dirseklerle azaltılabilir, ancak tamamen ortadan kaldırılamaz. Bazı durumlarda, düz borunun aşınmayı azalttığı da görülmüştür [16].

#### 5.5. Malzeme Birikiminin Taşıma Performansına Etkisi

Uzun borulu ve büyük çaplı tesisatlardaki akışta, seyreltik fazdaki malzemenin süspansiyonu sonucunda, boru tabanında birikme oluşabilir. Kömür tozunda olduğu gibi, bu tür malzemelerin birikimi yanmaya ve hatta patlamaya yol açabilir. Hava hızının artırılması, bu soruna çözüm getirmekle birlikte, ideal bir yöntem değildir. Bir türbülans üretici yardımıyla, akışın bozulması soruna çözüm getirebilir [21].

##### 5.5.1. Boru Hattının Temizlenmesi

Boru hattının malzeme artıklarından temizlenmesi için kör Te bağlantısı yerine, yarıçap verilmiş dirsekler kullanılmalıdır. Taşıyan malzeme, kör Te bağlantılarında tutulacağı için, dirsekte biriken aşındırıcı partiküllerin boru hattına zarar vermesi engellenecektir. Buradaki artık malzemelerin temizlenmesi çok uzun sürebilir [21]. Eğer bunkerde ek olarak depolanan basınçlı hava mevcut ise, işlem çok daha etkili olacak, temizleme süresi de kısıllacaktır. Ancak, temizleme sırasında filtrasyon ünitesini aşırı yükten korumak için gerekli önlemlerin alınması şarttır. Yoğun fazlı taşımada, havanın hızı seyreltik fazdakine göre çok daha düşüktür. İlave hava kaynağının bulunmaması durumunda, boru hattının temizlenmesi çok büyük bir sorun haline gelebilir. Malzeme taşımada yüksek basınçlı hava kullanılıyorsa, havanın genleşmesi için, boru hattının kademeli olması ve boru çapının bir veya iki kat büyütülerek, boru hattının uç kısmındaki akış hızının düşürülmesi sağlanmalıdır. Bu tür bir uygulama, borunun temizlenmesi sırasında sorun yaratabilir. Çünkü, büyüyen çapla hız düşecek, askıda kalma zorlaşacak ve boru hattında malzeme birikimi artacaktır. Birikimi önlemek için hava debisine ihtiyaç olacaktır [23].

#### 5.6. Taşıma Sırasında Gücün Kesilmesi

Tasarım aşamasında, gücün kesilmesine, yani gücün eksikliğine karşı bir önlem alınmalıdır. Güç kesilmesiyle birlikte, pnömatik sistem otomatik olarak duracak, ancak tekrar harekete geçme süresi, taşıma şeklinin türüne, boru hattının yerleşim şekline, taşıma şekli ve malzeme özelliklerine göre değişecektir. Bu nedenle, çoğu kez sistem tıkanacaktır. Sistemin tekrar devreye girmesi için, boru hattı tamamen temizlendikten sonra, güç verilmelidir. Hava kabının, hava sisteminde bulundurulması da bir başka çözüm yoludur. Konvensiyonel sistemlerde tesisatta kalan artık malzeme, üflenerek ya da emilerek çıkartılır [22].

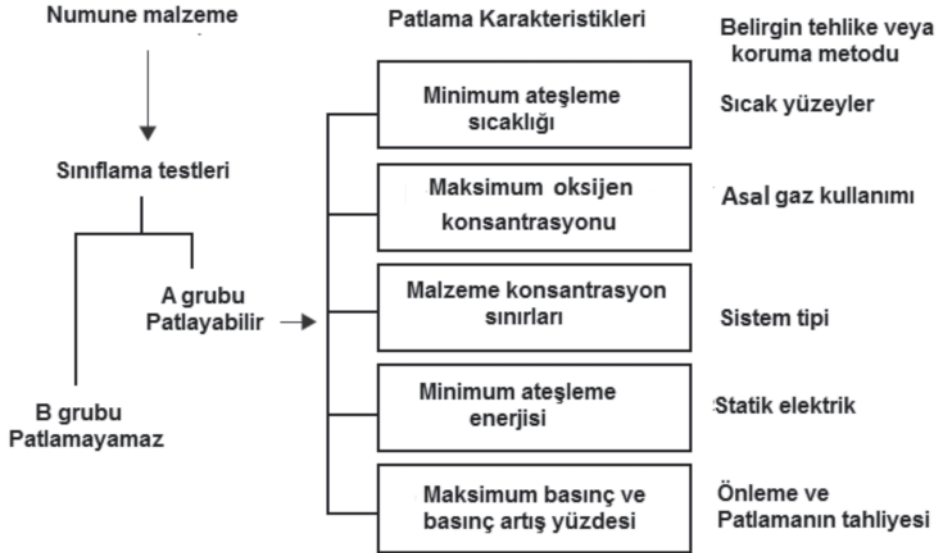
## 6. SEKONDER PATLAMALAR

Pozitif basınçlı sistemlerde, toz bulutunun atmosfere atılması her zaman sorun oluşturabilir., Dirseklerde aşınma delikleri oluşturan aşındırıcı (abrasif) malzemeler, boruların birleşme yerlerinin biraz daralmasına neden olur. Filtreler zayıf bağlantı elemanları olarak bilinir. Basınç dalgalanması, tozun serbest kalmasına veya filtre elemanının hasar görmesine neden olabilir [17]. Çok farklı şartlarda, yanabilen toz bulutu oluşabilir. Böyle bir durumda, elektrik ekipmanı, ateşleme kaynaklarının en önemlisidir. Taşınan malzeme patlayıcı ise ışık, butonlar ve sigortalar, kıvılcım veya sıcak yüzey ateşleme kaynağıdır. Taşıma hattından bina içerisine toz patlamasının sıçraması veya toz bulutunun binaya bırakılması çok ciddi tehlikeler oluşturur. Her iki durumda da, bina içinde oluşan düşük tehlikeli basınç boru tesisatını, çatı makaslarını, taşıyıcı kolonları ve aydınlatma sistemini titreşime zorlayacaktır. Sekonder patlama kontrolü için ideal şartların sağlanması mutlaka gereklidir. Çünkü, fabrikanın yıkılmasına ve çalışanların ölümüne sebep olan sekonder patlamadır [19–21].

### 6.1. Patlamaya Karşı Korunma Şekilleri

Pnömatik sistemlerde patlama olasılığı oldukça fazladır. Bunun sebebi, sistemdeki malzemenin tamamen tutulması ve tozun dışarıya atılmamasıdır. Bu aşamada, patlama parametrelerinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu parametrelerin en doğru şekilde tespit edilmesi için yararlanabileceğimiz patlama akış şeması Şekil 6'da verilmiştir. Bu şemada verilen parametreler yapılan patlama testlerinin sonuçlarına göre oluşturulmuştur [2,8–10].

Ayrıca, patlamanın şekli, etkili parametreler ve koruma yöntemlerinin belirlenmesinde yardımcı olan testlerin yapımında kullanılan aparatlar, Çizelge 2'de sınıflandırılmıştır.



Şekil 6. Patlama Testlerinin Akış Şeması [8]

**Çizelge 2. Test Aparatlarının Sınıflandırılması [11]**

Aparat	Dağılım yönü	Ateşleme kaynağı	Uygulama alanı
Düşey boru	Yukarı yönde Düşey	Kıvılcım– elektrikle ısıtılmış sargı,	Her tür toz
Yatay boru	Yatay	Elektrikle ısıtılmış sargı	Karbon içerikler
Alevlendirici	Aşağı yönde düşey	Elektrikle ısıtılmış sargı–elektrik kıvılcımı	Karbon ve metal tozlar

Pnömatik sistemin korunması için çok farklı metotlar bulunmaktadır. Patlayıcı özelliğe sahip tozlu ve taneli malzemelerin dağılımı, pnömatik taşımanın esası olduğundan, tasarım aşamasında sistem elemanlarına ilişkin koruyucu önlemler alınmalıdır. Patlamanın oluşturacağı potansiyel katastrofik etkilere karşılık, yeterli sayıda emniyet elemanının sistem içerisine doğru bir şekilde yerleştirilmesi, güvenlik açısından çok önemlidir. Söz konusu korunma sebepleri, aşağıda verilen yaklaşımların bir veya birkaçına bağlı olabilir [8,21].

- Ateşleme kaynaklarının azaltılması ve ateşlemeden korunma
- Patlamanın tam rotasında emniyetli olarak kapanması veya patlamanın dışarıya yayılmaması
- Meydana çıkarma ve önleme.

Seçilecek korunma metodu, tesis ve işlemin tasarımı, çalıştırma maliyeti, alternatif koruma metotlarının ekonomisi, malzemenin patlayabilirliği, yerel idarenin yasal istekleri gibi çok sayıda parametreye bağlıdır [10, 22].

**6.2. Kaynakların Azaltılması ve Ateşlemeden Korunma**

Herhangi bir patlamada, öncelikle ateşleme kaynaklarının azaltılması veya ortadan kaldırılması gerekir. Minimum ateşleme sıcaklığı, sıcak yüzeylerin sahip oldukları ısı değerlerine bağlıdır. Bunların dışında, kıvılcım olasılığı da besleyici çalışmasına, taşınan malzeme sürtünmesine ve statik elektrik üretimine bağlı olarak gözden geçirilmelidir [13].

**6.3. Asal Gaz Kullanımıyla Korunma**

Malzeme taşınmasında asal gaz olarak azot gazı kullanılması ateşlemenin korunması için yeterlidir. Buna ek olarak, oksijen yüzdesini düşürmek için de azot katılabilir. Yapılan birçok standart testlerden birisi de maksimum oksijen konsantrasyonunun belirlenmesidir. Asal gazlar çok pahalı olduğu için, bu tür iyileştirmeler kapalı çevrimlerde kullanılmaktadır [12,23].





## SONUÇLAR

Pnömatik sistemlerle malzeme taşınmada ortaya çıkacak riskleri azaltmak için çalışanların iş ile ilgili olası yaralanmaları ve hastalıkları öğrenmeleri gerekir. Güvenliğin artması sistemde verimliliği artırarak, sistem maliyetini düşürülecektir. Bu sistemlerde en çok görülen sorunlar, boru tesisatının tıkanması ve aşırı basınç yükselmesiyle patlamaların oluşmasıdır. Patlamalar genelde toz patlaması şeklindedir. Bu patlamaların çalışanlarla birlikte çevreye verdikleri hasarlar oldukça büyüktür. Basınç yükselmesi genelde tesisatta, filtresayon ünitelerinde ve blow tanklarda ortaya çıkar. Pnömatik taşımanın amacı, patlayıcı olduğu bilinen tozlu ve taneli malzemelerin taşınması olduğu için, tasarım aşamasında gereken önlem alınmalıdır. Hava aktarımında, genellikle pozitif yerdeğiştirmeli makineler tercih edilir. Basınç veya volümetrik debi cinsinden, blower ve kompresör için yapılacak doğru seçim, sistemde tıkanmaların önüne geçecektir. Yeterli taşıma için minimum gaz hızı tüm tesisatta sağlanmalı ve taşıyıcı gazın sıkışabilirliği unutulmamalıdır. Hemen hemen tüm malzemeler taşıma sırasında elektrostatik şarj ile yüklenirler. İhmal edilselerde bazen yüksek gerilim alanı oluşturarak tehlikeli sınırlara ulaşırlar. Elektrostatik şarjdan kurtulmak için toz birikimini en aza indirmek, mümkünse tamamen temizlemek gereklidir. Uzun süre, nefes yoluyla alınan tozlar, özellikle silis, asbest ve kömür gibi mineral esaslı tozlar, ciğerlerde sürekli doku bozulmasına neden olmaktadır. Semp-tonların başında kronik nefes darlığı ve solunum yolu enfeksiyonları gelmekte, daha ilerleyen vakalarda ise, zatürre ve kanser oluşmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Onley J.K., Firstbrook J., The practical application of pneumatic transport techniques to the raising of mineral from deep shafts. Proc. Pneumotransport 4.BHRA Conf. California, 1978.
- [2] Field P., Dust Explosions. Handbook of Powder Technology. Vol 4. Elsevier. 1982.
- [3] Cross J., Farrer D., Dust Explosions. Plenum Press. 1982.
- [4] HM (UK) Factory Inspectorate Technical Data Note 14. Health: Dust in Industry. London: HMSO. 1970.
- [5] Schofield C., Dust: The problems and approaches to solutions. Proc Solidex '82 Conf. Harrogate. March/April 1982.
- [6] Health and Safety Executive. Guidance Note EH 15/80. Threshold Limit Values. London: HMSO. 1980.
- [7] Corn Starch Dust Explosion at General Foods Ltd, Banbury, 18 November 1981. Health and Safety Executive Report. London: HMSO. 1983.
- [8] HM (UK) Factory Inspectorate. Dust Explosions in Factories. Health and Safety at Work Booklet No 22. London: HMSO. 1976.
- [9] Raferty M.N., Explosibility tests for industrial dusts. Fire Research Technical Paper No 21. Ministry of Technology and Fire Offices Committee. London: HMSO. 1962.
- [10] Woodcock C.R., Mason J. S., Bulk Solids Handling: An-Introduction to the Practice and Technology. Chapman and Hall. 1987.
- [11] Palmer K.N., Dust Explosions and Fires. Chapman and Hall. London. 1973.
- [12] Dust Explosions in Factories. Classified list of dusts that have been tested for explosibility in the form of a dust cloud. Department of Employment, London: HMSO. 1974.



- [13] Mills D., Similarities and differences between conventional and innovatory systems for dense phase pneumatic conveying. *Powder and Bulk Handling*, Vol 3, pp 15–23, July–Sept., 1999.
- [14] Geldart D., Types of gas fluidization. *Powder Technology*, Vol 7, pp 185–292, 1973.
- [15] Hanrot J.P., Multi–point feeding of hoppers, mounted on aluminium smelter pots, by means of potential fluidization piping. *Proc. 115th An Mtg, The Metallurgical Soc. of AIME*, pp 103–109, New Orleans, March 1986.
- [16] 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.
- [17] Kaulfersch A.J., *Control engineering*. Barrington Stoke Publishers, U.K. 2007.
- [18] Billinge K., 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.
- [19] Zeeuwen P., Percentage of flammability of substances. *Chilworth Technology Ltd.* pp 11–19, Southampton 2010.
- [20] Pritchard D.K., *Literature Review–Explosion hazards associated with nanopowders*. Fire and Explosion Science Group. EC/04/03 Harpur Hill, Bookstone, England 2004.
- [21] Jones M.G., Mills D., Product classification for pneumatic conveying. *Powder Handling and Processing*, Vol 2, No 2, June 1990.
- [22] Mills D., The use of high pressure blow tanks for the pneumatic conveying of pelletised materials. *Handbook of Conveying and Handling of Particulate Materials*. Eds. Levy A and Kalman H. Amsterdam: Elsevier, pp 303–387, 2001.
- [23] Mills D., An investigation of unstable region for dense phase conveying in sliding bed flow. *Proc. 4th Int.Conf. for Conveying and Handling of Particulate Solids*, Budapest, Hungary, June 2003.

## ÖZGEÇMİŞ

### Hayriye Sevil ERGÜR

Lise öğrenimini Eskişehir Tepebaşı Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra, 1997 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden "Makine Mühendisi"; 2000 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden "Makine Yüksek Mühendisi"; 2007 yılında "Doktor"; 2011 yılında ise Yrd. Doç. Dr unvanlarını almıştır. İlgi alanları; Kompresörler, Hidrolik-Pnömatik Transport, Hidrolik Makineler, Hidrolik Makineler Tasarımı, Hidrolik ve Pnömatik Devreler ile Akışkanlar Mekaniğidir.