

768517

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLER VE TASARIMINDA
ETKİLİ OLAN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Makina Müh. Barış VURAL

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ

Prof. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ

Doç. Dr. C. Erdem İmrek (İTÜ)

Y. Doç. Dr. Muharrem Beyoğlu

İSTANBUL, 2005

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLER VE TASARIMINDA
ETKİLİ OLAN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

Makina Müh. Barış VURAL

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	i
ŞEKİL LİSTESİ	ii
ÇİZELGE LİSTESİ	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
1. GİRİŞ	1
2. DÖKME YÜK TAŞIYAN HAVALI GÖTÜRÜCÜLER	4
2.1 Genel Tanım	4
2.2 Pnömatik İletmenin Temel Prensipleri:	6
2.3 İletme Tesislerinde Kullanılan Sistemler:	8
2.3.1 Emme İletme Tesisi:	8
2.3.2 Basınçlı İletme Tesisi:	11
2.3.3 Hem Emme Hem de Basınç Tesisi	12
2.4 Havalı Götürücülerin Parçaları.....	14
2.4.1 Alış Birimi.....	14
2.4.2 Emme Ağzları	18
2.4.3 Götürme Borular	19
2.4.4 Yol Değiştirme Vanaları:	19
2.4.5 Separatörler (Depolar):	21
2.4.6 Toz Toplayıcılar (Filtreler)	21
3. PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLERİN TASARIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER:	22
3.1 İndirgenmiş Götürme Uzunluğunun Belirlenmesi:	22
3.2 Götürme Hava Akımının Hızının Hesabı:	24
3.2.1 Pnömatik Taşıma Sistemlerinde İki Fazlı Katı-Gaz Akışında Optimum Taşıma Hızının Belirlenmesi	26
3.2.2 Optimum Taşıma Hızının Belirlenmesinde Kullanılan Eşitlikler	28
3.2.3 Karşılaştırma	30
3.2.4 Sonuç	35
3.3 Karışımın Ağırlık Yığılmasının Hesabı.....	36
3.4 Hava Tüketiminin ve Götürme Borusu İç Çapının Hesabı	37
3.5 Boruda Gerekli Hava Basıncının Belirlenmesi	38
3.6 Körük İçin Gerekli Gücün Belirlenmesi	40
4. ÖRNEK PROBLEM : BASINÇLI BİR HAVA GÖTÜRME DONANIMININ HESABI	42

5. ÖRNEK PROBLEM: EMMELİ BİR GÖTÜRME DONANIMININ HESABI	46
6. HAVALANDIRILMIŞ DÖKME MALZEMELERİN GÖTÜRÜLMESİ İÇİN DONATIMLAR (HAVA KIZAKLARI)	50
7. PARÇA MALLAR İÇİN HAVA TÜPLÜ GÖTÜRÜCÜLER	53
7.1. Borulu PTT Tesisi:	53
8) SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	62



SİMGE LİSTESİ

- a' Yük parçacıklarının boyutu, m
- B $(2-5) \times 10^{-5}$ değerine sahip bir katsayı. Kuru pudra malzemelerde düşük değerler alınır.
- d_b Borunun iç çapını, (m)
- d_p Parçacık çapı
- D Boru çapı
- Fr_t Taşıma hızındaki Froude sayısı
- Fr_p Parçacık serbest düşme hızındaki Froude sayısı
- f_s Kayma sürtünme katsayısı
- g Yerçekimi ivmesi
- L_{ind} İndirgenmiş götürme uzunluğu
- m Katı-gaz kütleli debi oranı
- P_g İndirgenmiş uzunluğu olan götürme borusunun giriş noktalarındaki mutlak hava basıncı
- P_c İndirgenmiş uzunluğu olan götürme borusunun çıkış noktalarındaki mutlak hava basıncı
- Q Donanımın kapasitesi, (t/sa)
- U_t Optimum taşıma hızı
- w_{fo} Parçacık serbest düşme hızı
- V_{hava} Hava tüketimi (m^3/s)
- γ_y Yük parçacıklarının özgül ağırlığı, (kg/m^3)
- γ_{hava} Havanın özgül ağırlığı, (kg/m^3)
- α Yük parçacıklarına bağlı ve onların boyutlarıyla artan katsayı
- λ Temiz havanın harekete karşı direnç katsayısı

Şekil 1.1: Bir beton santralinin çimento silosunda havalı götürme	2
Şekil 2.1: Havalı götürücülerin ana türleri	7
Şekil 2.2: Pnömatik bir emme iletme sisteminin şeması (orta basınçlı sistem).....	8
Şekil 2.3: Yüzer türden bir tahıl boşaltma birimi	10
Şekil 2.4: Vakumlu pnömatik sistem	10
Şekil 2.5: Pnömatik bir basınçlı iletme tesisinin şeması (orta basınçlı sistem)	11
Şekil 2.6: Basınçlı pnömatik sistem	12
Şekil 2.7: Bir kombine emme ve basınçlı iletme tesisinin şeması (Alçak basınç sistemi).....	13
Şekil 2.8: Buhar kazanlarından külün uzaklaştırılması	13
Şekil 2.9: Sabit helezon türü havalı besleyici	15
Şekil 2.10: Otomatik kumandalı ve tepeden boşaltmalı havalı hücreli besleyici	16
Şekil 2.11: Hücre tekerlekli vana	18
Şekil 2.12: Emme ağzı	19
Şekil 2.13: Tablalı ve iki yönlü bir yol değiştirme vanası	20
Şekil 3.1: Pnömatik taşıma sistemi için faz diyagramı	28
Şekil 3.2: Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (küçük çapa sahip parçacıklar için)	32
Şekil 3.3: Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (küçük çapa sahip parçacıklar için)	32
Şekil 3.4: Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi ($m=1$ ve $D=10$)	33
Şekil 3.5: Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (büyük çapa sahip parçacıklar için)	34
Şekil 3.6: Taşıma hızının katı-gaz kütleli debi oranı ile değişimi	34
Şekil 3.8: Karışımın ağırlık yığılmasının indirgenmiş götürme uzunluğuna bağımlılığını gösteren grafik	36
Şekil 3.9: Karışımın yığılmasının (tahıl için) indirgenmiş götürme uzunluğuna bağımlılığını gösteren grafik	37
Şekil 3.10: β katsayısının S değerine bağımlılığını gösteren grafik.....	38
Şekil 4.1: Bir havalı çimento donanımının hesap şeması	42
Şekil 5.1: Emme götürücülü pnömatik sistem şekli	46
Şekil 6.1: Hava kızıağı	51
Şekil 7.1: İki servisin direkt bağlantısı için borulu PTT tesis şeması	53
Şekil 7.2: Borulu PTT kutusu	54
Şekil 7.3: Gönderme ve kabul yeri	55
Şekil 7.4: Parça malların taşınmasında kullanılan bir kapalı devre donanım şeması	56
Şekil 7.5: Pnömatik konveyör taşıyıcısı	57

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Pnömatik iletme tesisleri için (VDI 2329'a göre) takribi işletme değerleri....	6
Çizelge 2.2: Sabit havalı helezon türü besleyicilerin karakteristikleri (Çimento için).....	15
Çizelge 2.3: Havalı hücreli besleyicilerin karakteristikleri (Çimento için)	17
Çizelge 3.1: Dirsekler için eşdeğer uzunluklar (m)	23
Çizelge 3.2: Yük parçacıklarının boyutlarına göre katsayısının değerleri	26
Çizelge 6.1: Hava kızaklarının karakteristikleri	52
Çizelge 7.1: Dökme malzemelerin eğim açıları	58



ÖNSÖZ

Günümüzde küçük atölyelerden büyük sanayilere kadar tüm işletmelerde rekabetin en önemli maddesi üretim zamanı ve kalite olmuştur. Malzeme taşıma sistemleri bu sebeplerle ve yeni teknolojilerle sürekli gelişip özellikle günlük üretim kapasitesine direkt etkide bulunan büyük bir faktördür. Sistemlerin bir çoğu da insan sağlığını korumak için geliştirilmiştir.

İnsan sağlığını koruyan bu kurallara yani iş güvenliği uygulamalarına gün geçtikçe ülkemizde daha çok önem verilmeye başlamıştır. Özellikle koli, kutu, çuval gibi ağırlıkları sekiz saat vardiyayla sürekli kaldıran bir kişinin hem sağlığı, hem de çalışma sürati işletmelere uygulanacak uygun bir taşıma sistemi projesiyle sağlığa kavuşacaktır.

Bu çalışmada, çok geniş bir yelpazesi olan malzeme taşıma sistemlerinin pnömatik kısmında araştırma yapılmış, pnömatik götürücüler ya da pnömatik konveyörler adıyla bilinen hava ile malzeme taşıma konusunda incelemeler ve araştırmalar ele alınmıştır.

Tezimin hazırlanmasında yardımcı olan Sayın Prof. Mustafa Alışverişçi teşekkür ve minnetler sunulur.

ÖZET

Pnömatik taşıma, malzemeleri çevreye zarar vermeden güvenli, ekonomik, esnek tasarımı bir şekilde taşıma imkanı verir. Pnömatik taşımanın temel görevi malzemeyi bir yerden başka bir yere taşımaktır.

Pnömatik sistemin diğer fonksiyonları da ısı değişimi, karıştırma, kurutma, maddecik büyütme, emme, sentez reaksiyonları, hidrokarbonların oluşturulması ve parçalanması, kömürleştirme ve gaz oluşturmada, gaz-katı reaksiyonlarıdır.

Biz emme sistemini, basınç sistemini, ya da emme-basınç sistemini malzemeleri bir boru hattı içinde yeterli hava süratine ulaştırarak taşımak için kullanılır.

Maksimum kapasiteye ulaşmak için kapasiteyi, akış hızını, sistemi çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayıp, taşınacak malzemeye göre sistemin malzeme seçimini doğru yapılması gerekir. Başarılı bir taşıma için sistemi doğru parametreler altında dizayn etmelidir. Bu hedefe ulaşmak için dizayn parametrelerini çok iyi analiz edilmesi gerekir.

Anahtar Kelimeler: Pnömatik taşıma, dizayn parametreleri, emme basınç sistemi

ABSTRACT

Pneumatic handling presents a safe, reliable, economical, and a flexible way of handling materials and one that is harmless to the environment. The main function of pneumatic handling is the transfer of the material from one location to another.

Other functions are heat exchange, mixing, drying, particle growth, adsorption, synthesis reaction, cracking and reforming hydrocarbons, carbonization and gasification, and gas-solid reactions.

We use the vacuum system, the pressure system or the vacuum-pressure system to reach the necessary airspeed we need to carry the materials in pipelines. To have the maximum output we must calculate the capacity, the flow speed, the decision of the system material according to the transferring material and the power we need to run the system. For a successful conveying, we need to design the system under the correct parameters. To reach that goal, we should analyse the design parameters carefully.

Keywords: Pneumatic handling, design parameters, vacuum pressure system, conveying

1. GİRİŞ

Pnömatik ya da havalı götürücüler, dökme malzemeleri (ya da özel taşıyıcılar içinde birim yükleri), bir kanal içinde hareket eden hava akımıyla götürmeye yararlar. Havalı götürücülerin hepsinde ortak olan çalışma ilkesi hareketin hızlı bir hava akımı tarafından yüke iletilmesidir.

Havalı taşımının bir almaşık yöntemi de serbest akışlı pudra ya da küçük parçalı malzemelere havalandırma yoluyla akıcılık kazandırmaktır. Bu ilkeye göre çalışan düzeneklerin içine “hava kızağı” denen havalandırılmış taşıma tekneleri, havalandırılmış tablalar, malzemeyi gevşeterek yükleme teknelerinden ve silolarından boşaltılmasını sağlayan çeşitli tasarımlardaki boşaltıcılar girer.

Standart boyutlardaki taşıyıcılar içinde taşınan birim yükler ise borularda ve basınç altında götürülürler.

Pnömatik sistemin diğer fonksiyonları da ısı değişimi, karıştırma, kurutma, maddecik büyütme, emme, sentez reaksiyonları, hidrokarbonların oluşturulması ve parçalanması, kömürleştirme ve gaz oluşturmada, gaz-katı reaksiyonlarıdır.

Havanın yararlı bir işe dönüştürülme fikri oldukça eskidir. İlk pnömatik taşıma sistemleri 19. yüzyılın sonlarında görülmüştür. Fakat gerçek anlamda bu taşımının önemi 1945 yılından sonra fark edilmiştir.

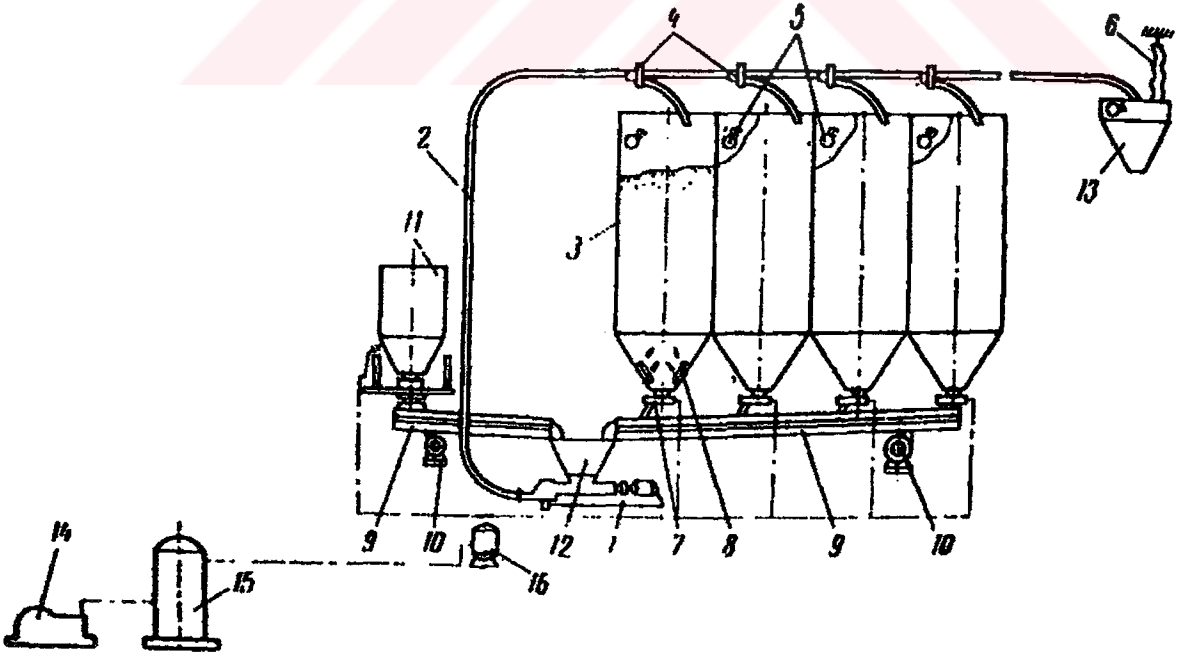
Havalı taşıma endüstrisinin bir çok dalında, inşaat işlerinde, demiryolu ve su yolu taşımacılığında kullanılır. Ayrıca dökme malzemeleri ambarlar ve atölyeler içinde; ambardan yükleyiciye ve demiryolu vagonlarından ya da gemilerden fabrikaların silolarına ya da yükleme yerlerine; vagonların ve gemilerin boşaltılmasında; basınçlı konteynerlerin boşaltılmasında; malzemelerin silolardan kontrollü olarak alınmasında kullanılırlar. Kuru ve serbest akışlı ve pudra durumundaki geniş bir malzeme dilimi havalı sistemde başarı ile taşınır. Bunların başlıcaları :

- Çimento Sanayi: Çimento ve kaba toz
- Alüminyum Sanayi: Killi toprak, alüminyum oksit
- Bira Fabrikaları: Malt, yeşil malt, kaba öğütülmüş tahıl ve diğerleri

- Kimya Sanayi: Kitratlar, fosfatlar, karbit, vs
- Yem Maddeleri: Kaba taneli öğütülmüş hububat, balık unu, artık maddeler vs.
- Tahıl: Buğday, arpa, mısır, pirinç, yulaf, çavdar, vs
- Ağaç ve Kağıt Sanayi: Kıyılmış odun talaşı, kaolin, odun hamuru
- Plastik Maddeler: Granül ve pedra
- Mineraller: Oksitler, tuz, kömür tozu, vs
- Değirmen Endüstrisi: Un, irmik, artık ürünler, vs
- Gıda ve Yemek Sanayi: Süt tozu, çığ kahve, bulgur, un, hububat, yemek tuzu, sanayi şekeri, vs
- Yağlı Tohumlar: Soya fasulyesi, ayçiçeği, keten tohumu

Yukarıda sayılan malzemeleri götürmek üzere değişik tasarımlarda havalı götürücüler kullanılır. Bu götürücülerin kapasitesi ve ana karakteristikleri geniş sınırlar içinde değişir. Bazı türler bir tek boru içinde 300 t/sa kadar yüksek olabilirler. Çalışmakta olan bir fabrika malzemeyi, aktarmasız olarak 100 metre yükselterek 1,8 kilometre uzaklığa taşımaktadır.

Bir havalı çimento taşıma biriminin basit şeması aşağıda görülmektedir.



Şekil 1.1 Bir beton santralinin çimento silosunda havalı götürme

1. Vidalı (helezon) besleyici
2. Götürme borusu
3. Silolar
4. Yol değiştirme vanaları
5. Seviye göstergeleri
6. Toz toplayıcı (torba filtre)
7. Boşaltma kapakları
8. Havalandırma levhaları
9. Hava kızıağı
10. Körükler
11. Kendiliğinden boşaltmalı hazne
12. Ara hazne (bunker)
13. Beton santrali haznesi
14. Kompresör
15. Basınçlı hava deposu
16. Su tutucu

Bir hava akımıyla malzeme taşıyan havalı götürücüler başlıca şu önemli üstünlüklere sahiptirler:

- Malzemeler sızdırmaz borularda taşındığından ve kayıplar önlediğinden, (özellikle tozlu malzemeler için bu geçerlidir) yer ekonomisi ve hava borusunun istenilen doğrultuda bükülebilmesi,
- İlk yatırım maliyetinin düşük olması,
- Hareketli parçaların azlığı nedeniyle az sayıda işletme personeli gereksinmesi,
- Çok fazla bakım ve kontrol gerektirmemesi,
- Taşınan malzemelerin çevre etkilerinden korunmuş olması,
- Tam otomatik ayar imkanı,
- Çevre sağlığı için temiz bir yöntem olması,
- Taşıma prosesinin kolay otomasyonu.

Havalı götürücülerin ana sakıncaları ve dezavantajları:

- Yüksek güç tüketimi,
- Aşındırıcı türden malların taşınması sırasındaki hızlı yıpranma,
- Gürültü rahatsızlığı, tıkanma ve patlama tehlikesi
- Yalnız belirli iletme malları için uygunluk,
- Havalı düzenekler ıslak, topaklanan ve yapışkan malzemeyi taşımaya elverişli değildirler.

2. DÖKME YÜK TAŞIYAN HAVALI GÖTÜRÜCÜLER

2.1 Genel Tanım

Burada hava akımını meydana getirmek için gerekli basınç düşümünün yaratılma yöntemine bağlı olarak havalı götürücüler şu bölümlere ayrılırlar:

- Emme altında çalışanlar
- Basınç altında çalışanlar
- Hem emme hem de basınç altında çalışanlar

Emme altında çalışan götürücülerde malzeme, düşük yoğunluktaki hava içinde, basınç altında çalışanlarda basınçlı bir hava akımı içinde götürülürler. Birleşik sistemler ise iki bölümden meydana gelirler:

1. Kısmi vakum altında çalışan birinci bölüm.
2. Basınçlı hava ile çalışan ikinci bölüm.

Basınçlı götürücülerde hava yoğunluğu daha yüksek ve böylece basınç düşümü de daha fazladır. Bu onları yavaş akımlı malzemelerde ve büyük uzaklıklara taşımada çok etkin yapar. Basınçlı götürücüler başlıca ağır pudra ve kütleli malzemeleri taşımakta kullanılırlar. Malzeme, boruya bir emme ağzı aracıyla girer. Atmosfer basıncının üstündeki basınçta çalışan bir sistemde boruya giriş, bir hücreli besleyici ya da özel tasarımı diferansiyel adımlı bir vidalı (helezon) besleyici ve bir hücre tamburu aracıyla olur.

Emme düzeneklerinde, malzemeyi havadan ayırmak için, seri bağlanmış toz toplayıcı özel separatörler kullanılır. Basınçlı düzeneklerde bu, separatörlerle ya da mal doğrudan doğruya yükleme haznesine besleniyorsa, toz kapanlarıyla yapılır.

Havalı taşıma birimleri ve bunların besleyicileri, sabit, hareketli (raylar, treyler, ya da uzaktan kumandalı ve kendiliğinden hareketli taşıyıcılar üzerine yerleştirilmiş) ya da değişik tasarımlardaki kaldırma palangalarına asılı olabilirler.

Dökme malzeme taşıyan pnömatik konveyörler, teknik olarak hava akışının kinetik enerjisinin, dinamik basınca ve aerodinamik kaldırmaya dönüşmesi ile çalışırlar ve çeşitli şekil ve ölçüdeki partiküllerin bir noktadan diğer bir noktaya taşınabilmesini temin ederler. Tamamıyla kapalı sistem içinde çalıştıklarından, nakledilen malzemeyi dış tesirlerden korurlar, malzeme kayıpları yoktur ve çalışma ortamını kirletmezler. Pnömatik konveyör sistemleri ile malzemeler, inert gaz veya kuru hava kullanılarak taşınırlar. Malzemeler bu sistemlerde bir boru içerisinde iletilir. İletilen malzeme, boru ve diğer ekipmanlarda tıkanıklıklara sebep olmamalı, malzemenin özellikleri bozulmamalıdır. Bu nedenle, pnömatik sistemin seçilmesi aşamasında taşınacak malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Emme havalı iletme tesisi,

- İletme uzunluğu 200 m'ye kadar, maksimum 500 metre (büyük uzunluklar, yatay iletmelerde,
- İletme yüksekliği 30 metreye kadar,
- Maksimum vakum 0,5 bar'a kadar,
- Maksimum tane büyüklüğü 20 mm'ye kadar.

Basınçlı hava iletme tesisi,

- İletme uzunluğu 500 m'ye kadar, maksimum 2000 m (büyük uzunluklar, yatay iletme yollarında),
- İletme yüksekliği 100 m'ye kadar,
- Maksimum iletme basıncı 4 bar'a kadar. (özel hallerde 10 bara kadar)

Çizelge 2.1 Pnömatik iletme tesisleri için (VDI 2329'a göre) takribi işletme değerleri.

	Yükleme μ	Tesis	Basınç Sahası bar	Max iletme kapasitesi Q (t/s)	Max iletme uzunluğu (m)	Tane büyüklüğü
Düşük yoğunlukta iletme	0.....30	Emme tesisi	0,01.....0,6 Vakum	250	400	İnceden kaba tanefiye kadar
		Basınçlı tesis	0,05.....2 Üst basınç	100	600	
Ağır yoğunlukta iletme	30	Basınçlı tesis	0,5.....3 Üst basınç	150	2000	İnceden orta büyüklüktekinе kadar
	30.....500 ve daha fazla	Basınçlı tesis	3.....10 Üst basınç	200	600	İnce
				60	50	Ortadan kaba tanefiye kadar

2.2 Pnömatik İletmenin Temel Prensipleri

İletme prensibi, sert maddecikler kafi olan daha büyük hava hızında, akışkan kuvvetleri tarafından tutulan ve boru donanımı vasıtasıyla sürüklenen sisteme dayanmaktadır.

Bu esnada sert maddeciklerin ivmelenmesi ve biraz yukarı kaldırılması için gerekli enerji, iletme yolu boyunca basınç enerjisinden akıcı araca alınmaktadır.

İletme aracının durum büyüklükleri ve iletilecek malın özelliklerine ve yayılma, boru geometrisi ve diğer şekil vermelere göre, pnömatik iletme tesisleri çok çeşitli iletme durumları gösterebilirler. Bu farklılıklar nedeniyle pnömatik iletme tesisleri bir çok gruplar içinde kısımlara ayrılarak işlenir.

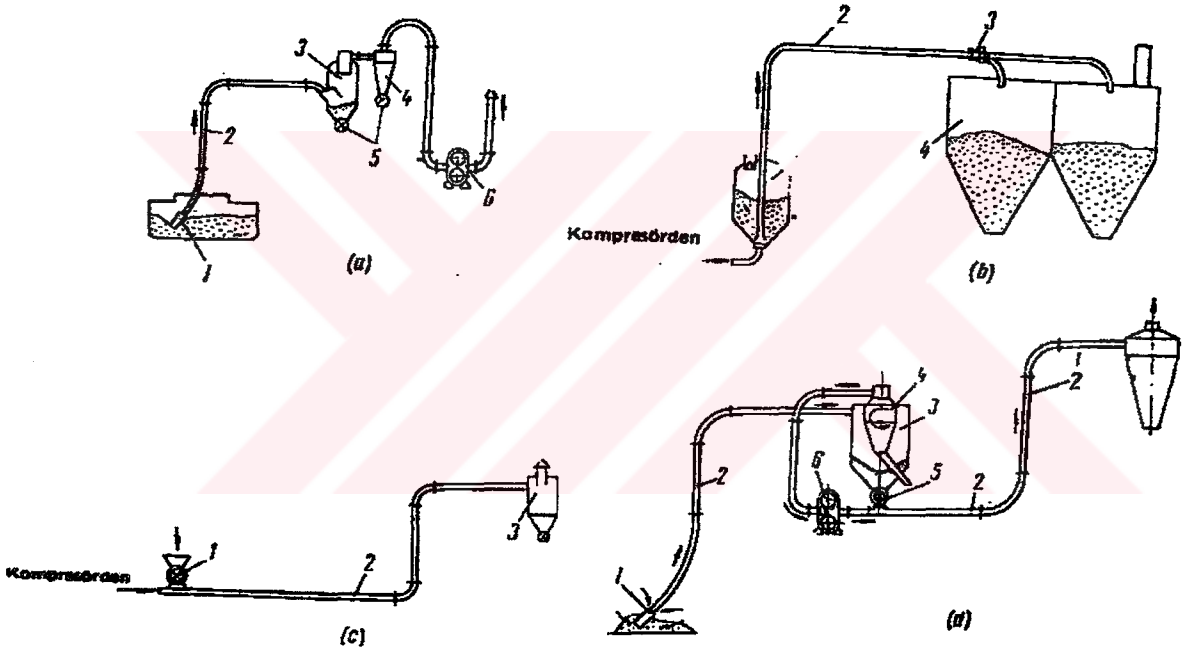
En önemli iletme gruplarına göre ayırma:

VDI-2329 yönergesine göre pnömatik iletme tesisleri üç sahada ayırt edilmiştir. Bu sahalar, birinci yaklaşıklıkla, malın kitlesel iletme kapasitesinin Q , havanın kitlesel iletme kapasitesine oranı ile (karışım oranı μ) ve sert maddeciklerin havada yüzme hızının (kaldırma hızı v_k), hava hızına v_{hava} ile karakterize edilebilirler.

Düşük yoğunluklu iletme (stasyoner uçmalı iletme) : $\mu < 30$, $v_{hava} / v_k \gg 1$

Ağır yoğunluklu iletme (stasyoner olmayan sıkıştırırmalı iletme : $\mu > 30$, $v_{hava} / v_k \approx 1$

Ağır yoğunluklu iletme (stasyoner akmalı iletme) : $\mu \gg 30$, $v_{hava} / v_k \ll 1$



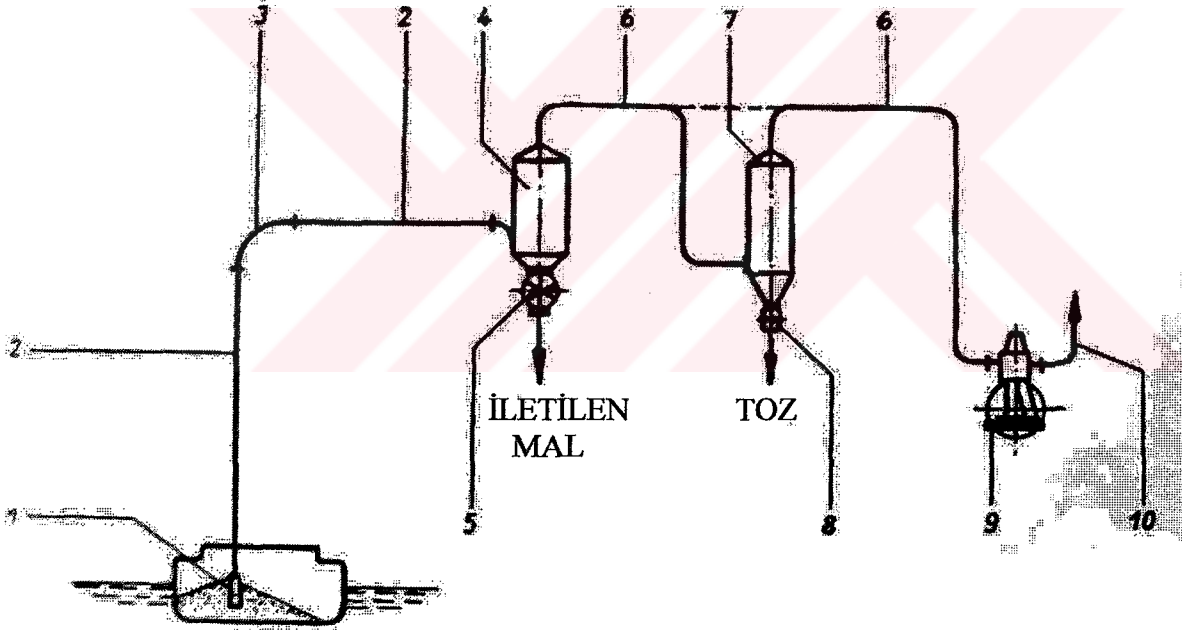
Şekil 2.1 Havali götürücülerin ana türleri

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| a) Emmeli götürücü | c) Orta basınçlı götürücü |
| 1. Emme ağzı | 1. Alış birimi |
| 2. Boru | 2. Boru |
| 3. Separator | 3. Separator |
| 4. Toz toplayıcı (siklon) | |
| 5. Kapak | d) Emme-basınçlı birleşimli götürücü |
| 6. Körük | 1. Emme ağzı |
| b) Yüksek basınçlı götürücü | 2. Boru |
| 1. Döner besleyici | 3. Separator |
| 2. Boru | 4. Toz toplayıcı (siklon) |
| 3. Yol değiştirme vanası | 5. Kapak |
| 4. yükleme tekneleri | 6. Körük |

Havali götürücülerin ana türleri şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Emmeli götürücü (a) ve iki basınçlı götürücü (b ve c) birinci türde makinaların boşaltma ucunda, ikinci türde ise alış ucunda olduğunu gösteriyor. Bu düzenleme, emmeli götürücülerin malzemeyi birden fazla noktadan alıp bir hatta vermesini sağlar. Basınçlı götürücülerde ise bir besleme noktasından alınan malzeme çeşitli boşaltma noktalarına verilir. Şekil 2.1-d , emme ve basınç birleşimli bir götürücüyü gösteriyor. Bu tür, uzun taşıma uzaklıklarında malzemenin yüklenmesi ve boşaltılması bu sistemle basit hale getirilir.

2.3 İletme Tesislerinde Kullanılan Sistemler

2.3.1 Emme İletme Tesisi



Şekil 2.2 Pnömatik bir emme iletme sisteminin şeması (orta basınçlı sistem)

[1]

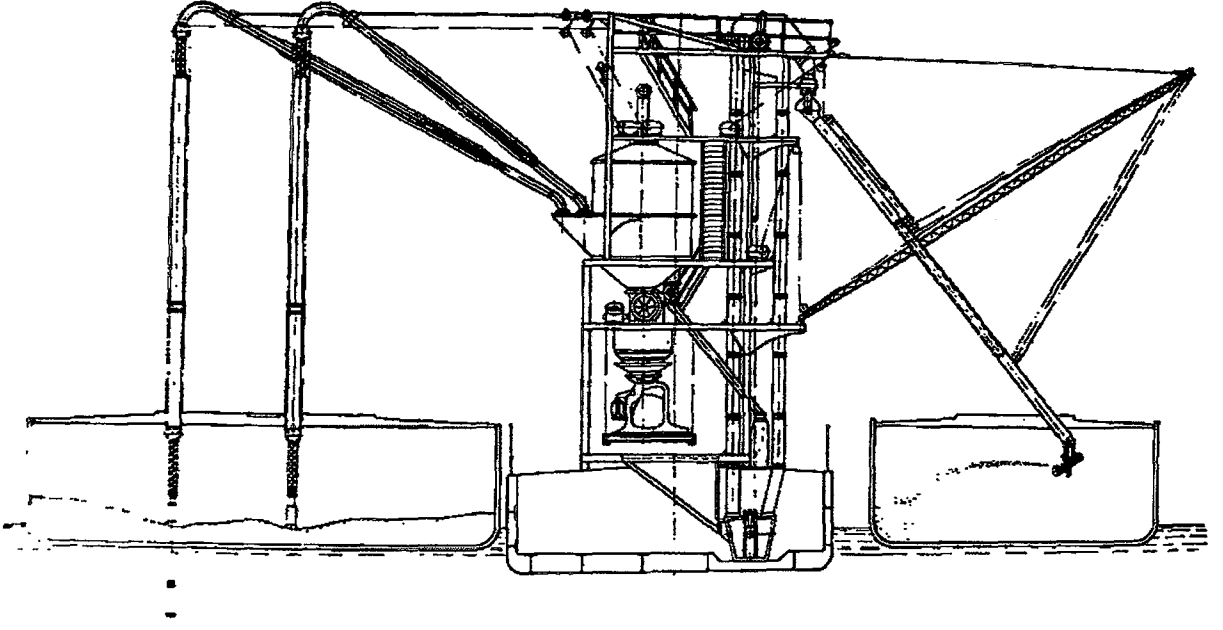
- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. Emme memesi | 6. Emme havalı tesisat |
| 2. İletme tesisatı | 7. Filtre |
| 3. Saptırma dirseği | 8. Toz için boşaltma oluğu |
| 4. Ayırıcı | 9. Kompresör |
| 5. Mal için boşaltma oluğu | 10. Hava boşaltma tesisat |

Şekil 2.3 ve Şekil 2.2, standart bir yüzer türden tahıl boşaltma birimini göstermektedir.

Tahıl boşaltma biriminin havalı taşıma ümü emme ağızları, düşey ve yatay boru bölümleri, tahıl ve toz ayırıcılar (separatörleri), hava kilitli vanalar (vakum altındaki bölgeyi atmosferden ayırırlar) ve bir egzost pompasından oluşur.

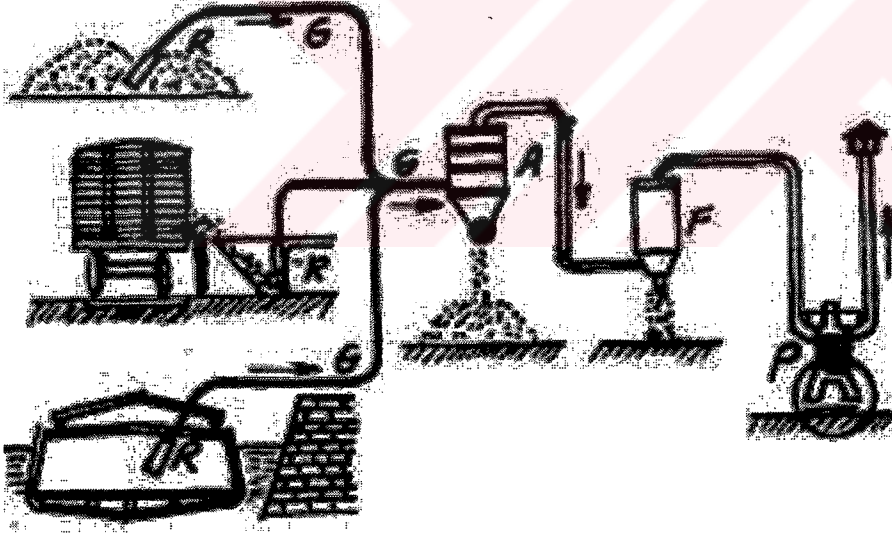
Yol üzerinde (Şekil 2.2) 1 nolu emme memesinden (Şekil 2.2) 4 nolu ayırıcıya kadar (alıcı,ayırıcı), çeşitli malzemelerde, çeşitli miktarlarda biriken toz iletme havası ile birlikte sürüklenir. Bu toz (Şekil 2.2) 7 nolu bir filtre içinde ayrılabilir, böylelikle kompresörden tozsuz hava açık havaya atılır.

Bir filtrenin monte edilip edilmeyeceği, dış havanın muhakkak bir kirletilmesi istenip istenilmediğine (örneğin konut bölgelerinde) ve sürüklenen toz iletilen mal için arzu edilmeyen bir karışım olup olmayacağına (örneğin tahıllarda) veya iletilen malın bir parçası olarak kaybolmamasına bağlı olmaktadır. Bir filtrenin devreye konulması kullanılmakta olan kompresörün cinsine bağlıdır. Şayet emme memesi ve saptırma dirseği arasındaki düşey bir iletme uzunluğu kafi uzunlukta ise bu, iletme için avantaj olmaktadır. Bu yol üzerinde gerekli iletme hızı üzerine, iletilen malın ivmelenmesi olmaktadır. İvmeleme yolunun uzunluğu takriben 10 metre civarındadır. Emme hava tesisatının uygun bir yerine, bir havayı kapatma klapesi monte edilmelidir. Kompresör durdurulmaksızın, bu klape malzeme akışını kesmelidir. Kompresörün yakınındaki tesisat içinde bir emniyet ventili ve bir vakum ölçme aleti monte edilmelidir.



[6]

Şekil 2.3 Yüzer türden bir tahıl boşaltma birimi



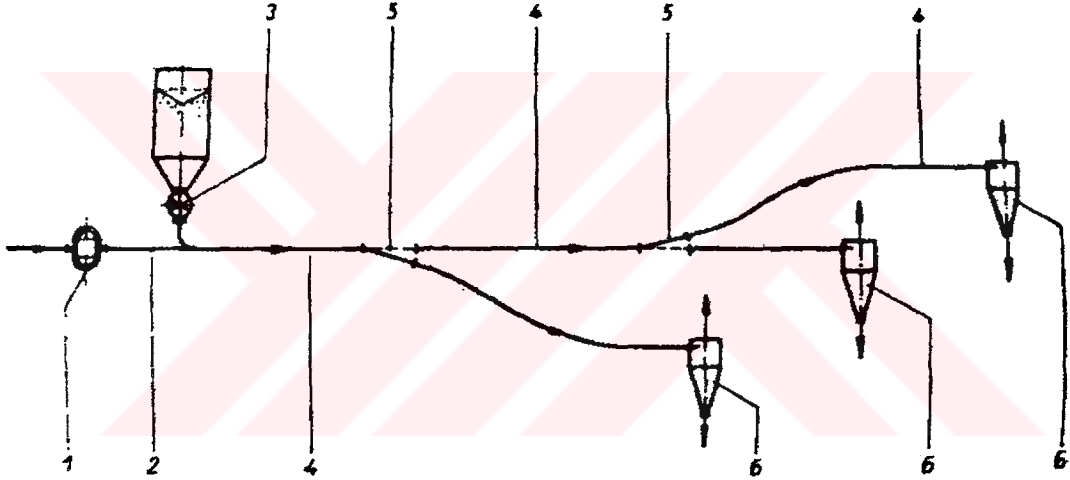
Şekil 2.4 Vakumlu pnömatik sistem

Vakumlu sistemler (Şekil 2.4), taşınacak malın değişik yerlerden merkezi bir depoya iletilmesi durumunda uygun sonuçlar verir. Emmeyi sağlayan vakum pompası sistemin sonundadır. Transport borularında delikler veya çatlaklar varsa bile, sistem vakumlu olduğundan taşınan kül gibi maddeler dışarıya sızamaz.

Bu tip sistemlerde taşıma uzunluğu sınırlıdır. Bu sınırın nedeni, hava kaynaklarının ulaşabildiği alçak basınçla ilgilidir.

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi, gemiden, vagondan veya karadaki yığından emilen (R) taneli malzemeler, borulardan (G) geçerek siklona (A) gelir. Burada genişleme nedeniyle hava akımının hızı azaldığından, taneli malzemeler kabın dibine birikir. Siklondan çıkan hava önce filtreden (F) geçirilir, burada havadaki toz ayrıştırılır ve hava vakum pompasından (P) dışarı atılır.

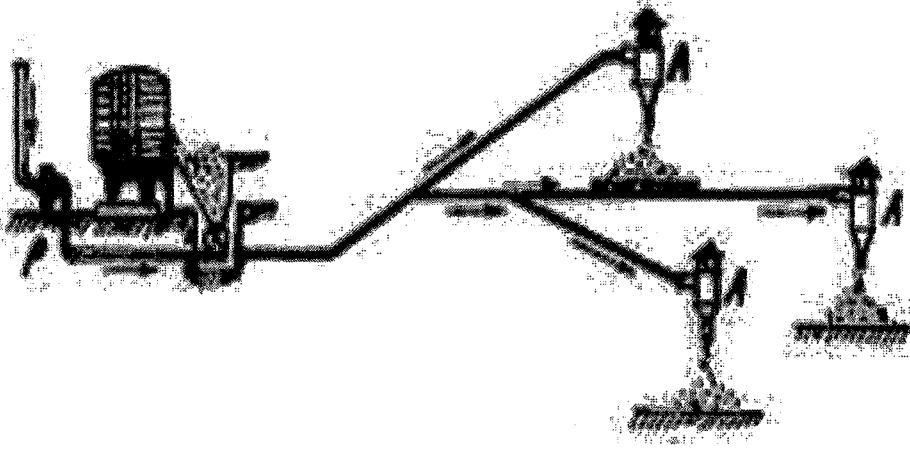
2.3.2 Basınçlı İletme Tesisi



Şekil 2.5 Pnömatik bir basınçlı iletme tesisinin şeması (orta basınçlı sistem)

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Kompresör | 4. Basınçlı iletme tesisatı |
| 2. Basınçlı hava tesisatı | 5. Boru makası |
| 3. Hücreli verici | 6. Santrifüj ayırıcı |

Şekil 2.5 üç boşaltma istasyonlu bir basınçlı iletme tesisinin şemasını göstermektedir. İletilen mal yedek bir depodan, hücreli verici üzerine (Şekil 2.5 -3) basınçlı hava tesisatı (Şekil 2.5 -4) yardımıyla sevk edilmekte ve ayarlanabilir boru kolları yardımıyla (Şekil 2.5 -5) santrifüj ayırıcıya (Şekil 2.5 -6) nakledilmektedir. Burada da uygun bir yerde bir hava kapatma klapesi, bir emniyet ventili ve bir basınç ölçen aletin monte edilmesi gerekir.



Şekil 2.6 Basınçlı pnömatik sistem

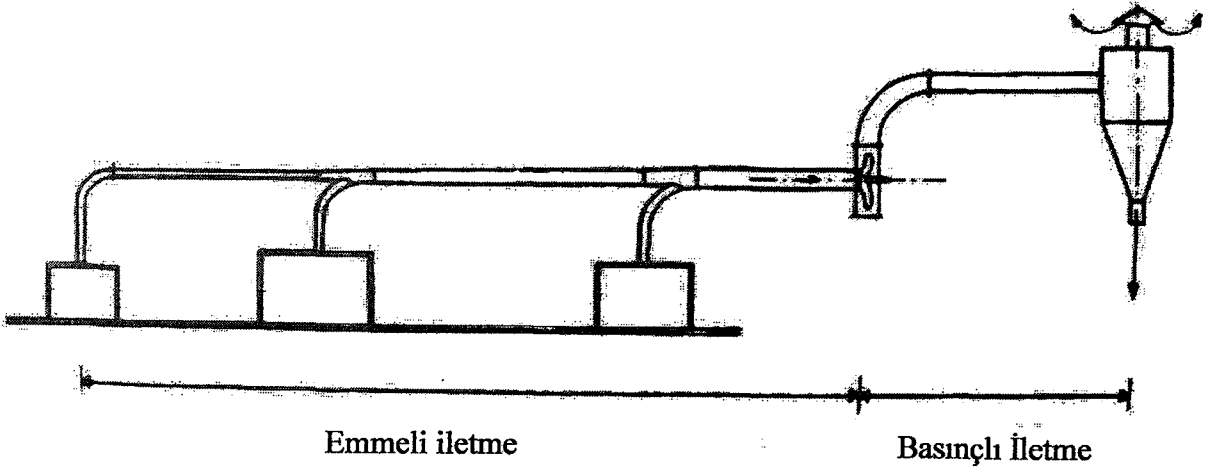
Bu tip sistemler (Şekil 2.6) bir noktadan emilen malın bir çok farklı noktaya taşınmasında elverişlidir. Hava kompresörü tesisin girişinde bulunur. Basınç sistemli konveyörlerde boru uzunluğu, vakum sistemli sistemlere göre daha fazla olabilir.

Şekil 2.6'da da görüldüğü gibi, kompresörün (P) dışarıdan emerek sıkıştırdığı hava, malı sürükleyerek istenilen siklona (A) iletir. Burada genişleme etkisiyle mallar havadan ayrılır ve taşıyıcı hava siklonun üstündeki bacadan dışarıya atılır

2.3.3 Hem Emme Hem de Basınç Tesisi

Şekil 2.2 ve Şekil 2.5 de gösterilen sistemler orta basınçlı sistemler olduğu halde, Şekil 2.7 de gösterilen emme ve basınçlı iletme tesisi alçak basınç sistemine sahiptir.

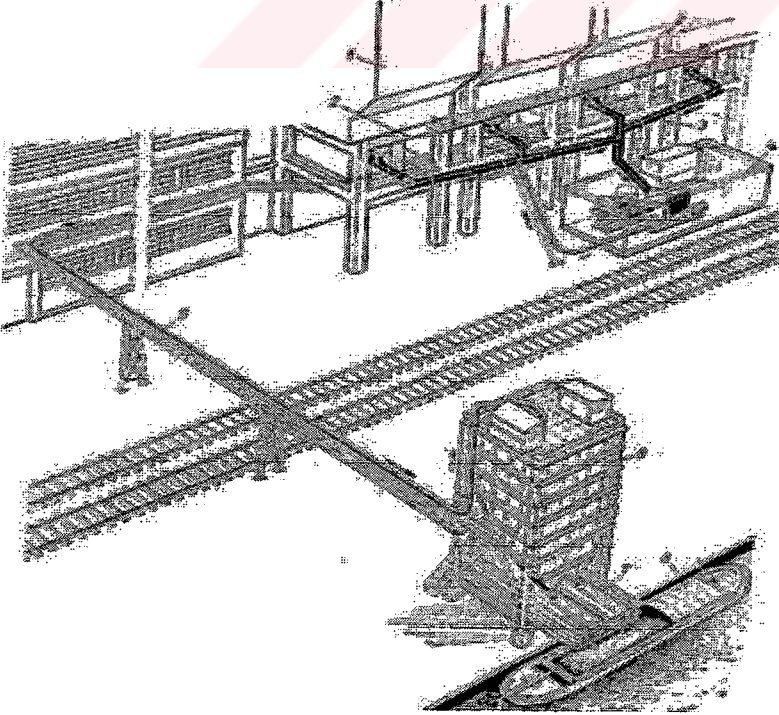
Alçak basınç tesisleri, öğütme, kırma, ve hallaç makinalarından çıkan malın tozsuz iletilmesi için, aynı zamanda testere ve odun talaşlarını emmek için odun işlenmesinde de çok kullanılırlar. Burada iletilen mal emme vanilatöründen geçip gitmektedir. Şayet emme vanilatöründe hasar bakımından bir mahsur yoksa, bu mümkün olmaktadır. Bu tertip, vanilatörlü götürücü olarak isimlendirilir. Gerekli hava akımı, ekseriya savurma kuvveti-emme vanilatörüyle sağlanır.



Şekil 2.7 Bir kombine emme ve basınçlı iletme tesisinin şeması (Alçak basınç sistemi)

Hem vakumlu hem de basınçlı sistemlerde, basınç büyüklüğü karşı mukavemeti yenebilecek değerde olmalıdır. Mutlak basınç taşıma hattı boyunca düşer ve taşıma hızı da genişlemeden ötürü yükselir. Ancak bu durum, yalnızca uzun mesafeli transport sistemlerinde göz önüne alınmalıdır.

Şekil 2.8'de bir buhar kazanından külün uzaklaştırılması için kurulmuş olan vakumlu ve basınçlı sistemle çalışan pnömomatik konveyör görülmektedir.



Şekil 2.8 Buhar kazanlarından külün uzaklaştırılması

2.4 Havalı Götürücülerin Parçaları

Hava akımıyla dökme mal taşıyan bir havalı götürücü alış birimi, boru, yol değiştirici vanalar, separatörler ve toz toplayıcılar, kompresör sistemi ve otomatik kontrol düzeninden oluşur.

2.4.1 Alış Birimi

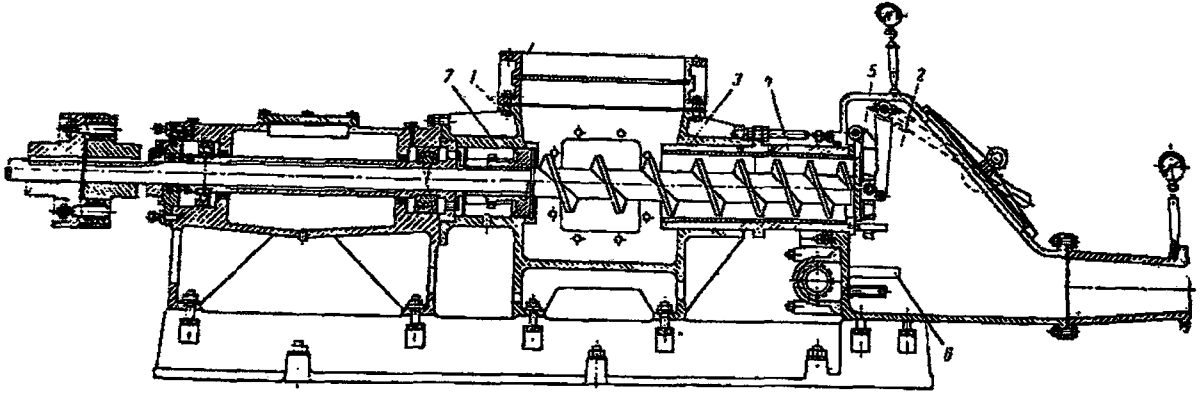
Vidalı ya da hücreli besleyiciler ve kaplar, basınçlı düzenekleri yüklemekte kullanılırlar. Emmeli götürme düzeneklerinde ise alış ağızları kullanılır.

Sabit helezon besleyicilerde ise (Şekil 2.9) çimento ve diğer pudra malzemelerin taşınması geniş ölçüde kullanılır.

Malzeme, motorla döndürülen yüksek hızlı bir (Şekil 2.9 -3) helezonuyla (Şekil 2.9 -1) besleme haznesinden alınıp (Şekil 2.9 -2) karıştırma odasına gönderilir. Bir silindirik gövde içinde 1000 d/d kadar hızla dönen helezon vida adımı, yükün gidiş doğrultusunda azalır, silindirik gövde içine (Şekil 2.9 -4) değiştirilebilir gömlekleri yerleştirilmiştir. Bu değişken vida adımı yükün sıkışmasını sağlar ve böylece karıştırma odasından yükleme haznesine helezon yoluyla basınçlı hava kaçmasını önler. Malzemenin helezon tarafından sıkıştırılma derecesi (Şekil 2.9 -5) vanası ile ayarlanır. Bu vana, sistem süpürüldüğünde (vakum) helezon yoluyla tekneye hava girmesini önler.

Karıştırma odasının alt bölümü iki sıralı (Şekil 2.9 -6) boru ağızlarını içerir. Basınçlı hava bunlar aracılığıyla karıştırma odasına girer. Hava, oda içinde malzemeyi gevşetir ve onu çıkış ağızına götüren boru içinde taşır.

Yataklar, helezonu taşıyan odadan toz girişini önleyen (Şekil 2.9 -7) keçeleriyle korunurlar. Özel salmastra kutuları ya da yağ keçeleri havanın dar bir çevresel yarığın boyunca yataklardan helezonlara doğru akmasını sağlar.



[6]

Şekil 2.9 Sabit helezon türü havalı besleyici

Helezon besleyiciler sürekli beslemeyi sağlarlar ve küçük bir yükseklikleri vardır. Ancak, helezonu döndürmek için önemli ölçüde güç tüketirler. (Çizelge 2.2) bir diğer sakınca da helezon ve gömleklerin hızlı aşınmasıdır.

Demiryolu vagonları genellikle tekerlekli helezonlu besleyicilerle boşaltılırlar. Palangalardan asılmış besleyiciler ise deniz taşıyıcılarını boşaltmakta kullanılırlar. Hareketli besleyiciler, bakımın karmaşık ve güç tüketiminin yüksek olması nedeniyle, seyrek olarak kullanılırlar.

Çizelge 2.2 Sabit havalı helezon türü besleyicilerin karakteristikleri (Çimento için)

Helezon çapı mm	Kapasite t/sa	Hava basınçlı atü	Mildeki güç kw
150	25-35	1,8-2,5	35-50
200	35-80	1,8-2,5	60-120
250	80-160	1,8-2,5	150-240

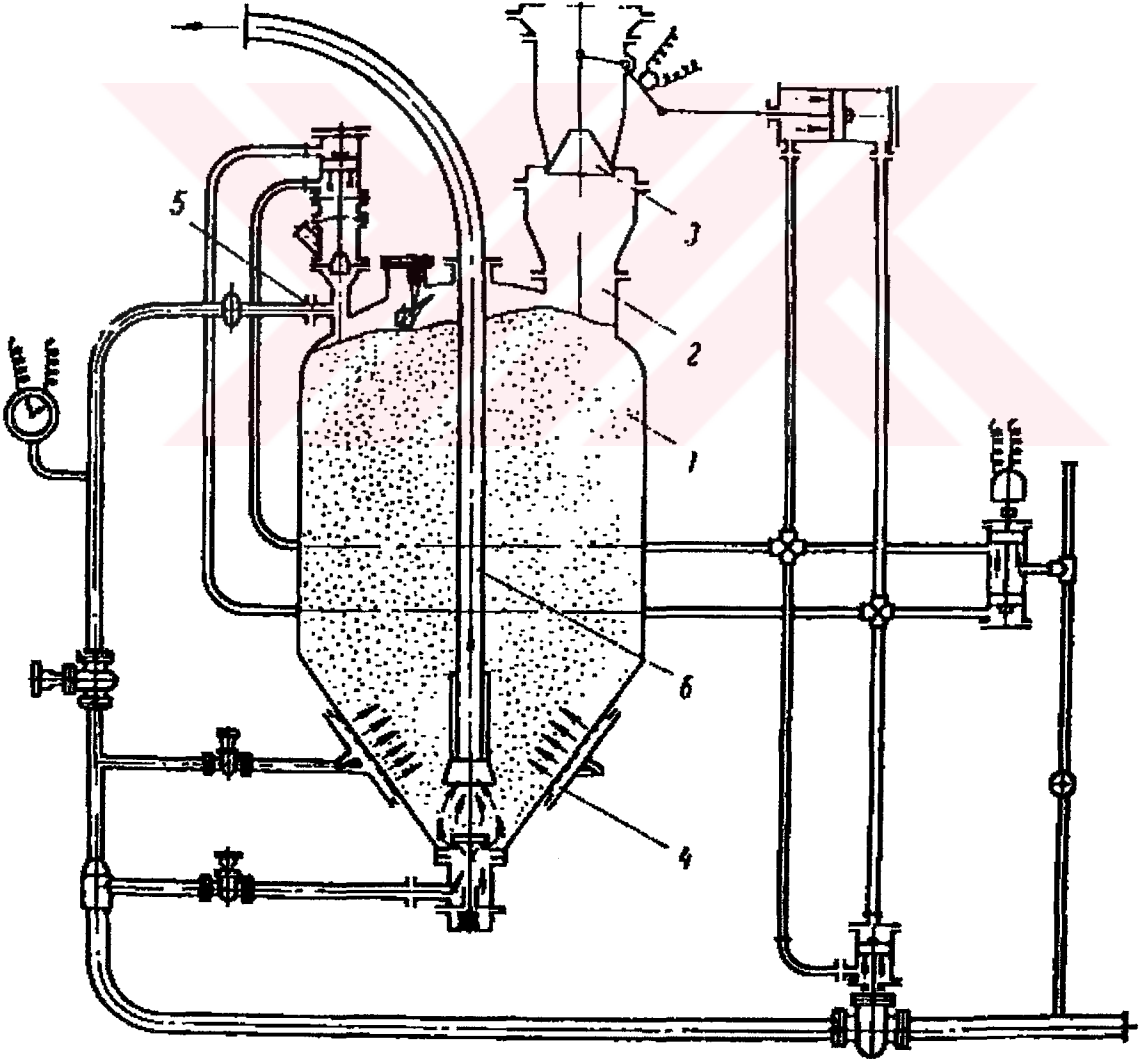
Hücreli besleyiciler çimento ya da hava akımı içinde süspansiyon halindeki diğer pudra malzemelerin bir havalı götürücünün borusuna yüklenmesinde kullanılırlar.

Hücreli besleyiciler iki gruba ayrılırlar:

1. Malzemeyi haznenin dibinden boşaltanlar
2. Malzemeyi haznenin tepesinden boşaltanlar.

İkinci türden bir besleyici Şekil 2.10 da gösterilmektedir. Bu türden bir besleyici genel boyutlar bakımından küçüktür ve diğer almaşığa göre daha düzenli bir beslemeyi sağlar.

Besleyici, koni tabanlı bir silindir kaptır. Malzeme (Şekil 2.10 -2) deliğinden kabın üst bölümüne beslenir. Delik, (Şekil 2.10 -3) konik vanasıyla tam sızdırmazlık durumuna getirilmiştir. Kap doldurulduğu ve atmosferden yalıtıldığı zaman hava kabın (Şekil 2.10 -4) alt bölümüne geçer. Hava burada malzemeyi havalandırır ve malzemenin süspansiyon halinde bulunduğu bir karışım meydana getirir. Hava ayrıca, burada karşı basıncı oluşturmak üzere, (Şekil 2.10 -5) üst bölümüne de geçer. Basınç düşümü havalandırılmış kütleyi (Şekil 2.10 -6) borusuna girmeye zorlar ve buradan boşaltma ucuna taşır.



[6]

Şekil 2.10 Otomatik kumandalı ve tepeden boşaltmalı havalı hücreli besleyici

Hücreli besleyicilerin helezon türüne göre belli başlı üstünlükleri şunlardır:

- Güç tüketimi düşüktür.
- Çabuk aşınan parçaları yoktur.
- Aşındırıcı malzemeleri taşımaya elverişlidirler.
- Malzemelerin uzak mesafelere taşındığı ve dolayısıyla basınç düşümünün büyük olduğu durumlarda kullanılırlar. (Çizelge 2.3)

Hücreli besleyicilerin başlıca sakıncaları büyük yükseklikleri ile kesikli çalışmalarıdır. Sonucu sakınca, malzemenin sırasıyla almaşık hücrelerden alınması nedeniyle, çift hücreli besleyicilerde söz konusu değildir.

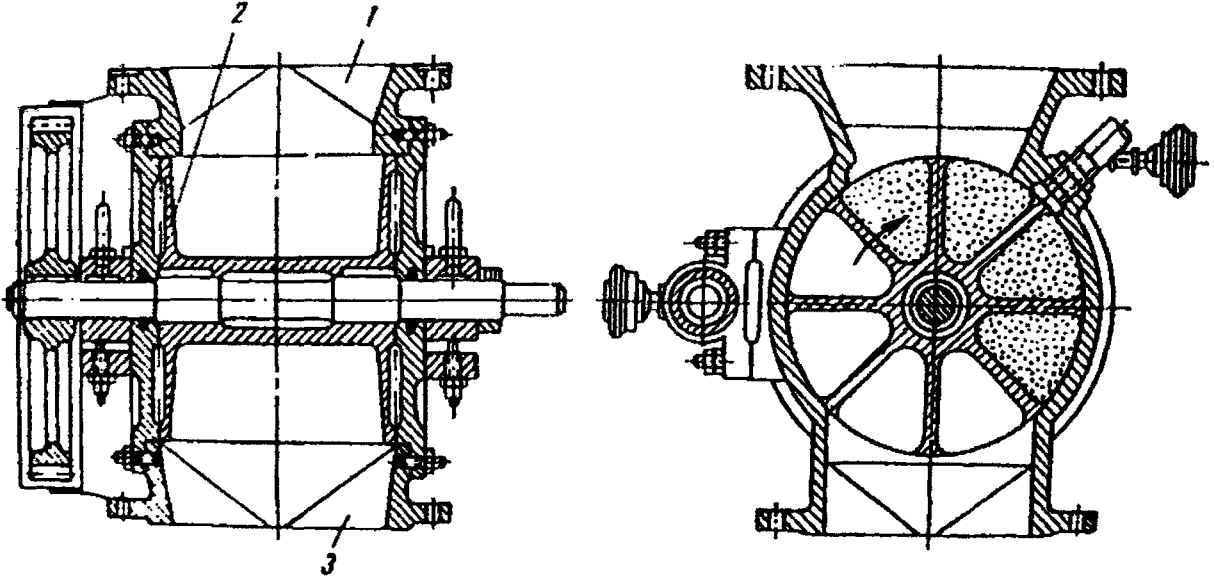
Çizelge 2.3 Havalı hücreli besleyicilerin karakteristikleri (Çimento için)

Kap çapı mm	Besleyici yüksekliği mm	Kapasite, t/sa		Hava basıncı atü
		Çift hücreli besleyici	Tek hücreli besleyici	
1000	2200	10-20	6-12	3-5
1400	3200	20-50	12-30	3-5
1800	3400	40-100	24-60	3-5

Kapaklar; orta basınçlı (1,4 atüye kadar) sistemlerde malzeme boruya çoğu kez hava kilitli vanalar (hücre tekerlekli vanalar) yardımıyla girer. Bu vanalar ayrıca, emmeli ya da emme ve basınç birleşimli sistemlerde, gerekenden fazla havanın malzemeye girmesini önler. Bir hava kilitli kapak (vana) yükü alçak basınçlı bir bölümden daha yüksek basınçlı bir bölüme iletmeye yarar ve bunun tersi de doğrudur.

Şekil 2.11 bir hücre tekerlekli vanayı (rotary valve) göstermektedir. Malzeme (Şekil 2.11 -1) hunisiyle (Şekil 2.11 -2) döner tekerleğin hücrelerine beslenir ve buradan, ağırlığın etkisi altında, basınç borusuna ya da (Şekil 2.11 -3) yükleme haznesine düşer. Tekerlek, yuvasına hassas olarak alıştırmıştır ve bu, havanın sızmasını önler.

Hücre tekerlekli vanalar genellikle 20-30 d/d lık hızlarla dönerler.



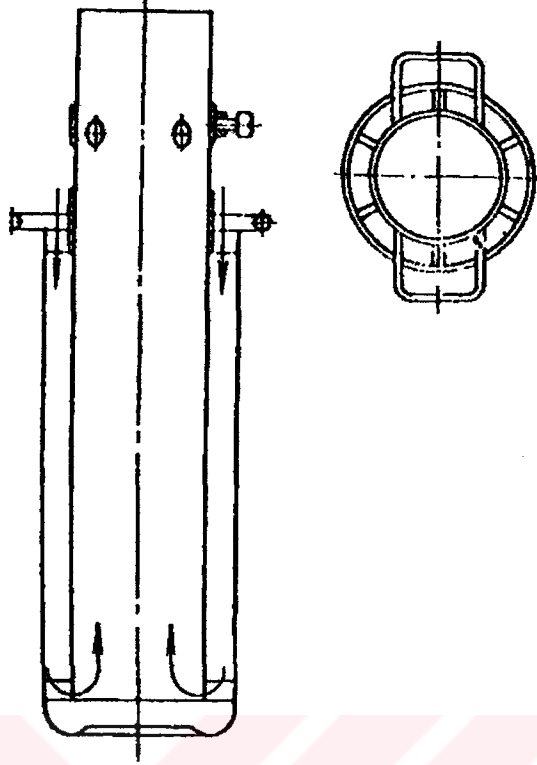
Şekil 2.11 Hücre tekerlekli vana

2.4.2 Emme Ağzları

malzemeyi, emmeli götürücülerin borusuna yüklemek için kullanılırlar.

Çalışma Prensibi:

Bükülebilir bir hortumla boruya bağlı olan ağız (Şekil 2.12) götürülecek dökme malın içine gömülüdür. Basınç düşümü bir hava akımı yaratır ve bunun bir bölümü malzeme içinden geçer; diğer bölümü ise bir kontrol vanası aracıyla ağız içindeki çevresel yarıktan emilir. Malzeme içinden geçen malzeme onun parçacıklarını kaldırır ve borunun içine sürükler.



Şekil 2.12 Emme ağız

2.4.3 Götürme Boruları

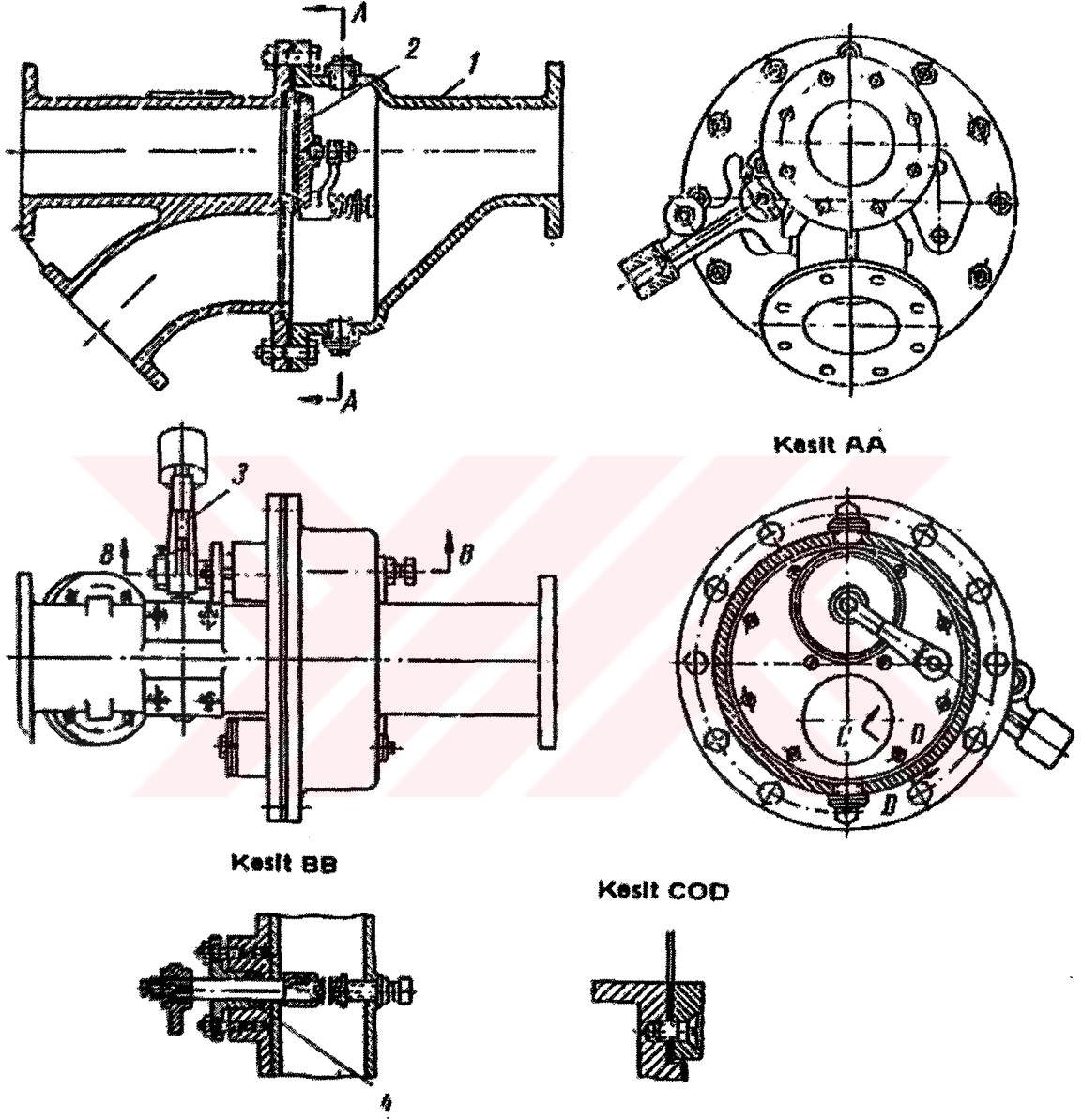
Yüksek basınçlı götürücülerde 50-250 mm arasında değişen çaplardaki dikişsiz çelik borular kullanılır. Alçak ve orta basınçlı götürücülerde 1-3 mm arasında et kalınlığında olan daha hafif borular kullanılabilir. Borular, aynı şekilde sızdırmaz duruma getirilmiş standart flanşlarla birleştirilirler.

2.4.4 Yol Değiştirme Vanaları

Bir yol değiştirme vanası (Şekil 2.13) pompalama birimini boru kollarından birine bağlamaya yarar.

Dökme demirden (1) vana gövdesi (Şekil 2.13 -3) koluyla çalıştırılan (Şekil 2.13 -2) tablalı vanasını (disc valve) taşır. Tabla, (Şekil 2.13 -4) salmastra kutusu sökülerek dışarı alınır. Vana el ile ya da uzaktan kumandalı olabilir. Sonuncu türde iş yapan hava akımı, elektro-pnömatik bir süpürmeli vana (sliding valve) ile bir hava silindirine (deposuna) basılır ve bu silindirin pistonu vananın durumunu düzenler.

Daha karmaşık vanalar da kullanılır. Bunlar, birisi metal diğeri lastik olan konik sızdırmazlık yüzeylerine sahiptirler. Metal ve lastik teması güvenilir bir sızdırmazlık sağlar.



Şekil 2.13 Tablalı ve iki yollu bir yol değıştirme vanası

2.4.5 Separatörler (Depolar)

Malzemeyi sürükleyen hava separatöre girer. Burada hız kaybı, akım yönünün değişmesi ve santrifüj kuvvet etkisiyle malzeme hava akımından ayrılır. Karışım, separatördeki ani genişleme nedeniyle hız kaybeder. Bu bir depo, hazne, ya da oda olabilir. Separatörün kesit alanı, kendisine bağlanan götürücü borusuna göre 50-150 kat daha büyüktür. Separatördeki hava hızı 0,2-0,8 m/s arasında değişir. Yani, götürme havası akımını küçük parçacıklardan bile temizlemeye yetecek kadar düşük bir hızdır. Separatör, genellikle bombeli uçları olan silindirik bir kap olup (Şekil 2.1) dipteki bir kapaktan prosesi kesintiye uğratmadan separatörü boşaltmak mümkündür.

2.4.6 Toz Toplayıcılar (Filtreler)

Separatör içinde hava hızı çok düşük olmakla birlikte, yine de tozu ve süspansiyon halindeki hafif parçacıkları çıkış tarafına sürüklemeye yetecek kadar yüksektir. Bu nedenle, bu noktada, havayı temizlemek için çeşitli türlerde filtreler eklenir.

Bunlar:

- Santrifüj siklonlar
- Torbalı filtreler
- Sulu silikonlar
- Elektrostatik filtreler

gibi olabilirler.

Havanın temizlenme derecesine göre filtreler kaba ve ince diye iki gruba ayrılırlar.

3. PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLERİN TASARIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER

Dökme malzeme taşıyan bir havalı götürücü saatte ton olarak istenen Q kapasitesine, uzunluğa ve borunun yörünge diyagramına bağlı olarak tasarlanır. Taşınan yükün fiziksel ve mekanik özellikleri de önemli bir rol oynar. Çeşitli malzemelerin havalı götürmeye yatkınlığı deneylerle belirlenir.

Bir havalı götürücünün hesabında belirlenmesi gereken en önemli parametreler hava tüketimi V_{hava} (m^3 / s), hava basıncı P (kg / cm^2) ve götürme borusunun iç çapı d_b (m) dir.

Havalı taşıma sürecini niteleyen ikinci derecede parametreler de ayrıca belirlenmelidir. Bunlar arasında indirgenmiş götürme uzunluğu $L_{ind}(m)$ karışımın μ ağırlık yığılması (konsantrasyonu), malzeme parçacıklarının v_k kaldırma hızı (m/s) boru içindeki hava akımının V_{hava} hızı (m/s) vardır.

Hesaplar genellikle işletme ve test birimlerindeki pratik deneylerden elde edilen verilere dayanır.

3.1 İndirgenmiş L_{ind} Götürme Uzunluğunun Belirlenmesi

İndirgenmiş götürme uzunluğu, götürme borusunun geometrik uzunluğu ile eşdeğer uzunlukların toplamı olarak elde edilir.

Bir yerel (yığılmış konsantre) direncinin eşdeğer boyu, içinde malzemeyi sürükleyen bir hava akımından dolayı bu dirence eşit bir basınç kaybı meydana gelen yatay ve düz bir boru parçasının boyudur. Bu bir dirsek, bransman, yol değiştirme vanası olabilir. Bu eşdeğer boy, götürülen malzemenin özelliklerine ve bu yerel dirençleri doğuran düzeneklerin boyutlarına ve bunlar arasındaki ilişkilere bağlı olup bugün için kesin hesabı yapılamamaktadır. Pratik bir yol gösterme olarak bu dirençlerin deneysel verilere dayanan yaklaşık değerlerini vereceğiz.

Sonuç olarak eşdeğer uzunluk:

$$L_{mg} = \sum l_{yat} + \sum l_{dış} + \sum l_{es_d} + \sum l_{es_v} \quad (3.1)$$

Burada;

$\sum l_{yat}$ = Yatay bölümlerin uzunlukları toplamı

$\sum l_{düs}$ = Düşey bölümlerin uzunlukları toplamı

$\sum l_{es,d}$ = Dirseklerin toplam eşdeğer uzunluğu

$\sum l_{es,v}$ = Vanaların toplam eşdeğer uzunluğu

90° lik dirseklerden doğan eşdeğer uzunluk (m) aşağıdaki çizelgeden alınabilir. Burada R_o dirseklerin eğrilik yarıçapı ve d_b ise götürme borusunun iç çapıdır.

Düşük değerler, aşındırıcı olmayan ve oranla düşük götürme hızlarındaki malzemeler için alınır.

Çizelge 3.1 Dirsekler için eşdeğer uzunluklar (m)

Malzeme	R_o / d_b oranına göre L_{es} b değeri (m) olarak eşittir			
	4	6	10	20
Pudra	4-8	5-10	6-10	8-10
Homojen taneli	-	8-10	12-16	16-20
Küçük-parçalı düzgünsüz	-	-	28-35	38-45
İri-parçalı düzgünsüz	-	-	60-80	70-90

Genellikle kullanılan iki yollu yol değiştirme vanaları için eşdeğer uzunluk (yalnız pudra malzemelerde) $l_{es,v} = 8m$ alınabilir. Pudra malzemelerden farklı olanlar götürüldüğünde de yol değiştirme vanasının kesiti götürme borusununkine eşdeğer biçimde olmalıdır. Böylece yüksek yerel dirençler ortadan kaldırılmış olur.

3.2 Götürme Hava Akımının Hızının Hesabı

Ancak götürme hava akımının v_{hava} hızı yeter derecede yüksek olduğu zaman malzeme boru boyunca kararlı biçimde hareket eder.

Diğer taraftan, aşırı ve gereksiz güç tüketimini önlemek için, hava hızı izin verilebilir minimum (kritik) hızdan çok fazla yüksek olmamalıdır. Bununla birlikte, işletme koşullarındaki hafif değişimler boruyu tıkayarak dar boğazlar meydana getireceğinden, kritik hızda, belli bir sınırın altına da düşmemelidir.

Kaldırılarak hava akımı ile götürülecek yük parçacıklarının özeliği, belli ölçüde v_k kaldırma hızı, yani parçacığın ağırlığını dengelemeye yeterli kaldırma kuvvetini yaratan hava akımı hızı tarafından belirlenir.

Götürme havası akımının hızı belli ölçüde, kaldırma hızına bağlıdır. Separatörlerin ve santrifüj toz toplayıcıların (siklonların) tasarım parametreleri hesaplanırken bu kaldırma hızı dikkate alınmalıdır.

Kaldırma hızı v_k , düşey yükselen hava akımında sert maddeciklerin ağırlık kuvvetine karşı askıda tutan hava hızı olmaktadır. Bu, malın dökme yoğunluğu ve çekirdek büyüklüğüne ve hava yoğunluğuna bağlı olmaktadır.

Bir taraftan tortu meydana gelmemesi, diğer taraftan düşey iletme yollarında da iletmenin gerçekleşmesi için, hava hızı v_{hava} en azından yüzme hızının iki katı olmalıdır. Gereksiz yüksek hava hızları, yapı elemanlarının aşırı derecede aşınmasına, malın zedelenmesine ve büyük tahrik güçlerine sebebiyet verirler.

Yük boyutları ve özgül ağırlığı büyüdükçe kaldırma hızı büyür, hava yoğunluğu ise küçülür:

$$v_k = K \sqrt{\frac{\gamma_y}{\gamma_{hava}} a'} \quad (3.2)$$

Burada K, yük parçacığının biçiminde, boyutlarına ve yüzey koşullarına bağlı katsayıdır. Bu katsayı küre biçimindeki parçacıklar için geniş sınırlar içinde değişir, yani $K=10-170$ 'dir. Küçük parçacık çapı için K katsayısının küçük değerleri alınır. Burada verilen K katsayısının değerleri 0,00001-0,07 m arasındaki parçacık boyutlarına karşılıktır ve çapı $a' =0,05-0,07$ m olan küre biçimindeki parçacıklar için $K=170$ alınır.

Havanın atmosfer basıncındaki özgül ağırlığı $\gamma_{hava} =1,2 \text{ kg/m}^3$ 'dür. Düşey boru bölümlerindeki ek hava sütununun basıncı hesaplanırken γ'_{hava} 'nın, basınçlı sistemlerde γ_{hava} dan (atmosferik basınçtaki özgül ağırlık) büyük ve emmeli sistemlerde ise γ_{hava} dan küçük olduğu hatırlanmalıdır. İlk hesaplar için, yüksek basınçlı sistemlerde $\gamma'_{hava} =1,6-2$ c, emmeli sistemlerde ise $\gamma' =0,8-0,95 \text{ kg/m}^3$ arasında alınır.

Bütün boru boyunca hava hızı sabit kalmaz, havanın basıncı ile ters orantılı olarak değişir. (dolayısıyla özgül ağırlıkta). Hem basınçlı hem de emmeli götürücülerde hava akımı (ve içindeki asılı malzeme), giriş noktasından boşaltma noktasına ilerledikçe basınç düşer ve buna karşılık hız yükselir. Bir hava akımının taşıma kapasitesi hemen hemen yoğunluğu ve hızının karesi ile doğru orantılı olduğundan, akımın taşıma kapasitesi borunun ilk bölümünü izleyen bölümlere göre daha düşüktür. Diğer bütün koşullar eşdeğerken, havanın taşıma kapasitesindeki fark, L_{ind} indirgenmiş götürme uzunluğu büyüdükçe artar.

Atmosfere yakın basınçtaki bir boru bölümünde, yani bir basınçlı götürücünün boşaltma ya da bir emmeli götürücünün emme ağzında, $\gamma_{hava} =\text{sabit} \approx 1 \text{ kg/m}^3$ iken, gerekli hava hızı aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$v_{hava} = \alpha \sqrt{\gamma_y + BL_{ind}^2} \text{ m/s} \quad (3.3)$$

Çizelge 3.2 Yük parçacıklarının boyutlarına göre α katsayısının değerleri

Malzeme	Maksimum parçacık ölçüsü, a'	α
Pudra	1-1000 mikron	10-16
Homojen taneli	1-10 mm	17-20
Küçük-parçalı, homojen	10-20 mm	17-22
Orta-parçalı, homojen	40-80 mm	22-25

Emmeli götürücülerde, götürme borusunun boyu 100 metreyi seyrek olarak geçtiğinden BL_{ind}^2 ihmal edilir.

3.2.1 Pnömatik Taşıma Sistemlerinde İki Fazlı Katı-Gaz Akışında Optimum Taşıma Hızının Belirlenmesi

Dökme malzeme (toz ve taneli) taşınan pnömatik taşıma sistemlerinde en önemli parametrelerden biri de taşıma hızıdır. Taşıma hızının düşük olması, enerji kullanımını, boru ve dökme malzeme (parçacık) aşınmalarını azaltmaktadır. Ancak, taşıma hızının çok azaltılması, sistemde taşınan dökme malzemenin boru tabanına toplanarak tabanda kalıcı bir tabaka oluşturmasına ve pnömatik taşıma sisteminde basınç kaybının artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla pnömatik taşıma sistemlerinde taşıma hızı, optimum taşıma hızı adı verilen bir hızın altına düşürülmemelidir. Bu çalışmada, optimum taşıma hızını etkileyen parametreler ve literatürde kullanılan eşitlikler gözden geçirilmiş ve tasarım aşamasında optimum taşıma hızının belirlenebilmesi için kullanılabilecek bir eşitlik tavsiye edilmiştir.

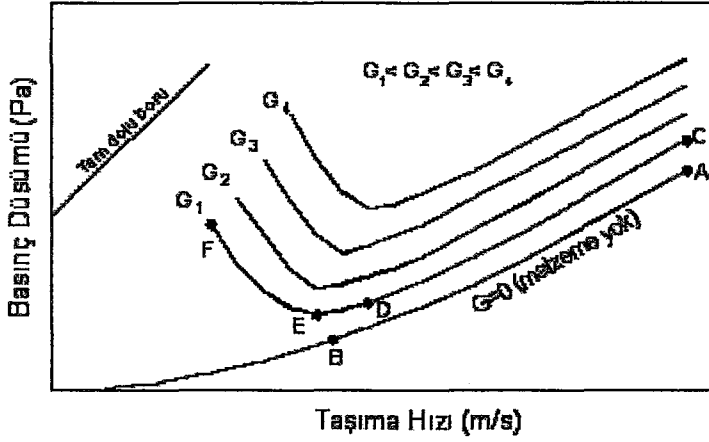
Yüksek enerji maliyetini ve parçacık boru aşınmasını azaltmak için katı parçacıkların yatay boruda pnömatik olarak taşınması sırasında borudan geçen gaz hızının (taşıma hızı) olabildiği kadar düşük olması gerekmektedir. Taşıma hızının yüksek olması, basınç düşümünü arttırdığı gibi taşıma işlemi esnasında 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 oluşturmaya, yatay boruda veya kanalda tıkanmalara ve basınç düşümünün artmasına neden olmaktadır.

Yatay boruda katı-gaz akışının yapısı genel olarak en iyi şekilde, Şekil 3.1'de verilen ve parçacık kütleli debisi (G) bir parametre olmak üzere boru sistemindeki basınç düşümünün taşıma hızına bağlı değişimini gösteren faz diyagramlarından anlaşılmaktadır. Şekil 3.1'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.



[4]

Şekil 3.1 Pnömatik taşıma sistemi için faz diyagramı

Pnömatik taşıma sistemlerinde optimum taşıma hızı; parçacık ve boru çapı, gaz ve parçacık yoğunluğu, parçacık şekli, parçacığın kütleli debisi ve parçacık serbest düşme hızı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle, bugüne kadar teorik olarak optimum taşıma hızının hesaplanabileceği genel bir yöntem ve eşitlik geliştirilememiştir.

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. 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.

3.2.2 Optimum Taşıma Hızının Belirlenmesinde Kullanılan Eşitlikler

Literatürde, yatay borularda iki fazlı akış karakteristikleri ve akış modellerinin anlaşılabilirliği 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 şu eşitliği geliştirmiştir.

$$U_t = 10^{\frac{d}{k}} \cdot m^{\frac{1}{k}} \cdot (g \cdot D) \quad (3.4)$$

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

Matsumoto ve diğerleri [10], optimum taşıma hızının hesaplanması ile ilgili olarak detaylı deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyler esnasında farklı yoğunlukta (1000 kg/m^3 ile 8700 kg/m^3 arasında) ve çapta (300 mm ile 2 mm arasında) parçacıklar kullanılarak şu eşitlik önerilmiştir.

$$U_t = 13,069 \cdot m^{1/3} \cdot (W_{fo}/10)^{1.75/3} \cdot (\sigma_g / \sigma_s)^{1/6} \cdot (g \cdot D)^{1.25/6} \quad (3.5)$$

Matsumoto ve diğerleri [10], ayrıca 120 mm ile 2.1 mm arasında değişen çaplardaki parçacıklar ile deneysel çalışma gerçekleştirmişler ve optimum taşıma hızının hesaplanması için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir:

$$U_t = 9,6581 \cdot m^{1/3} \cdot (W_{fo})^{2.3/3} \cdot (\sigma_g / \sigma_p)^{0.55/3} \cdot (g \cdot D)^{0.7/6} \quad (3.6)$$

Matsumoto ve diğerleri [10], 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:

$$d_p' / D = 1,39 \cdot (\sigma_p / \sigma_g)^{-0,74} \quad (3.7)$$

Burada d_p' 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:

$$U_t = 1,158.m^{0,25} (g.D)^{0,5} .(D/d_p)^{1,43/4} \quad (3.8)$$

d_p' 'den daha büyük çapa sahip parçacıklar için optimum taşıma hızı ise

$$U_t = 1,2408.W_{fo}^{1,0249} .(g.D)^{-0,5249} (\sigma_g / \sigma_p)^{0,2936} \quad (3.9)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Schade [10], tarafından yapılmış olan deneysel çalışma sonucunda optimum taşıma hızı için aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir:

$$U_t = m^{0,11} .(g.D)^{0,5} .(D/d_p)^{0,025} .(\sigma_p / \sigma_g)^{0,34} \quad (3.10)$$

İki fazlı akışta basınç düşümünün en az olduğu noktadaki optimum taşıma hızı ile ilgili olarak Ochi [10] tarafından yapılan deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$U_t = 1,05.f_s^{0,47} .m^{0,25} W_{fo}^{0,82} .(g.D)^{0,1} \quad (3.11)$$

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.

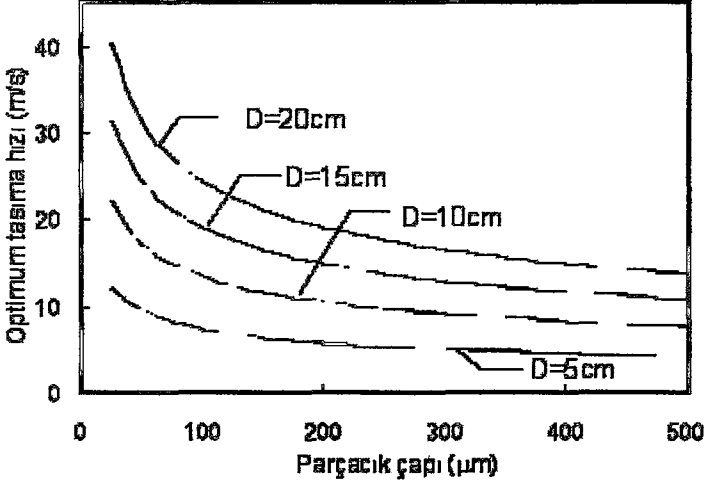
3.2.3 Karşılaştırma

Pnömatik taşıma sistemlerinde önemli bir parametre olan optimum taşıma hızı, parçacık ve boru çapı, gaz ve parçacık yoğunluğu, parçacık şekli, parçacığın kütleli debisi ve parçacık serbest düşme hızı gibi birçok faktöre bağlıdır. Literatürde; bu faktörlerin tamamını göz önüne alan optimum taşıma hızının hesaplanması ile ilgili bir eşitliğe rastlanmamıştır. Ancak mevcut çalışmalar içerisinde en kapsamlı olanlar Matsumoto, Rizk ve Schade'nin çalışmalarıdır. Bu

kısımda her üç çalışmada kullanılan parametrelerin optimum taşıma hızına olan etkileri tartışılmıştır.

Tsuji ve diğerleri [4] yapmış oldukları çalışmada; parçacık çapının çok küçük olmasının akışın türbülans şiddetini azalttığını dolayısıyla belirli bir parçacık çapının altındaki değerlerde optimum taşıma hızının parçacık çapı ile ters orantılı olduğunu, büyük çaplı parçacıkların ise boru içerisindeki akışın türbülans şiddetini arttırdığını ifade etmişlerdir. Literatürdeki mevcut çalışmalar içerisinde sadece Matsumoto ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada bu etkinin dikkate alındığı görülmektedir. Bu yönü ile çalışmanın diğer çalışmalardan farklılık göstermesi nedeniyle; Matsumoto'nun önerdiği eşitlikler üzerinde önemle durulmuştur.

Matsumoto ve diğer taraftan küçük çapa sahip parçacıklar için taşıma hızının pnömatik sistemde taşınan parçacıkların ortalama çapı ile değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Burada parçacığın çapına göre hangi gruba girdiği (küçük veya büyük parçacık) (4) eşitliği ile belirlenmektedir. Bu eşitliğe göre; kritik parçacık çapı, parçacığın ve gazın yoğunluğuna ve boru çapına bağlıdır. Bu grafikte katı-gaz kütleli debi oranı sabit olup $m=1$ olarak alınmıştır. Ayrıca tüm hesaplamalarda parçacık yoğunluğu 1600 kg/m^3 olarak alınmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi küçük çapa sahip parçacıklarda parçacık çapı küçüldükçe parçacıkların boru tabanında birikmemesi için gerekli olan optimum taşıma hızı artmaktadır. Bu davranış, büyüklükleri mikron mertebesinde olan parçacıkların akışın türbülans şiddetini azaltması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Taşıma hızındaki aşırı artış özellikle 100 mm'den daha küçük çapa sahip parçacıklar için dikkat çekmektedir. Bu durum ortalama çapları 100 mm'den küçük parçacıkların pnömatik olarak taşınması esnasında çok fazla enerji harcanması gerektiği anlamına gelmektedir. Aynı grafikte; boru çapının optimum taşıma hızına olan etkisi de görülmektedir. Pnömatik taşıma sisteminde kullanılan boru çapının artması ile gerekli optimum taşıma hızı da artmaktadır.

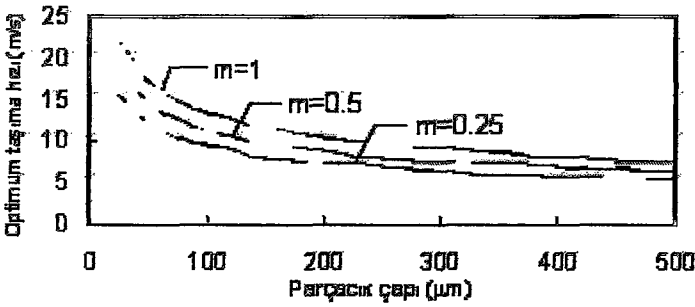


[4]

Şekil 3.2 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (küçük çapa sahip parçacıklar için)

Şekil 3.3'de ise sabit boru çapında ($D=10$ cm) çeşitli katı-gaz kütleli debi oranlarındaki (m) taşıma hızı ile parçacık çapının değişiminin grafiği gösterilmektedir. Sistemden geçen katı miktarının artırılması, parçacıkların taşınması için yüksek türbülans şiddetine gereksinim gösterdiğinden, taşıma amaçlı enerji kullanımı da artmaktadır.

Pnömatik taşıma sistemine yeni parçacık eklenmesi ile birlikte gazın sahip olduğu enerji parçacıkların taşınmasına yetmeyecektir. Dolayısıyla daha fazla miktarda parçacık taşımak için sistemden geçen gazın hızının artırılması zorunludur. Aksi takdirde parçacıklar boru tabanında birikmekte ve bu da sistemde enerji kaybına neden olmaktadır.

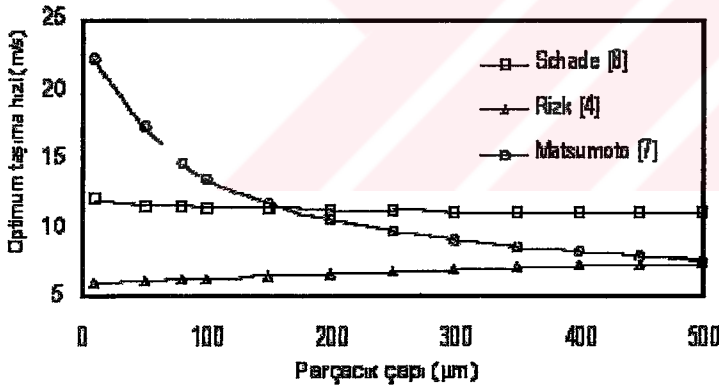


[4]

Şekil 3.3 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (küçük çapa sahip parçacıklar için)

Şekil 3.4’de küçük çapa sahip parçacıklar için üç değişik çalışmadan alınan eşitlikler karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar; Matsumoto [7] , Rizk [4] ve Schade [8]’nin çalışmalarıdır. Şekil 3.4’den de görüleceği gibi her üç çalışmada önerilen eşitliklerin değişimleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bu da pnömatik taşıma sisteminin tasarım aşamasında hesaplamalar yapılırken özen gösterilmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Örneğin pnömatik taşıma sisteminde kullanılan parçacıkların ortalama çapının 50 mm olduğu durum göz önüne alındığında Matsumoto eşitliğinin kullanılması durumunda optimum taşıma hızı 18 m/s, Rizk eşitliği kullanıldığında 6 m/s ve Schade eşitliği kullanıldığında ise 12 m/s olarak hesaplanmaktadır.

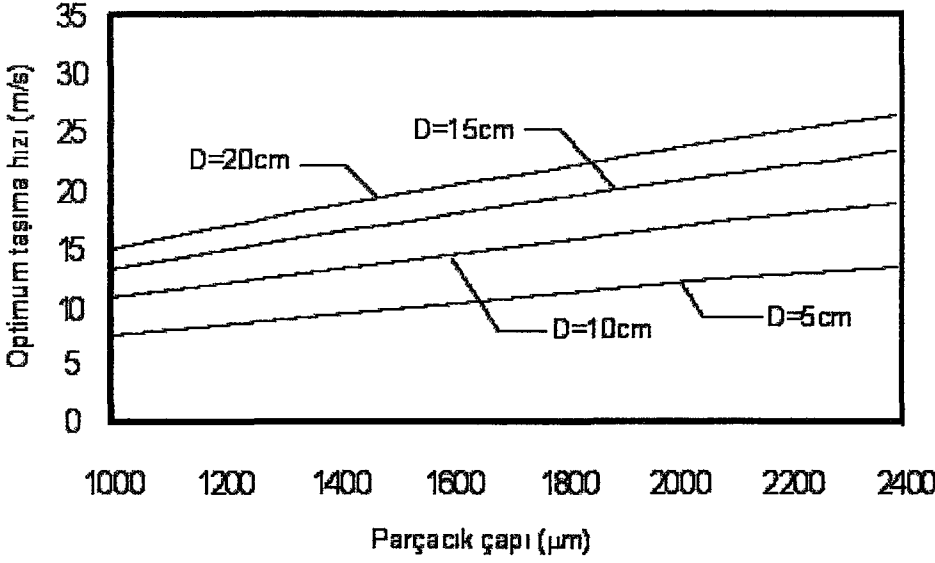
Görüldüğü gibi 50 mm parçacık çapı için hesaplamalar arasında 3 kata varan farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu farkın Rizk ve Schade’nin küçük çapa sahip parçacıklar için detaylı çalışma yapmamlarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Parçacık çapı büyüdükçe Rizk ve Matsumoto’nun eşitliklerinden elde edilen sonuçlar da birbirine yaklaşmaktadır.



[4]

Şekil 3.4 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (m=1 ve D=10)

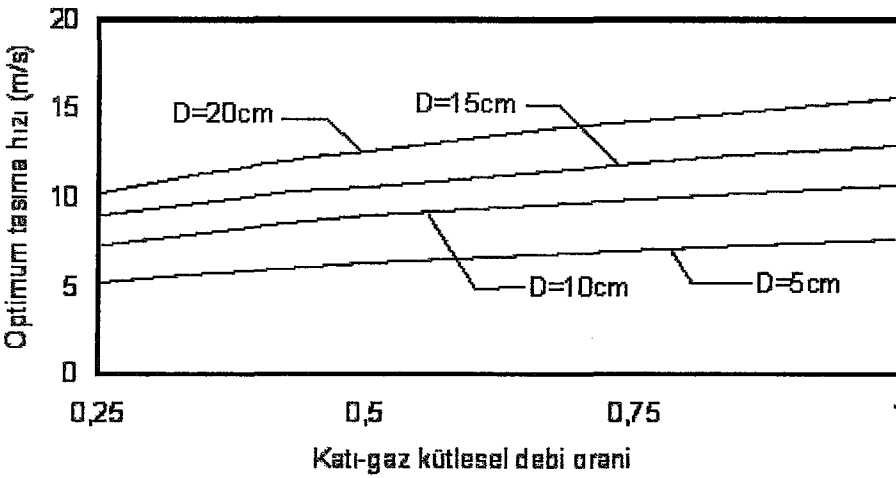
Şekil 3.5’de ise büyük çapa sahip parçacıklar için optimum taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi sabit katı-gaz kütleli debi oranı (m=1) için gösterilmektedir. Parçacık çapının büyümesine paralel olarak parçacıkları sistemde çökme olmadan taşımak için gerekli olan optimum gaz hızı, küçük parçacıklı sistemlerin tersine artma göstermektedir. Parçacık çapının büyümesiyle parçacıkların ağırlıkları artmakta ve parçacıkları taşımak için gereken hız ve dolayısıyla enerjinin de artması gerekmektedir. Şekil 3.5’de ayrıca boru çapının etkisi de gösterilmiştir. Boru çapının artması küçük parçacıklı sistemlerde olduğu gibi optimum taşıma hızının artmasına neden olmaktadır.



[4]

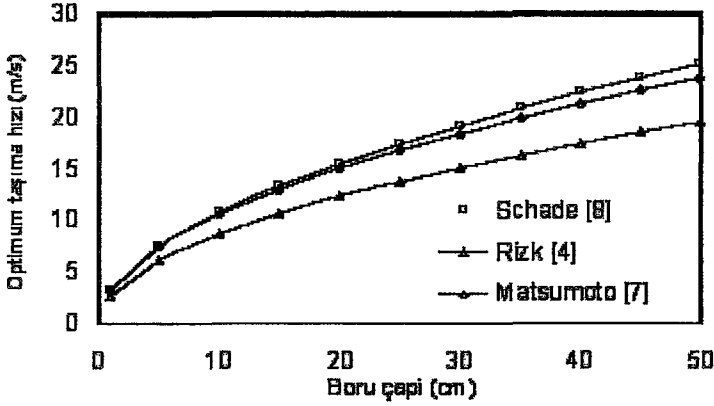
Şekil 3.5 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (büyük çapa sahip parçacıklar için)

Şekil 17 de katı-gaz kütleli debi oranının optimum taşıma hızına etkisi büyük çapa sahip parçacıklar için ($d_p=1$ mm) gösterilmektedir. Katı-gaz kütleli debi oranının artması sistemde taşınan parçacık miktarının artması anlamına gelmektedir. Pnömatik taşıma sistemindeki parçacıkların kütleli debisinin artması parçacıkların çökme olmadan taşınması için gereken optimum taşıma hızını arttırmaktadır.



[4]

Şekil 3.6 Taşıma hızının katı-gaz kütleli debi oranı ile değişimi (büyük çapa sahip parçacıklar)



[4]

Şekil 3.7 Taşıma hızının boru çapı ile değişimi ($m=1$ ve $d_p=1000\text{mm}$)

Şekil 3.7’de ise boru çapının optimum taşıma hızına etkisi üç değişik çalışma için gösterilmektedir. Burada katı-gaz kütleli debi oranı $m=1$ ve ortalama parçacık çapı $d_p=1\text{ mm}$ olarak alınmıştır. Daha önceki kısımlarda da belirtildiği gibi boru çapı arttığında optimum taşıma hızı da artmaktadır. Literatürden alınan üç çalışma karşılaştırıldığında Schade ve Matsumoto’nun sonuçları birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Rizk’in sonuçları ise diğer iki çalışmaya nazaran daha düşük çıkmaktadır. Parçacık yoğunluğunun da optimum taşıma hızına etkisi vardır. Parçacık yoğunluğunun artması parçacığın ağırlığını arttıracığından dolayı parçacıkları gaz içerisinde boru tabanına çökmeden taşımak için daha fazla enerjiye gereksinim duyulacaktır. Dolayısıyla parçacık yoğunluğunun artması optimum taşıma hızının artması anlamına gelmektedir.

3.2.4 Sonuç

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 önleneceği 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 diğ. [4] tarafından önerilmiş olan eşitliklerin tasarım aşamasındaki pnömatik taşıma sistemlerinde optimum taşıma hızının belirlenmesi amacıyla kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

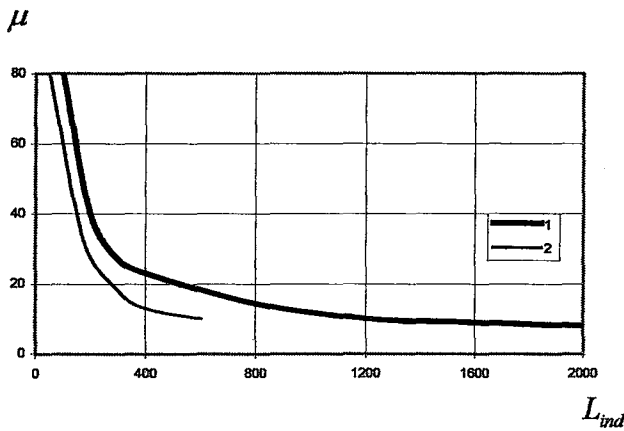
3.3 Karışımın Ağırlık Yığılmasının Hesabı

Hava ve malzeme karışımının ağırlık yığılması (konsantrasyonu), μ , donanımın ağırlıkça kapasitesinin, malzemeyi götürmek için gerekli hava miktarına (ağırlıkça) oranıdır. Bunu matematik olarak ifade edersek:

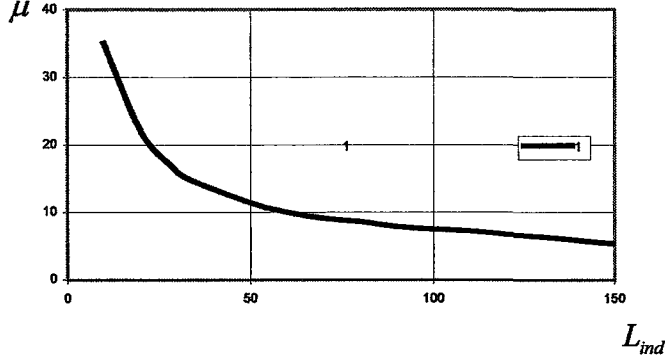
$$\mu = \frac{Q}{3,6\gamma_{hava}V_{hava}} \text{ kg malzeme/kg hava} \quad (3.12)$$

Mevcut donanımların çoğunda, karışımın μ yığılması götürme borusunun d_b çapına P basıncına ve L_{ind} indirgenmiş götürme boyuna bağlıdır.

Her donanım tipi bir özgül hava basıncında çalıştığından, örneğin yüksek basınçlı bir götürme düzeninde, $P = 2,5-5 \text{ kg/cm}^2$; orta basınçlıda $P = 1,3-2,2 \text{ kg/cm}^2$, emmeli bir götürme düzeninde $P = 0,2-0,45 \text{ kg/cm}^2$ alınır. Sonuç olarak, hesaplanan donanımın türüne karşılık olarak verilmiş bir basınçta, karışımın μ ağırlık yığılması, eşdeğer L_{ind} götürme uzunluğuna göre belirlenmelidir. Basınçlı ve emmeli götürücüler için μ ile L_{ind} arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.8 Karışımın ağırlık yığılmasının indirgenmiş götürme uzunluğuna bağımlılığını gösteren grafik.



Şekil 3.9 Karışımın yığılmasının (tahıl için) indirgenmiş götürme uzunluğuna bağımlılığını gösteren grafik.

1: kuru ve serbest akışlı, özgül ağırlığı yüksek malzemeler ($\gamma_y = 2,5-3,2 \text{ t/m}^3$) için

2: düşük özgül ağırlıklı ($\gamma_y = 1,8-2,5 \text{ t/m}^3$) ancak yüksek nem miktarı ve çok aşındırıcı malzemeler için.

Bu değerler test ve işletme verilerinden elde edilmişlerdir ve kılavuz olarak kullanılabilirler.

3.4 Hava Tüketiminin ve Götürme Borusu İç Çapının Hesabı

Gerekli hava tüketimi şu denklemden hesaplanır:

$$V_{hava} = \frac{Q}{3,6\gamma_{hava}} = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot v_{hava} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3.13)$$

Buradan borunun iç çapı,

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{\pi v_{hava}}} \quad (\text{m}) \quad \text{bulunur.} \quad (3.14)$$

Götürme borusunun d_b teorik çapı belirlendikten sonra, buna en yakın standart boru çapı alınır. Seçilen borunun et kalınlığı, götürülen malzemenin aşındırıcılığına bağlıdır. Taşınacak malzemenin aşındırıcılığı arttıkça et kalınlığı da fazla alınır.

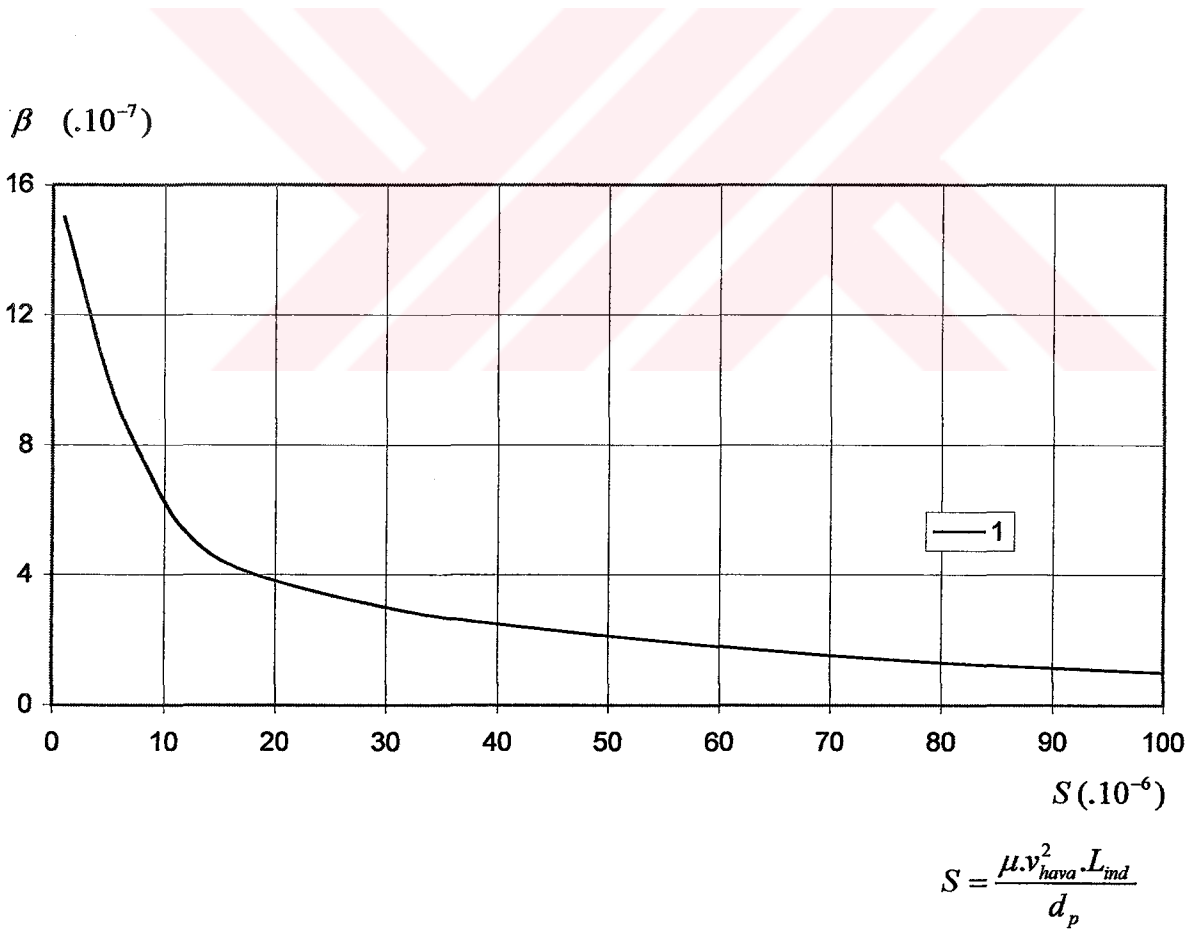
3.5 Boruda Gerekli Hava Basıncının Belirlenmesi

Sıkıştırılmış bir ortamın (hava) bir boru içindeki hareketinin teorik ve deneysel incelemeleri aşağıdaki denklemleri sağlamıştır:

Basıncı götürme düzenleri için,

$$P_g = P_\xi \sqrt{1 + \frac{\lambda L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} \quad \text{ata} \quad (3.16)$$

$$P_\xi = P_g \sqrt{1 - \frac{\lambda L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} \quad \text{ata} \quad (3.17)$$



Şekil 3.10 β katsayısının S değerine bağımlılığını gösteren grafik.

Hava ve malzeme karışımının hareketinde λ birçok etkene, özellikle karışımın μ ağırlık yığılmasına bağlıdır.

$$\lambda = \beta \cdot \mu \quad (3.18)$$

burada β da S değerine bağlıdır.

$$S = \frac{\mu \cdot v_{hava}^2 \cdot L_{ind}}{d_b} \quad (3.19)$$

Basıncılı götürme düzenleri için bu değerlerin karşılıklı bağımlılıkları işletme ve test verilerinden elde edilmiş ve buna ilişkin eğri yukarıdaki şekilde verilmiştir. Emmeli götürme düzenlerinde β 'nın değeri sabittir:

$$\beta = 1,5 \times 10^{-7}$$

Eğer malzeme bir $H = - \sum I_a$ yüksekliğine kaldırılacaksa, yalnız sürtünme kayıpları değil fakat hava-malzeme sütununun boru kesitine indirgenmiş birim ağırlığı da hesaba katılmalıdır.

Yani,

$$P_{kes} = \frac{H \gamma'_{hava} \mu}{10^4} \quad (kg / cm^2) \quad (3.20)$$

Burada,

γ'_{hava} = Havanın özgül ağırlığıdır. (verilen düşey bölüm için ortalama)

Basıncılı götürme düzenlerinde $P_g \approx 1$ ata ve emmeli götürme düzenlerinde $P_g \approx 1$ ata olduğundan sonuçta basıncılı götürme düzenleri için,

$$P_g = \sqrt{1 + \frac{\beta \cdot \mu \cdot L_{ind} \cdot v_{hava}^2}{d_b}} \pm P_{kes} \quad (ata) \quad (3.21)$$

ve emmeli götürme düzenleri için,

$$P_{\zeta} = \sqrt{1 - \frac{\beta \cdot \mu \cdot L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} \pm P_{kes} \quad (\text{ata}) \quad (3.22)$$

bulunur.

(3.21) denkleminde, yukarı doğru hareket için P_{kes} in önündeki işaret artı, aşağı doğru hareket için eksi alınır. (3.22) denkleminde bunun tersi uygulanır.

3.6 Körük İçin Gerekli Gücün Belirlenmesi

Bu güç aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$N_k = \frac{L_k \cdot V_o}{60 \times 102 \eta} \quad (\text{kw}) \quad (3.23)$$

Burada, L_k = körüğün izotermik sıkıştırma sırasında emilen 1 m^3 hava başına yaptığı teorik iştir ve şu denklemden bulunur;

$$L_k = 23030 \cdot P_o \cdot \log \frac{P_k}{P_o} \quad (\text{kgm} / \text{m}^3) \quad (3.24)$$

P_k = körüklerdeki basınç olup değeri;

$$P_k = P_w \cdot \alpha + P_{kayna} \quad (\text{ata}) \quad (3.25)$$

Burada P_w ata olarak çalışma basıncıdır. Bu basınçlı götürücülerde giriş noktasındaki hava basıncı ve emmeli götürücülerde borunun son noktasındaki basınçtır.

Emmeli götürücülerde,

$$P_w = P_o - P_{\zeta}$$

α = girişlerdeki kayıplar için katsayı (1,15-1,25). Bu katsayının değeri enjektörlerin yapısına bağlıdır.

P_{kayit} = ana hava besleme borusundaki basınç kayıpları, kompresörler için $P_{kayit} \approx 1,3$ (kg/cm^2) alınabilir.

P_o = atmosferik basınç, yaklaşık 1 (ata) olarak alınır.

(8) denklemindeki η toplam kompresör verimi 0,55-0,75 arasında değişir. 1 m^3 havanın sıkıştırılması için gerekli L_k işi P_k nın katsayısı olarak (10 denkleminde bakınız) seçilir:

P_k , (ata) L_k , (kgm/m^3)

0,6 4700

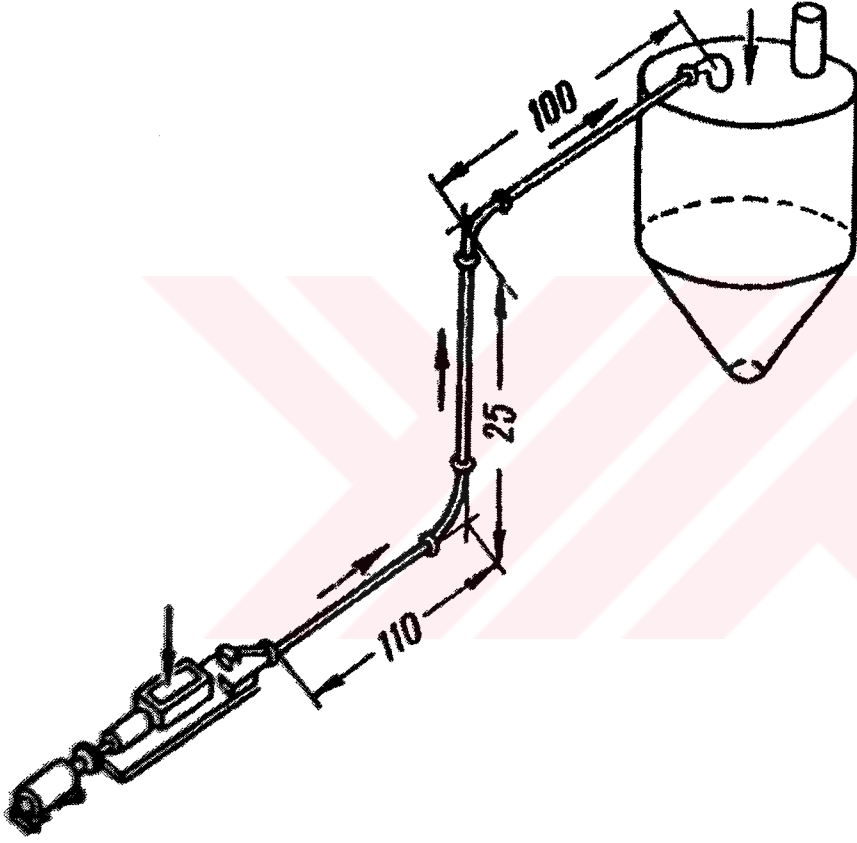
0,7 4100

0,8 3500

0,9 2700

4. ÖRNEK PROBLEM: BASINÇLI BİR HAVA GÖTÜRME DONANIMININ HESABI

Basınçlı götürme donanımı, depodan bir beton santrale çimento götürmek üzere tasarlanmıştır. Donanım şeması aşağıda verilmiştir. Donanım kapasitesi $Q=50$ (t/sa), yükün özgül ağırlığı $\gamma_y = 3,2$ (t/m³) dir.



Şekil 4.1 Bir havalı çimento donanımının hesap şeması

1. İndirgenmiş (hesaplanmış) götürme uzunluğu (3.1) denklemine göre hesaplanır:

$$L_{md} = \sum l_{yat} + \sum l_{düş} + \sum l_{es_d} d = 210 + 25 + 3 \times 5 = 250 \text{ m}$$

Burada $\sum l_{es_d} d = 5$ metre ($R_o/d_b = 4$ değeri için Çizelge 3.1 e göre) alınmıştır.

2. Götürme havası akımının hızı (3.3) denkleminde göre hesaplanır.

$$v_{hava} = \alpha \sqrt{\gamma_y} + BL_{ind}^2 \quad (\text{m/s})$$

$$v_{hava} = 12 \times \sqrt{3,2} + 3 \times 10^{-5} \times 250^2 = 23,5 \text{ m/s}$$

3. Karışımın ağırlık yığılması yüksek basınçlı düzenlerde μ 'yü L_{ind} 'in fonksiyonu olarak veren grafikteki "1" eğrisinden alınır. $\mu = 35$

4. Gerekli hava tüketimi (3.13) denkleminde hesaplanır.

$$V_{hava} = \frac{Q}{3,6 \gamma_{hava} \mu} = \frac{50}{3,6 \times 1,2 \times 35} = 0,33 \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

Burada $\gamma_{hava} = 1,2$ değeri (3.2) denkleminde için verilen açıklamalara uygun olarak seçilmiştir.

5. Götürme borusunun iç çapı (3.14) denkleminde göre hesaplanmıştır.

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{\pi \cdot v_{hava}}} \quad (\text{m})$$

$$d_b = \sqrt{\frac{4 \times 0,33}{3,14 \times 23,5}} \approx 0,135 \text{ m}$$

6. Götürme borusunun başlangıçta (girişinde) gerekli hava basıncı (mutlak) (3.19,3.20,3.21) denklemlerinde hesaplanır:

$$S = \frac{\mu \cdot v_{hava}^2 \cdot L_{ind}}{d_b} = \frac{35 \times 23,5^2 \times 250}{0,136} \approx 36 \times 10^6$$

ve bu değere karşılık olarak $\beta = 2,5 \times 10^{-7}$ bulunur. (grafığe göre)

$$P_g = \sqrt{1 + \frac{\beta \cdot \mu \cdot L_{ind} \cdot v_{hava}^2}{d_b} + \frac{H \gamma'_{hava} \mu}{10^4}}$$

$$P_g = \sqrt{1 + 2,5 \times 10^{-7} \times 36 \times 10^6 + \frac{25 \times 1,8 \times 35}{10^4}} \approx 3,5 \text{ ata} \approx 2,5 \text{ atü}$$

$\gamma'_{hava} = 1,8$ değeri (3.2) denklemi için verilen açıklamalara uygun olarak ve borunun düşey bölümünün biçiminden bağımsız olarak alındı.

7. Kompresörün ana hava besleme borusunda gerekli hava basıncı (3.25) denkleminde belirlenir.

$$P_k = P_w \cdot \alpha + P_{kayna} \text{ (ata)}$$

$$P_k = 3,5 \times 1,2 + 0,3 = 4,3 \text{ ata}$$

8. Gerekli kompresör kapasitesi (3.13) denkleminde belirlenir.

$$V_o = V_{hava} \alpha' = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot V_{hava} \alpha' \times 60$$

$$V_o = 3,14 \times 0,136^2 \times 23,5 \times 1,1 \times 60 \approx 22 \text{ m}^3 / \text{dak}$$

Burada $\alpha' = 1,1$ sistemdeki kaçakları hesaba katan bir katsayıdır.

9. Gerekli motor gücü (3.23) denkleminde belirlenir.

$$N_k = \frac{L_k \cdot V_o}{60 \times 102 \eta}$$

$$N_k = \frac{15 \times 10^3 \times 22}{60 \times 102 \times 0,55} = 98 \text{ kw}$$

Burada, kompresörün emilen her m^3 hava başına yaptığı teorik iş (3.24) denkleminde hesaplanır.

$$L_k = 23030 \cdot P_o \cdot \log \frac{P_k}{P_o}$$

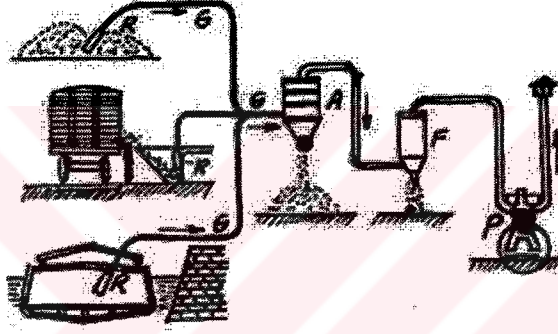
$$L_k = 23030 \times 1 \times \log \frac{4,3}{1}$$

$$L_k = 23030 \times 0,633 \approx 15 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$



5. ÖRNEK PROBLEM: EMMELİ BİR GÖTÜRME DONANIMININ HESABI

Emmeli götürme donanımı deniz taşıtlarını boşaltmak için tasarlanmıştır. Boşaltılması istenen yük özgül ağırlığı $\gamma_y = 1,4 \text{ t/m}^3$ olan buğday olup kapasite $Q = 25 \text{ t/sa}$ dır. Donanımın şeması aşağıda verilmiştir. Malzeme $H = \sum l_{di} = 15$ metreye yükseltilecektir. Yatay götürme uzunluğu $\sum l_{yat} = 10$ metredir.



Şekil 5.1 Emme götürücülü pnömatik sistem şekli.

1. İndirgenmiş (tasarım) götürme uzunluğu (3.1) denklemine göre hesaplanır.

$$L_{ind} = \sum l_{yat} + \sum l_{diş} + \sum l_{es_a} d = 10 + 15 + 2,5 \times 10 = 50 \text{ m}$$

Burada $\sum l_{es_a} d = 10$ metre ($R_o/d_b = 6$ değeri için Çizelge 3.1'e göre) alınmıştır. Bükülebilir bölümlü dirseklerin hesaplanmış değeri ise 2,5 dur.

2. Götürme havası akımının hızı (3.3) denklemine göre hesaplanır.

$$v_{hava} = \alpha \sqrt{\gamma_y} = 18 \sqrt{1,4} \approx 22 \text{ (m/s)}$$

3. Karışımın ağırlık yığılması μ 'yü L_{ind} 'in fonksiyonu olarak veren 2.grafikteki "1" eğrisinden alınır. $\mu=15$

4. Gerekli hava tüketimi (3.13) denkleminde hesaplanır.

$$V_{hava} = \frac{Q}{3,6\gamma_{hava}\mu} = \frac{25}{3,6 \times 1,2 \times 15} = 0,385 \quad (m^3/s)$$

Burada $\gamma_{hava} = 1,2$ değeri (3.2) denklemini için verilen açıklamalara uygun olarak seçilmiştir.

5. Borunun iç çapı (3.14) denklemine göre hesaplanmıştır.

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{\pi \cdot v_{hava}}} \quad (m)$$

$$d_b = \sqrt{\frac{4 \times 0,385}{3,14 \times 22}} \approx 0,14 \quad m$$

6. Götürme borusunun son (çıkış) noktasındaki gerekli hava basıncı (mutlak) (3.19,3.20,3.21) denklemlerinden hesaplanır:

$$S = \frac{\mu \cdot v_{hava}^2 \cdot L_{ind}}{d_b} = \frac{15 \times 23,5^2 \times 50}{0,14} \approx 25,8 \times 10^5$$

ve bu değere karşılık olarak $\beta = 1,5 \times 10^{-7}$ bulunur. (grafığe göre)

$$P_{\varphi} = \sqrt{1 - \frac{\beta \cdot \mu \cdot L_{ind} \cdot v_{hava}^2}{d_b} - \frac{H \gamma'_{hava} \mu}{10^4}}$$

$$P_{\varphi} = \sqrt{1 - 1,5 \times 10^{-7} \times 25,8 \times 10^5 - \frac{15 \times 0,95 \times 15}{10^4}} = 0,764 \quad \text{ata}$$

$\gamma'_{hava} = 0,95$ değeri (3.2) denklemi için verilen açıklamalara uygun olarak alındı

$P_o \approx 1 \text{ kg/cm}^2$ lik atmosfer basıncında gerekli vakum

$P_w = P_o - P_\zeta = 1 - 0,764 = 0,236 \text{ kg/cm}^2$ dir.

7. Körük ana hava besleme borusunda gerekli vakum (3.25) denkleminden belirlenir.

$$P_k = P_w \cdot \alpha + P_{kayna} \text{ (ata)}$$

$$P_k = 0,236 \times 1,1 + 0,02 = 0,28 \text{ ata}$$

Burada,

α = ağzın yapısına bağlı olarak emme ağzındaki kayıpları dikkate alan katsayı. (tahıl yükleyicilerde $\alpha = 1,05 - 1,1$)

P_{kayna} = ana hava besleme borusundaki separatör ve filtrelerdeki basınç kayıpları. Genellikle, emmeli düzenlerde $0,02 \text{ kg/cm}^2$ alınır.

8. Gerekli kompresör kapasitesi (3.13) denkleminden belirlenir.

$$V_o = V_{hava} \alpha' = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot V_{hava} \alpha' \times 60$$

$$V_o = \frac{3,14}{4} \times 0,14^2 \times 22 \times 1,1 \times 60 \approx 22,3 \text{ m}^3 / \text{dak}$$

Burada $\alpha' = 1,1$ sistemdeki kaçakları hesaba katan bir katsayıdır.

9. Gerekli motor gücü (3.23) denkleminden belirlenir.

$$N_k = \frac{L_k V_o}{60 \times 102 \eta}$$

$$N_k = \frac{5000 \times 22,3}{60 \times 102 \times 0,55} = 33 \text{ kw}$$

Burada, $L_k = 5000 \text{ kgm}/m^3$ 'dür.

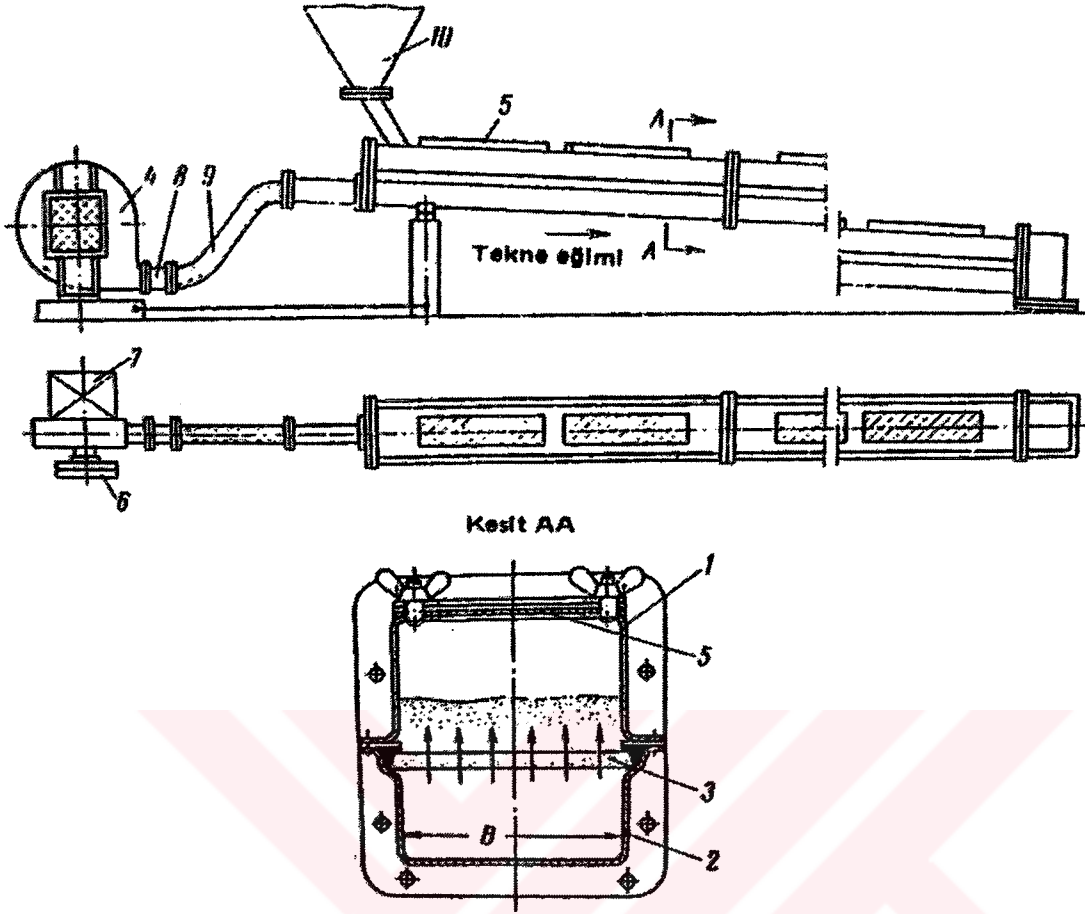


6. HAVALANDIRILMIŞ DÖKME MALZEMELERİN GÖTÜRÜLMESİ İÇİN DONATIMLAR (HAVA KIZAKLARI)

Hava kızakları, yukarıda tanıtılan havalı taşıma donanımlarının bir almasıdır ve kuru, kolay havalandırılabilen pudra malzemelerin taşınmasında kullanılırlar. Havalandırılmış bir malzemenin akışkanlık kazanması olgusu nedeniyle, malzeme, ancak %4 - %5'lik bir eğime sahip tekne içinde hareket ettirilebilir.

Bir hava kızıağı (Şekil 6.1) birbirine cıvatalanmış çelik levhalardan yapılmış (Şekil 6.1 -1) ve (Şekil 6.1 -2) tekne bölümlerinden meydana gelir. Bu iki bölüm arasında bir (Şekil 6.1 -3) gözenekli bölmesi yerleştirilmiştir. Bu bölme seramik ya da yün türünden tek parça ya da karma olabilir.

Tekne içindeki malzeme bölme yüzeyi üzerinde hareket eder. Hava, teknenin alt bölümünden ve (Şekil 6.1 -4) vantilatörü ile beslenir ve bölmenin bütün yüzeyine düzgün olarak dağıtılır. Hava, bölmeden geçerken, bölmenin üzerindeki malzeme tabakasını havalandırır ve akışkan duruma getirir; sonra da tekne kapağının uzunluğu boyunca yerleştirilmiş (Şekil 6.1 -5) kumaş filtrelerinden çıkar.



Şekil 6.1 Hava kızıağı

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Malzemenin hareketli tabakasını taşıyan üst tekne bölümü | 5. Kumaş filtre |
| 2. Havalandırma havasını gönderen alt tekne bölümü | 6. Emme filtresi |
| 3. Gözenekli bölme | 7. Elektrik motoru |
| 4. Vantilatör | 8. Ayar manşonu |
| | 9. Bükülebilir hortum |
| | 10. Besleme hunisi |

Bu tür götürücülerin başlıca üstünlükleri:

- ✓ Basit tasarım,
- ✓ düşük maliyet,
- ✓ hareketli ve aşınan parçaların yokluğu,
- ✓ düşük güç tüketimi (Çizelge 6.1),
- ✓ yüksek taşıma kapasitesi,

✓ küçük genel ölçüler.

Çoğu zaman hava kızakları, helezon ya da titreşimli götürücülere ve kapalı tür götürücülere göre tercih edilir.

Teknenin zorunlu aşağı eğimi ve taşınan malzemenin yapısından gelen sınırlandırmalar bu türün başlıca dezavantajlarıdır.

Ancak, çimento, kül, kömür tozu gibi kuru malzemeler hava kızaklarıyla verimli biçimde götürülebilirler. Bunlar, topraklar içeren ıslak malzemeleri, tebeşir ve alçıtaşı gibi sıkışan ve yapışan malzemeleri taşıyamazlar.

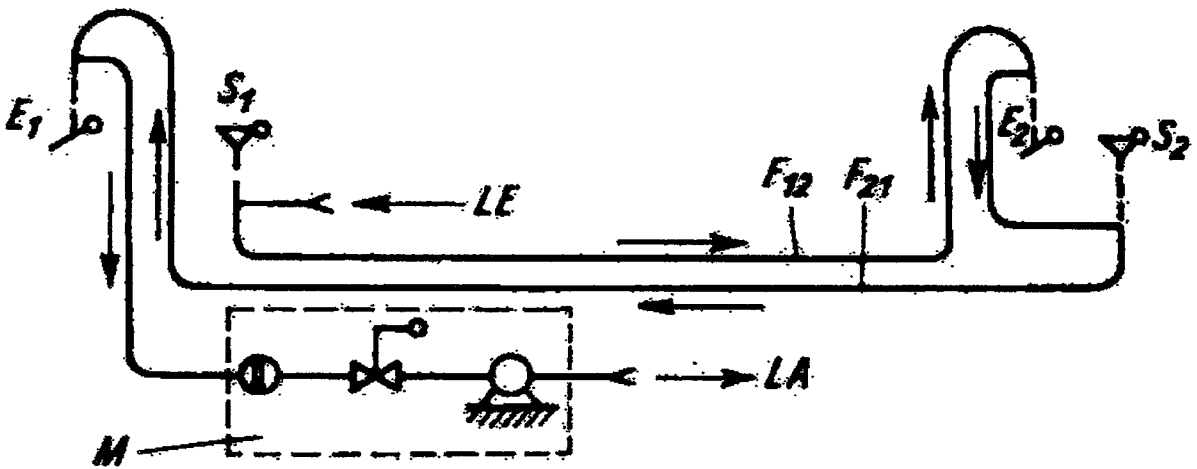
Çizelge 6.1 Hava kızaklarının karakteristikleri

Tekne Genişliği B (mm)	Kapasite Q (m ³ /sa)	Gerekli Motor Gücü, (BG)		
		Götürme Uzunluğu, (m)		
		10	25	40
125	20	0,85	1,35	1,85
250	40	1,1	2,2	3,0
400	80	1,5	3,0	4,5
500	120	1,8	3,6	5,5

7. PARÇA MALLAR İÇİN HAVA TÜPLÜ GÖTÜRÜCÜLER

7.1 Borulu PTT Tesisi

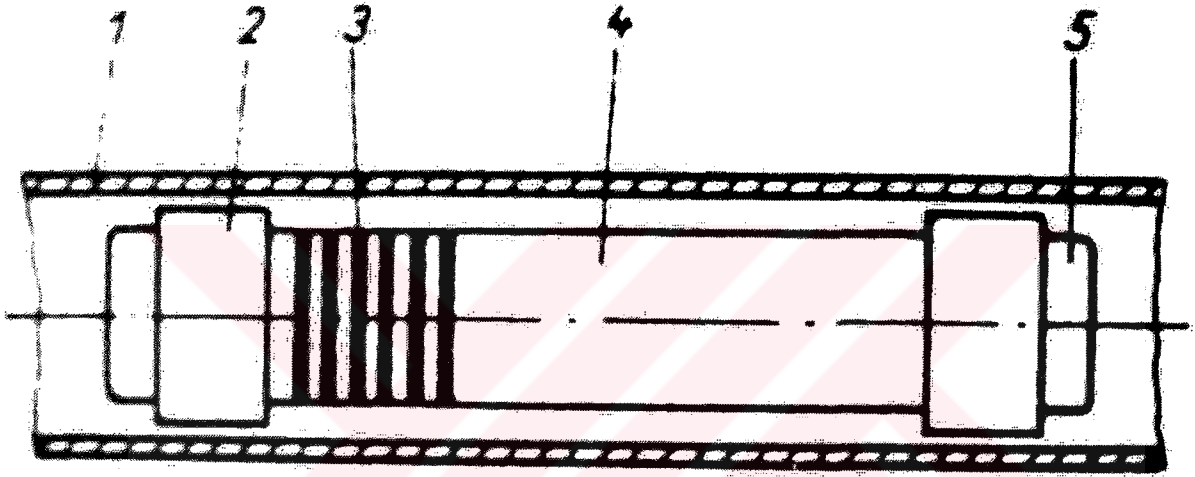
Borulu PTT tesisleri pnömomatik götürücülerin özel bir şeklini teşkil ederler. Bu tesisler ile küçük, silindirik kap (borulu PTT kutusu), vesikalar, örnekler, ilaçlar veya diğer küçük parçalar ihtiva etmekte, akıcı hava vasıtasıyla nakledilirler. Kullanılan iletme hızları 5 ile 14 m/s arasındadır ve gerçekten yüksektir. Bu donanımların boruları yuvarlak (25-100 mm çap) ya da eliptik (en çok 259-400 mm) olabilirler. Tesisler ekseriya emme-havalı götürücüler olarak düzenlenirler. İletme uzunlukları 500 metreye kadar erişmektedir. Makaslar, dirsekler, kanala sokma ve çıkarma tertibatları, hem iki istasyon arasındaki (Şekil 7.1) direkt trafiği, hemde bir ring trafiğini mümkün kılmaktadır. Otomatik tesislerde, borulu PTT kutusundaki işaret taşıyıcısı, hedefi otomatik olarak ayarlar. Borulu PTT tesisleri, işletmelerde, idarelerde, hastanelerde ve devlet dairelerinde, birçok bölümlerin çabuk, direkt ve masrafsız bağlantısı için büyük bir öneme sahiptir.



Şekil 7.1 İki servisin direkt bağlantısı için borulu PTT tesis şeması

E:	Kabul yeri	LA:	Hava çıkışı
S:	Gönderme yeri	M:	Makine dairesi
LE:	Hava girişi	F:	Nakliye borusu

Borulu PTT kutuları (Şekil 7.2), çelik, hafif metal, veya plastik boru içinde hareket eder.



Şekil 7.2 Borulu PTT kutusu

- | | |
|-------------------|----------|
| 1. Nakliye borusu | 4. Kutu |
| 2. Kızak halkası | 5. Kapak |
| 3. Kızak | |

Özel boru PTT kutuları da vardır:

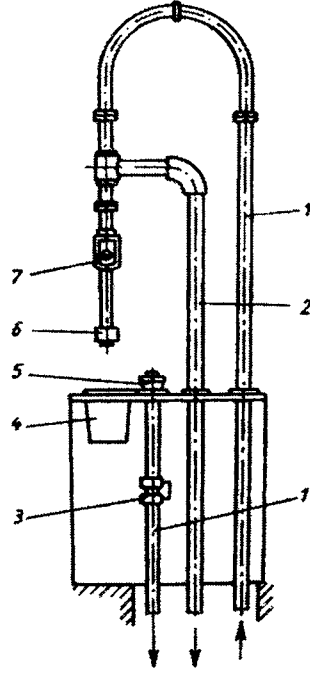
Şişe nakli için doldurulmuş, sıcak malzeme numunesi için izole edilmiş ve izotop için.

Kutular, işaret taşıyıcıları, (kontak halkaları) ile kabul istasyonlarınca ayarlanır ve

gönderilirler. Bu esnada kompresör çalıştırılır, ve kutu hedefe gönderilir. Kabul yerinde (Şekil

7.3) boru PTT kabı kapalı bir kutu içinde bulunmakta ve oradan kolayca alınabilmektedir.

Ekseriya kutu, bir sepet içine atılır. Ayrıca kompresör ile tesis durdurulur.



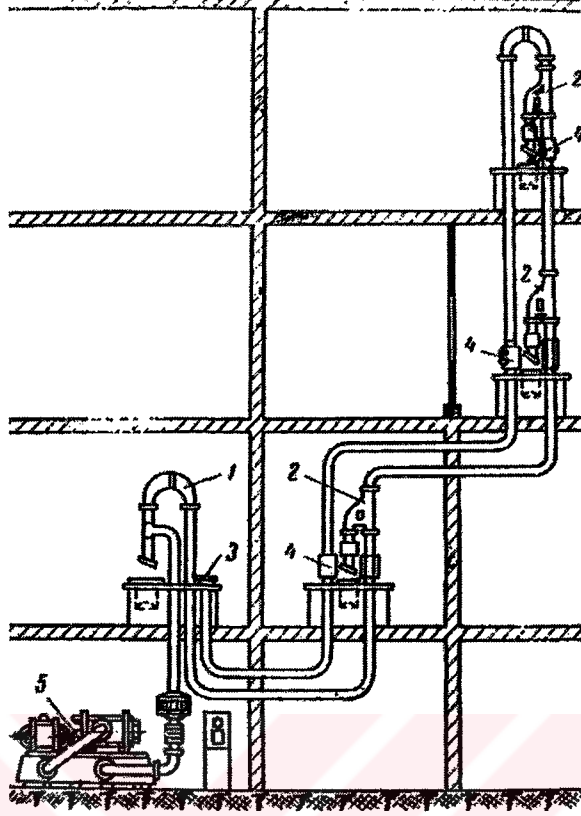
Şekil 7.3 Gönderme ve kabul yeri.

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. Nakliye borusu | 5. Gönderme kabı |
| 2. Emme hava borusu | 6. Çıkış klapesi |
| 3. Nakil kontağı | 7. Geri tepme klapesi |
| 4. Tutma tertibatı | |

Dökme mallara ek olarak standartlaştırılmış kaplardaki (taşıyıcılarda), parça mallarda havalı yoldan taşınabilirler . Bu taşıyıcıların hava girişini önleyecek özel sızdırmazlıkları vardır.

Boyut ve amaç bakımından değişiktirler.

Yük taşıyıcıya konur ve alış noktasından boşaltma noktasına kadar boru boyunca gider (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 Parça malların taşınmasında kullanılan bir kapalı devre donanım şeması

- | | |
|------------------------|------------------|
| 1. Boşaltıcı | 4. Ara besleyici |
| 2. Kontrollü boşaltıcı | 5. Körtük |
| 3. Besleyici | |

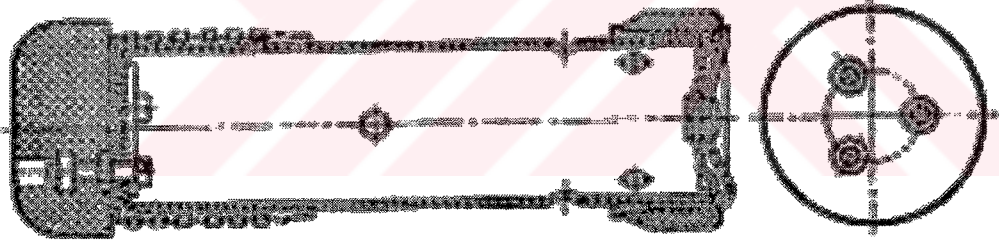
Bu tür taşıma, kentsel haberleşmede geniş bir uygulama alanı bulur:

- Posta ve telgraf merkezleri,
- Bankalar,
- Mağazalar,
- Gazete ve yayın evleri,
- Ticari kuruluşlar,

küçük paketlerin ve diğer hafif eşyaların gönderilmesinde bu düzeni kullanırlar. Bu nedenle buna havalı posta adı da verilir.

Son yıllarda, parça malların hava ile taşınması endüstride de büyük ölçüde uygulanmaya başlamıştır. Makine yapım fabrikalarında küçük boyutlu kesme takımları; çelik fabrikalarında analiz için çelik numuneleri; kitapçılarda kitaplar, vb bu biçimde taşıyıcılar içinde gönderilmektedir. Bu donanımlar da yukarıda tanımlanan havalı götürücülerin ilkelerine göre çalışırlar.

Standartlaştırılmış taşıyıcılarda parça mallar da pnömatik şekilde taşınabilir (Şekil 7.5). Bu tür taşımının kentsel haberleşmede geniş bir uygulama alanı vardır. Posta ve telgraf merkezleri, bankalar, mağazalar, gazete yayınevleri ve ticarî kuruluşlar, küçük paketlerin ve diğer eşyaların gönderilmesinde bu sistemi kullanırlar.



Şekil 7.5 Pnömatik konveyör taşıyıcısı

Çizelge 7.1 Dökme malzemelerin eğim açıları

Dökme mal	Dökme ağırlık $\gamma_y (t/m^3)$	Max eğim açısı $\delta (^\circ)$	Dökme açısı		İletme direnç katsayısı λ	Tane iriliği $a' (mm)$
			Hareketsiz	Hareketli		
Kül ve cüruf	0,7	18	50	25	3,00	..80
Linyit	0,7	15..20	50	35	2,15	..80
Demir hematit	3,2	18..20	50	25	2,15	..60
Mineral (Cu-Pb)	2,4	18..20	40	30	2,15	..60
Hafif mineral	2,04	15..18	35	25	2,15	..60
Yulaf, arpa	0,62	14	35	25	1,85	..8
Grafit	2,05	15..18	35	25	1,85	<0,5
Yanmış kireç	1,2	15..20	35	15	2,15	..30
Kuru, kireç	1,2	15..18	50	15	1,85	..2
Patates	0,7	12	25	15	1,85	..60
Çakıl	1,47	18..20	45	30	3,00	..30
Kok	0,49	15..18	50	30	3,00	..80
Tuvonan kömürü	0,83	17..20	45	20	2,15	..160
Tasnifli kömür	0,9	15	40	20	1,85	..80
Kil, lül çamur	1,8	15..20	45	25	1,85	..1
Un	0,91	12..15	55	35	1,85	<0,5
Killi dolomit	2,15	15..18	45	30	2,15	..5
Kireç harcı	1,7	12..15	45	20	3,0	..3
Mısır, çavdar, pirinç	0,735	15	35	15	1,85	..6
Kum	1,8	12..15	45	20	3,00	..2
Testere talaşı (odun)	0,21	20..30	40	0	2,8	..2
Buğday	0,79	15	35	25	1,85	..8
Çimento	1,47	10..12	50	35	1,85	<0,5

Not:
1) taslak DIN 15262
2) kötü bakımlı ve sık aşırı doldurulmalı kaba işletmeler için (örneğin düzgün olmayan beslenmelerde) λ 'nın bu değerleri %25 civarında artırılmalıdır.

8. SONUÇLAR

Havalı taşıma endüstrisinin bir çok dalında, inşaat işlerinde, demiryolu ve su yolu taşımacılığında kullanılır. Ayrıca dökme malzemeleri ambarlar ve atölyeler içinde; ambardan yükleyiciye ve demiryolu vagonlarından ya da gemilerden fabrikaların silolarına ya da yükleme yerlerine; vagonların ve gemilerin boşaltılmasında; basınçlı konteynerlerin boşaltılmasında; malzemelerin silolardan kontrollü olarak alınmasında kullanılırlar.

Boruda hava akımını meydana getirmek için gerekli basınç düşümünün yaratılma yöntemine bağlı olarak havalı götürücüler şu bölümlere ayrılırlar:

- Emme altında çalışanlar
- Basınç altında çalışanlar
- Hem emme hem de basınç altında çalışanlar

Dökme malzeme taşıyan bir havalı götürücü saatte ton olarak istenen Q kapasitesine, uzunluğa ve borunun yörünge diyagramına bağlı olarak tasarlanır. Taşınan yükün fiziksel ve mekanik özellikleri de önemli bir rol oynar. Çeşitli malzemelerin havalı götürmeye yatkınlığı deneylerle belirlenir.

Bir havalı götürücünün hesabında belirlenmesi gereken en önemli parametreler hava tüketimi V_{hava} (m^3/s), hava basıncı P (kg/cm^2) ve götürme borusunun iç çapı d_b (m) dir.

Havalı taşıma sürecini niteleyen ikinci derecede parametreler de ayrıca belirlenmelidir. Bunlar arasında indirgenmiş götürme uzunluğu L_{ind} (m) karışımın μ ağırlık yığılması (konsantrasyonu), malzeme parçacıklarının v_k kaldırma hızı (m/s) boru içindeki hava akımının V_{hava} hızı (m/s) vardır.

Hesaplar genellikle işletme ve test birimlerindeki pratik deneylerden elde edilen verilere dayanır.

Son yıllarda, parça malların hava ile taşınması endüstride de büyük ölçüde uygulanmaya başlamıştır. Makine yapım fabrikalarında küçük boyutlu kesme takımları; çelik fabrikalarında analiz için çelik numuneleri; kitapçılarda kitaplar, vb bu biçimde taşıyıcılar içinde

gönderilmektedir. Bu donanımlar da yukarıda tanıtılan havalı götürücülerin ilkelerine göre çalışırlar.

Standartlaştırılmış taşıyıcılarda parça mallar da pnömatik şekilde taşınabilir. Bu tür taşımanın kentsel haberleşmede geniş bir uygulama alanı vardır. Posta ve telgraf merkezleri, bankalar, mağazalar, gazete yayınevleri ve ticarî kuruluşlar, küçük paketlerin ve diğere eşyaların gönderilmesinde bu sistemi kullanırlar.



KAYNAKLAR

Alışverişci, M, “Pnömatik ders notları”

Colijn, H., “Designing Bulk Solids Handling Systems. IV. Mechanical and Air Induced Bin Dischargers,” Plant Engineering, December 10, 1981

Gerdeli İsmail, Kesikçi M. Koray, “ http://www.tutev.org.tr/link_akademik.html”

Karakuş C, Akıllı H., Kasım 2002 “Mühendis ve Makine- Sayı 14”

Material Handlingsbook

Makine Mühendisleri Odası (1996), “Havalı götürücüler”

Stankovich, I.E, 1976 “Pneumatic Handling Systems”

Stankovich, I.E. “pneumatic handling classification” BHRA, Pneumotransport Conf. Carmel, CA, 1978

Stankovich, I.D., “A System Approach to Pneumatic Handling” ASME Century 2 – Emerging Technology Conferences, San Francisco, CA 1980

Zenz, F.A and D.F Othmer, 1960 “Fluidization and Fluid Particle Systems”

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	01.01.1977	
Doğum Yeri	Ankara	
Lise	1988-1995	İstanbul Adnan Menderes Anadolu Lisesi
Lisans	1996-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı

Çalıştığı Kurumlar

2002-2003	Kontek Mühendislik Konveyör Sistemleri Ltd.Şti. Satış Sorumlusu
2004-Halen	THY Pilotaj Eğitimi / THK II. Pilot Adayı