



PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ VE OPTİMUM TAŞIMA HIZININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN EŞİTLİKLER

Fatih YILMAZ

ÖZET

Katı akışkanların (toz,küçük taneli) taşınmasında kullanılan sistemlerden biriside Pnömatik Tasıma Sistemleridir. Pnömatik Tasıma Sistemleri, pek çok farklı katı akışkanı kapalı borular yardımıyla taşınması sebebiyle ve taşıma hızının belirlenebilmesiyle ayrıca bakımının kolay olmasıyla endüstri tesislerinde tercih edilen bir sistemdir.

ABSTRACT

One of the transportation procedure for solid fluids (powder,particle) is Pneumatic Conveyor System.Easy transportation by pipes,being capable of determining transportation velocity and easy maintenance make this system first choice of transportation in many industrial plant.

GİRİŞ

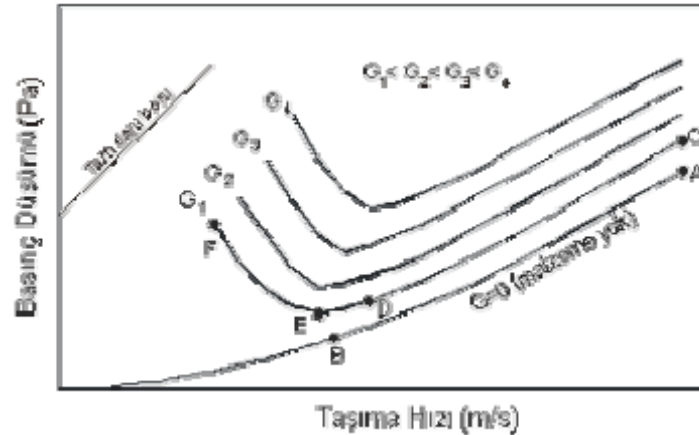
Pnömatik Taşıma Sistemi, basınçlı hava yardımıyla katı akışkanların, bir yerden başka bir yere kapalı borular yardımıyla aktarılmasını sağlayan sistemlerdir. Pnömatik Taşıma Sistemleri genellikle, çimento, seramik, cam, döküm, otomotiv sanayilerinde, çimento, kalsit, demir tozu, un, şeker vb. gibi akışkanların taşınmasında kullanılır.

Pnömatik Taşıma Sisteminin tespiti için, akışkanın cinsi, taşıma kapasitesi (ton/saat), akışkanın yoğunluğu (kg/lt), parça büyüklüğü, akışkanın nemi, akışkanın sıcaklığı, taşıma mesafesi ve ürünün nereden nereye taşınacağı (silodan kamyonu) öğrenilmesi gereken bilgilerdir.

Pnömatik Tasıma Sistemlerinde, katı akışkanların kapalı borular vasıtasıyla taşınması sayesinde, hem ürünün dış etkilerden yalıtılması sağlanır, hem de doğacak tozumanın veya hava kirliliğinin önüne geçilmesi sağlanır. Ayrıca, Pnömatik taşıma Sistemini oluşturan enstürmanların çoğu otomatik kontrol malzemeleri olduğu için kontrolü çok kolaydır. Bir PLC sistemiyle rahatlıkla taşıma yapılabilir.

Yüksek enerji maliyetini ve parçacık boru aşınmasını azaltmak için katı parçacıkların yatay boruda pnömatik olarak taşınması sırasında borudan geçen gaz hızının (taşıma hızı) olabildiği kadar düşük olması gerekmektedir. Taşıma hızının yüksek olması, basınç düşümünü arttırdığı gibi taşıma işlemi esnasında daha fazla enerji kullanılmasına ve parçacıkların yüksek hızda hareket etmeleri nedeniyle boru sisteminin ve parçacıkların aşınmasına da neden olmaktadır. Ancak, taşıma hızının çok düşük olması; yatay boru içerisinde taşınan parçacıkların yer çekiminin etkisiyle boru tabanına toplanarak kalıcı bir tabaka oluşturmasına, yatay boruda veya kanalda tıkanmalara ve basınç düşümünün artmasına neden olmaktadır [1].

Yatay boruda katı-gaz akışının yapısı genel olarak en iyi şekilde, Şekil 1'de verilen ve parçacık kütleli debisi (G) bir parametre olmak üzere boru sistemindeki basınç düşümünün taşıma hızına bağlı değişimini gösteren faz diyagramlarından anlaşılmaktadır. Şekil 1'de $G=0$ ile gösterilen AB eğrisi yatay boruda sadece gaz olması durumunda oluşan basınç düşümünü göstermektedir. Bu durumda; görüldüğü gibi taşıma hızı arttıkça basınç düşümü de artmaktadır. Sistemde gaz ile birlikte parçacık olduğu durumda ise; yüksek taşıma hızlarında (C-D arasında) sistemde türbülans etkisinden dolayı parçacıklar boru içerisinde gaz ile birlikte hareket etmekte ve bu aralıkta boru tabanında parçacık toplanması meydana gelmemektedir. Bu aralıkta taşıma hızının azaltılmasıyla basınç düşümü de azalmaktadır. Taşıma hızı D noktasındaki değerinden aşağıya düşürüldüğünde yer çekiminin etkisiyle boru tabanında parçacık konsantrasyonu artmaya başlamaktadır. Katı parçacıkların çaplarının aynı olmaması durumunda boru tabanında hareket eden parçacıklar genellikle büyük çapa sahip olan parçacıklardır. Taşıma hızı daha da düşürüldüğünde, boru tabanında hareket eden parçacıklar sürtünmenin ve parçacık-parçacık çarpışmalarının etkisiyle enerjilerini kaybederek boru tabanında durmakta ve birikmeye başlayarak kalıcı tabaka oluşturmaktadır. Katı parçacıklarının boru tabanında durarak birikmeye başladığı taşıma hızına optimum taşıma hızı denmektedir. Taşıma hızının optimum taşıma hızının üzerinde tutulması durumunda sistemde boru tabanında parçacık birikmesi meydana gelmemektedir. Yapılan deneysel çalışmalar pnömatik taşıma sisteminde minimum basınç düşümünün optimum taşıma hızı civarında olduğunu göstermektedir. Birim uzunluktaki minimum basınç düşümü E noktasında görülür. Eğer taşıma hızı E' den F' ye doğru azaltılmaya devam edilirse basınç düşümü hızlı bir şekilde artmakta olup bu aralıkta taşıma hızının azaltılmasıyla birlikte boru tabanında biriken parçacıkların oluşturduğu tabakanın kalınlığı artmaktadır. Biriken parçacık tabakasının artmasına paralel olarak gaz-parçacık akışının olduğu kesit alanı da daralmaktadır. F noktasında boru kesiti tamamen parçacık ile kaplı olup boru tıkanmış durumdadır.



Şekil 1. Pnömatik taşıma sistemi için Faz Diyagramı

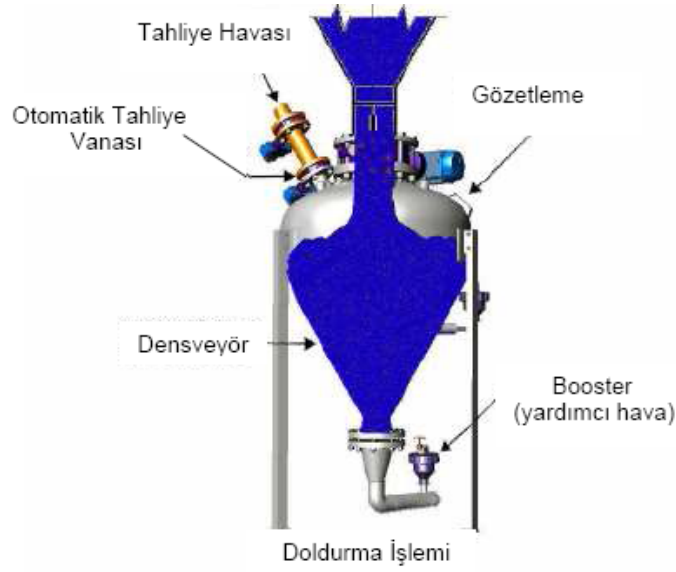
Pnömatik taşıma sistemlerinin ekonomik olabilmesi için yatay boru boyunca parçacık çökmesinin oluşmaması gerekmektedir. Bununla birlikte; pnömatik taşıma yöntemiyle taşınan dökme malzeme için kabul edilebilir optimum taşıma hızının belirlenmesi genellikle deneysel sonuçlara ve tasarımcının deneyimlerine dayanmaktadır. Birçok araştırmacı, belirli bir malzeme için optimum taşıma hızının ve basınç düşümünün hesaplanması konusunda en iyi yöntemin; taşıma sisteminin bir prototipi üzerinde deney yapılması olduğunu belirtmişlerdir [2]. Ancak, bu yöntem oldukça zaman alıcı ve uğraş gerektiren bir yoldur.

Bu çalışmada, pnömatik taşıma sistemlerinde önemli bir parametre olan taşıma hızına etki eden faktörler tartışılmış ve optimum taşıma hızının belirlenmesi için literatürde yapılan çalışmalar incelenerek en uygun sonuçları veren formül belirlenmiştir.

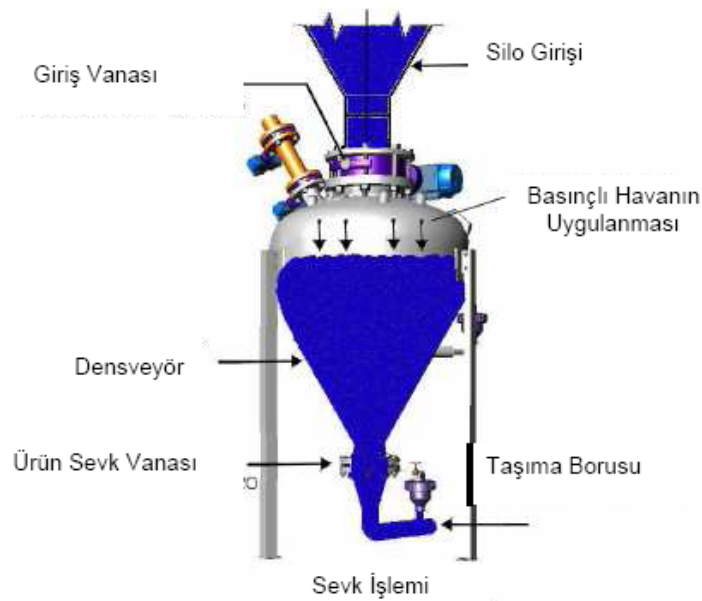
PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Densveyör (transporter), bir silonun veya bunkerin vb. altına yerleştirilir. Daha sonra densveyörün içine ürün almak için ürün giriş valfi ve hava tahliye valfi açılır. Bu valfler açıldığında densveyörün alt kısmındaki pnömatik aktüatörlü kelebek vana otomatik olarak kapalı konuma gelir. Ürün tam olarak densveyörün içine dolduğunda ürün giriş valfi ve hava tahliye vanaları kapanır. Bundan sonraki aşamada densveyörün alt kısmındaki pnömatik aktüatörlü kelebek vana otomatik olarak açılır ve basınçlı hava densveyörün üst kısmından baskı yaparak, ürünün itilmesini sağlar ve taşınacak ürün sevk borularına geçer. Bu işlem bir devirdir ve sürekli bu şekilde devam eder. Her ürün densveyörün içinden borulara itildiğinde, borulardaki ürünlerde tekrar ilerlemeye devam eder. Densveyörün içine her ürün alındığında borulardaki ilerleyiş durur.

Taşıma işlemi, ürün aktarılan yerdeki üst seviyeye, ağırlığa göre ve ürünün alındığı yerdeki alt seviyeye göre sinyal alır ve işlem sonlanır.



Şekil 2.



Şekil 3.



TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ VE TAŞIMA HIZININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN EŞİTLİKLER

Pnömatik taşıma sistemlerinde kapasitenin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri hızdır. Taşıma hızının aşırı olması durumunda aşınmalar kaçınılmazdır. Bu durum işletmelere daima ek maliyet getirmektedir. Hızın gereğinden yavaş olmasında hem kapasiteyi düşürür hemde ürünün boru yüzeyinde tabakalaşmasına ve tıkanmasına neden olabilir.

Bu durumda, borulama ek yerlerinde akışkana uygun ekipmanlar kullanılması ve en uygun taşıma hızının hesaplanması gerekmektedir.

Literatürde, yatay borularda iki fazlı akış karakteristikleri ve akış modellerinin anlaşılabilmesi için değişik parametreleri göz önüne alan deneysel ve teorik çalışmalar mevcuttur. Rizk [4], büyük çapa sahip parçacıkların (0.7 mm'den 6 mm'ye kadar) optimum taşıma hızları U_t için su eşitliği geliştirmiştir.

$$U_t = 10^{\delta/\kappa} m^{\delta/\kappa} (gD)^{0,5} \quad (1)$$

Burada, m katı-gaz kütsel debi oranını göstermektedir. d ve k ise parçacık çapına bağlı büyüklükler olup $d = 1.44 dp + 1.96$ ve $k = 1.1 dp + 2.5$ ile ifade edilmektedir. Rizk'in bu eşitliğinde önemli bir parametre olan parçacık yoğunluğu göz önüne alınmamıştır.

Matsumoto ve dig. [5], optimum taşıma hızının hesaplanması ile ilgili olarak detaylı deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyler esnasında farklı yoğunlukta (1000 kg/m³ ile 8700 kg/m³ arasında) ve çapta (300 mm ile 2 mm arasında) parçacıklar kullanılarak su eşitlik önerilmiştir.

$$U_t = 13.069m^{1/3} \left(\frac{\omega_{f_0}}{10} \right)^{1,75/3} \left(\frac{\rho_g}{\rho_p} \right)^{1/6} (gD)^{1,25/6} \quad (2)$$

Matsumoto ve dig. [6], ayrıca 120 mm ile 2.1 mm arasında değişen çaplardaki parçacıklar ile deneysel çalışma gerçekleştirmişler ve optimum taşıma hızının hesaplanması için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir:

$$U_t = 9,6581m^{1/3} (\omega_{f_0})^{2,3/3} \left(\frac{\rho_g}{\rho_p} \right)^{0,55/3} (gD)^{0,7/6} \quad (3)$$

Matsumoto ve dig. [7], 20mm'den 1620 mm'ye kadar değişen çaplardaki katı parçacıkların yatay borularda pnömatik olarak taşınması için gerekli olan optimum taşıma hızı ile ilgili deneysel çalışmalar yapmışlar ve daha önceki deneysel çalışmalarında elde edilen sonuçları da kullanarak küçük ve büyük çaptaki parçacıklar için iki farklı eşitlik geliştirmişlerdir. Parçacığın küçük veya büyük parçacık sınıfına girmesi ile ilgili kriter ise aşağıdaki formülle verilmiştir:

$$\frac{d_p}{D} = 1,39 \left(\frac{\rho_g}{\rho_p} \right)^{-0,74} \quad (4)$$

Burada dp^* kritik parçacık çapı olarak ifade edilmektedir. Parçacık çapının kritik parçacık çapından küçük olduğu durumda parçacık, küçük parçacık sınıfına, büyük olduğu durumda ise büyük parçacık

sınıfına girmektedir. Ortalama kritik çaptan daha düşük çapa sahip parçacıklar için optimum taşıma hızı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$U_t = 1.158m^{0,25}(gD)\left(\frac{D}{d_p}\right)^{1,43/4} \quad (5)$$

d_p^* 'dan daha büyük çapa sahip parçacıklar için optimum taşıma hızı ise

$$U_t = 1.2408\omega_{f_0}^{1,0249}(gD)^{-0,5249}\left(\frac{\rho_g}{\rho_p}\right)^{0,2936} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Schade [8], tarafından yapılmış olan deneysel çalışma sonucunda optimum taşıma hızı için aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir:

$$U_t = m^{0,11}(gD)^{0,5}\left(\frac{D}{d_p}\right)^{0,025}\left(\frac{\rho_g}{\rho_p}\right)^{0,34} \quad (7)$$

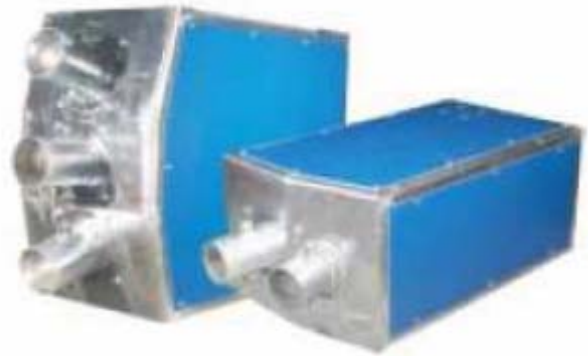
İki fazlı akışta basınç düşümünün en az olduğu noktadaki optimum taşıma hızı ile ilgili olarak Ochi [9] tarafından yapılan deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$U_t = 1,05f_s^{0,47}m^{0,25}\omega_{f_0}^{0,82}(gD)^{0,1} \quad (8)$$

Ochi; deneysel sonuçlarıyla bu eşitliği kıyasladığında, eşitlikten elde edilen sonuçların %5 hata ile deneysel sonuçlara uyum sağladığını belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan diğer sonuçlarla karşılaştırılmış ve deneylerden elde edilen verilerin %15'lik bir hata ile diğer sonuçlarla uyum sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 4. Özel Dirsek



Şekil 5. Yol Ayırıcı Valfler

BAZI PNÖMATİK TAŞIMA UYGULAMALARI



Şekil 6. Otomotiv Endüstrisi



Şekil 7. Döküm Endüstrisi



Şekil 8. Cam Endüstrisi

SONUÇ

Pnömatik taşıma sistemleri, ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması, çok fazla bakım ve kontrol gerektirmemesi, taşınan malzemenin çevre etkilerinden korunmuş olması ve çevre sağlığı için temiz bir yöntem olması açısından diğer taşıma yöntemlerine göre avantajlıdır. Ancak, enerji kullanımlarının yüksek olması, borularda aşınmalara neden olması (özellikle yön değiştirici dirseklerde), parçacık-boru ve parçacık-parçacık çarpışmalarından dolayı parçacıkların aşınmaya uğraması sistemin dezavantajlarından biridir.

Ayrıca, bu çalışmada, pnömatik taşıma sistemlerinde önemli bir parametre olan optimum taşıma hızına etki eden faktörler tartışılmıştır. Optimum taşıma hızına etki eden en önemli parametreler boru ve parçacık çapı, katı-gaz kütleli debi oranı, gaz ve parçacık yoğunluğudur. Tasarımı yapılan bir sistem için optimum taşıma hızının belirlenmesi ile parçacıkları taşımak için fazla enerji harcanması önlenmesi gibi taşınan parçacıkların ve borunun fazla hızdan dolayı aşınmaları da önlenmiş olacaktır. Bu amaçla literatürde mevcut olan eşitlikler gözden geçirilmiş ve bu eşitlikler içerisinde Matsumoto ve dig. [7] tarafından önerilmiş olan eşitliklerin tasarım aşamasındaki pnömatik taşıma sistemlerinde optimum taşıma hızının belirlenmesi amacıyla kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

[1] Air-Tec System İTALYA

[2] Cuma KARAKUŞ, Hüseyin AKILLI, Pnömatik Taşıma Sistemlerinde İki Fazlı Katı Gaz Akışında Optimum Taşıma Hızının Belirlenmesi

[3] Akıllı,H., KARAKUŞ,C., IV GAP Mühendislik Kongresi, 2002

ÖZGEÇMİŞ

Fatih YILMAZ

1978 yılında Üsküdar'da doğdu. 1998 tarihinde Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat MYO Elektrik Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında SMS Sanayi Malzemeleri Üretim ve Satışı Ltd.Sti.'ne (TORK) girdi. Halen SMS-TORK firmasında Satış Şefi olarak çalışmaktadır.