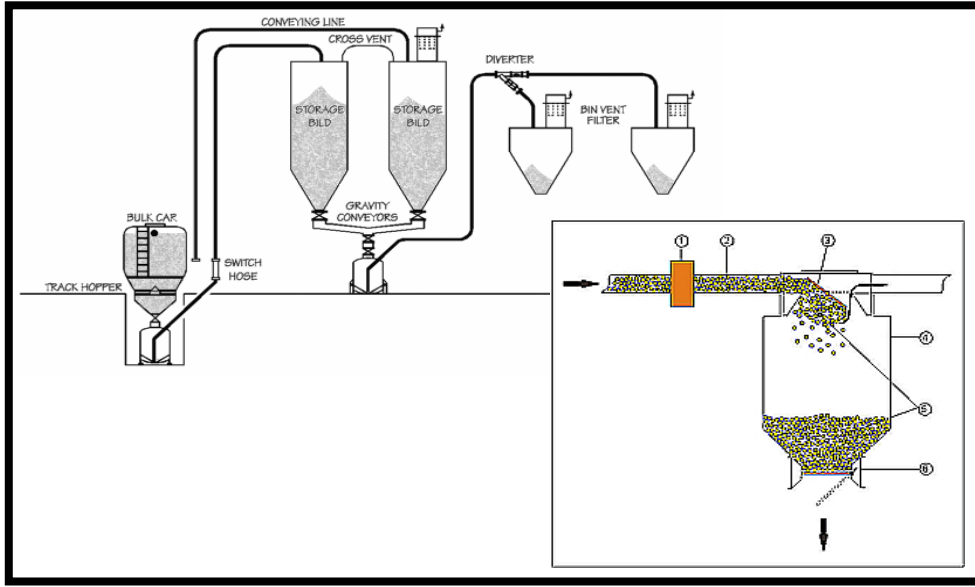


BÖLÜM 12.

PNÖMATİK TRANSPORT MAKİNALARI



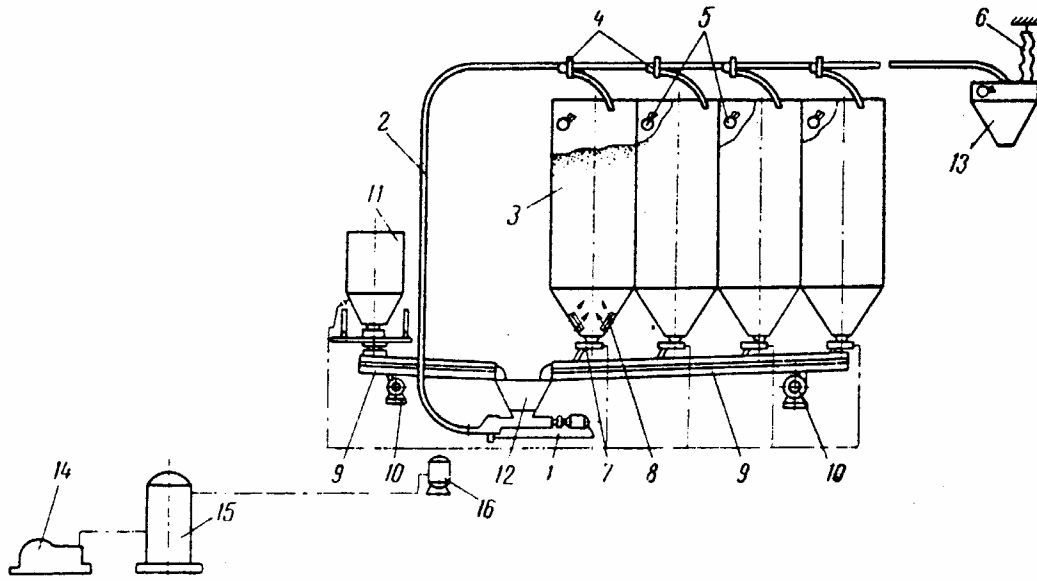
12.1. PNÖMATİK TRANSPORT MAKİNALARININ ANA TÜRLERİ

Pnömatik ya da havalı konveyörler; dökme malzemeleri ya da özel taşıyıcılar içinde birim yükleri, bir kanal içinde hareket eden hava akımıyla iletimde kullanılırlar. Pnömatik transport makinalarının hepsinde ortak olan çalışma ilkesi, hareketin hızlı bir hava akımı tarafından yüke iletilmesidir.

Pnömatik transportun bir diğer yöntemi de serbest akışlı pudra ya da küçük parçalı malzemelere havalandırma yoluyla akıcılık kazandırmaktır. Bu ilkeye göre çalışan düzeneklerin içine *hava kızıağı* denen havalandırılmış taşıma tekneleri, havalandırılmış tablalar ve malzemeyi gevşeterek yükleme teknelerinden ve silolardan boşaltılmasını sağlayan çeşitli konstrüksiyonlardaki boşaltıcılar girer.

Pnömatik transport, endüstrinin 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 veya yükleme yerlerine; vagonların ve gemilerin boşaltılmasında; basınçlı konteynırların boşaltılmasında; malzemelerin silolardan kontrollü olarak alınmasında kullanılırlar. Kuru ve serbest akışlı ve pudra durumundaki geniş malzeme dilimi pnömatik sistemde başarı ile taşınırlar. Bunların en önemlileri: Çimento, kömür tozu, tahıl, alümina, fosforit konsantresi, kül, pamuk, öğütülmüş kömür, hızar talaşı, kraking ünitelerindeki katalizörlerdir.

Bir pnömatik çimento taşıma biriminin basit şeması Şekil 12.1'de görülmektedir. Burada: (1) vidalı (helezon) besleyici; (2) taşıma 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; (13) beton santrali haznesi; (14) kompresör; (15) basınçlı hava deposu ve (16) su tutucudur.



Şekil 12.1 Pnömatik transport sistemi

Pnömatik sistemlerin kapasiteleri ve ana karakteristikleri geniş sınırlar içinde değişmektedir. Bazı türler tek bir boru içinde 300 [t/saat] kadar yüksek olabilirler.

Bir hava akımıyla malzeme taşıyan pnömatik transport sistemlerinin başlıca üstünlükleri: Malzeme sızdırmaz borularla taşındığından ve kayıplar önlenir, özellikle tozlu malzemeler için bu koşul önemlidir; hava borusunun istenilen doğrultuda bükülebildiğinden yer ekonomisi; hareketli parçaların azlığı nedeniyle az sayıda işletme personeli gerektirir ve taşıma işlemi otomasyonu da kolaydır.

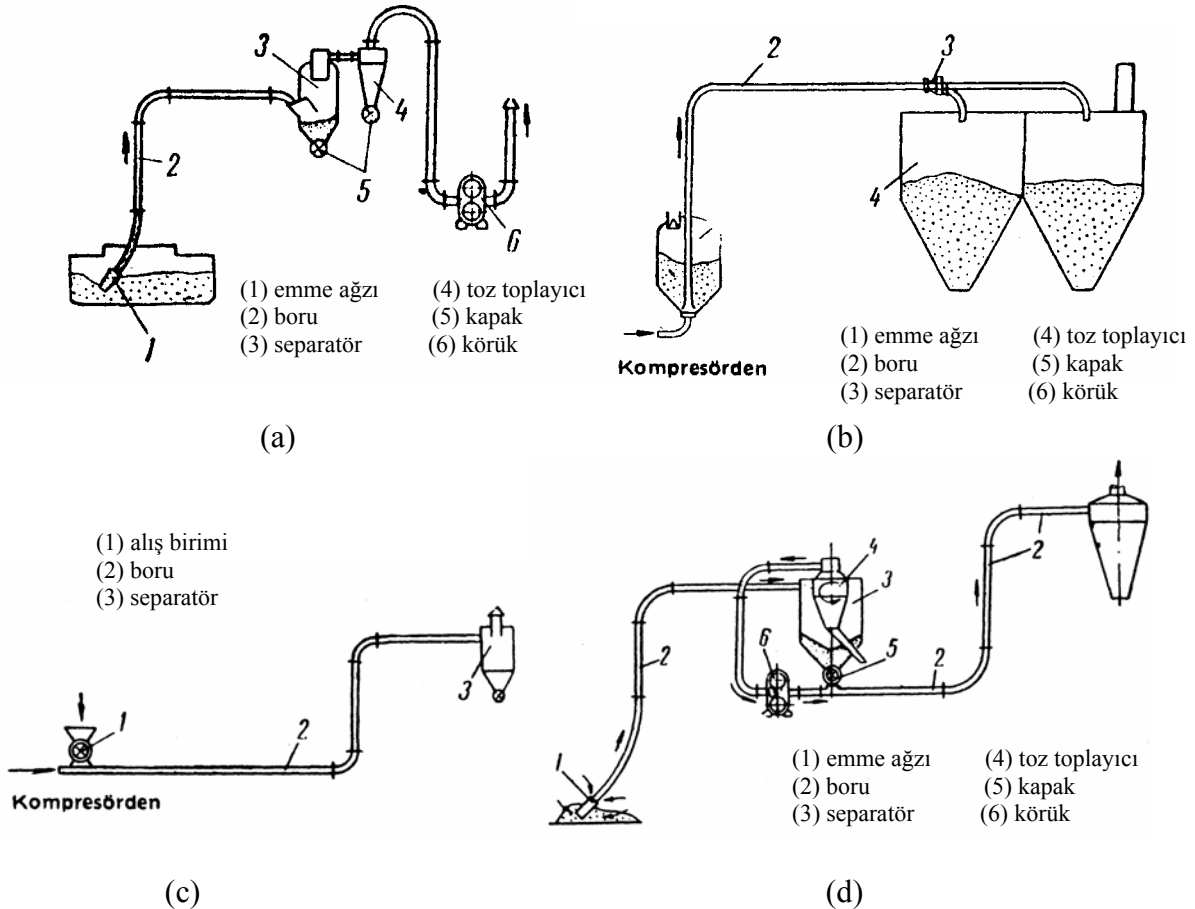
Pnömatik transport sistemlerinin ana sakıncaları ise yüksek güç tüketimi (taşınan malzemenin tonu başına 1 - 4 [kWsaat]) ve aşındırıcı özellik gösteren malların taşınması sırasındaki hızlı yıpranmadır. Ayrıca pnömatik düzenekler; ıslak, topaklanan ve yapışkan malzemeyi taşımaya uygun değildir.

12.2. DÖKME YÜK TAŞIYAN PNÖMATİK TRANSPORT SİSTEMLERİ

Boruda hava akımını oluşturmak için gerekli basınç düşümünün yaratılma yöntemine bağlı olarak pnömatik transport sistemleri *emme altında çalışanlar*; *basınç altında çalışanlar* ve *hem emme hem basınç kullananlar* olarak üçe ayrılırlar. Emme altında çalışan sistemlerde malzeme, düşük yoğunluktaki hava içinde; basınç altında çalışanlar da basınçlı bir hava akımı içinde taşınırlar. Birleşik sistemler ise kısmi vakum altında çalışan birinci bölüm ve basınçlı hava ile çalışan ikinci bölüm olmak üzere iki bölümden meydana gelirler.

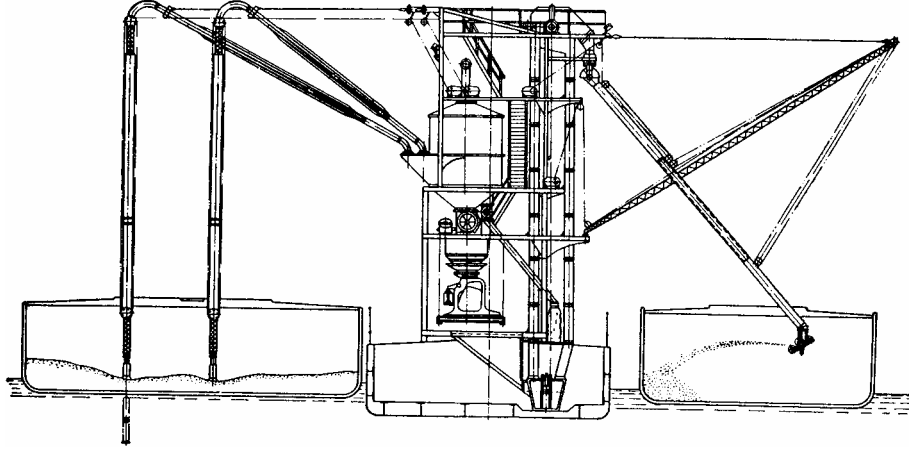
Basınçlı donanımlarda hava yoğunluğu daha yüksek ve böylece basınç düşümü de daha fazladır. Bu onları yavaş akımlı malzemelerde ve büyük uzaklıklara taşımada çok etkin yapar. Basınçlı sistemler başta ağır pudra ve kütleli malzemeleri taşımakta kullanılırlar. Malzeme, boruya bir emme ağzı aracılığıyla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

Emme düzeneklerinde, malzemeyi havadan ayırmak için seri bağlanmış toz toplayıcı özel separatörler kullanılır. Basınçlı düzeneklerde bu işlem, separatörlerle ya da mal doğrudan yükleme haznesine besleniyorsa toz kapanlarıyla yapılır. Pnömatik taşıma birimleri ve bunların besleyicileri; sabit, raylar ya da uzaktan kumandalı ve kendiliğinden hareketli taşıyıcılar üzerine yerleştirilmiş olarak hareketli ya da değişik tasarımlardaki kaldırma palangalarına asılı olabilirler. Pnömatik transport sistemlerinin ana türleri Şekil 12.2'de şematik olarak gösterilmiştir. Emmeli donanım Şekil 12.2a'da ve basınçlı sistemler ise Şekil 12.2b ve Şekil 12.2c'de gösterilmiştir.



Şekil 12.2 Pnömatik transport sistemlerinin ana türleri

Tahıl boşaltma biriminin pnömatik taşıma bölümü emme ağızları; düşey ve yatay boru bölümleri, tahıl ve toz ayracılar, hava kilitli vanalar ve bir egzoz pompasından oluşur (Şekil 12.3).



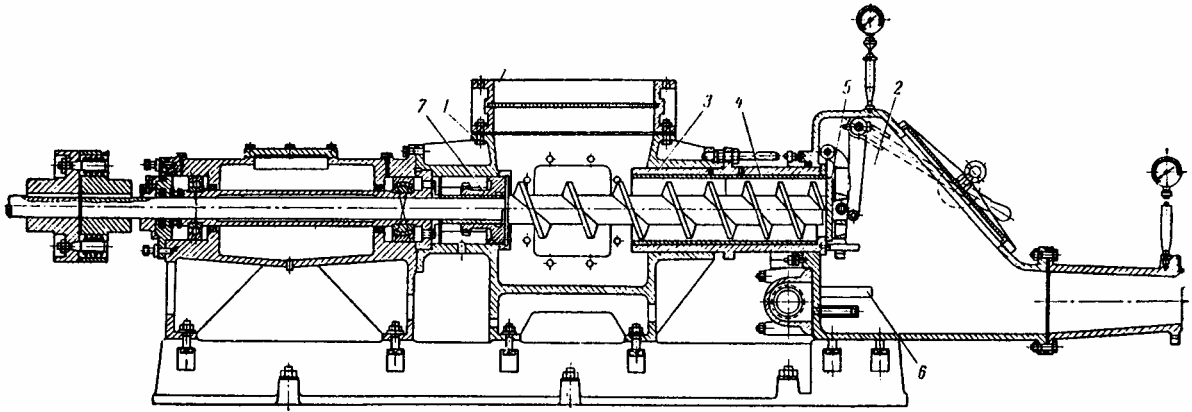
Şekil 12.3 Yüzer pnömatik tahıl boşaltma sistemi

12.2.1. Pnömatik Transport Sistemlerinin Parçaları

Hava akımıyla dökme mal taşıyan bir pnömatik transport sistemi (Şekil 12.2) alış birimi, boru, yol değiştirici vanalar, separatörler ve toz toplayıcılar, kompresör sistemi ve otomatik kontrol sisteminden oluşur.

Alış birimi

Vidalı ya da hücreli besleyiciler ve kaplar basınçlı düzenekleri yüklemekte kullanılırlar. Emmeli götürme düzeneklerinde ise alış ağızları kullanılır. Sabit helezon besleyiciler (Şekil 12.4), çimento ve diğer pudra malzemeler için geniş ölçüde kullanılırlar.



Şekil 12.4 Helezon pnömatik besleyici

Burada malzeme motorla döndürülen yüksek hızlı bir (3) helezonuyla (1) besleme haznesinden alınıp, (2) karıştırma odasına gönderilir. Bu silindirik gövde içinde 1000 [d/d] kadar hızla dönen helezon vida adımı, yükün gidiş doğrultusunda azalır. Silindirik gövde içinde (4) değiştirilebilir gömlekleri yerleştirilmiştir. Bu değişken vida adımı yükün sıkıştırılmasını sağlar ve böylece karıştırma odasından yükleme haznesine helezon yoluyla

basınçlı hava kaçmasını önler. Malzemenin helezon tarafından sıkıştırılma derecesi (5) vanası ile ayarlanır. Bu vana sistem süpürüldüğünde helezon yoluyla tekneye hava girmesini önler. Karıştırma odasının alt bölümü iki sıralı (6) boru ağzlarını içerir. Basınçlı hava bunlar aracılığıyla karıştırma odasına girer. Hava oda içerisinde malzemeyi gevşetir ve onu çıkış ağzına götüren boru içine götürür. Yataklar, helezonu taşıyan odadan toz girişini önleyen (7) kepçeleriyle korunurlar. Özel salmastra kutuları ya da yağ kepçeleri havanın dar bir çevresel yarık boyunca yataklardan helezonlara doğru akmasını sağlarlar.

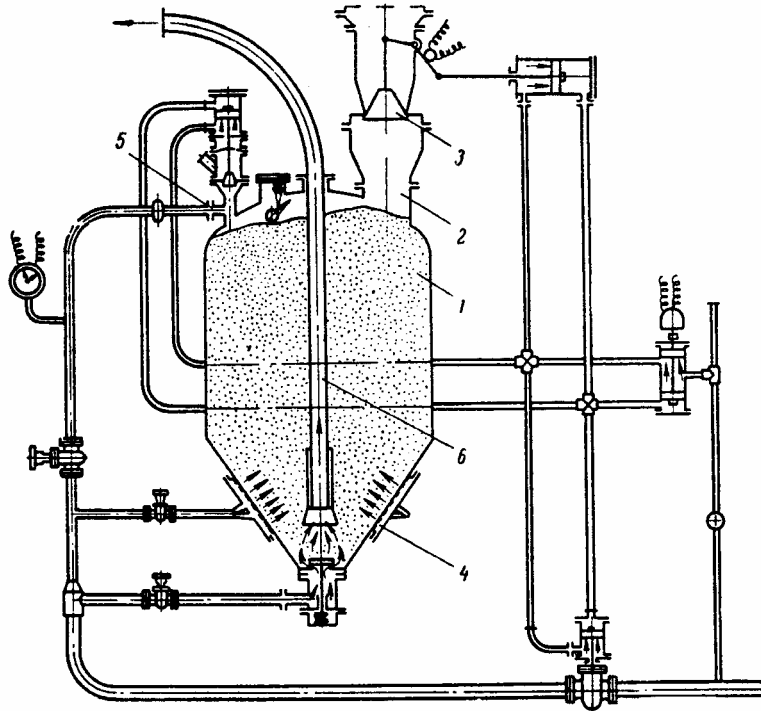
Helezon besleyiciler sürekli beslemeyi sağlarlar ve küçük bir yükseklikleri vardır. Ancak helezonu döndürmek için önemli ölçüde güç tüketirler (Tablo 12.1). Bir diğer sakıncaları da helezon ve gömleklerin hızlı aşınmalarıdır.

Tablo 12.1 Besleyicilerin karakteristikleri (çimento için)

Helezon çapı [mm]	Kapasite [t/saat]	Hava basıncı [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 pnömatik transport sisteminin borusuna yüklenmesinde kullanılırlar.

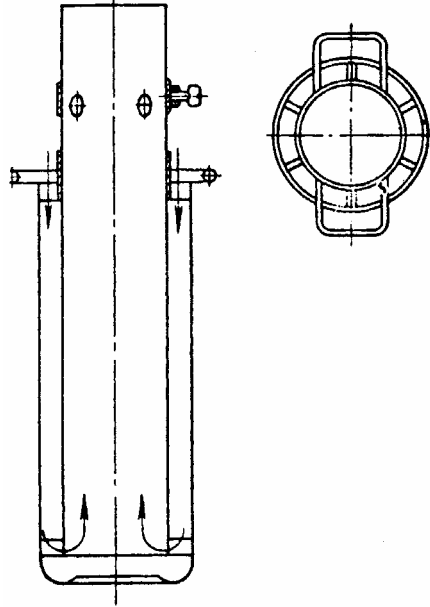
Hücreli besleyiciler iki gruba ayrılırlar: *malzemeyi haznenin dibinden boşaltanlar* ve *malzemeyi haznenin tepesinden boşaltanlar*. Malzemeyi haznenin tepesinden boşaltan türde bir besleyici Şekil 12.5'te görülmektedir. Bu türden bir besleyici genel boyutlar bakımından küçüktür.



Şekil 12.5 Tepeden boşaltmalı pnömatik hücreli besleyici

Emme ağızları

Emme ağızları malzemeyi, emmeli sistemlerin borusuna yüklemek için kullanılırlar. Bükülebilir bir hortumla boruya bağlı olan ağız (Şekil 12.7) taşınacak dökme malın içine gömülüdür. Basınç düşümü bir hava akımı yaratır ve bunun bir bölümü malzeme içinden geçer; diğer bölümü ise bir kontrol vanası aracılığıyla ağız içindeki çevresel yarıktan emilir. Malzeme içinden geçen malzeme onun parçacıklarını kaldırır ve borunun içine sürükler.



Şekil 12.7 Emme ağızı

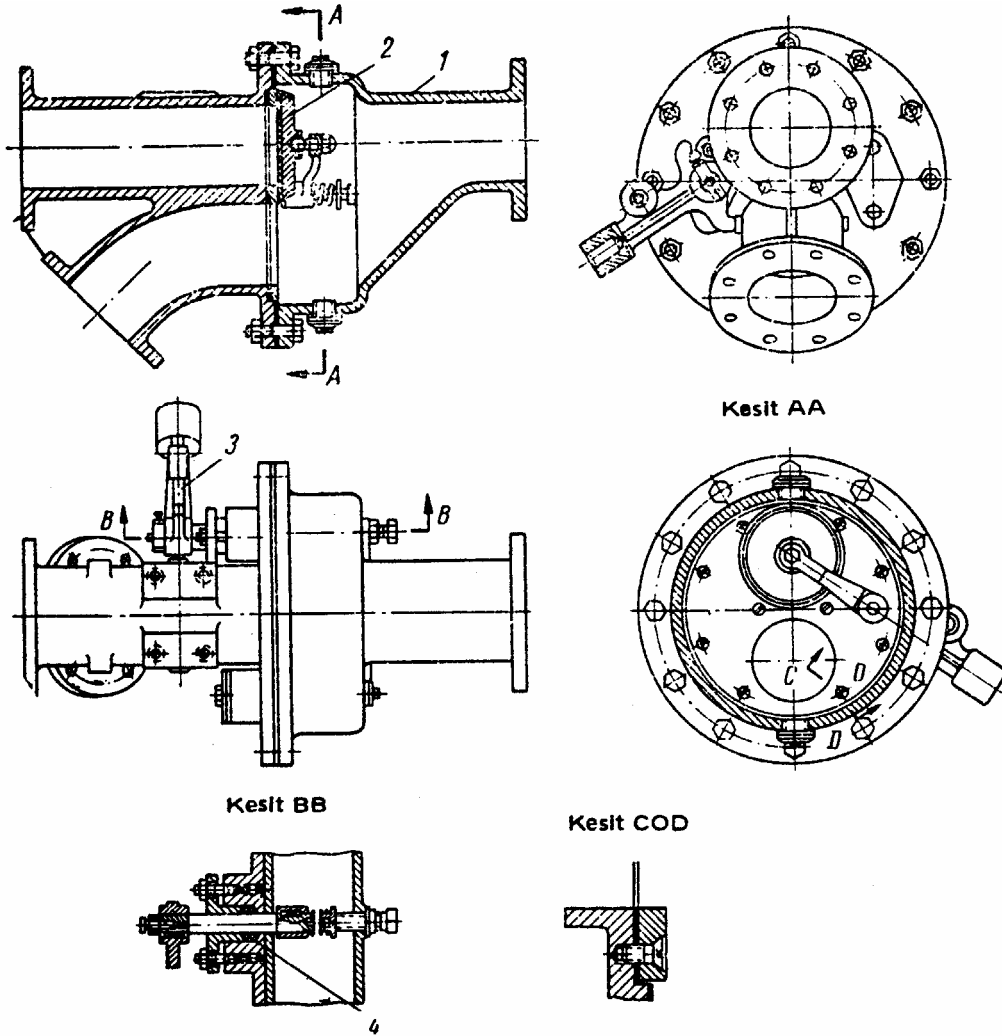
Taşıma boruları

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

Yol değiştirme vanaları

Bir yol değiştirme vanası (Şekil 12.8) pompalama birimini boru kollarından birine bağlamaya yarar. Dökme demirden (1) vana gövdesi, (3) koluyla çalıştırılan (2) tablalı vanasını taşır. Tabla, (4) salmastra kutusu sökülerek dışarı alınır. Vana manuel ya da uzaktan kumandalı olabilir. Uzaktan kumandalı olarak iş yapan hava akımı, elektro-pnömatik bir süpürmeli vana ile bir hava silindirin (deposuna) basılır ve bu silindirin pistonu vananın durumunu düzenler.

Daha karmaşık vanalarda kullanılır. Bunlar, birisi maden diğeri lastik olan konik sızdırmazlık yüzeylerine sahiptirler. Maden ve lastik teması güvenilir bir sızdırmazlık sağlar.



Şekil 12.8 Yol değiştirme vanası

Separatörler

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 borusununkinden 50 – 150 kez daha büyüktür. Separatördeki hava hızı 0.2 – 0.8 [m/s] arasında değişir. Yani, taşıma havası akımını küçük parçacıklardan bile temizlemeye yetecek kadar düşük bir hızdır. Separatör, genellikle bombeli uçları olan silindirik bir kap (Şekil 12.2) olup, dipteki bir kapaktan separatörü boşaltmak mümkündür.

Toz toplayıcılar (filtreler)

Separatör içindeki hava hızı çok düşük olmakla birlikte, yine de tozu ve süspansiyon halindeki hafif parçacıkları çıkış tarafına sürüklemeye yetecek kadar yüksektir. Bu nedenle, havayı temizlemek için çeşitli türde filtreler sisteme eklenmelidir. Bunlar; santrifüj siklonlar, torbalı filtreler, sulu siklonlar veya elektrostatik filtreler olabilirler. Havanın temizlenme derecesine göre filtreler kaba ya da ince diye iki gruba ayrılırlar.

12.2.2. Pnömatik Transport Sistemlerinin Hesap Esasları

Dökme malzeme taşıyan bir pnömatik transport sistemi saate ton olarak istenen Q kapasitesine, uzunluğa ve borunun yörünge diyagramına bağlı olarak tasarlanır. Tasarımda, taşınan yükün fiziksel ve mekanik özellikleri de önemli bir rol oynar. Çeşitli malzemelerin pnömatik taşınmaya yatkınlığı deneyle belirlenir.

Bir pnömatik transport sisteminin hesabında belirlenmesi gereken en önemli parametreler hava tüketimi V_{hava} [m^3/s], hava basıncı P [kg/cm^2] ve taşıma borusunun iç çapı d_b [m] dir.

Pnömatik taşıma sürecini niteleyen ikinci derece parametreler de ayrıca belirlenmelidir. Bunlar arasında indirgenmiş taşıma uzunluğu L_{ind} [m], karışımın μ ağırlık konsantrasyonu, malzeme parçacıklarının v_k kaldırma hızı [m/s], boru içindeki hava akımının hızı v_{hava} [m/s] vardır.

Hesaplar genellikle işletme ve test birimlerindeki deneylerden elde edilen verilere dayanır. İndirgenmiş taşıma uzunluğu, taşıma borusunun geometrik uzunluğu ile eşdeğer uzunluklarının toplamı olarak elde edilir.

Bir yerel direncin eşdeğer boyu, içinde malzeme sürükleyen bir hava akımından dolayı bu dirence eşit bir basınç kaybı meydana gelen yatay ve düz bir boru parçasının boyudur. Bu bir dirsek veya yol değiştirme vanası olabilir. Bu eşdeğer boy, taşınan malzemenin özelliklerine ve bu yerel dirençleri doğuran düzeneklerin boyutlarına ve bunlar arasındaki ilişkilere bağlı olup; kesin bir hesabı yapılamamaktadır. Pratik bir şekilde anlaşılması için; bu dirençlerin, deneysel verilerine dayanan yaklaşık değerleri aşağıda verilmiştir. Sonuç olarak, eşdeğer uzunluk:

$$L_{ind} = \sum l_{yat} + \sum l_{düş} + \sum l_{eşd.d} + \sum l_{eşd.v} \quad (12.1)$$

ile ifade edilir. Burada,

- $\sum l_{yat}$: yatay bölümlerin uzunluklarının toplamı
- $\sum l_{düş}$: düşey bölümlerin uzunluklarının toplamı
- $\sum l_{eşd.d}$: dirseklerin toplam eşdeğer uzunluğu
- $\sum l_{eşd.v}$: vanaların toplam eşdeğer uzunluğu

90° lik dirseklerden doğan uzunluk değerleri Tablo 12.3'ten alınabilir. Tablo 12.3'te R_o dirseklerin eğrilik yarıçapı ve ise transport borusunun iç çapıdır.

Tablo 12.3 Dirsekler için eşdeğer uzunluklar

Malzeme	R_o/d_b oranına göre $l_{eşd.d}$ değeri [m]			
	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

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

Genellikle kullanılan iki yöllü yol değiştirme vanaları için eşdeğer uzunluk, pudra malzemeler için $l_{eşd.v} = 8$ [m] alınabilir. Pudra malzemeden farklı malzeme taşındığında, yol değiştirme vanası kesiti transport borusuna eşdeğer biçimde olmalıdır. Bu şekilde yüksek yerel dirençler önlenmiş olur.

Ancak taşıma hava akımının hızı v_{hava} yeterli derecede yüksek olduğu zaman, malzeme boru boyunca kararlı bir şekilde hareket eder.

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

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

Taşıma havası akımının hızı belli ölçüde, kaldırma hızına bağlıdır. Separatörlerin ve santrifüj toz toplayıcıların tasarım parametreleri hesaplanırken, bu kaldırma hızı dikkate alınmalıdır. Yük boyutları ve özgül ağırlığı büyüdükçe kaldırma hızı büyür, hava yoğunluğu ise küçülür:

$$v_k = K \sqrt{\frac{\gamma_y a'}{\gamma_{hava}}} \quad [\text{m/s}] \quad (12.2)$$

Burada

γ_y	Yük parçacıklarının özgül ağırlığı [t/m^3]
γ_{hava}	Havanın özgül ağırlığı [kg/m^3]
a'	Yük parçacıklarının boyutu [m]
K	Yük parçacığının biçimine, boyutlarına ve yüzey koşullarına bağlı katsayı

K katsayısı, küre biçimindeki parçacıklar için geniş sınırlar içinde değişir, $K = 10 - 170$ dir. Küçük parçacık çapı için K katsayısının küçük değerleri alınır. Burada verilen K katsayısının değerleri $0.00001 - 0.07$ [m] arasındaki parçacık boyutlarına karşındır ve çapı $a' = 0.05 - 0.07$ [m] olan küre biçimindeki parçacıklar için $K = 170$ alınır.

Havanın atmosfer basıncındaki özgül ağırlığı $\gamma_{hava} = 1.2$ [kg/m^3] dir. Düşey boru bölümlerindeki ek hava sütununun basıncı hesaplanırken γ'_{hava} değerinin, basınçlı sistemlerde γ_{hava} dan büyük ve emmeli sistemlerde ise γ_{hava} dan küçük olduğu dikkate alınmalıdır. İlk hesaplar için, yüksek basınçlı sistemlerde $\gamma'_{hava} = 1.6 - 2$ [kg/m^3], emmeli sistemlerde ise $\gamma'_{hava} = 0.8 - 0.95$ [kg/m^3] arasında alınır.

Bütün boru boyunca hava hızı sabit kalmaz, havanın basıncı ile ters orantılı olarak değişir ve bu nedenle de özgül ağırlık da değişir. Hem basınçlı hem de emmeli sistemlerde hava akımı ve içerisindeki asılı malzeme, giriş noktasından boşaltma noktasına doğru ilerledikçe basınç düşer ve buna karşın hız yükselir. Bir hava akımının taşıma kapasitesi yaklaşık olarak yoğunluğu ve hızının karesi ile doğru orantılı olduğundan, akımın taşıma kapasitesi borunun ilk bölümünde diğer bölümlerine göre daha düşüktür. Diğer bütün koşullar eşdeğerken; havanın taşıma kapasitesindeki fark indirgenmiş taşıma uzunluğu L_{ind} büyüdükçe artar.

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

$$v_{hava} = \alpha \sqrt{\gamma_y} + B L_{ind}^2 \quad [\text{m/s}] \quad (12.3)$$

dır. Burada

- α Yük parçacıklarına bağlı ve onların boyutlarıyla artan katsayı (Tablo 12.4)
- γ_y yük parçacıklarının özgül ağırlığı [t/m^3]
- B $B = (2-5) \times 10^{-5}$ değerine eşit bir katsayı.
Kuru pudra malzemelerde düşük değerler alınır.
- L_{ind} İndirgenmiş taşıma uzunluğu

Tablo 12.4 Yük parçacıklarının boyutlarına göre α katsayısının değerleri

Malzeme	Max. 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

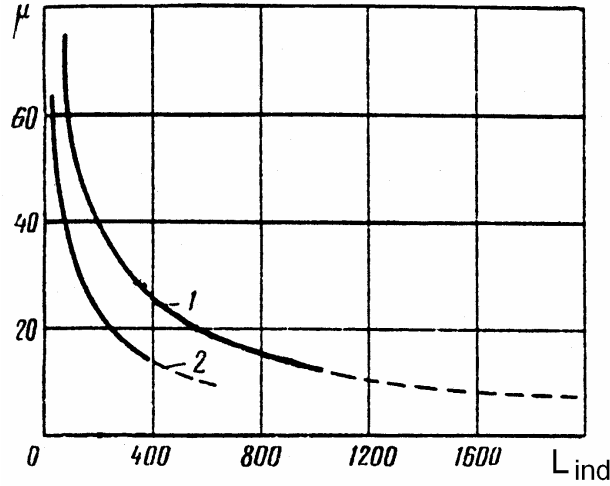
Emmeli donanımlarda, transport borusunun boyu 100 [m] yi nadiren geçtiğinden; $B L_{ind}^2$ ihmal edilir. Hava ve malzeme karışımının ağırlık yığılması (konsantrasyonu) μ , donanımın ağırlıkça kapasitesinin, malzemeyi götürmek için gerekli hava miktarına oranıdır ve

$$\mu = \frac{Q}{3.6 \gamma_{hava} V_{hava}} \quad [\text{kg malzeme / kg hava}] \quad (12.4)$$

olarak hesaplanabilir. Burada

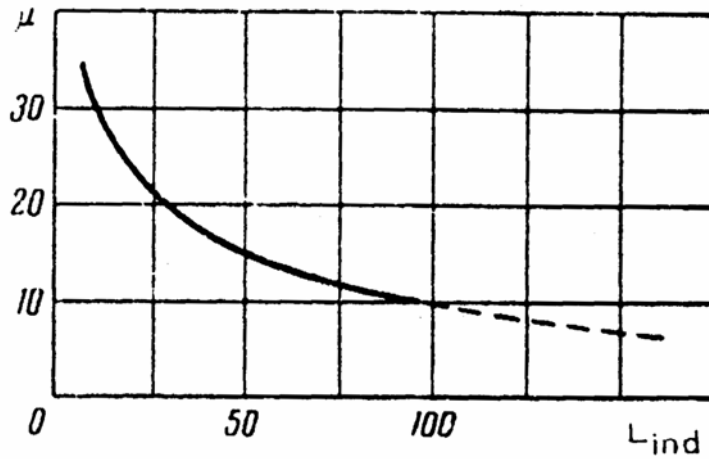
- Q Donanımın kapasitesi [t/s]
- γ_{hava} Havanın özgül ağırlığı [kg/m^3]
- V_{hava} Hava tüketimi [m^3/s]

Mevcut donanımların çoğunluğunda, karışımın yığılması μ , transport borusunun d_b çapına, P basıncına ve indirgenmiş taşıma boyuna L_{ind} bağlıdır. Her donanım tipi bir özgül hava basıncında çalıştığından, yüksek basınçlı bir transport düzeninde $P = 2.5 - 5 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$, orta basınçlı da $P = 1.3 - 3.2 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$; emmeli bir taşıma düzeninde $P = 0.2 - 0.45 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ alınır. Sonuç olarak, hesaplanan donanımın türüne karşılık olarak verilmiş bir basınçta karışımın μ ağırlık yığılması, eşdeğer taşıma uzunluğuna L_{ind} göre belirtilmelidir. Basınçlı ve emmeli sistemler için μ ile L_{ind} arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 12.9 ve Şekil 12.10'da verilmiştir.



Şekil 12.9 Karışımın ağırlık yığılmasının indirgenmiş taşıma uzunluğuna bağımlılığı

Şekil 12.9'da 1- kuru ve serbest akışlı, özgül ağırlığı yüksek malzemeler $\gamma_y = 2.5 - 3.2$ [t/m³]; 2- düşük özgül ağırlıklı $\gamma_y = 1.8 - 2.5$ [t/m³], ancak yüksek nem miktarı ve çok aşındırıcı malzemeler içindir.



Şekil 12.10 Karışımın ağırlık yığılmasının indirgenmiş taşıma uzunluğuna bağımlılığı (tahıl için)

Gerekli hava tüketimi

$$V_{hava} = \frac{Q}{3.6\gamma_{hava}\mu} = \frac{\pi d_b^2}{4} v_{hava} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (12.5)$$

olarak hesaplanır. Bu durumda, borunun iç çapı:

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{\pi v_{hava}}} \quad [\text{m}] \quad (12.6)$$

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

Boruda gerekli hava basıncının belirlenmesi için sıkıştırılmış bir ortamın (hava), bir boru içindeki hareketinin teorik ve deneysel incelemeleri aşağıdaki denklemleri sağlamıştır:

Basınçlı transport düzenleri için:

$$P_g = P_\zeta \sqrt{1 + \frac{L_{ind} v_{hava}^2 \lambda}{d_b}} \quad [\text{ata}] \quad (12.7)$$

dir. Emmeli transport düzenleri için ise

$$P_\zeta = P_g \sqrt{1 - \frac{L_{ind} v_{hava}^2 \lambda}{d_b}} \quad [\text{ata}] \quad (12.8)$$

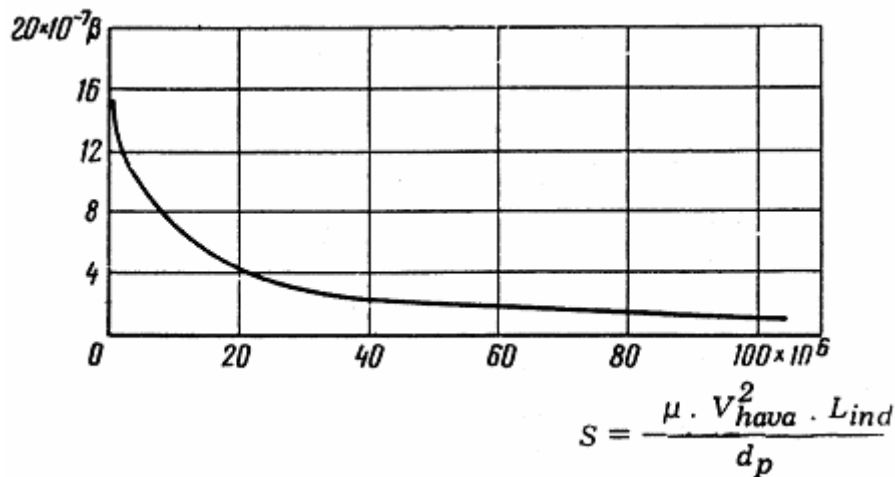
dir. Burada P_g ve P_ζ , indirgenmiş uzunluğun L_{ind} transport borusunun sırasıyla giriş ve çıkış noktalarındaki mutlak hava basınçları ; λ temiz havanın harekete karşı direnç katsayısı, d_b borunun iç çapı [m] dir.

Hava ve malzeme karışımının hareketinde λ bir çok etkene, özellikle de μ ağırlık yığılmasına bağlı olup, $\lambda = \mu \beta$ şeklinde ifade edilmektedir. Burada β değeri

$$s = \frac{\mu L_{ind} v_{hava}^2}{d_b} \quad (12.9)$$

değerine bağlıdır.

Basınçlı transport düzenleri için bu değerlerin karşılıklı bağımlılıkları işletme ve test verilerinden elde edilir ve buna ilişkin eğri Şekil 12.11'de gösterilmiştir. Emmeli transport düzenlerinde $\beta = 1,5 \times 10^{-7}$ sabit değeri kullanılır.



Şekil 12.11 β katsayısının s değerine bağımlılığı

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

$$P_{kes} = \frac{H \mu \gamma'_{hava}}{1000} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (12.10)$$

Burada γ'_{hava} verilen düşey bölüm için ortalama havanın özgül ağırlığıdır. Basıncılı transport düzeneklerinde $P_{\zeta} \approx 1$ [ata] ve emmeli transport düzenlerinde $P_g \approx 1$ [ata] olduğundan sonuçta basınçlı transport düzenleri için:

$$P_g = \sqrt{1 + \frac{\beta \mu L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} \pm P_{kes} \text{ [ata]} \quad (12.12)$$

ve emmeli götürme düzenleri için:

$$P_{\zeta} = \sqrt{1 - \frac{\beta \mu L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} \pm P_{kes} \text{ [ata]} \quad (12.13)$$

yazılabilir. Basıncılı transport düzenleri için, yukarı doğru hareket için P_{kes} in önündeki işaret (+), aşağıya doğru hareket için (-) alınır. Emmeli transport düzenlerinde ise bu durumun tersi uygulanır. Körük için gerekli güç:

$$N_k = \frac{L_k V_0}{60 \cdot 120 \eta} \text{ [kW]} \quad (12.14)$$

Şekilde hesaplanabilir. Burada L_k körüğün izotermik sıkıştırma sırasında emilen 1 [m³] hava başına yaptığı teorik iş olup, P_k körükteki basınç alındığında

$$L_k = 23030 \cdot P_0 \log(P_k / P_0) \text{ [kgm/m}^3\text{]} \quad (12.15)$$

olarak yazılır. Körükteki basınç ise

$$P_k = P_w \alpha + P_{kayıp} \text{ [ata]} \quad (12.16)$$

dır. Burada

P_w çalışma basıncı [ata]. Basıncılı sistemlerde giriş noktasındaki hava basıncı ve emmeli sistemlerde borunun son noktasındaki basınç. Emmeli donanımlarda

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

α Girişteki kayıplar için katsayı (1.15 – 1.25). Bu katsayının değeri enjektörlerin yapısına bağlıdır.

$P_{kayıp}$ Ana hava besleme borusundaki basınç kayıpları. Kompresörler için $P_{kayıp} \approx 0,3$ [kg/cm²] alınabilir.

P_o Atmosferik basınç, yaklaşık olarak 1 [ata] alınır.

(12.14) denklemindeki toplam kompresör verimi η , 0.55 – 0.75 arasında değişir. 1 [m³] havanın sıkıştırılması için gerekli L_k işi, P_k nın katsayısı olarak (12.16) denkleminde veya Tablo 12.5'e göre seçilir.

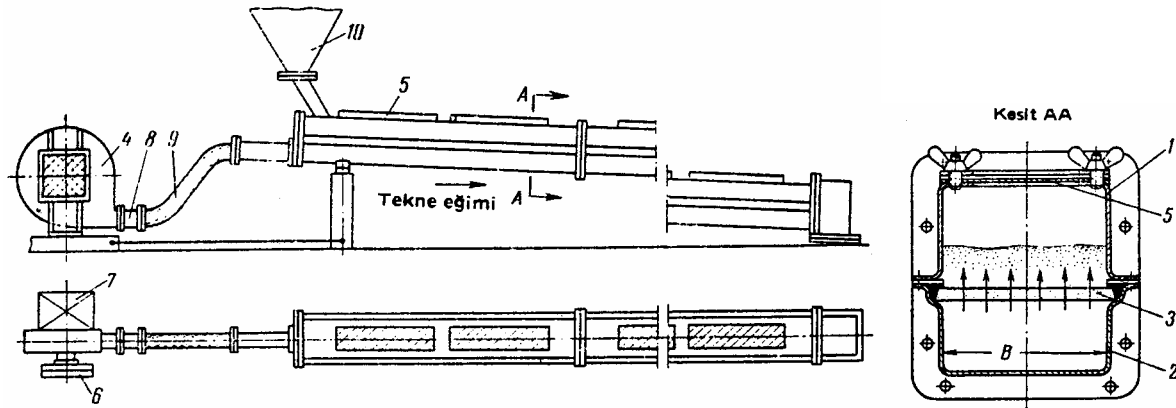
Tablo 12.5 P_k ya bağlı olarak L_k değerleri

P_k [ata]	L_k [kgm/m ³]	P_k [ata]	L_k [kgm/m ³]
0.6	4700	0.8	3500
0.7	4100	0.9	2700

12.3. HAVA KIZAKLARI

Hava kızakları kuru ve kolay havalanabilir pudra malzemelerin taşınmasında kullanılırlar. Havalandırılmış bir malzemenin akışkanlık kazanması nedeniyle; malzeme, ancak 0.04 – 0.05 lik bir eğime sahip bir tekne içinde hareket ettirilebilir.

Şekil 12.12’de görülen bir hava kızıağı, birbirine civatalanmış çelik levhalardan yapılmış (1) ve (2) tekne bölümlerinden meydana gelir. Bu iki bölüm arasında bir (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 (4) vantilatörü ile beslenir ve bölmenin bütün yüzeyine düzgün olarak dağıtılır. Hava, bölmeden geçerken, bölmenin üzerindeki malzeme tabakasını havalandırır ve akışkan durumuna getirir; sonra da tekne kapağının uzunluğu boyunca yerleştirilmiş (5) kumaş filtrelerinden çıkar.

**Şekil 12.12** Hava kızıağı

Basit tasarım, düşük maliyet, hareketli ve aşınan parçaların yokluğu, düşük güç tüketimi, yüksek taşıma kapasitesi, küçük genel ölçüler, basit montaj ve ayarlama bu tür konveyörlerin başlıca üstünlüklerini oluşturur (Tablo 12.6). Bir çok durumda, hava kızakları helezon ya da titreşimli konveyörlere ve kapalı tür konveyörlere göre tercih edilirler.

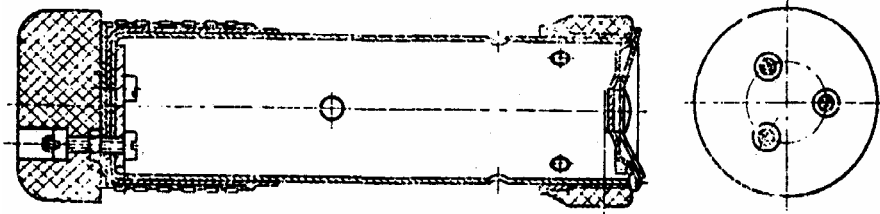
Tablo 12.6 Hava kızaklarının karakteristikleri

Tekne genişliği B [mm]	Kapasite Q [m ³ /s]	Gerekli motor gücü [BG]		
		Taşıma 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

Teknenin zorunlu aşağıya eğimi ve taşınan malzemenin yapısından gelen sınırlamalar bu türün başlıca sakıncalarıdır. Yalnızca; çimento, kül, kömür tozu gibi kuru malzemeler hava kızıklarıyla verimli biçimde taşınabilirler. Bu tip konveyörler; topraklar içeren ıslak malzemeleri, tebeşir alçı taşı gibi sıkışan ve yapışkan malzemeleri taşıyamazlar.

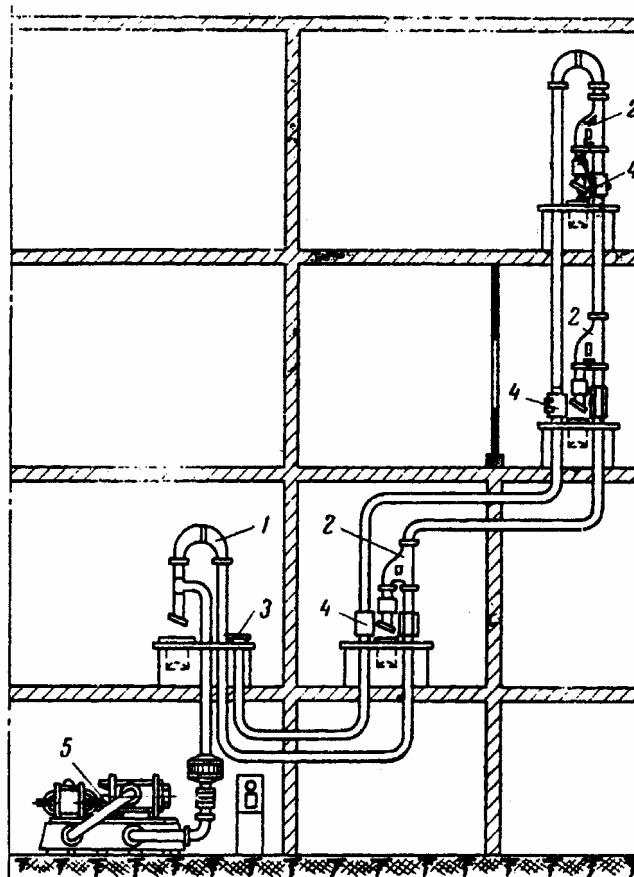
12.4. HAVA TÜPÜ TAŞIYICILAR

Dökme mallara ek olarak, standartlaştırılmış kaplardaki (taşıyıcılarda) parça mallar da pnömatik olarak taşınabilirler (Şekil 12.13). Bu taşıyıcıların, hava girişini önleyecek özel sızdırmazlıkları vardır.



Şekil 12.13 Pnömatik transport sisteminin taşıyıcısı

Yük taşıyıcıya konur ve alış noktasından, boşaltma noktasına kadar boru boyunca gider (Şekil 12.14). Şekil 12.14'te; (1) boşaltıcıyı, (2) kontrollü boşaltıcıyı, (3) besleyiciyi, (4) ara besleyiciyi ve (5) körüğü göstermektedir.



Şekil 12.14 Parça malların taşınmasında kullanılan kapalı devre donanım şeması

Bu tür taşıma, kentsel haberleşmede geniş bir uygulama alanı bulur; posta ve telgraf merkezleri, bankalar, mağazalar, gazete yayınevleri ve ticari kuruluşlar, küçük paketlerin ve diğer eşyaların iletilmesinde bu sistemi kullanırlar. Bu nedenle buna havalı (pnömatik) posta da adı verilir.

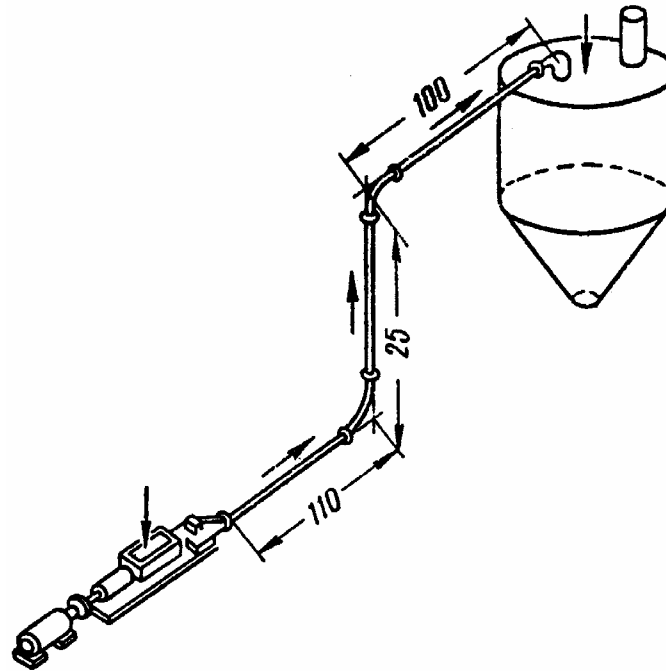
Son yıllarda, parça malların hava ile taşınması endüstride de büyük ölçüde uygulanmaya başlanmıştır. Makina yapım fabrikalarında küçük boyutlu kesme takımları; çelik fabrikalarında analiz için kullanılan çelik numuneleri; kitapçılarda kitaplar gibi örnekler bu biçimde taşıyıcılar içinde taşınmaktadır. Bu tür donanımlar da daha evvel açıklanan pnömatik transport sistemlerinin ilkelerine göre çalışırlar.

Bu donanımların boruları yuvarlak (25 – 100 [mm] çap) ya da eliptik (en çok 259x400 [mm]) olabilirler. Taşıyıcılar 6 – 12 [m/s] arasındaki hızlarda iletilirler.

12.5. PNÖMATİK TRANSPORT SİSTEMLERİ ÖRNEK HESABI

12.5.1. Basınçlı Pnömatik Transport Sistemi

Basınçlı pnömatik transport sistemi, depodan bir beton santrale çimento taşımak üzere tasarlanmaktadır. Donanımın şeması Şekil 12.15'te görülmektedir. Donanımın kapasitesi $Q = 50$ [t/saat] ve yükün özgül ağırlığı $\gamma_y = 3,2$ [t/m³] tür.



Şekil 12.15 Pnömatik çimento biriminin hesap şeması

İndirgenmiş taşıma uzunluğu (12.1) denkleminde $l_{eşd.d} = 5$ m alınarak (Tablo 12.3'e göre $R_0 / d_b = 4$ için) hesaplanırsa

$$L_{ind} = 210 + 25 + 3 \cdot 5 = 250 \text{ m}$$

bulunur. Transport havasının hızı ise denklem (12.3) kullanılarak,

$$v_{hava} = 12 \cdot \sqrt{3.2} + 3 \times 10^{-5} \cdot 250^2 = 23.5 \text{ m/s}$$

olarak hesaplanır. Karışımın ağırlık yığılması; yüksek basınçlı düzeneklerde, sürtünme katsayısını indirgenmiş taşıma uzunluğunun fonksiyonu olarak veren Şekil 12.9'dan $\mu = 35$ olarak alınarak, gerekli hava tüketimi, (12.5) denkleminde

$$V_{hava} = \frac{Q}{3.6\gamma_{hava}\mu} = \frac{50}{3.6 \cdot 1.2 \cdot 35} = 0.33 \text{ m}^3/\text{s}$$

değeri bulunur. Burada γ_{hava} değeri, (12.2) denklemini için verilen açıklamalara uygun olarak seçilmiştir. (12.6) denkleminde göre, transport borusunun iç çapı,

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{v_{hava}\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.33}{23.5\pi}} \cong 0.135 \text{ m}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanmış olan bu çapa en yakın ölçülerdeki, üst standarttan çekme çelik boru çapı alınacağından; 146 mm dış çapında ve 5 mm et kalınlığındaki ($d_b = 136 \text{ mm}$) boru seçilir.

Transport borusunun girişinde gerekli hava mutlak basıncı için öncelikle (12.10) denkleminde,

$$s = \frac{\mu L_{ind} v_{hava}^2}{d_b} = \frac{35 \cdot 250 \cdot 23.5^2}{0.136} \approx 36 \times 10^6$$

değeri bulunur. Bu değere karşılık olarak Şekil 12.11 yardımıyla $\beta = 2.5 \times 10^{-7}$ değeri bulunur. (12.12) ve (12.11) denklemlerinden,

$$P_g = \sqrt{1 + \frac{\beta\mu L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} + \frac{H\gamma'_{hava}\mu}{10000} = \sqrt{1 + \frac{2.5 \times 10^{-7} \cdot 35 \cdot 250 \cdot 23.5^2}{0.136}} + \frac{25 \cdot 1.8 \cdot 35}{10000} \cong 3.5 \text{ ata}$$

(veya $\approx 2,5$ atü) bulunur. $\gamma'_{hava} = 1.8$ değeri, (12.2) denklemini için verilen açıklamalara uygun olarak ve borunun düşey bölümünün geometrisi ve biçiminden bağımsız olarak seçilmiştir.

Kompresörün ana hava besleme borusunda gerekli hava basıncı (12.16) denkleminde,

$$P_k = 3.5 \cdot 1.2 + 0.3 = 4.3 \text{ ata}$$

bulunur. Gerekli kompresör kapasitesi ise (12.5) denkleminde

$$V_o = V_{hava} \alpha' = \frac{\pi \cdot 0.136^2}{4} \cdot 23.5 \cdot 1.1 \cdot 60 \cong 22 \text{ m}^3/\text{dak}$$

olarak belirlenir. Buradaki α' sistemdeki kaçakları göz önüne alan katsayı olup $\alpha' = 1.1$ değeri alınmıştır.

Gerekli motor gücü (12.14) denklemi kullanılarak

$$N_k = \frac{L_k V_0}{60 \cdot 120 \eta} = \frac{15 \times 10^3 \cdot 22}{60 \cdot 120 \cdot 0.55} = 98 \text{ kW}$$

hesaplanır. Ayrıca, kompresörün emilen her $[m^3]$ başına yaptığı teorik iş, (12.15) denklemi yardımıyla

$$L_k = 23030 \cdot 1 \cdot \log(4.3/1) = 15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

olarak hesaplanır.

12.5.2. Emmeli Pnömatik Transport Sistemi

Emmeli transport donanımı, deniz taşıtlarını boşaltmak için tasarlanmaktadır. Boşaltılması istenen yükün özgül ağırlığı $\gamma_y = 1.4 \text{ t/m}^3$ olan buğday olup, istenen kapasite $Q = 25 \text{ t/saat}$ tir. Donanımın şeması Şekil 12.2a'da verilmiştir. Malzeme $H = \sum l_{di} = 15 \text{ metreye}$ yükseltilecektir ve yatay taşıma mesafesi $\sum l_{yat} = 10 \text{ metredir}$.

İndirgenmiş taşıma uzunluğu (12.1) denkleminden, Tablo 12.3'den $R_0 / d_b = 6$ için, $l_{esd} = 10 \text{ m}$ değeri alınarak ve ayrıca bükülebilir dirseklerin hesaplanmış sayısı ise 2.5 kabul edilerek

$$L_{ind} = 10 + 15 + 2.5 \cdot 10 = 50 \text{ m}$$

olarak hesaplanır. Transport havasının hızı ise denklem (12.3) kullanılarak,

$$v_{hava} = 18 \cdot \sqrt{1.4} = 22 \text{ m/s}$$

hesaplanır. Karışımın ağırlık yığılması, sürtünme katsayısını indirgenmiş taşıma uzunluğunun fonksiyonu veren Şekil 12.10'dan $\mu = 15$ değeri alınır. Bu durumda gerekli hava tüketimi, (12.5) denklemi ile,

$$V_{hava} = \frac{Q}{36 \cdot \gamma_{hava} \mu} = \frac{25}{3.6 \cdot 1.2 \cdot 15} = 0.385 \text{ m}^3/\text{s}$$

olarak hesaplanır. $\gamma_{hava} = 12$ değeri, (12.2) denklemi için verilen açıklamalara uygun olarak seçilmiştir.

Transport borusunun iç çapı (12.6) denklemine göre belirlenir,

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{v_{hava} \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.385}{22 \pi}} \cong 0.14 \text{ m}$$

dir. Hesaplanmış olan bu çapa en yakın ölçülerdeki, üst standarttan çekme çelik boru çapı alınacağından; 152 mm dış çapında ve 6 mm et kalınlığındaki ($d_b = 140 \text{ mm}$) boru seçilir.

Transport borusunun çıkış noktasındaki gerekli hava mutlak basıncı için öncelikle (12.10) denkleminde,

$$s = \frac{\mu L_{ind} v_{hava}^2}{d_b} = \frac{15 \cdot 50 \cdot 22^2}{0.14} \approx 28.5 \times 10^5$$

hesaplanır. Bu değere karşılık olarak Şekil 12.11 yardımıyla $\beta = 1.5 \times 10^{-7}$ değeri bulunur. (12.13) ve (12.11) denklemlerinden, $\gamma'_{hava} = 0.95$ değeri, (12.2) denklemi için verilen açıklamalara uygun olarak seçilerek, emmeli transport düzenleri için basınç

$$P_{\zeta} = \sqrt{1 - \frac{\beta \mu L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} - \frac{H \gamma'_{hava} \mu}{10000} = \sqrt{1 - \frac{1.5 \times 10^{-7} \cdot 15 \cdot 50 \cdot 22^2}{0.14}} - \frac{15 \cdot 0.95 \cdot 15}{10000} = 0.764 \text{ ata}$$

olarak hesaplanır. $P_o = 1$ [kg/cm²] lik atmosfer basıncında gerekli vakum ise

$$P_w = P_o - P_{\zeta} = 1 - 0.764 = 0.236 \text{ kg/cm}^2$$

dir. Körük ana besleme borusundaki gerekli vakum (12.16) denkleminde ve tahıl yükleyici için $\alpha = 1.05 - 1.1$ aralığında, $P_{kayıp} = 0,02$ [kg/cm²] seçilerek

$$P_k = 0.236 \cdot 1.1 + 0.02 = 0.28 \text{ ata}$$

değeri hesaplanır. Gerekli körük kapasitesi (12.5) denkleminde, $\alpha' = 1.1$ alınarak

$$V_o = \frac{\pi \cdot 0.14^2}{4} \cdot 22 \cdot 1.1 \cdot 60 \cong 22.3 \text{ m}^3/\text{dak}$$

olarak belirlenir. Gerekli motor gücü (12.14) denklemi kullanılarak ve $L_k = 5000$ [kgm/m³] alınarak,

$$N_k = \frac{L_k \cdot V_o}{60 \cdot 120 \cdot \eta} = \frac{5 \times 10^3 \cdot 22.3}{60 \cdot 120 \cdot 0.55} = 33 \text{ kW}$$

hesaplanır.