

PNÖMATİK SİSTEMLERDE SAĞLIK VE GÜVENLİK*

H. Sevil Ergür

Yrd. Doç. Dr.,

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,

Mühendislik Mimarlık Fakültesi,

Makine Mühendisliği Bölümü,

Eskişehir

hsergur@ogu.edu.tr

ÖZ

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 oluşumunun zayıf olması, 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. Bu çalışmada, pnömatik taşıma sisteminde karşılaşılan riskleri azaltmak, güvenlik ve sistem verimliliğini artırarak maliyeti düşürmek için gerekli yöntemlerle birlikte çözümler de verilmiştir.

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

HEALTH AND SAFETY IN PNEUMATIC SYSTEMS

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 injures and illness. In this study, to reduce risks encountered in pneumatic conveying systems, security and solutions with the necessary means to increase efficiency providing an effective ways to justify the cost of systems are given.

Keywords: Pneumatic transport, compressed air, positive and negative pressure systems, vacuum systems, erosive wear

Geliş tarihi : 06.03.2015

Kabul tarihi : 27.03.2015

* 22-25 Ekim 2014 tarihinde Makina Mühendisleri Odası tarafından İstanbul'da düzenlenen VII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi'nde sunulan bildiri, dergimiz için yazarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Ergür, H. S. 2015. "Pnömatik Sistemlerde Sağlık ve Güvenlik," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 662, s. 63-71.

1. 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 idealdir. 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.

2. TAŞIMA ŞEKİLLERİ

Malzemenin boru hattında nasıl taşınacağı ve belirlenen akış terminolojisi 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 edilir ve değişik yollarla beslenirler. Toz ve karmaşıklık, mekanik konveyör ile bunker arasındaki zayıf integrasyondan kaynaklı olabilir. Kapalı çevrimli olabilirler ve taşıma rotası üzerinde saptırma valfleri dışında hareketli parça bulunmaz. Blowtanklar, ventüriler ve vakum nozulları gibi besleme ünitelerinde hareketli eleman bulunmaz [1]. Taşıma şekillerinin belirlenmesinde, malzeme tane yapısı, hava akış hızı ve kullanılan ekipman etkilidir. Örneğin taneli malzeme taşınmasının ve tesisatta kullanılacak dirseklerin fazla olmasının yanı sıra, yeterli basınç ve debiye sahip olunmaması halinde de malzemenin askıda kalması zorlaşacaktır. Tıkanmaya sebep olan bu faktörler taşınma şekillerinin doğru seçilmesinde önemlidir [1, 2].

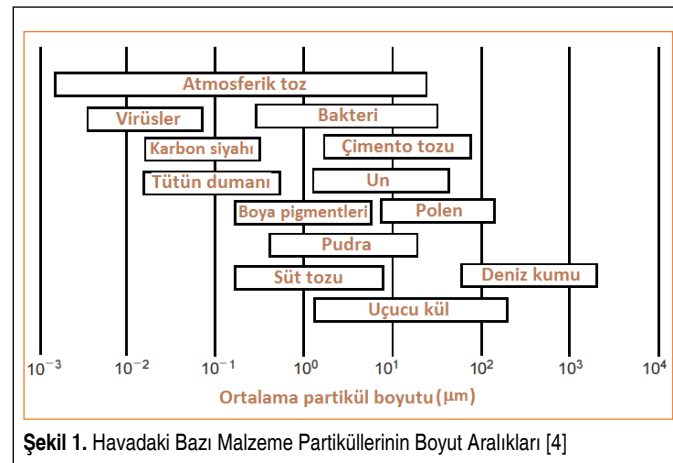
2.1 Toz Riskleri

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 birçok 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 bu kazada 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 taşımaları sistemlerde ise kazalar daha az görülmektedir.

2.2 Toz Emisyonu

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

Boyutları 0.5-5µ arasında olan partiküllerin düşerek ciğerlerin alt bölgesinde toplanması, nefes darlığı ve solunum yolları enfeksiyonlarını tetikleyebilir. Dolayısıyla, küçük taneli tozların atmosfere emisyonu engellenmelidir. Büyük taneli partiküllerin emisyonu da benzer sağlık sorunlarına yol açmaktadır.



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

2.2.1 Sağlığa Zararlı Tozlar

Havada asılı halde, gözle görülebilen küçük partiküllerin çapları yaklaşık 50-100 µ arasında değişir. Ancak ciğerler için en tehlikeli partiküllerin 0.2-5µ aralığındadır. Çok ince taneli malzemeler ile tozun birlikte olduğu durumlar tehlikelidir. Tozun görünmüyor olması, havada tehlikeli tozun olmadığı anlamına gelmez. Büyük partiküller, tehlikeli küçük partiküllere göre tabana çok daha çabuk ulaşır. Bunların çoğu, ciğerlerde sürekli doku bozulmasına neden olabilir. Endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan havadaki tozlar genelde 10 mikronun altındadır. Genelde 10 µ'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 alerjik 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 (<0.2µ) ciğer dokusunda birikmesi kolaydır. Bunların 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 pnömokonyoz (toz hastalığı) sebep olur. Semptomların başında, genelde kronik nefes darlığı ve solunum yolu enfeksiyonuna hassasiyet gelmektedir [3, 4]. Tozun neden olduğu diğer hastalıklar zatürre ve kanserdir. Bu tozlarla ilgili tehlikeler, aşağıda, gruplar halinde anlatılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. En Çok Karşılaşılan Tozlar

<p>I. Grup: Çok Tehlikeli Her zaman uzman tavsiyesi alınmalıdır. Berilyum: Özellikle oksitli olanları tehlikelidir. Silis (SiO₂): Isıtılmış haldeki silis, biyolojik değişim göstererek tehlikeli olan sönmüş kizelgura dönüşür. Krokidolit (Mavi Asbest): Göğüs ve karın zarında kötü huylu tümör oluşumuna yol açar.</p>
<p>II. Grup: Tehlikeli Bu tozların gözle görünür olmaları veya olmamaları durumu değiştirmez. Asbest: Mavi asbestten farklı olarak, ticari hayatta amozit (kahverengi asbest) ve elyafı serpantini (beyaz asbest) tanımlar. Silis: Kuvars, silikat tuğla, bileme taşı vb. içerir Karışık Tozlar: %20 veya daha fazla serbest silis, çömlek tozu, granit tozu ve dökümhane tozu, şamot toprak tozu içerir.</p>
<p>III. Grup İhml 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.</p>
<p>IV. Grup En Az Riskliler Alüminyum, cam, amyant, perlit ve tozları, silikatlar, kalay ve oksitleri, zirkonyum silikat ve oksitleri, barit, karborandum, çimento, zımpara, ferrosilisyum, demiroksit, kireç taşı, magnezyum oksit ve çinko oksit [5, 6].</p>

2.2.2 Toz Konsantrasyon Değerleri

1974'te yayımlanan 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].

2.2.3 Tozun Önlenmesi

Tozluluk testi veya malzeme ile ilgili deneyimlere göre, tozun üretimi sorun yaratacağından malzeme tozluluğunu düşürme metodlarına daha fazla önem verilmelidir. Tozları azaltılması için imalat prosesini tekrar gözden geçirmek gerekir. Partiküllerin toplanmasının belirgin etkisi vardır [6]. Taşıma sırasında toz oluşuyorsa, taşıma parametrelerinin veya taşıma yolunun değiştirilmesi gerekebilir.

3. 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, malzemenin niteliğine ve atmosfere atılma miktarına bağlıdır [6, 7]. Yapılan araştırmalara göre, tehlike için partikül boyutu 200 µ'nun altında olmalıdır. Pnömatik taşıma sistemindeki herhangi bir noktada veya taşıma çevrimindeki belli bir süreçte, seyreltik ya da yoğun fazda, pozitif veya negatif basınçlı

Tablo 2. Bazı Malzemelerin Patlama Karakteristikleri [8]

Malzeme	Minimum Ateşleme Sıcaklığı (°C)	Minimum Patlama Konsantrasyonu (kg/m ³)	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

sistemde malzeme, süspansiyon şeklinde dağılmış haldedir. Yasal Sağlık ve Güvenlik şartlarının sağlanması için bir toz patlama uzmanının önerilerine uyulması gerekir [7].

3.1 Ateşleme Kaynakları

Patlamanın gerçekleşmesi için iki şartın sağlanması gerekir. Birincisi, yeterince enerjik ateşleme kaynağının mevcudiyeti; ikincisi de hava içindeki malzemenin konsantrasyonudur. Endüstride sıkça rastlanan 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, 350°, 410° ve 420°C'dir [9]. Minimum ateşleme enerjisi, sıcak kesme, sürtünme ve elektriklelenmeyle 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].

3.2 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/m³ şeklindedir [8]. Malzeme konsantrasyonu artırılacak olursa, patlamanın gücü artar. Toz konsantrasyonu stokiyometrik sınırı aştığında, toz sönmelenir. Sonuç olarak, alev yayılması yok ise konsantrasyon, aranan değer olan üst patlama sınırındadır. Malzemenin uniform dağılımına ulaş-

ması zor olduğu için, bu sınırın belirlenmesi kolay değildir.

3.3 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 (Tablo 2). Bu tabloda partiküllerle ilgili patlama karakteristikleri verilmiştir. Büyük partiküllerin emisyonu sosyal ortamda şikayetlere yol açabilir.

3.4 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 kırışlarını, taşıyıcı kolonlarını, çıkıntıları vb. titreşime zorlayabilir. Bunlar, ikinci patlamaya zemin hazırlayarak fabrikada yıkıma ve çalışanların yaralanmasına, hatta yaşamlarını yitirmelerine yol açabilir [11]. Bu nedenle, pnömatik sistemlerde oluşacak patlamanın bina içine yönlendirilmesi doğru değildir.

3.5 Oksijen Konsantrasyonu

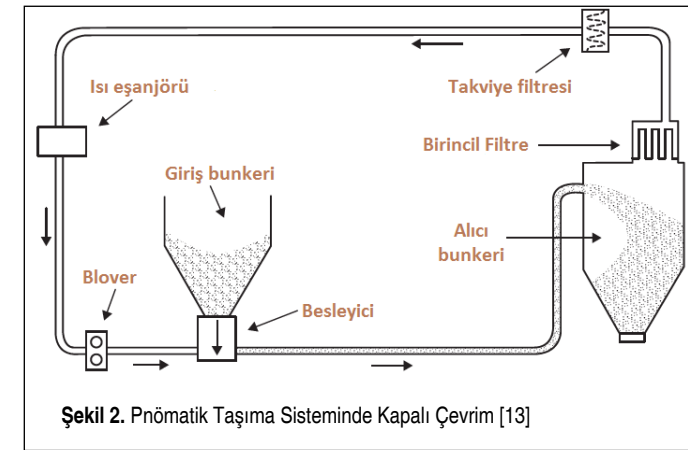
Toz patlamalarında ölçülebilen diğer karakteristik, patlamanın oluştuğu taşıyıcı gaz içindeki oksijen konsantrasyonudur. Havadaki oksijen yüzdesi azaltılarak elde edilen konsantrasyonda alevin desteklenmesi zorlaşır. Patlayıcı özelliğindeki malzeme için, hava yerine azot gibi asal gaz kullanılması önerilir.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

4. TAŞIMA SİSTEMLERİ

Taşıma uygulamalarında pnömatik taşıma sistemlerinin önemi büyüktür. Taşıma, genellikle konvensiyonel, 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].

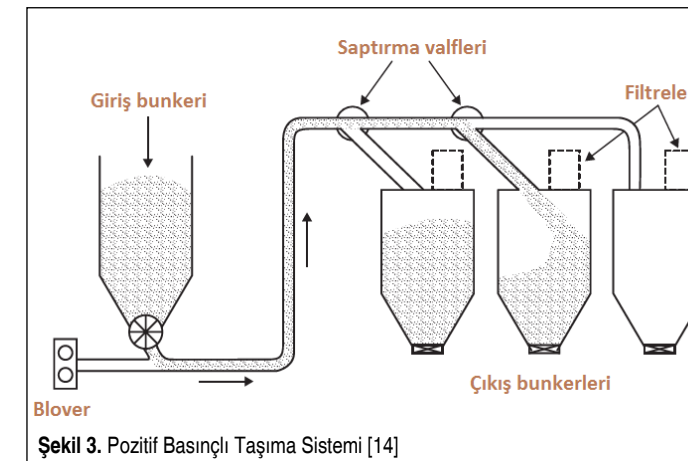
4.1 Kapalı Sistemler

Zehirli ve radyoaktif malzemelerin taşınmasında taşıyıcı havanın atmosfere atılmaması

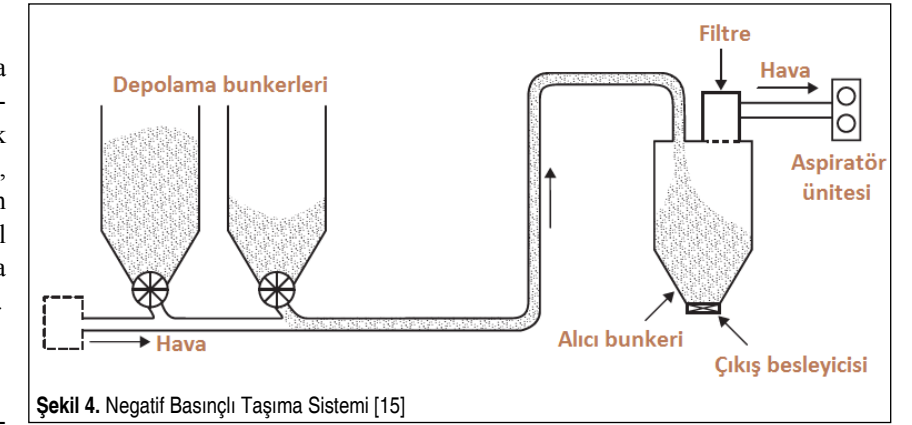


veya sıkı kontrol altında regüle edilmesi gerektiğinden kapalı sistem (Şekil 2) kullanımı kaçınılmazdır.

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, bloverden sonra ise sistem vakum altında, önce ise pozitif basınçlı sistem olarak çalışacaktır.



Şekil 3. Pozitif Basınçlı Taşıma Sistemi [14]



Şekil 4. Negatif Basınçlı Taşıma Sistemi [15]

4.2 Açık Sistemler

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

4.2.1 Pozitif Basınçlı Sistemler

Şekil 3'te 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].

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

4.2.2 Negatif Basınçlı (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'te görüleceği 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].

5. SİSTEM ELEMANLARI

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

5.1 Bloyerler ve Kompresörler

Hava aktarımı için genelde pozitif yerdeğiştirmeli makineler tercih edilir. Basınç ve volümetrik debiye göre sınıflandırılır.

lan 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 basınçsıcaklık değerlerine göre, taşıyıcı gazın sıkışabilirliği unutulmamalıdır. Birçok hava hareketlendiricide sıkışma işlemi adyabatik olup, kompresörü terk eden havanın sıcaklığı oldukça yüksektir [17]. Örneğin 20°C'de emilen hava, pozitif yerdeğiştirmeli 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.

5.2 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 dönmelerini 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.

5.3 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 blowerler 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].

5.4 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].

6. PNÖMATİK TAŞIMA ANALİZİ

6.1 Ham Maddelerin Taşınması

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

6.2 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].

6.2.1 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 yanı sıra, 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 antistatik (elektrik akımını durdurucu) elbise ve uygun ayakkabı giymeleri önerilir [21, 23].

6.2.2 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, yoğunlaşma ve donma olasılığı mutlaka dikkate alınmalıdır.

6.3 Yıpranmış Malzeme Partiküllerinin Etkisi

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

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

6.4 Eroziyon Aşınma

Taşınacak 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. Eroziyon aşınma mukavemetli malzeme seçimi ve özel dirseklerle azaltılabilir; ancak tamamen ortadan kaldırılamaz. Bazı durumlarda, düz borunun aşınmayı azalttığı da görülmüştür [16].

6.5 Malzeme Birikiminin Taşıma Performansına Etkisi

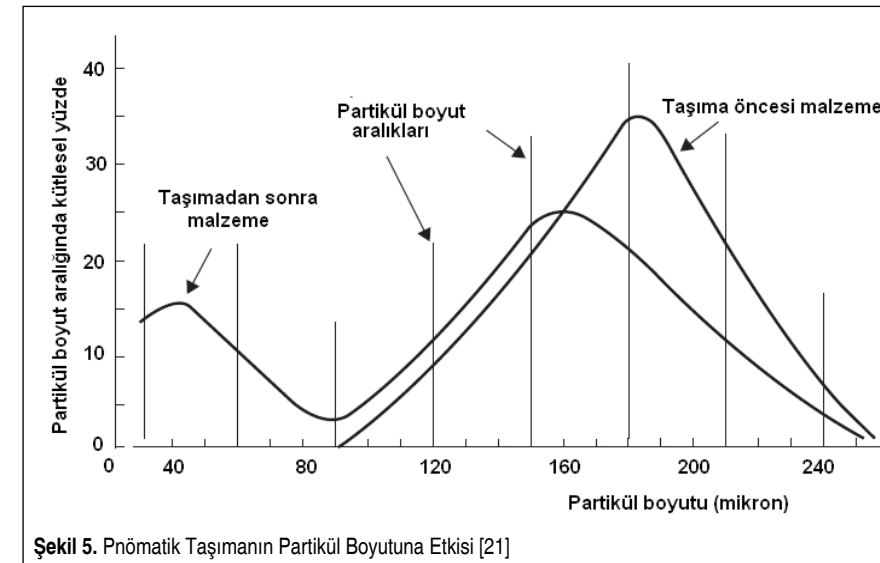
Uzun borulu ve büyük çaplı tesisatlardaki akışta, seyreltik fazdaki malzemenin süspansiyonu sonucunda, boru tabanında birikme oluşabilir. Kömür tozunda olduğu gibi, bu tür malzemelerin birikimi yanmaya ve hatta patlamaya yol açabilir. Hava hızının artırılması, bu soruna çözüm getirmekle birlikte, ideal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

6.5.1 Boru Hattının Temizlenmesi

Boru hattının malzeme artıklarından temizlenmesi için “kör Te bağlantısı” yerine, yarıçap verilmiş dirsekler kullanılmalıdır. Taşınan 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 kısalmaktadır. 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 temizlenmesi 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].

6.6 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. Konvansiyonel sistem-



Şekil 5. Pnömatik Taşımanın Partikül Boyutuna Etkisi [21]

lerde tesisatta kalan artık malzeme, üflenerek ya da emilerek çıkartılır [22].

7. 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].

7.1 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 Tablo 2'de sınıflandırılmıştır.

Pnömatik sistemin korunması için çok farklı metotlar bulunmaktadır. Patlayıcı özelliğe sahip tozlu ve taneli malzemelerin dağılımı, pnömatik taşınmanın 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]:

a) Ateşleme kaynaklarının azaltılması ve ateşlemeden korunma

b) Patlamanın tam rotasında emniyetli olarak kapanması veya patlamanın dışarıya yayılmaması

c) Meydana çıkarma ve önleme

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

7.2 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].

7.3 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].

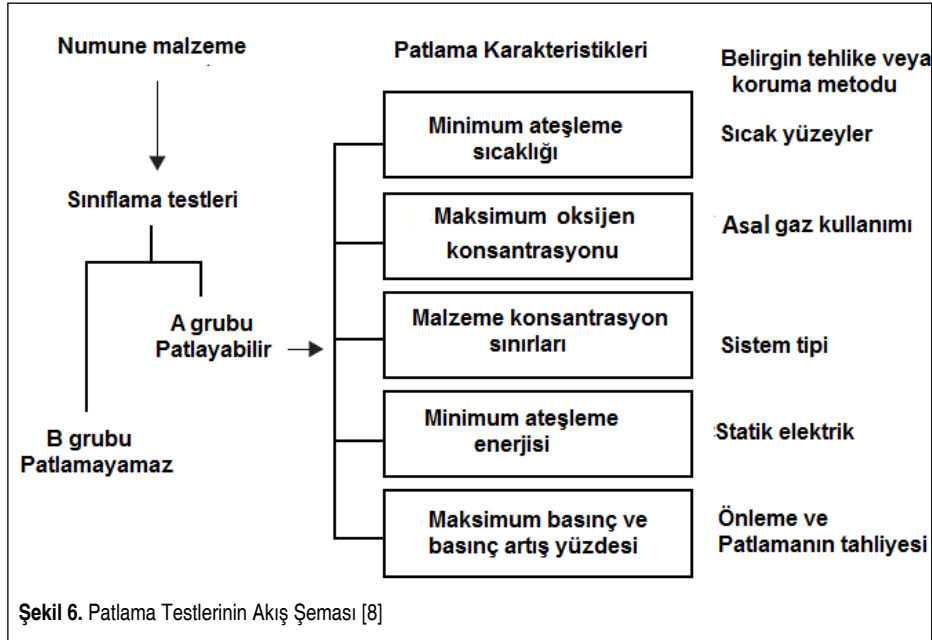
8. SONUÇ

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, filtrasyon ünitelerinde ve blow tanklarda ortaya çıkar. Pnömatik taşınmanın 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. Semptomların başında, kronik nefes darlığı ve solunum yolu enfeksiyonları gelmekte, daha ilerleyen vakalarda ise zatürre ve kanser oluşmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Onley, J. K., Firstbrook, J. 1978. "The Practical Application of Pneumatic Transport Techniques to the Raising of Mineral from Deep Shafts," Proc. Pneumotransport 4. BHRA Conf., June, California.
2. Field, P. 1982. "Dust Explosions," Handbook of Powder Technology, Editors: Williams, J. C. and Allen T., vol 4., Elsevier, Amsterdam.
3. Cross, J., Farrer, D. 1982. Dust Explosions, Plenum Press, New York.
4. HMSO. 1970. HM (UK) Factory Inspectorate, Health: Dust in Industry, Technical Data Note 14, HMSO, London.
5. Schofield, C. 1982. "Dust: The Problems and Approaches to Solutions," in Proc. Solidex 82 Conf., March/April, Paper B1, Harrogate, UK.

6. HMSO. 1980. Health and Safety Executive, Threshold Limit Values, Guidance Note EH 15/80, HMSO, London.
7. HMSO. 1983. Corn Starch Dust Explosion at General Foods Ltd., Banbury, Health and Safety Executive Report, HMSO, London.
8. HMSO. 1976. HM (UK) Factory Inspectorate, Dust Explosions in Factories, Health and Safety at Work, Booklet no. 22 HMSO, London.
9. Raftery, M. N. 1962. Explosibility Tests for Industrial Dusts, Fire Research Technical Paper, no. 21. Ministry of Technology and Fire Offices Committee, London.
10. Woodcock, C. R., Mason, J. S. 1987. Bulk Solids Handling: An Introduction to the Practice and Technology, Chapman and Hall, New York.
11. Palmer, K. N. 1973. Dust Explosions and Fires, Chapman and Hall, London.
12. HMSO. 1974. 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.
13. Mills, D. 1999. "Similarities and Differences between Conventional and Innovatory Systems for Dense Phase Pneumatic Conveying," Powder and Bulk Handling, vol. 3, p. 15-23.
14. Geldart, D. 1973. "Types of Gas Fluidization," Powder Technology, vol. 7, p. 185-292.
15. Hanrot, J. P. 1986. "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, 18 March 1986, New Orleans, p. 103-109.
16. Occupational Safety and Health Archive, 1990, "Safe Use of Granulators in the Plastics Industry", ISBN: 0-477-03472-1, p. 1-22, Wellington, New Zealand.
17. Kaulfersch, A. J. 2007. Control Engineering, Barrington Stoke Publishers, U.K.
18. Billinge, K. 1979. "The Frictional Ignition Hazard in Industry- A Survey of Reported Incidents from 1958-1978," Fire Prevention Science and Technology, vol. 24, no. 6, p. 242-250.
19. Zeeuwen, P. 2010. Percentage of Flammability of Substances, Chilworth Technology Ltd. Southampton, p. 11-19
20. Pritchard, D. K. 2004. "Literature Review-Explosion Hazards Associated with Nanopowders," Fire and Explosion Science Group, EC/04/03 Harpur Hill, Bookstone, England.
21. Jones M. G., Mills, D. 1990. "Product Classification for Pneumatic Conveying," Powder Handling and Processing, vol. 2, no. 2.
22. Mills, D. 2001. "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., Kalman, H., Elsevier, Amsterdam, p. 303-387.
23. Mills, D. 2003. "An Investigation of Unstable Region for Dense Phase Conveying in Sliding Bed Flow," Proc. 4th Int. Conf. for Conveying and Handling of Particulate Solids, 27-30 May 2003, Budapest, Hungary.



Şekil 6. Patlama Testlerinin Akış Şeması [8]

Tablo 2. Test Aparatlarının Sınıflandırılması [11]

Aparat	Dağılım yönü	Ateşleme kaynağı	Uygulama alanı
Düşey Boru	Yukarı Yönde Düşey	Kıvılcım-Elektrikle Isıtılmış Sargı	Her Tür Toz
Yatay Boru	Yatay	Elektrikle Isıtılmış Sargı	Karbon İçerikler
Alevlendirici	Aşağı Yönde Düşey	Elektrikle Isıtılmış Sargı-Elektrik Kıvılcımı	Karbon ve Metal Tozlar