

BASINÇLI PNÖMATİK KONVEYÖRLER ve BUNLARIN TASARIM KRİTERLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa HARMAN
Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Malzeme taşıma, herhangi bir şekildeki malzemenin taşınması veya bir araya getirilmesini sağlayan işlemdir. Günümüzde mevcut malzeme taşıma cihazlarının doğru seçiminin önemi malzeme taşıma maliyetlerinin üretim maliyetlerinin %13-40'ını oluşturmasından dolayı artmıştır.

Pnömatik götürücüler kuru dökme yüklerin taşınmasında en çok kullanılan sistemlerdendir. Bununla birlikte malzemelerin havayla nasıl taşındığı ve boru hattının tıkanmaması için ne kadar hızın gerekli olduğu gibi konularda yanlış anlamalar mevcuttur. Aynı zamanda hangi taşıma işi için hangi pnömatik konveyör sisteminin seçileceği de önemli bir noktadır. Bu çalışmada pnömatik konveyör sistemleri tanıtılmış ve basınçlı pnömatik konveyör sistemleri ve bunları tasarımına etki eden parametreler detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pnömatik taşıma sistemleri, basınçlı pnömatik konveyörler, pnömatik konveyör tasarım parametreleri.

JÜRİ:

1. Prof. Mustafa Aışverişı
2. Y.Doc.Dr. Muharrem E. Boğoçlu
3. Doc.Dr. Serpil Kurt

Kabul Tarihi: 24.09.2009
Sayfa Sayısı: 119

POSITIVE PRESSURE PNEUMATIC CONVEYORS and EXAMINING DESIGN PARAMETERS of THESE

Mustafa HARMAN
Mechanical Engineering, M.S. Thesis

Material handling systems are used to transport, collect, and store materials within manufacturing systems. Selecting the proper material handling systems is critical since material handling costs generally account up to 13-40 % of the overall production costs. Pneumatic conveying is widely used for the transport of dry bulk particulate materials. However, there is considerable misunderstanding on exactly how materials are conveyed and what velocity is required to prevent pipeline blockage. Also, it is quite important to choose the right pneumatic conveying system for the right conveying job. In this study pneumatic conveying systems are introduced and positive pressure pneumatic conveyors and their design parameters are examined in detail.

Keywords: Pneumatic conveying systems, positive pressure pneumatic conveyors, pneumatic conveyor design parameters.

JÜRİ:

1. Prof. Mustafa Aışverişçi
2. Y.Doc.Dr. Muharrem E. Boğoclu
3. Doc.Dr. Serpil Kurt

Kabul Tarihi: 24.09.2009
Sayfa Sayısı: 119

1. GİRİŞ

Malzeme taşıma, herhangi bir şekilde malzemenin taşınması veya bir araya getirilmesini sağlayan işlemdir. Günümüzde mevcut malzeme taşıma cihazlarının doğru seçiminin önemi malzeme taşıma maliyetlerinin üretim maliyetlerinin %13-40'ını oluşturmamasından dolayı artmıştır. (Yurdakul ve İpek, 2005)

Taşıma maliyetinin düşük tutulabilmesi için, taşıma işlemini daha verimli şekilde gerçekleştirebilecek düzenler ön plana çıkmaktadır. Özellikle de hafif ve ince taneli malzemelerin taşınmasında kullanılan pnömatik götürücülerin kullanılma alanları hızla artmaktadır.

Pnömatik (havalı) götürücüler, granül ve toz malzemenin kayıpsız ve çevre kirliliğine sebep olmaksızın taşınmasında, mekanik transport götürücülerinin kullanılmasının ekonomik olmadığı alanlarda, otomasyonun istendiği hallerde, yatay ve dikey taşımacılıkta genelde yaygın olarak kullanılan transport sistemleridir. Özellikle yumuşak toz halindeki materyaller bu tür taşıma şekline uymaktadır. Çapı santimetreye ulaşan parçacıklara sahip materyaller de pnömatik götürücülerle etkin şekilde taşınabilmektedir. Havalı götürücülerin hepsinde ortak olan çalışma ilkesi hareketin hızlı bir hava akımı tarafından yüke iletilmesidir. Hava akımı, basınçlı hava veya vakum ile sağlanır.

Tamamıyla kapalı sistem içinde çalıştılarından, nakledilen malzemeyi dış tesirlerden korurlar, malzeme kayıpları yoktur ve çalışma ortamını kirletmezler. Pnömatik götürücü sistemleri ile malzemeler, reaksiyona girmeyen (inert) gaz veya kuru hava kullanarak taşınırlar. Malzemeler bu sistemlerde bir boru içerisinde iletilir. İletilen malzeme, boru ve diğer ekipmanlarda tıkanıklıklara sebep olmamalı, malzemenin özelliklerini bozmamalıdır. Bu nedenle, pnömatik sistemin seçilmesi aşamasında taşınacak malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

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.

2. PNÖMATİK KONVEYÖRLER

2.1 Pnömatik Konveyörlerin Tarihçesi

Pnömatik eski Yunancada nefes alıp vermek anlamına gelen ‘pneuma’ kelimesinden türetilmiştir. Günümüz teknolojisinde ise; Basınçlı havanın teknik bir şekilde kullanılması olarak tanımlanır. Pnömatik teknolojisi ve gelişimi M.Ö. 200’lü yıllara kadar dayanmaktadır. Çok eski yıllarda eğlendirici oyunlardan tutunda, savaş aletlerine kadar kullanıma sahip olan pnömatik, ok fırlatan bir mancınık yapımında dahi kullanılmıştır.

Akışkanların borularla taşınması da oldukça eski, antik çağlardan beri süregelen bir uygulamadır. Romalılar kurşun borularda su ve kanalizasyon taşımacılığı, Çinliler ise bambu tüpleri vasıtasıyla doğalgaz nakletmişlerdir. Hava ile katıların taşınması kuvvetli ve kullanışlı fanların sanayide kullanımına müteakip 1866 yılında başlamış, böylece ilk pnömatik konveyörler yapılmıştır. 1895’li yıllarda her kurma ve doldurmada 40 mermi atan bir makineli tüfeğin icadı yine pnömatikle gerçekleşmiştir.

Pnömatik konveyörlerin ilk geniş çaplı kullanımı vakumlu pnömatik konveyörler vasıtasıyla buğday taşınması için 19. yy’ın sonlarında gerçekleşmiştir. 1920’lerin ortalarında negatif (vakum) ve pozitif basınçlı konveyörler ile buğday taşınması genel bir uygulama halini özellikle sanayileşmiş ülkelerde almıştır. Bu yıllardan günümüze pnömatik konveyörler muazzam derecede gelişmiş oldukça geniş kapsamlı olarak taşımacılıkta yer almıştır.

Pnömatik konveyör sistemleri oldukça basit konstrüksiyona sahip taşıma sistemleridir. Her türlü toz veya taneli malzemelerin taşınmasına olanak sağlamaktadırlar. Yüksek, düşük veya negatif basınçlı hava vasıtasıyla taşıma işlevi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca insan ve çevre sağlığı için zararlı malzemeler de bu sistemle rahatlıkla taşınabilmektedir. Uygun ekipman seçimi ile malzemeler büyük depo, gemi veya vagon gibi yerlerden rahatlıkla alınıp istenilen konuma taşınabilir. (Polat, 2008)

2.2 Pnömatik Konveyör Sistemlerinin Kullanım Alanları

Pnömatik konveyörler endüstrinin birçok 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 boşaltılmasında, vagonların ve gemilerin boşaltılmasında, basınçlı konveyörlerin boşaltılmasında ve malzemelerin silolardan kontrollü olarak alınmasında

kullanılırlar. Kuru ve serbest akışlı ve pudra durumundaki geniş bir malzeme dilimi havalı sistemde başarı ile taşınır. Bunların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır.

2.2.1 Tarım

—Buğday:

Günlük beslenme alışkanlıklarımız içerisinde vazgeçilmez bir yer tutan ekmeğin hammaddesi olan buğday, aynı zamanda sanayi hammaddesi olarak un, makarna, şehriye, bulgur, kepek, yem ve irmik üretiminde kullanılmaktadır. Buğdayın çeşitli ortamlardan pnömatik olarak sevki kolaylıkla yapılabilmektedir. Buğdayda kırık oluşumu engellenmektedir. Un değirmen makineleri sınıfına giren pnömatik buğday taşıma sistemleri halen birçok değirmen, makarna fabrikası ve un fabrikasında kullanılmaktadır. Ekmek fırını ve un fabrikalarında üretilen tam buğday unu, galeta unu, kepekli ekmek, çavdar ekmeği gibi çeşitli tip ekmek ve un üretilen tesislerde un ve buğday nakli temiz ve hijyenik olarak yapılmaktadır. Ortama herhangi bir toz, kırıntı dökülmediği için bakteri ve böcek oluşumu önlenmektedir.

—Arpa:

Arpa, buğdayla beraber dünyanın en eski kültür bitkilerinden biridir. Günümüzde arpa daha çok hayvan yemi olarak kullanılır. Kullanıldığı önemli alanlardan biri de malt sanayidir. Bira üretimi için gerekli olan malt iki sıralı beyaz arpalardan elde edilmektir. Arpa, hava gücü ile sevk edilebilen bir üründür.

—Mısır:

Özellikle ülkemizde mısır tarımı hayvansal protein üretimine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca mısırın tanesinden elde edilen nişasta, glikoz ve mısırözü yağı da ekonomide ham madde açısından büyük önem taşımaktadır. Tane mısır, pnömatik iletim ile taşındığında hasar oluşmamaktadır. Bu nedenle fabrikalarda ve mısır kurutma tesislerinde helezona göre avantajlıdır.

—Baklagiller:

Nohut, fasulye, kırmızı mercimek, yeşil mercimek, bakla, bezelye ve soya baklagil ailesinden olan tarım ürünleridir. Yemeklik tane baklagiller son yıllarda tarla bitkileri içerisinde en fazla ekim alanı artışı kaydedilen ürün gurubunu teşkil etmektedir. Malzeme kırma problemi olmadığı için baklagillerin pnömatik taşıma yöntemi ile nakli fire oranını azaltmaktadır.

—Susam:

Susam, gıda endüstrisinde yaygın şekilde, hem işlenmeden, simit, ekmek ve diğer unlu mamuller üzerinde süs olarak, hem de çok sayıda işlenmiş gıda maddesinde, ilaç sanayisinde, parfümlerde ve kozmetik ürünlerinde kullanılır.

—Pirinç, Çeltik:

Pirinç, yeryüzünün en eski yiyeceklerinden biridir. Dünya nüfusunun yarısından fazlası için beslenmede büyük bir önem taşır. Sulak çeltik tarlalarında yetişir. Yemeklik olarak kullanıldığı gibi, pirinç unu, pirinç kepeği, pirinç yağı gibi yan ürünleri vardır. Pnömatik taşıma ve iletim yöntemi pirinç ve çeltik için uygun bir alternatiftir. Çeltik kurutma makineleri ve çeltik fabrikalarında helezon ile taşınan çeltikte oluşan kırma problemleri havalı nakil sistemlerinde görülmemektedir. Bu nedenle ürünün ekonomik değeri korunmaktadır.

—Kuruyemiş:

Fındık, fıstık, çekirdek, badem, leblebi, ay çekirdeği, antepfıstığı, yer fıstığı, iç fıstık, kabak çekirdeği, çerez gibi ürünler pnömatik nakil sistemleri ile zarar görmeden iletilmektedir. Üretilen kabuklu fındık, kabuksuz fındık taşıma, çuval doldurma ve çuval boşaltma sistemleri fındık nakil ihtiyacını başarıyla karşılamaktadır.

—Tohum:

Pamuk tohumu, ayçiçeği, kanola (kolza), tahıl, hububat ürünlerinin tohumları pnömatik taşıma sistemleri ile zarar görmeden taşınmaktadır. Helezon ve kovalı elevatöre göre daha az kırık oluşturduğu için tohum gibi ekonomik değeri büyük ürünlerde pnömatik iletim sistemlerinin önemi artmaktadır.

—Diğer Tarım Ürünleri:

Yulaf, çavdar, kestane, kayısı çekirdeği, bakliyat, hayvan yemi, yem karışımları, yem katkısı gibi çeşitli tarım ürünleri pnömatik iletim yöntemleri ile taşıma yapılan ürünlerdendir.

2.2.2 Gıda:

Kahve, un, kepek, süt tozu, toz şeker, baharat, tuz, nişasta gibi toz yapıdaki gıda ürünlerinin pnömatik taşıma sistemleri ile iletimi sağlanmaktadır. Gıda hammaddelerinin taşınması için

kullanılan ekipman 304 ve 316 paslanmaz çelik malzemeden üretilmektedir. Üretim tesislerinde pnömatik veya havalı gıda nakli temiz ve hijyenik olarak yapılmaktadır. Ortama herhangi bir toz, kırıntı dökülmediği için bakteri ve böcek oluşumu önlenmektedir.

2.2.3 Endüstriyel Malzemeler:

Çimento, kalsit, maden, tıbbi malzemeler, hap, kapsül, parfümeri kimyasalları, kömür, kül, soda, cam tozu, mermer tozu, plastik, polietilen, granül, ağaç talaşı ve seramik tozu gibi çok farklı alanlarda kullanılan malzemeler pnömatik iletim ve taşıma için uygundur.

- Alüminyum Sanayi: Killi toprak, alüminyum oksit
- Bira Fabrikaları: Malt, yeşil malt, kaba öğütülmüş tahıl ve diğerleri
- Kimya Sanayi: Kitratlar, fosfatlar, karbit, vs
- Mineraller: Oksitler, tuz, kömür tozu, vs
- Değirmen Endüstrisi: Un, irmik, artık ürünler, vs
- Yağlı Tohumlar: Soya fasulyesi, ayçiçeği, keten tohumu

Pnömatik konveyörle taşınabilecek malzeme listesi oldukça geniştir. Esas itibariyle tüm toz ve taneli malzemeler bu sistemler ile taşınabilir. Bu sistemler için 70 mm çapa kadar taşlar ve canlı tavuklar uç örnekler olarak verilebilir. Pnömatik konveyörlerle taşınabilecek malzemelerin alfabetik listesi Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Pnömatik konveyörlerle taşınabilecek malzemelerin alfabetik listesi

A	ABS tozu	Asetisalik asit	Aktif toprak	Adipik asit
	Alkali selüloz	Altud tozu	Alümin	Al Florid
	Al folyo	Al hidrat	Al talaşı	Al silikat
	Al sülfat	Al taşı boksit	Amonyum nitrat	Amonyum sülfat
	Antrasit	Antimon oksit	ApatitArsenik asit	Arsenik
	Anhidrit	Asbest fiberi	Asbest	Alçı taşı tozu
	Alçı	Ayçiçeği çekirdeği		
B	Bakalit tozu	Baryum monoksit	Bentonit	Bikarbonat soda
	Beyazlatıcı toz	Boraks	Borik asit	Bütadin
	Buğday	Bakır artığı		
C	Cam fiberi	Cam taneleri	Cüruf	Çim artığı
	Çakmak taşı	Çavdar	Çinko sülfat	Çeltik
	Çimento	Çin kili	Çekirdek(meyve)	
D	Dekstrin	Dikalsiyum fosfat	Demir cevheri	Demir titanyum oksit
	Demir formik asit	Dinamit tozu	Demir sülfat	
E	Emaye tozu			
F	Florin	Fumarik asit	Fenol reçinesi	Fosfat
	Fosforikpentasülfat			
G	Grafit tabakası	Grafit tozu		
H	Hindibağ kökleri	Hindistancevizi kurutulmuş		
İ	İrmik			
J	Jelatin	Jelatin şeritleri		

K	Kaolin	Kalamin	Kalsiyum klorid	Kalsiyum sinamit
	Karbon tozu	Karbon siyah	Kart artığı Kasein	Kenevir sapı
	Kemikler	Krom sülfat	Kil tozu	Keten
	Kobalt cevheri	Kakao tohum zarı	Kakao tohumu	Kahve tanesi
	Kahve meyvesi	Kahve kavrulmuş	Kahve kavrulmamış	Kok tozu
	Kok tanesi	Kok petrolü Küspe	Küspe tanesi	Kupol ocak tozu
	Kupol ocak sinteri	Kurşun oksit	Kireç karbonatı	Kireç hidratı
	Kireçtaşı Kibrit	Kağıt kenar artığı	Kuartz tozu	Kuartz taşı 80 mm
	Kauçuk parçaları	Kauçuk tozu	Kum	Kurum
L	Linyit	Lamba isi	Liken kurutulmuş	
M	Magnezyum oksit	Magnezit	Magnezyum karbonat	Maya
	Magnezyum Florit	Manganiz dioksit	Mermer tozu	Matelisitik
	Mika	Mantar	Mısır	Mevve(kurutulmuş)
N	Nikel oksit	Nikel sülfat	Nitroselüloz	Naylon fiberi
	Nişasta			
P	Palmiye tohumu	Plastik taneleri	Polietilen tanesi	Polietilen toz
	Polyester fiberi	Polyester tanesi	Polistren	Pvc tanesi
	Pvc tozu	Posa(meyve)	Potasyum hidrat	Potasyum klorit
	Potasyum nitrat	Patates cipsi donmuş	Patates posası	Patates nişastası
	Pancar kökü			

S-Ş	Süttozu	Sığır yemi	Selefon	Selüloz
	Silika anhidris	Silikahidrit	Silikajel	Sabun tozu
	Sabun artıkları	Sodyum karbonat	Sodyum klorat	Sodyum klorit
	Sodyum sitrat	Sodyum formik asit	Sodyum hidrosulfit	Sodyum nitrat
	Sodyum perborat	Sodyum sülfat	Sodyum sülfid	Sodyum tripolifosfat
	Soya	Saman	Sülfür	Şeker tanesi
	Şeker (pudra)			
T	Tuğla tozu	Tüy	Talk	Tereptalik asit
	Titanyum dioksit	Tütün	Trikloriknik asit	Turba
	Tahıl(nohut,...)	Tahta(talaşı,artığı) Toz		
U-Ü	Un(buğday,...)	Uranyum tetraflorüt	Üre	Üre formadehit tanesi
	Üzüm	Üzüm salkımı		
Y	Yer fıstığı tanesi	Yerfıstığı tozu		
Z	Zift taneleri			

2.3 Pnömatik Konveyör Sistemlerinin Uygulama Alanları

2.3.1 Paketleme

Çuval, büyük torba, konteynır gibi taşıma ortamlarına dolum yapılır. Vakumlu taşıma sistemi ile malzeme silo, depo veya zeminden çekilir.

2.3.2 Kamyon / Traktör Yükleme Boşaltma

Depo, silo veya yerde bulunan mal vakum ile çekilir, kamyon veya römorka taşınır. Kamyon ve römorktan alınır, silo yükleme, depo veya zemine boşaltma yapılır.

2.3.3 Fabrika İçi Taşıma

Silo, depo, yer, boşaltma çukuru, makine çıkışı gibi yerlerden yine tesis içindeki yerlere taşınır.

2.3.4 Binalar / Fabrikalar Arası Taşıma

Malzeme farklı binalara taşınır.

2.3.5 Dağıtım

Silo içinde bulunan malzemenin hava basıncı ile püskürtülerek açık mekanlara dağıtılması, canlı hayvan yemlemesinde kullanılır.

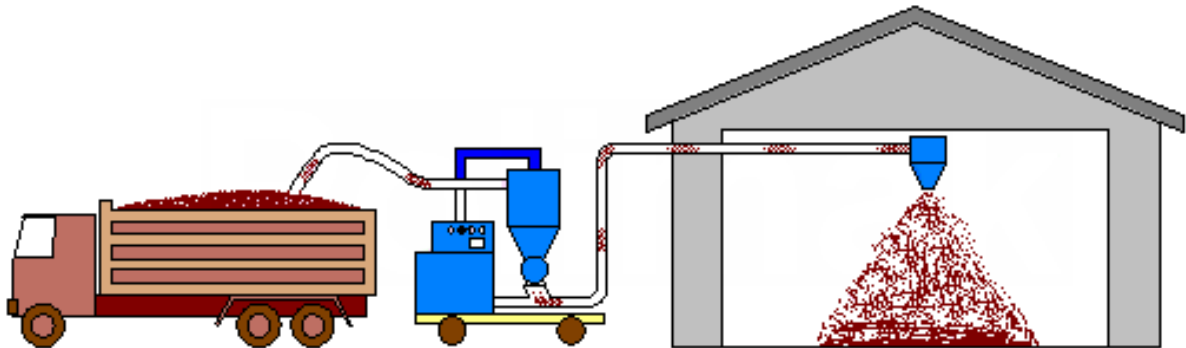
2.3.6 Çuval boşaltma

Çuval içinde bulunan malzeme, bunkere boşaltılarak pnömatik nakil hattına aktarılır. Boru hattı ile istenilen silo, karıştırıcı veya kazana dolum yapılır.

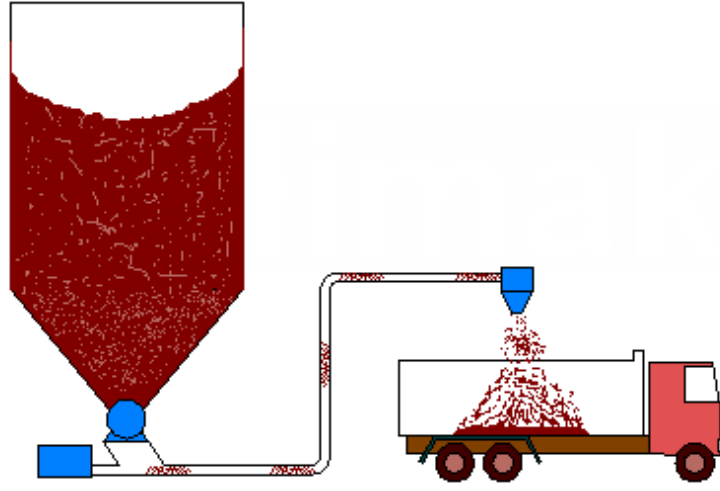
2.3.7 Silo doldurma ve boşaltma

Kamyon, zemin, bunker gibi yerlerden alınan malzemeden siloya dolum yapılır. Silo içinde bulunan malzeme ile kamyonu yükleme, fabrika, makine veya başka bir siloya taşıma işlemi yapılır. Silo yükleme, silo boşaltma işlemlerinde malzemenin hasarsız taşınması sağlanır.

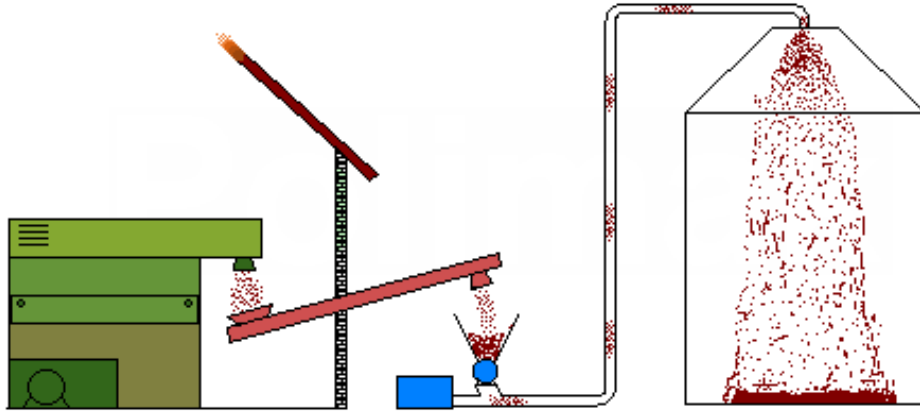
Pnömatik konveyör sistemlerinin uygulama alanları Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de örneklendirilmiştir.



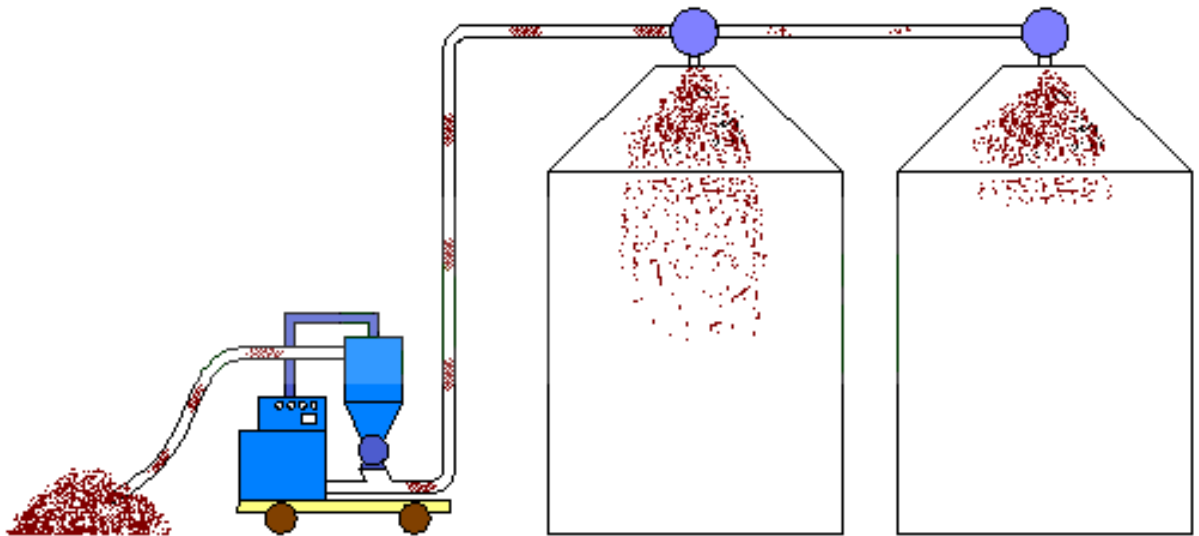
Şekil 2.1 Kamyonun depo zeminine malzeme boşaltma



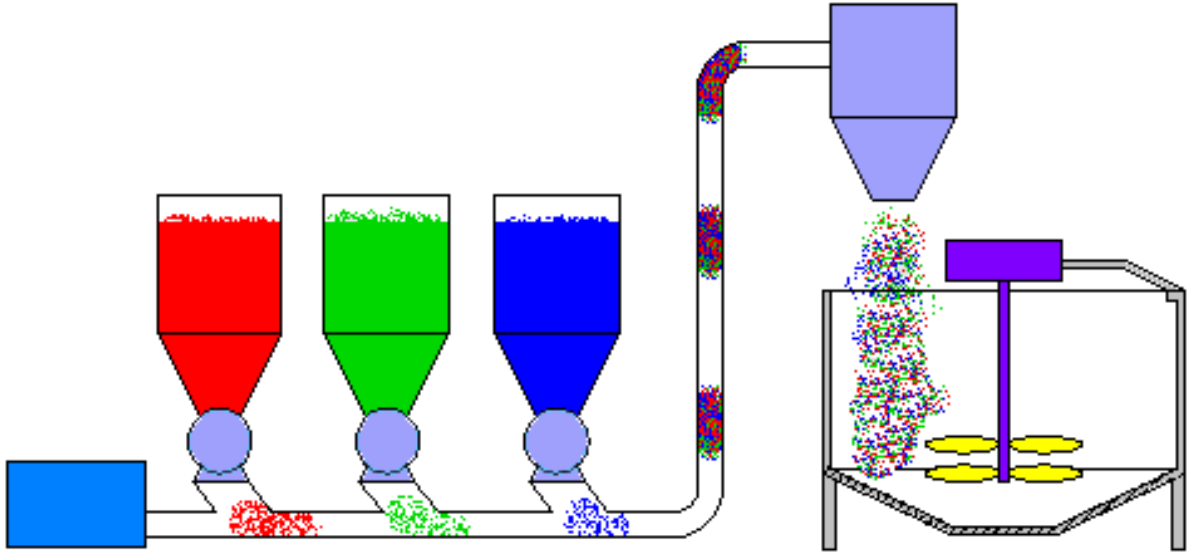
Şekil 2.2 Silo içinden kamyonu yükleme



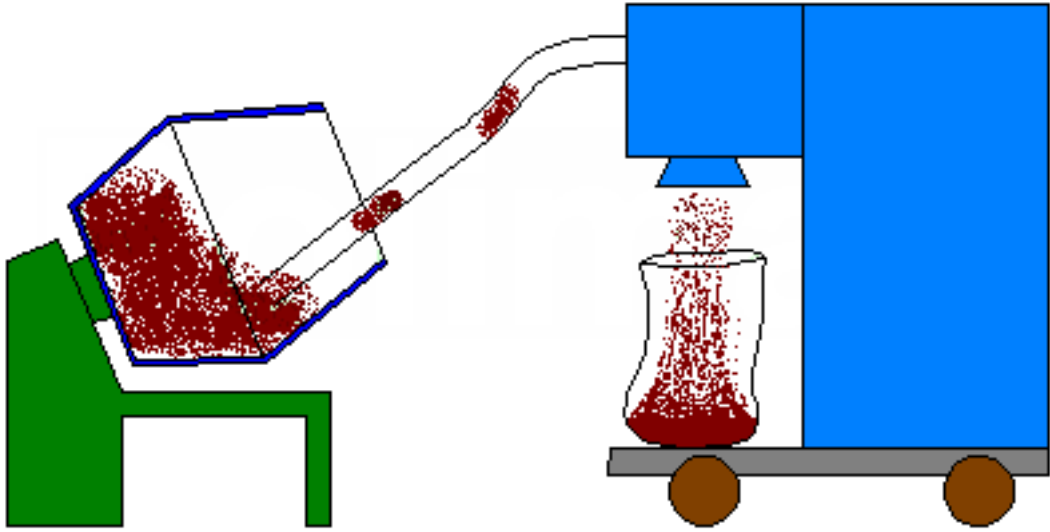
Şekil 2.3 Helezon ve pnömatik sistem ile silo dolumu



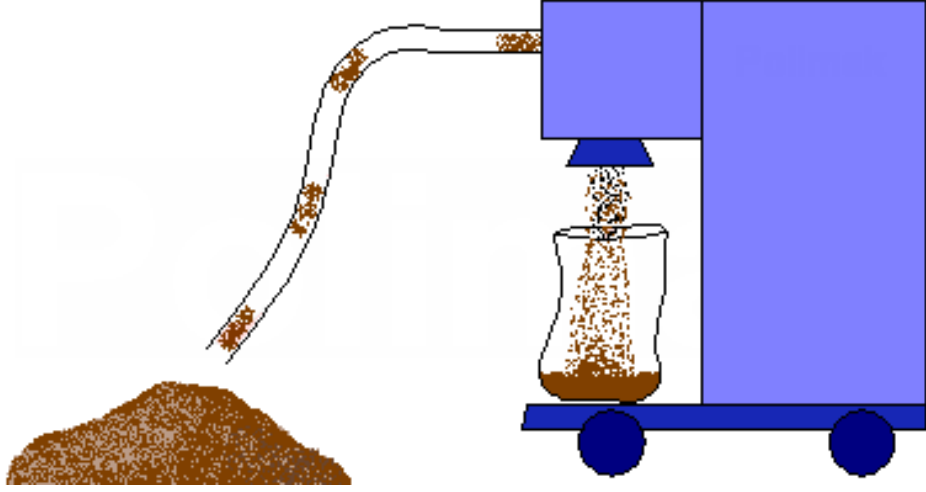
Şekil 2.4 Zeminden vakum ile silo dolumu



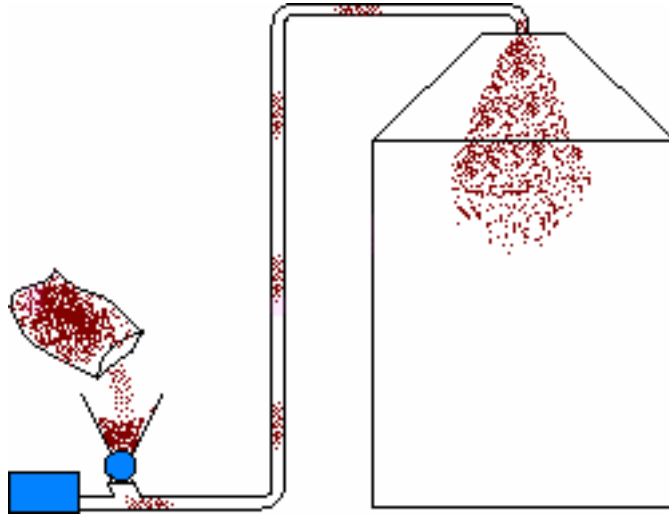
Şekil 2.5 Silolarda bulunan farklı malzemelerin dozajlama ile mikserde karıştırılması



Şekil 2.6 Mikser ile karıştırılan malzemenin vakum sistemi ile çuval veya büyük torba gibi paketlenmeye doldurulması



Şekil 2.7 Yerde bulunan malzemenin vakum ile çuval veya büyük torba gibi paketlenere doldurulması



Şekil 2.8 Çuvalda bulunan malzemenin siloya doldurulması

2.4 Pnömatik Konveyör Çeşitleri

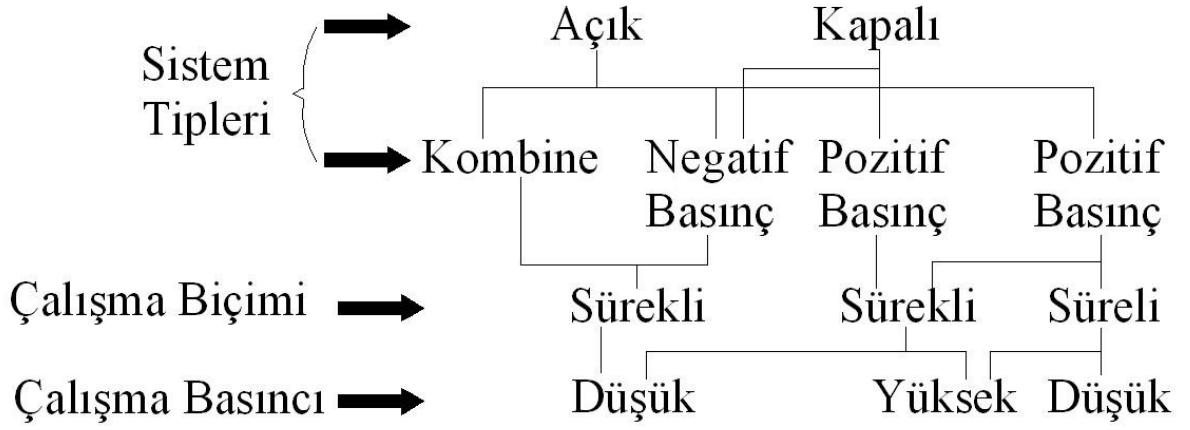
Esneklik pnömatik konveyörlerin en önemli özelliklerindendir. Farklı noktalardan malzeme yüklenmesi, hem de farklı noktalardan malzeme boşaltımı aynı hat için bile oldukça rahat uygulanabilecek bir konstrüksiyondur.

Pnömatik konveyör sistemleri çok yönlü sistemlerdir. Konstrüksiyon olarak hem az yer kaplarlar hem de hafif sistemlerdir. Taşıma hattı (borular) duvarlara, tavana veya yeraltına ekstra ekipman gerektirmeksizin yerleştirilebilir. Tabii ki bu yerleşim yapılırken taşınacak malzemeler de dikkate alınmalıdır. Örneğin korozyif malzemeler için korozyona dayanıklı bir sistem kurulmalıdır.

İletim prensibi toz ve taneli malzemelerin yeterli olan hava hızında, hava ile taşınmasıdır. Taşınacak malzemelerin ivmelenmesi ve hareketlenmesi için gerekli enerji, boru hattı boyunca sistemde oluşturulan basınç farkı ile sağlanmaktadır. Bu basınç farkı ise hem pozitif basınç hem de negatif (vakum) basınç ile veya bu iki sistemin birlikte kullanılması ile gerçekleştirilebilmektedir.

Çok çeşitli havalı götürücü çeşitleri mevcuttur ve bunlar genellikle kuru dökme özellikli malzemelerin taşınması için uygundur. En çok kullanılan sistem konvansiyonel, sürekli çalışan, açık sistemli ve sabit olan konveyörlerdir. Bununla birlikte daha yenilikçi kesikli çalışan kapalı sistemler de malzemelerin taşınmasında sıklıkla kullanılır. Bu sistemlerin çoğu pozitif ya da negatif basınçlıdır. Bu iki sistemin kombinasyonu şeklindeki sistemler de mevcuttur.

Şekil 2.9 konvansiyonel pnömatik konveyör seçimindeki mümkün olan kombinasyonları göstermektedir. Bu kadar geniş bir sistem çeşitliliği mevcutken pnömatik konveyörler farklı şekillerde gruplanabilir.



Şekil 2.9 Kullanılabilecek pnömatik konveyör çeşitlerini gösteren diyagram

- Açık ve kapalı sistemler: Açık sistemler pnömatik konveyörlerin normudur; özellikle de taşıma gazı hava ise. Kapalı sistemler yalnızca çok özel koşullarda kullanılır. Örneğin: taşınacak madde yüksek derecede toksik veya patlayıcı ise.
- Pozitif ve negatif basınçlı sistemler: Malzemeler emilebilir veya üflenebilir. Yani basınç veya vakum pnömatik konveyörlerde kullanılabilir. Bu genellikle şirket veya kişisel bir tercih meselesidir.
- Sabit ve hareketli sistemler: Pnömatik konveyörlerin büyük çoğunluğu sabitlenmiş durumdadır. Bu yüzden bu özel bir durum olarak nitelendirilemez. Özel işler için çeşitli mobil (hareketli) sistemler de mevcuttur.
- Yüksek ve düşük basınçlı sistemler: Pnömatik taşımada yüksek basıncın anlamı genellikle 15 lbf/in²'nin (1 bar) üzerindeki basınçlardır. Atmosfer basıncındaki hedef noktaya taşıma yapan pnömatik konveyörlerde hava genişlemesinden ötürü 100 lbf/in² (6.8 bar) genellikle üst limittir. Çok daha yüksek basınçtaki sistemler (300-400 lbf/in² (20-27 bar) kimyasal reaktörlerde olduğu gibi basınç altındaki hedef noktasına taşıma yapılan koşullarda kullanılabilir.
- Konvansiyonel (geleneksel) ve yenilikçi sistemler: Konvansiyonel sistemler basitçe malzemenin bir boru hattına beslenip emilerek ya da üflenerek hareket ettirildiği sistemlerdir. Bu sistem normu olduğu için özel hal olarak nitelendirilmemektedir. Yenilikçi sistemler götürülecek malzemenin ya besleme noktasında ya da boru hattı boyunca, genellikle malzemeyi düşük hızda dolayısıyla yoğun fazda götürmek için

koşullandırıldığı sistemlerdir. (Malzemenin düşük hızda taşınma gibi doğal bir yeteneği yoksa.)

- Kesikli ve sürekli çalışan sistemler: Bu iki tip konveyör sanayide sıklıkla kullanılmaktadır.
- Tekli ve çoklu sistemler: Taşıma sistemlerinin büyük çoğunluğu tek başına kullanılan sistemlerdir. Ancak bu sistemlerin özel amaçlar için birleştirilmesi ve kombine şekilde kullanılması mümkündür.
- Seyreltik ve yoğun fazlı sistemler: Seyreltik ve yoğun fazlı sistemler herhangi özel bir sisteme tekabül etmez. Her dökme malzeme seyreltik fazda taşınabilir. Malzemenin yoğun fazda taşınıp taşınamayacağını gene malzemenin özellikleri belirler.
- Boru hatlı ve kanal akışlı sistemler: Pnömatik taşıma sistemlerinin çok büyük çoğunluğunda malzeme boru hattı içinde taşınır. Sıvılaştırılmış hareketli taşıma sistemleri genellikle gözenekli yapısı olan kanalları kullanır. Bu gözeneklerden hava verilir. Bu sistemler çok nadiren düşey taşımalarda kullanılır.

2.4.1 Kapalı Sistemler

Bazı durumlarda malzemenin kontrol altındaki çevre içinde taşınması gerekebilir. Eğer malzemenin toz bulutu potansiyel olarak patlayıcı ise nitrojen veya diğer bir gaz malzemeyi taşımak için kullanılabilir. Açık sistemlerde çevre kontrolü çok pahalı olabilir. Ancak kapalı sistemlerde kullanılan reaksiyona girmeyen gaz devir daim edildiğinden masraflar büyük ölçüde azaltılır.

Eğer taşınacak malzeme toksik veya radyoaktif ise hava taşıma gazı olarak kullanılabilir ancak çok sıkı kontrollerin yapılması gerekir. Bu gibi durumlarda kapalı sistemler vazgeçilmezdir. Kapalı sistemlerden sürekli taşıma sistemleri en kolay ayarlanabilir sistemlerdir.

Bu sistemler malzemelerin kontrollü çevre altında taşınmasına olanak sağlar. Aslında her toz içeren malzeme için patlama riski mevcuttur. Toz miktarı 0.04 kg/m³ geçen tüm taşınmalarda, patlama riski fazla olan veya sağlık için zararlı malzemeler kapalı sistemler ile taşınmaktadır. Açık sistemlerde ortam kontrolü oldukça pahalı olmakla beraber, kapalı sistemlerde ortama istenen gaz verilebilir ve bu gaz döngülenebilir olduğu için maliyetler düşmektedir.

2.4.2.1 Pozitif Basıncılı Sistemler

Pnömatik taşımada en çok tercih edilen sistemlerdendir. Malzemenin bir noktadan toplanıp birkaç alıcı kaba dağıtıldığı çok yönlü taşıma uygulamalarında kullanılmaktadır.

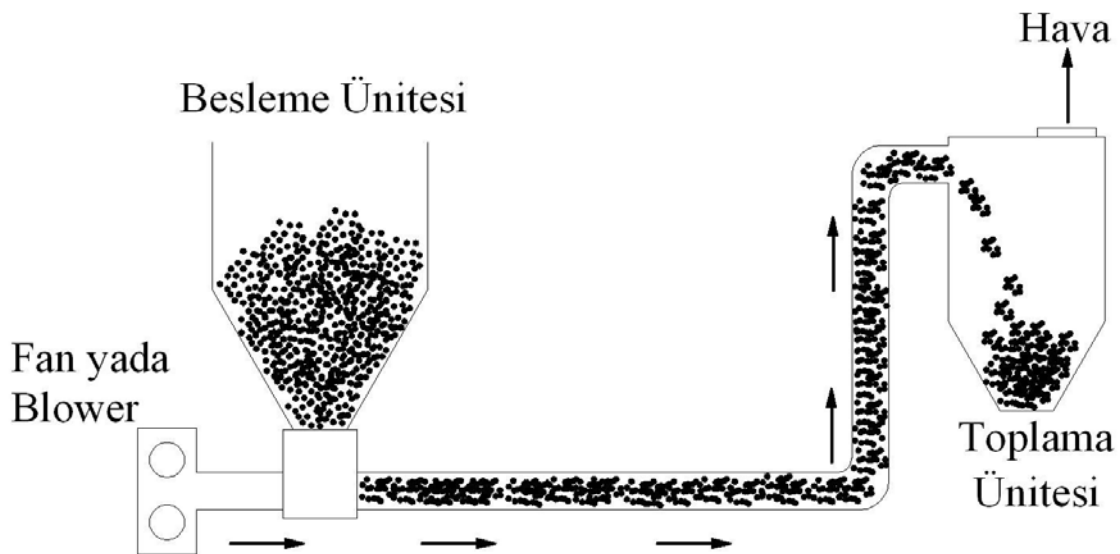
Basıncılı götürücülerde hava yoğunluğu yüksek olduğu için basınç düşümü fazladır. Bu özellik akım hızı yavaş olan malzemelerin taşınmasında ve taşıma mesafesinin arttığı durumlarda basınçlı götürücülerin tercih edilmesini sağlar. Malzemenin boruya girişi bir emme ağzı vasıtasıyla olur. Basıncılı götürücüler başlıca ağır pudra ve kütleli malzemeleri taşımakta kullanılırlar. 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 aracılığıyla olur.

Basınc sistemli konveyörlerde boru uzunluğu vakum sistemlilere göre daha fazla olabilir.

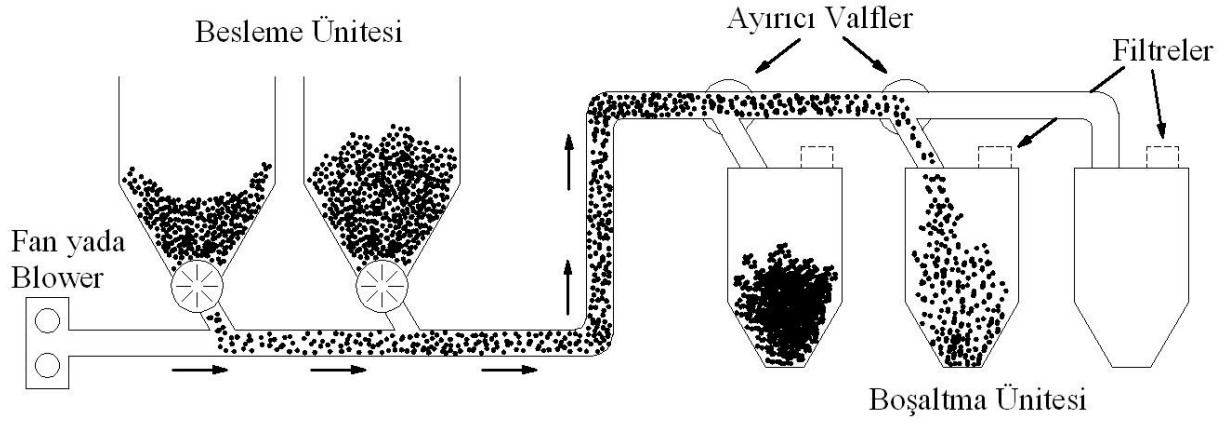
Basıncılı pnömatik tesislerde;

- İletme uzunluğu 500 m (büyük uzunluklar ve yatay iletmelerde 2000 m)
- İletme yüksekliği 100 m
- Maksimum iletme basıncı 4 bar (özel hallerde 10 bar)'dır.

Basıncılı pnömatik konveyörler üçüncü bölümde detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 2.11 Pozitif basınçlı basit pnömatik konveyör



Şekil 2.12 Pozitif basınçlı karmaşık pnömatik konveyör

2.4.2.2 Negatif (Vakumlu) Basınçlı Sistemler

Vakumlu pnömatik konveyörler genel olarak malzemenin farklı noktalardan toplanıp, tek bir boşaltma ünitesinde biriktirilmesinde ya da sistem kaçak noktalarından hava girmesinin dışarıya toz atmasından daha avantajlı olduğu durumlarda tercih edilmektedir.

Bu tip sistemler farklı noktalardan toplama yapabildiği gibi farklı noktalara boşaltma da yapabilirler ancak bu tip uygulamalar maliyetli bir konstrüksiyon gerektirmektedir. Her boşaltma noktasında bir döner valf ve iki adet ayırıcı vana bulunmalıdır. Bir tanesi toplayıcı ünitenin ana hatla bağlantısını sağlamak için, diğeri ise toz dönüş hattına bağlantı için gereklidir.

Vakum sistemleri yığma malzeme taşıyan araçların boşaltılması için ideal sistemlerdir. Bu tip araçlar genel olarak toplama için emiş konstrüksiyonu içermekte olup, boşaltma için sadece sisteme hortum bağlantısına ihtiyaç duyarlar. Malzeme ayırıcı-toplayıcıdan ya yer çekimi vasıtasıyla varillere boşaltılır ya da mekanik veya pozitif pnömatik konveyörler vasıtasıyla istenilen noktaya boşaltılır.

Vakumlu pnömatik konveyörler birçok operasyonu gerçekleştirebilmekle beraber, her seferinde bir işlemi sonlandırabilir. Bu çoklu operasyon için sisteme gerekli ayırıcı valfler ve hat seçim valfleri de yerleştirilmelidir. Böylece tek vakum pompası ve ayırıcı-toplayıcı ile şu işlemler ayrı ayrı yapılabilir:

- Malzemenin araçtan boşaltılması,
- Malzemenin istenilen varillere boşaltılması,

- Malzemenin bir varilden başka bir varile taşınması,
- Malzemenin işlem alanına kullanılan varil üstünde bir toplayıcı ve bir toz dönüş hattı döşenerek taşınması.

Birçok işlemin aynı anda yapılabilmesi için birden fazla vakum pompası ve toplayıcı filtreye ihtiyaç duyulacaktır.

Toplayıcı-ayırıcılar, vakumlu pnömatik konveyör sistemlerinde toz filtresi ve siklon ayırıcıdan oluşmaktadır. Taşınan hava konik siklon bölgesine alt bölümden girer. Burada çarpıtma elemanları malzemeyi aşağı yönde boşaltma bölümüne doğru yönlendirir. Tozlu hava üst filtre bölümüne yükselir. Bu bölümde filtrelenen hava pompadan geçerek atmosfere ulaşır.

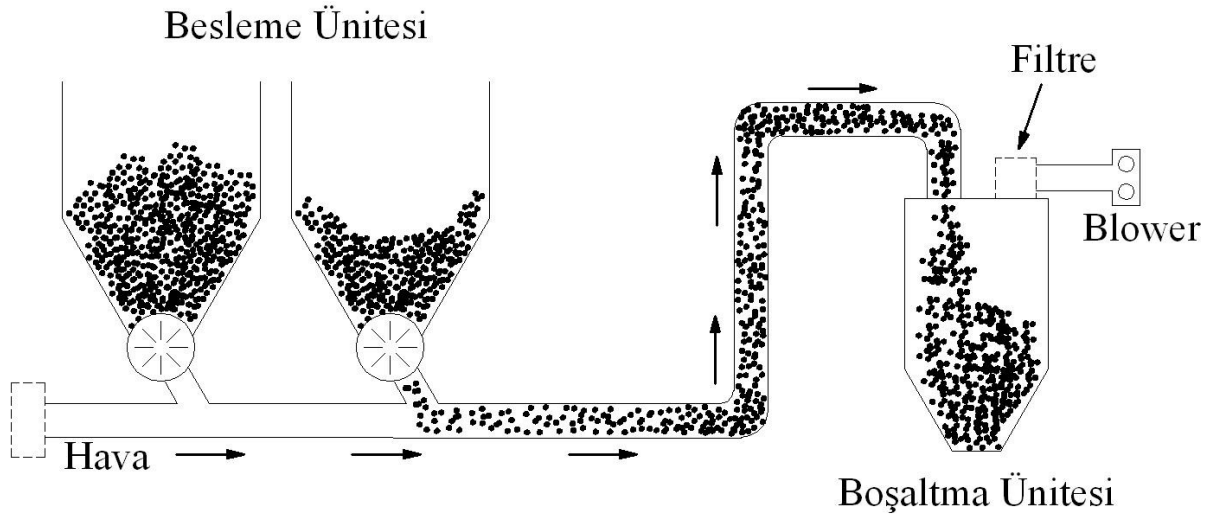
Taşıma hatlarının boyutları aynı hava miktarını taşımak için gerekli pozitif basınçlı hatlardan daha fazladır. Bu uygulama ile amaç vakum altında hava yoğunluğunu azaltmaktır.

Vakumlu pnömatik konveyör sistemlerinin kendilerine özgü eksiklikleri vardır. Hiç hava kaybı olmamasına rağmen sızıntılara bağlı sistemde hava miktarında artışlar görülebilmektedir. Bu durumda basınç seviyesinin etkilenmesine yol açmaktadır.

Vakumlu sistemler ayrıca kapalı sistem olarak çalışmaya da olanak sağlarlar.

Vakumlu pnömatik tesislerde;

- İletme uzunluğu 200 m (büyük uzunluklar ve yatay iletmelerde 500 m)
- İletme yüksekliği 30 m
- Maksimum vakum 0,5 bar
- Maksimum tane büyüklüğü 20 mm'dir.



Şekil 2.13 Vakumlu basit pnömatik konveyör

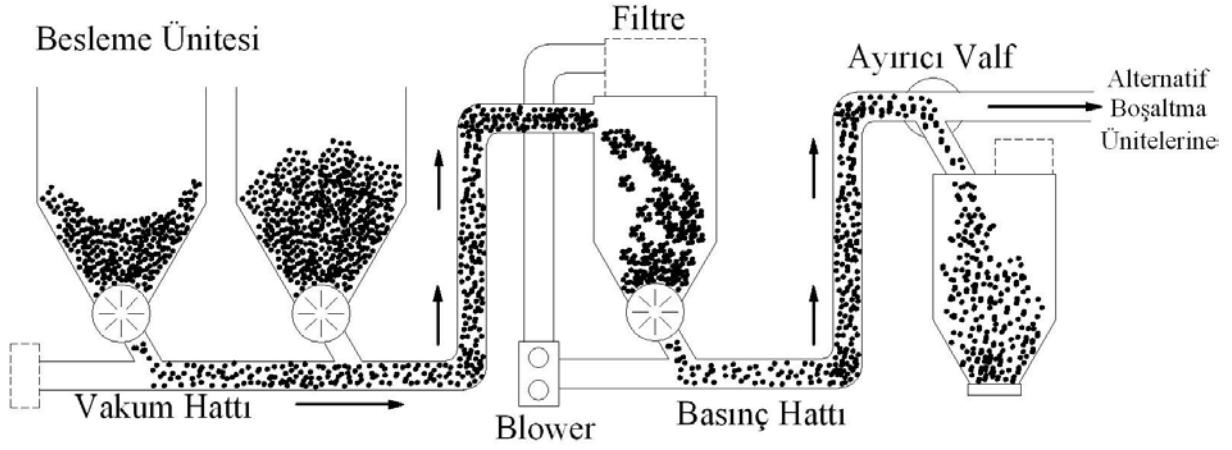
2.4.2.3 Kombine Negatif (Vakumlu) ve Pozitif Basıncı Sistemler

Bu tip sistemlerde öncelikle mallar vakum hattı ile belirli bir depoya getirilir. Bu aşamada kullanılan hava, tozlardan arındırılarak pompadan geçirilir. Bu sırada mallar da besleyici yardımı ile tekrar yüksek basınç kısmına yüklenir. İki sistemin bu şekilde birlikte kullanılmasıyla mallar farklı noktalardan emilebilir ve farklı silolara iletilebilir.

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.

Hem vakumlu hem basınçlı sistemler farklı noktalardan toplanıp farklı noktalara dağıtılması gerekiyorsa tercih edilmelidir. Bu tip ikili sistemlerde hesaplamalar emiş ve basınç etkilenmeyecek şekilde yapılmalıdır. Bazı blowerler bu tür konstrüksiyona uygun olmamaktadır. Ayrıca blowerin emişinin filtrelenmesine dikkat edilmelidir. Vakum altındaki boru hattı kalınlığı, basınç altındaki boru hattı kalınlığı dikkatle seçilmelidir.

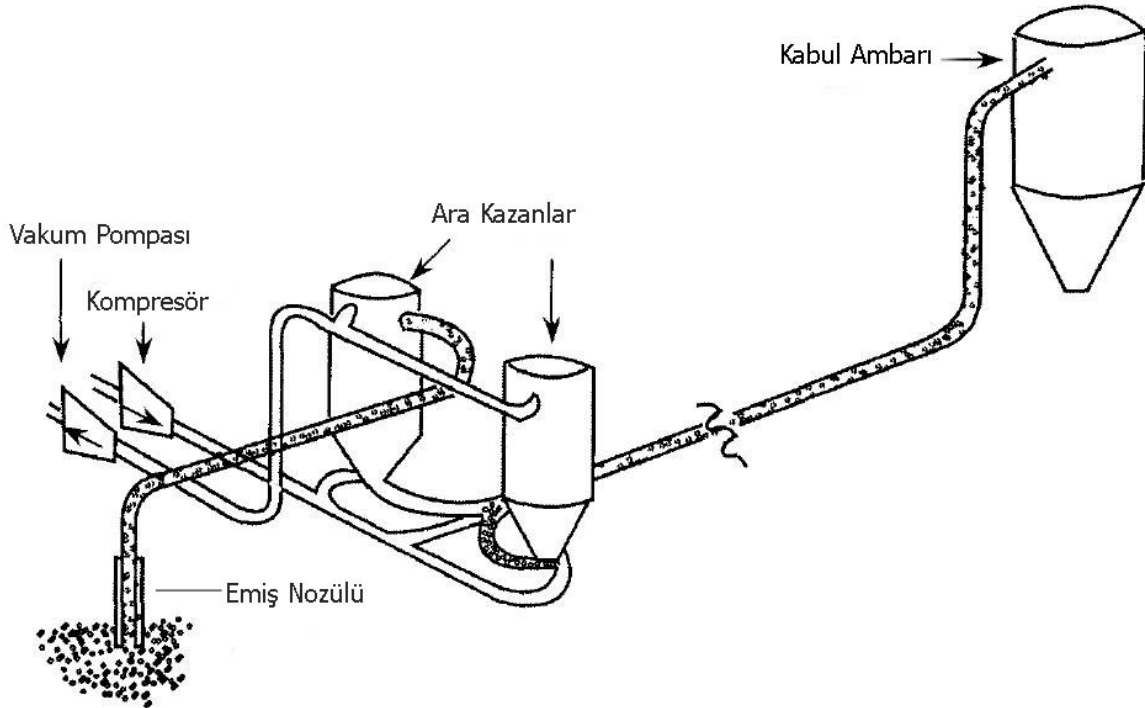
Emiş ve üfleme işlemini aynı blower gerçekleştirdiğinden bu blowerin gücünün çok iyi tespit edilmesi gerekir.



Şekil 2.14 Hem vakumlu hem basınçlı (kombine) pnömatik konveyör sistemi

2.4.2.4 İkili Negatif ve Pozitif Basınçlı Sistemler

Bu sistem esasında iki farklı sistemin bir araya getirilmesiyle oluşur. Kombine sistemden farkı emiş ve üfleme için farklı blowerların seçilmesidir. Bu şekilde emiş ve üfleme için tam istenilen düzeyde güç rahatlıkla seçilebilir. Bu tip sistemlerde malzemelerin çok uzak mesafelere taşınması mümkün olabilir.



Şekil 2.15 İkili negatif ve pozitif basınçlı pnömatik konveyör sistemi

Şekil 2.15'de görülen sistem tipik bir gemi boşaltma sistemidir. Yüksek güçlü bir vakum pompasıyla çimento gibi malzemeler gemiden saatte 900-1000 ton gibi bir miktarda

boşaltılabilir. Aradaki ikiz tanklar sürekli taşımayı sağlarlar. Güçlü bir hava üflecisi veya kompresörle malzemeler 600 metre kadar uzağa taşınabilir.

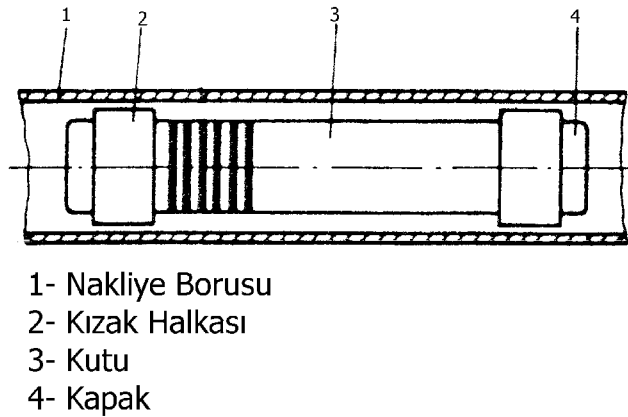
Yığın halindeki malzemenin toplanıp uzak noktalardaki kamyon, ambar vb. kabul yerlerine taşınması gerektiği durumlarda bu tip sistemler öncelikli tercih sebebidir.

2.4.2.5 Borulu PTT Tesisleri

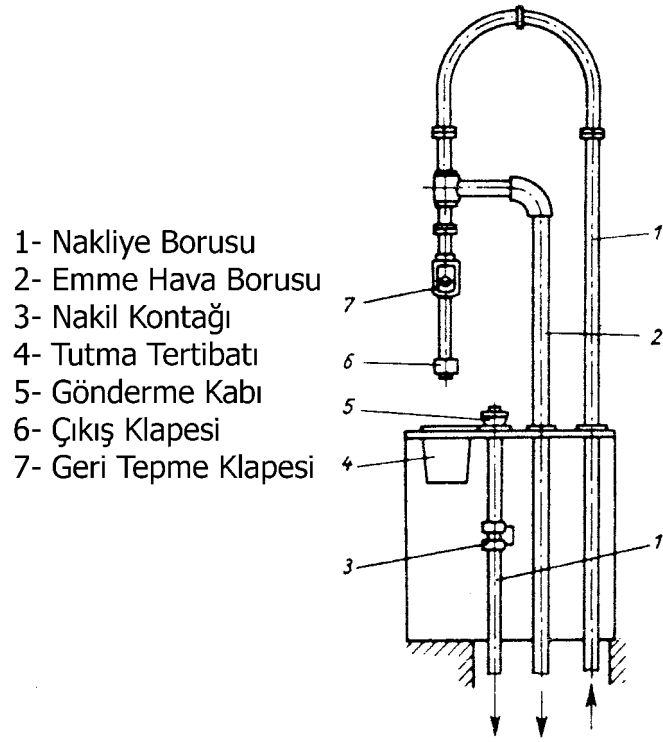
Borulu PTT tesisleri pnömatik götürücülerin özel bir şeklini teşkil ederler. Bu tesisler ile vesikalar, örnekler, ilaçlar veya diğer küçük parçalar ihtiva eden, küçük silindirik kaplar (borulu ptt kutusu) akıcı hava vasıtasıyla nakledilirler. Borulu PTT tesisleri kapalı bir iletme borusu içinde, iletilecek malın emmeli veya basınçlı hava vasıtasıyla herhangi doğrultuda iletildiği parça mal götürücülerdir.

Kullanılan iletme hızları 5 ile 14 m/s aralığındadır ve gerçekten yüksektir. Tesisler genellikle vakumlu götürücüler olarak tasarlanmaktadır. İletme uzunlukları 500 m'ye kadar erişmektedir. Makaslar, dirsekler, kanala sokma ve çıkarma tertibatları hem iki istasyon arasındaki direkt trafiği hem de bir ring trafiğini mümkün kılmaktadır.

Borulu PTT kutuları çelik, hafif metal veya plastik boru içinde hareket ederler. Özel boru PTT kutuları da vardır. Kutular, işaret taşıyıcıları ile kabul istasyonlarınca ayarlanır. (Alışverişçi M.; Spivakovsky ve Dyachkov, 1984)



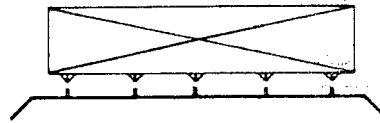
Şekil 2.16 Borulu PTT kutusu



Şekil 2.17 Borulu PTT tesisi gönderme ve kabul yeri

2.4.2.6 Hava Yastıklı Götürücü (Havalı Masa)

Hava yastıklı götürücüler, parça mal götürücülerdir. Bunlar, lüzum görüldüğü takdirde mevcut parça mal vasıtasıyla açılan hava memeli bir oluk veya sac plakaya sahiptir. Askıdaki konumda bulunan mal, hava memesinin ayarlanmasına göre iletilir veya elle hareket ettirilebilir. (Alışverişçi, M.)



Şekil 2.18 Hava yastıklı götürücü, havalı masa

2.5 Pnömatik Konveyör Seçiminde Malzeme Özelliklerinin Etkileri

Pnömatik konveyör seçiminde malzeme özellikleri de dikkate alınmalıdır. Bu da bazı temel yardımcı olacak ayrıntıları belirtmeyi zorunlu kılmaktadır.

2.5.1 Yapışkan Malzemeler

Boşaltma silolarında, boru hatlarında ve besleme noktalarında soruna sebep olabilecek bir malzeme türüdür. Çamur gibi malzemeler taşınması özellikle geleneksel sistemlerle zor olmaktadır. Bu koşullarda darbeli fazlı sistemlerin kullanılması daha etkili olabilir.

2.5.2 Yanıcı Malzemeler

Havada toz halinde bulunması ile kolay alevlenebilecek birçok malzeme mevcuttur. Bu malzemeler arasında şeker, un, kakao gibi gıda, plastik, kimyasal, tıbbi malzemeler, metal tozları, yakıt olarak da odun ve kömür sayılabilir. Eğer kapalı bir sistem kullanılırsa oksijen oranı kontrol edilebilir veya sistemde gaz olarak soy gazlar kullanılabilir. Eğer açık bir sistem oluşturulacaksa basınç kontrol valfleri ve destekleyici sistemler eklenebilir.

2.5.3 Islak, Nemli Malzemeler

Malzemeler, boru hattı beslenirse çok nemli olsalar da geleneksel sistemlerle taşınabilirler. Bu tür malzemelerde genelde boşaltma sırasında sorun yaşanmaktadır. Toz malzemeler döner valfden geçerken oluşan sorunlar havalı iletim ile çözülebilir. Toz malzemeler ıslakken borulara yapışıp tıkanmalara sebep olmaktadır. Sisteme darbeli fazlı yöntem uygulanmalıdır. Eğer malzeme çok ıslak değilse konveyör havasının ısıtılması da çözüm olabilmektedir.

2.5.4 Elektrostatik Malzemeler

Eğer malzemede elektrostatikleşmeden oluşan taşınma sorunları mevcutsa taşıma havası nemlendirilmek suretiyle çözüm bulunabilir. Yoğun fazda nemlenmesi gereken hava miktarı seyrek faza göre daha azdır. Tüm boru sisteminin topraklanması da uygulanması gereken bir önlemdir.

2.5.5 Aşındırıcı Malzemeler

Taşınacık malzemelerin sertliğı konveyör elemanlarının sertliğinden fazla ise özellikle köşelerde ve besleme ünitelerinde kısa sürede aşınma oluşmaktadır. Sistemdeki hızın düşürülmesi bu sorunları azaltabilmektedir. Eğer seyrek fazla sistemler kullanılacaksa hareketli parçalara dikkat edilmeli(döner valf, vidalar), boru hatları korunmalıdır.

2.5.6 Parçalanabilir Malzemeler

Eğer taşınacak malzemede parçalanmaya müteakip tıkanma ihtimali varsa taşınma hızı düşük tutulmalıdır. Parçalar arası sürtünmeden veya duvarla olan sürtünmeden malzemelerde parçalanma görülebilir. Bu duruma engel olmak için, sistemdeki dirsek sayısı minimum tutulmalı ayrıca parçalanmaya sebep olabilecek vidalı besleme gibi konstrüksiyonlardan kaçınılmalıdır.

2.5.7 Taneli Malzemeler

Taneli malzemeler genel olarak sorunsuz taşınabilen malzemelerdir. Üstten boşaltmalı basınçlı tanklar ve konvansiyonel döner valflerde dikkat edilmelidir. Üstten boşaltılmalı tanklarda hava malzemelerin arasından geçip taşınmayı engellemektedir. Bu sorun boşaltma valfi olmayan tanklarda gerçekleşmektedir.

Taneli malzemeler yüksek oranda küçük taneli malzemeler içermektedir, yoğun fazda taşımada tıkanmaya sebep olabileceklerdir. Döner valflerde taneli malzemelerin kesilmesine dikkat etmek gereklidir.

2.5.8 Nemli Malzemeler

Taşınacık malzeme nemli ise taşıma havası kurutularak sisteme verilmelidir. Böylece sistemdeki nem seviyesi kabul edilebilir seviyede tutulabilir. Eğer malzemedeki nem miktarı az ise yoğun fazda bu malzeme başarı ile sistem havası kurutulmadan taşınabilir.

2.5.9 Düşük Ergime Noktalı Malzemeler

Taşınan parçaların dirseklere ve duvarlara yüksek hızlarda çarpmasıyla ortaya çıkan enerji, parçaların yüksek sıcaklıklara çıkmasına neden olmaktadır. Parçadaki çarpan küçük alan, o noktadaki malzemenin ergimesine yol açabilmektedir. Plastik tanelerinin (nylon, polietilen)

taşınmada özellikle süspansiyon taşımada gerçekleşmektedir. Bu sorunun en etkin çözümü sistem taşıma hızını düşürmektir.

2.5.10 Radyoaktif Malzemeler

Radyoaktif malzemeler kesin güvenlik koşulları altında kapalı sistemlerle taşınmaktadır. Ayrıca bir vakum sistemi kullanılarak sistemden hava veya malzeme kaçışına engel olunabilir.

2.5.11 Zehirli Malzemeler

Bu tür malzemeler de kesin güvenlik altında taşınmalıdırlar. Yardımcı vakum sistemi de kullanılabilir. Eğer taşıma havasını filtrelenmesi mümkünse açık sistemler tercih edilebilir.

2.5.12 Çok Tuzlu Malzemeler

Çok küçük toz malzemelerde mikron boyutlarında (siyah karbon ve titanyum oksit) boru hatları malzeme tarafından kaplanmaktadır. Bu kaplanma giderek artıp sistemin tıkanmasına sebep olmaktadır. Bu tip malzemelerin esnek boru hatları veya hortumların kullanılması ve bunların düzenli olarak silklenmesi tıkanmanın önüne geçebilmektedir. Sistemin doğal darbeleri de malzemenin titretilmesi ve tıkanmayı önlenmiş olur. (Polat, 2008)

2.6 Pnömatik Konveyör Seçiminde Sistem Gereksinimleri

Kullanım uygulama ve gereksinimler açısından pnömatik konveyör sistemleri çok çeşitlidir. Bazı daha genel gereksinimler belirlenebilir. Bunlarda sistem belirlenmesinde tasarımcıya yardımcı olacaktır.

2.6.1 Çoklu Toplama

Eğer çoklu toplama ile tek hatta besleme gerekliyse vakumlu sistem tavsiye edilmektedir. Ayrıca pozitif basınçlı sistemde kullanılabilir fakat döner valflerde sorun çıkabilmektedir.

2.6.2 Çoklu Dağıtım

Çoklu dağıtım gerektiren sistemler pozitif konveyör sistemleri ile rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Ayırıcı valfler bu sistemlerde büyük kolaylık sağlamaktadır. Vakum sistemlerinin kullanımı ise basınç kaybı sorunları sebebiyle uygun değildir.

2.6.3 Çoklu Toplama ve Dağıtım

Kombine vakum ve pozitif basınç sistemleri çoklu toplama ve dağıtım için en uygun yöntemlerdir. Bu uygulamalarda basınç düşümü sınırlıdır. Eğer taşıma uzaklığı fazla ise çift sistemlerde kullanılabilir.

2.6.4 Farklı Malzemelerin Toplanması

Eğer iki veya daha fazla malzemenin tek sistem ile toplanması gerekli ise her iki malzemenin de taşıma özellikleri göz önüne alınmalıdır. Malzemeler farklı hava akış oranlarına, hava ihtiyacına ve taşıma özelliklerine sahip olabilirler.

Bu koşullarda temel hava ihtiyacı belirlenmeli, ihtiyaç duyulan maksimum hava hızı dikkate alınmalıdır. Bir alternatif olarak aynı hava debisi kullanılıp, hava hızını değiştirmek için boru çapları farklılaştırılabilir. Her malzemenin debisi farklı olduğu gibi, bu malzemeleri besleme elemanları farklılaşmakta ve kontrolü zorlaşmaktadır.

2.6.5 Farklı Uzaklıklara Taşıma

Eğer malzemelerin farklı uzaklıklara taşınması gerekli ise, yolda sıralanmış tankerlere veya farklı boşaltım noktalarına sahip bir fabrikada malzeme akış oranları ve hava ihtiyaçları da değişmektedir. Malzeme besleme sistemleri de en uzak noktaya taşıma yapılacağı göz önüne alınarak hesaplanmalıdır.

2.6.6 Depolardan Taşıma

Eğer depodan yığın halindeki malzemedan taşıma yapılacaksa vakum sistemler bu tip uygulamalar için özellikle kısa taşıma uzaklıklarında idealdirler.

Başlangıçta malzeme vakumla toplanıp daha sonra kombine sistemler ile basınç olarak taşınmasına devam da edilebilir.

2.6.7 Dolu Boru Hattıyla Çalışmaya Başlamak

Malzeme boru hattında iken sistemin durdurulup tekrar başlatılması gerekli ise sistem bu koşullara uygun seçilmelidir. Özellikle boru hattının dik bölümlerinde oluşabilecek tıkanmalara dikkat edilmeli sistem uzun süre duracak ise sistemin gücünün kesilmesi sağlanmalıdır.

3. BASINÇLI PNÖMATİK KONVEYÖRLER

3.1 Basınçlı Pnömatik Konveyörlerin Genel Tanımlanması

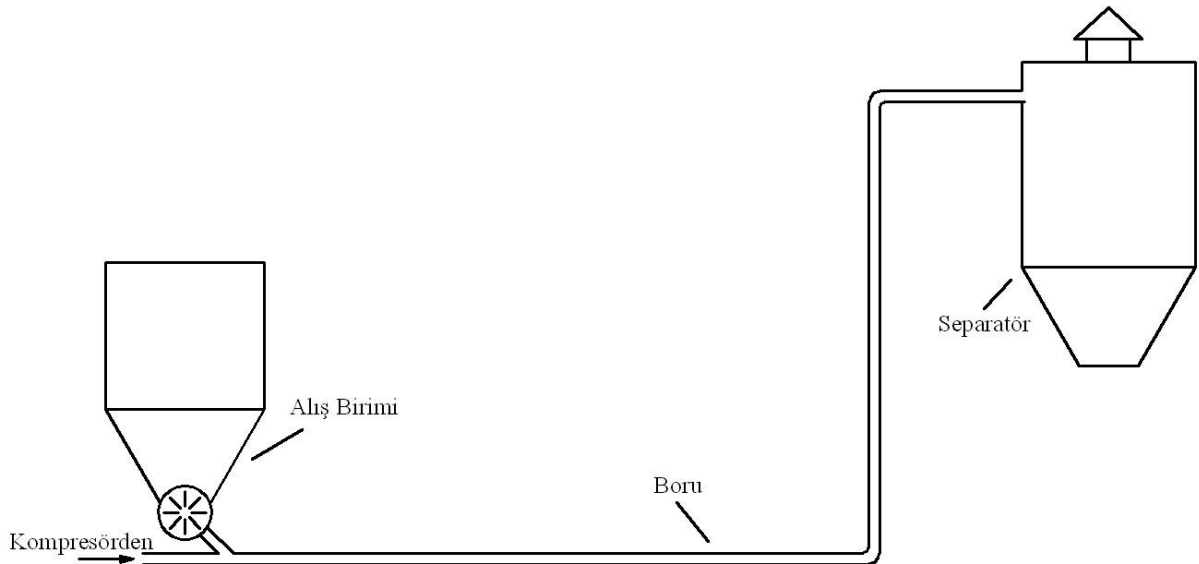
Basınçlı götürücülerde hava yoğunluğu yüksek ve böylece basınç düşümü de fazladır. Bu onları yavaş akımlı malzemelerde ve büyük uzaklıklara taşımada çok etkin yapar. Basınçlı götürücüler başlıca ağır pudra ve kütleli malzemeleri taşımakta kullanılırlar.

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.

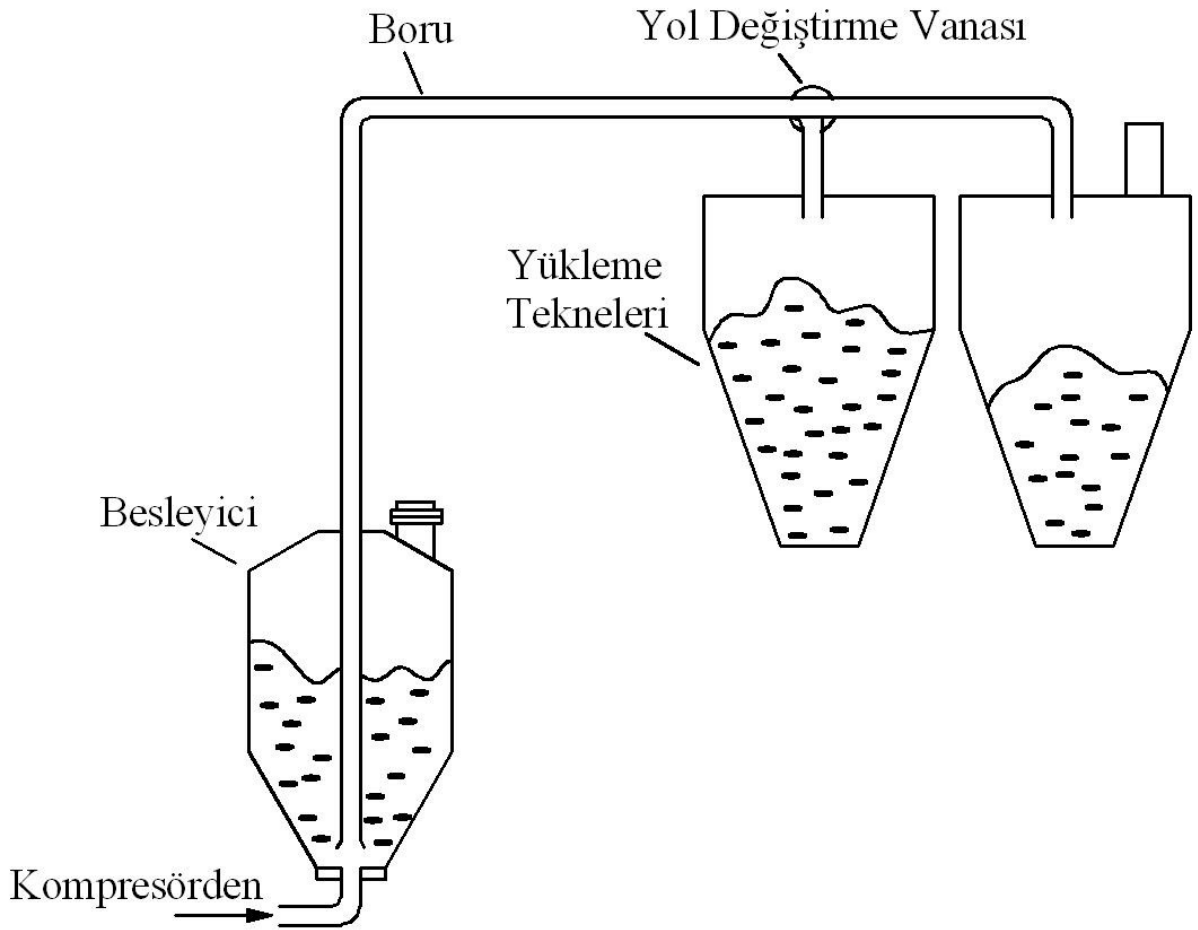
Basınçlı düzeneklerde malzemeyi havadan ayırmak, separatörlerle ya da mal doğrudan doğruya yükleme haznesine besleniyorsa, toz kapanlarıyla yapılır.

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.

Basınçlı götürücülerde bir besleme noktasından alınan malzeme çeşitli boşaltma noktalarına verilebilir.



Şekil 3.1 Orta basınçlı pnömatik konveyör



Şekil 3.2 Yüksek basınçlı pnömatik konveyör

Dökme malzeme taşıyan pnömatik konveyörler, teknik olarak hava akışının kinetik enerjisinin, dinamik basınca ve aerodinamik kaldırmaya dönüşmesi ile çalışırlar ve çeşitli şekil ve ölçüdeki parçacıkların bir noktadan diğer bir noktaya taşınabilmesini temin ederler. Tamamıyla kapalı sistem içinde çalıştıklarından, nakledilen malzemeyi dış tesislerden korurlar, malzeme kayıpları yoktur ve çalışma ortamını kirletmezler. Pnömatik konveyör sistemleri ile malzemeler, reaksiyona girmeyen 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.

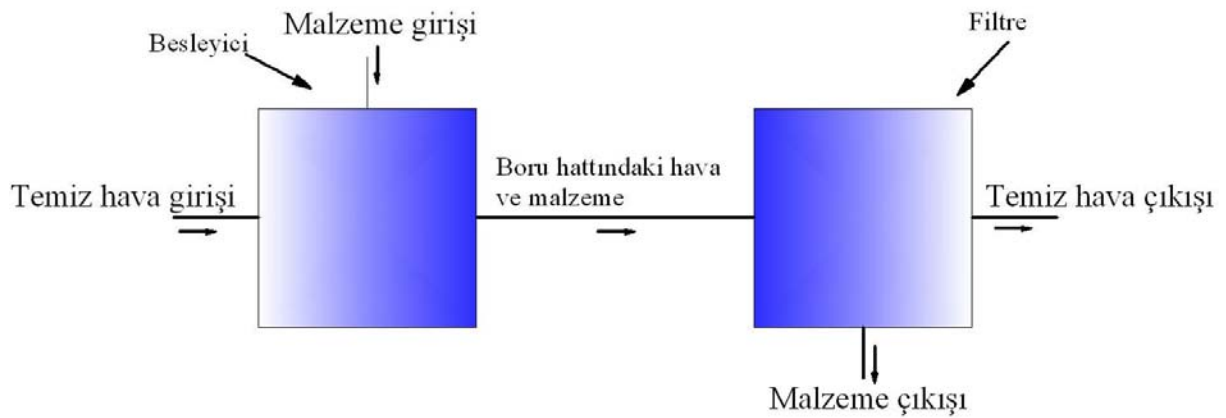
Basınçlı pnömatik götürücülerde iletme uzunluğu 2000 metreye kadar çıkabilir (büyük uzunluklar, yatay iletme yollarında). Ayrıca iletme yüksekliği 100 m ve maksimum iletme basıncı da 10 bara kadar çıkabilir (özel hallerde).

Atmosferik basınçtaki hedef noktasına taşıma yapan pozitif basınçlı sistemler en çok kullanılan pnömatik konveyör sistemi olmalarına rağmen malzemenin, içinde pozitif basınç olan boru hattına beslenmesi bir dizi problemleri beraberinde getirir. Ancak bu sorunlar çok çeşitli besleme cihazlarıyla çözülebilir. Bunlardan bazıları: ventüriler (daralan kesitli borular), döner valfler, vidalı beslemeler ve basınçlı tanklardır.

Ayırıcı vanalar yardımıyla malzemeler farklı hedef noktalarına kolayca teslim edilebilir. Farklı besleme noktalarından boru hattına besleme de yapılabilir ancak döner valf gibi besleme mekanizmaları kullanılacaksa hava sızıntılarına karşı önlemlerin alınması gerekir.

3.2 Basınçlı Pnömatik Konveyörleri Meydana Getiren Bileşenler

Tüm pnömatik konveyör sistemleri basınçlı ya da vakumlu olması, sürekli ya da kesikli çalışıyor olması fark etmeksizin Şekil 3.3'te görüldüğü gibi modellenebilir.



Şekil 3.3 Pnömatik taşıma sistemlerinin temel elemanları

Tipik bir basınçlı pnömatik konveyör sistemi besleme mekanizması, götürme borusu, yol değiştirme vanası, separatör ve toz toplayıcı, kompresör sistemi ve otomatik kontrol sisteminden meydana gelmektedir.

3.2.1 Besleme Mekanizmaları

Pnömatik konveyörlerde malzemeyi boru hattına beslemek için çok sayıda besleme mekanizması geliştirilmiştir. Vakumlu pnömatik konveyörlerde emiş her zaman atmosferik basınçta yapıldığı için boru hattı ya direk olarak besleme deposundan ya da emiş nozülü vasıtasıyla ambar ya da depo gibi yerlerden emilerek beslenir.

Basınçlı pnömatik konveyörlerde boru hattını beslemek ise daha karmaşık hesaplar gerektirir. Basınçlı pnömatik konveyörlerde en çok kullanılan besleme mekanizmaları: vidalı besleyiciler, döner valfler, ventüri besleyiciler, kilit mekanizmalı vanalar ve basınçlı tanklardır.

Pozitif basınçlı pnömatik konveyör sistemlerinde hava ile malzemenin birbirinden ayrıldığı sistemler daima atmosferik basınçta çalışır. İçinde pozitif basınç olan bir boru hattına malzeme beslemek bir dizi sorunu beraberinde getirir. Örneğin atmosferik basınçtaki bir depodan boru hattına besleme yapılacaksa malzeme basınç gradyeniye karşı beslenmek durumundadır.

Bu durumun bir sonucu olarak taşıma havasında kayıp meydana gelebilir. Bazı hallerde bu durum besleme işleminin önüne engel olarak çıkabilir. Aynı zamanda eğer hava kaybı büyük ölçüdeyse hava sağlayıcının ölçüsü arttırılmalıdır ki malzemeyi taşımak için gerekli hava boru hattına sağlanabilsin.

Boru hattındaki malzeme debisi öncelikli olarak boru hattı boyunca ki basınç düşümüne bağlıdır. Her besleme sisteminden beklenen en önemli özelliklerden biri; düşük basınçlı sistemlerde besleme mekanizmasındaki basınç kaybının mümkün olduğunca az olması ve yüksek basınçlı sistemlerde toplam kaybın küçük bir bölümünün bu mekanizmada gerçekleşmesidir.

Eğer besleme mekanizmasında gereksiz şekilde toplam basınç kaybının büyük bir bölümü gerçekleşiyorsa malzemeyi taşımak için daha az hava kullanılacak ve bu da malzeme debisini düşürecektir. Bu düşüşün önüne geçmek için daha güçlü bir hava kaynağı seçilirse, bu seferde daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacak ve bu da çalışma maliyetlerini yükseltecektir.

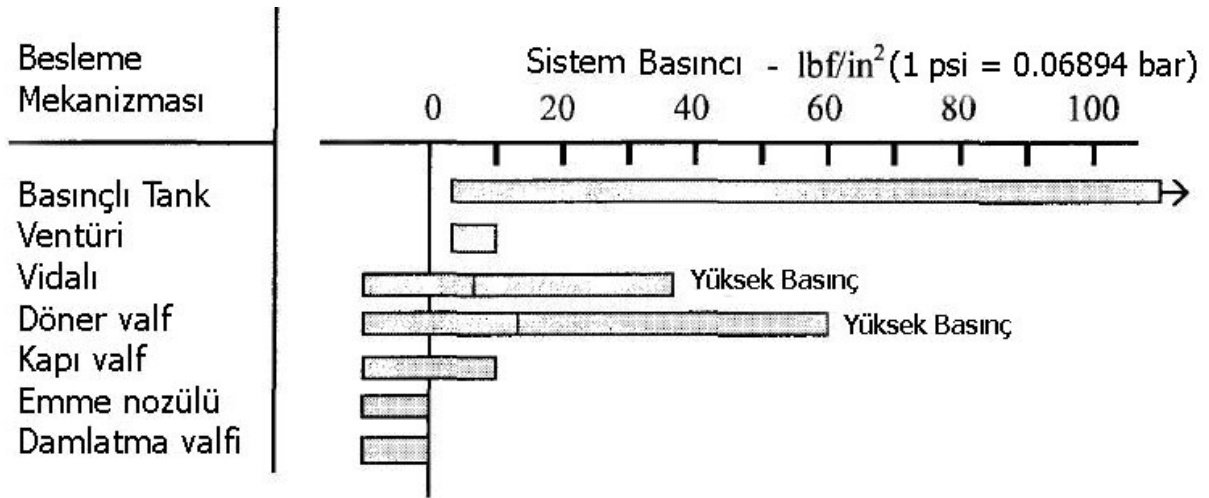
Bakım diğer bir önemli faktördür. Sıklıkla hava kayıpları belirli besleme mekanizmaları için kabul edilmelidir ancak bu kaybın zamanla artmaması çok önemlidir. Eğer hava kayıpları zamanla artarsa sisteme verilen hava zamanla azalacak ve bunun sonucu olarak sistemde

tıkanıklıklar meydana gelebilecektir. Bu genellikle sistemin garantisi bittikten hemen sonra meydana gelir.

Malzeme özellikleri de önemlidir ve besleme mekanizması seçiminde göz önüne alınmalıdır. Hareketli parçaları olan besleme sistemlerinde aşındırıcı ve yanıcı malzemeler beslenecekse kesinlikle önlemleri alınmalıdır. Malzeme akış özellikleri de hesaba katılmalı ve parçacık büyüklüğü tüm durumlar için değerlendirilmelidir.

Besleme mekanizması seçiminde sistemin çeşidi de pek tabii önemlidir. Örneğin emme nozülleri sadece negatif basınçlı pnömatik konveyörler için uygundur. Vidalı besleyiciler, döner valfler ise hem pozitif hem negatif basınçlı sistemlerde kullanılabilir.

Besleme mekanizmalarının kullanılabildikleri basınç aralıkları Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Çeşitli besleme mekanizmaları için çalışma basıncı aralıkları (Mills vd., 2004)

Besleme mekanizmalarının çalışma basınçlarını yükseltmek ve beslenecek malzeme çeşitliliğini arttırmak için araştırmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır. Her besleme mekanizması birden fazla sistem için kullanılabilir ve her sistemde besleme mekanizmasının bir alternatifi muhakkak mevcuttur. (Mills vd., 2004)

3.2.1.1 Döner Valfler

Döner valfler malzemeyi boru hattına beslemek için endüstride belki de en çok kullanılan besleme mekanizmasıdır. Bu tip besleyiciler muhafaza içinde çalışan kanatlı bir rotora sahiptirler. Kullanıldığı birçok uygulamada öncelikli görevi hava kilididir. Bu nedenle sıklıkla döner hava kilidi olarak adlandırılır. Bu temel besleme mekanizması genellikle serbest akışlı

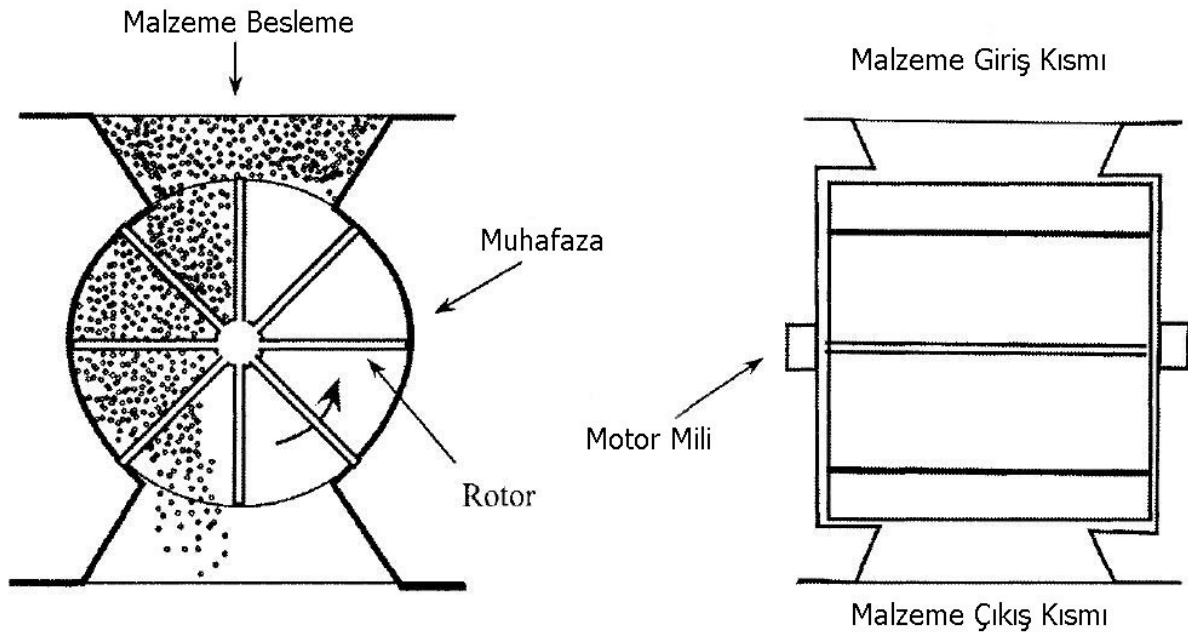
malzemeler için uygundur. Pozitif yer değiştirme aletidir ve bu yüzden malzeme debisi rotorun hızı değiştirilerek ayarlanabilir.

Geleneksel (düşük basınçlı) döner valf genellikle 15 lbf/in²'lik (1bar) bir üst basınç limitine sahiptir. Bu limit de pozitif yer değiştirme üflecinin teslim basıncıyla hemen hemen aynıdır. Bu sebeplerden ötürü bu iki mekanizma pozitif basınçlı pnömatrik konveyörlerde en sık kullanılan kombinasyondur. Döner valfin çalışabileceği üst basınç limiti valf boyunca meydana gelen hava sızıntı problemine göre belirlenir.

1980'lerin ortalarında birkaç şirket tarafından yürütölen ve günümüze gelinceye kadar birçok şirketin katıldığı geliştirme çalışmaları sonucunda döner valflerin üst çalışma basınç limitleri ciddi oranda arttırılmıştır.

—Düşmeli Döner Valf (Drop-through rotary valve):

Yukarıda anlatılan döner valf genellikle düşmeli valfe tekaböl eder. şekil 3.5'de bir düşmeli valf gösterilmiştir. Bu tip besleyici genellikle serbest akışlı malzemeler için uygundur. Besleyicinin üst kısmından malzeme rotorun döndürdüğü hücrelere beslenir. Rotor dönerek hücreyi ve içindeki malzemeyi besleyicinin alt kısmından boru hattına verir.



şekil 3.5 Düşmeli döner valf

Besleme mekanizmasının doğasından ötürü döner valfler aşındırıcı olmayan malzemeler için daha uygundur. Bu genellikle pozitif basınçlı konveyör sistemlerine taşıma yapmalarının bir

sonucudur. Valf boyunca meydana gelen basınç farklılıkları ve rotorun dönebileceği boşluk bırakılma gerekliliğinden ötürü hava valf boyunca sızacaktır. Aşınma yalnızca geleneksel aşındırıcı mekanizmalarda değil erozif mekanizmalarda da ortaya çıkabilir.

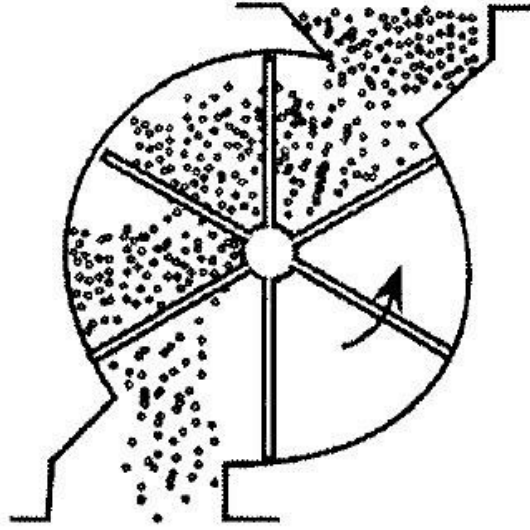
Rotor kanadı ucundaki boşluktan sızan hava çok yüksek hızda akışlar meydana getirir. Bu da erozif aşınmaya sebep olur. Erozif aşınma, aşındırıcı aşınmadan çok daha ciddi boyutlara ulaşabilir. Aşınmaya dayanıklı malzemeler döner valf yapımında kullanılabilir. Çıkarılabilir plakalar da bakımı kolaylaştırmak için tercih edilebilir. Ancak bu önlemlerle bile aşınma yalnızca minimuma indirilir; Aşındırıcı bir malzeme taşınacaksa kesinlikle kaçınılmazdır.

—Alternatif Dizaynlar:

Döner valfler en çok kullanılan besleme mekanizması olduklarından bunların geliştirilmesine harcanan efor şaşırtıcı değildir. Aşındırıcı malzemelerin taşınması için yapılan geliştirmeler bunlardan yalnızca biridir. Hava sızıntısının azaltılması, daha yüksek basınçta çalışabilecek hale getirilmesi diğer geliştirilen yönler olarak sıralanabilir. Beslenebilecek malzeme çeşitliliğinin sağlanması ise çok önceki geliştirilmelerdendir.

a) Sapma Valfi (Off-set valve)

Giriş ve çıkış bölümleri kaydırılmış döner valfler, malzemenin kesmesinden kaçınılmak istenilen durumlarda sıklıkla kullanılır. Taşınacak malzemenin büyük orandaki kısmı geniş parçacıklardan oluşuyorsa bu tip bir sorunla karşılaşılabilir. Şekil 3.6’da tipik bir sapma valfi gösterilmiştir.

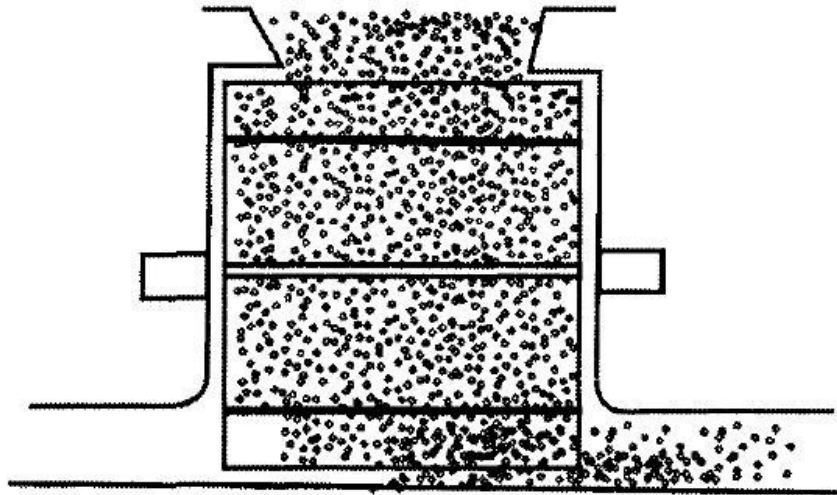


Şekil 3.6 Alternatif döner valf dizaynlarından sapma valfi

Üst kenardan girişleri vardır ve genellikle akışları kontrollüdür. Malzeme belli bir açıda rotora girdiğinden hücrenin (cebin) tamamen dolmasına izin verilmez. Rotor döndükçe kesmeden kaçınılmış olunur. Bu tip valfler küçük topak haindeki malzemelerin taşınmasında sıklıkla kullanılır.

b) Uçurma Valfi (Blow-through valve):

Standart besleyicinin bir diğer varyasyonu uçurma valfidir. Şekil 3.7’de bir örnek görülmektedir.



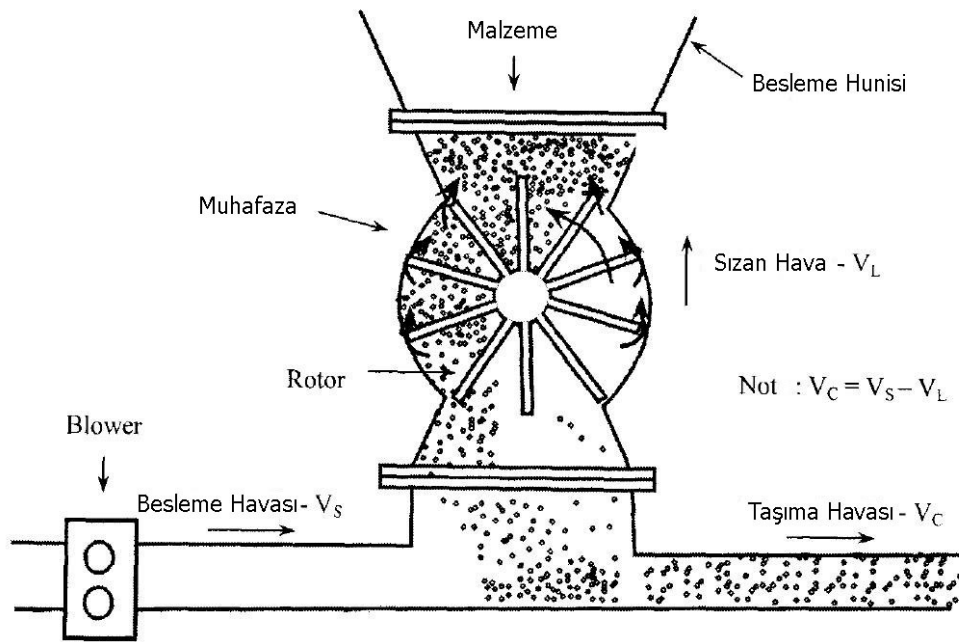
Şekil 3.7 Alternatif döner valf dizaynlarından uçurma valfi

Uçurma valfi sayesinde taşıma havası hücrelerin içinden geçer ve hücreleri boşaltır. Yani hücrelerin boşaltılması valfin içinde gerçekleşir. Bu tip valfler daha çok yapışkan tipteki malzemelerin taşınması için geliştirilmiştir. Bu tip malzemeler düşmeli (drop-through) valflerin çıkış kısımlarından tatmin edici şekilde boşaltılamamaktadır.

Dakikada 20 devir yapan 8 paletli bir rotorun her hücresinin boşaltılması için geçen sürenin sadece 0,375 saniye olduğu unutulmamalıdır. Yoğun fazda taşıma yapan bir sistemde havanın 400 feet'lik (120 metre) bir yolu 6 saniyede aldığı da hesaba katılırsa malzemenin olabildiğince düzgün bir şekilde boru hattına beslenmesi çok önemlidir.

Uçurma valfleri aşındırıcı malzemelerin taşınması için tavsiye edilmez. Çok türbülans meydana gelir ve boru hattına yakın kısımlarda ciddi aşınma meydana getirir.

Pozitif basınçlı pnömatik taşıma sistemlerinde kullanılan döner valf boyunca hava sızıntısı olması, döner valfin kaçınılmaz karakteristiklerindendir. Dönüş hücrelerinin boş olması ve plaka kenarlarındaki çeşitli boşluklar bu sızıntının temel nedenleridir. Döner valf için tipik hava akışı ve hava sızıntı yolları Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Döner valf sistemleri için hava akışları ve sızıntı yolları

4 inch'lik boru hattı için hava sızıntısı, V_L sisteme verilen havanın %15'ine kadar çıkabilir. Plastik parçaları gibi malzemelerin taşınmasında bu oran, malzeme hava akışına karşı küçüktür. Daha küçük çaplı boru hatlarında bu yüzdeler

oransal olarak daha büyük hale gelir. Düşük basınçta taşınan hafif malzemeler için hava sızıntısı büyük ölçüde azalır.

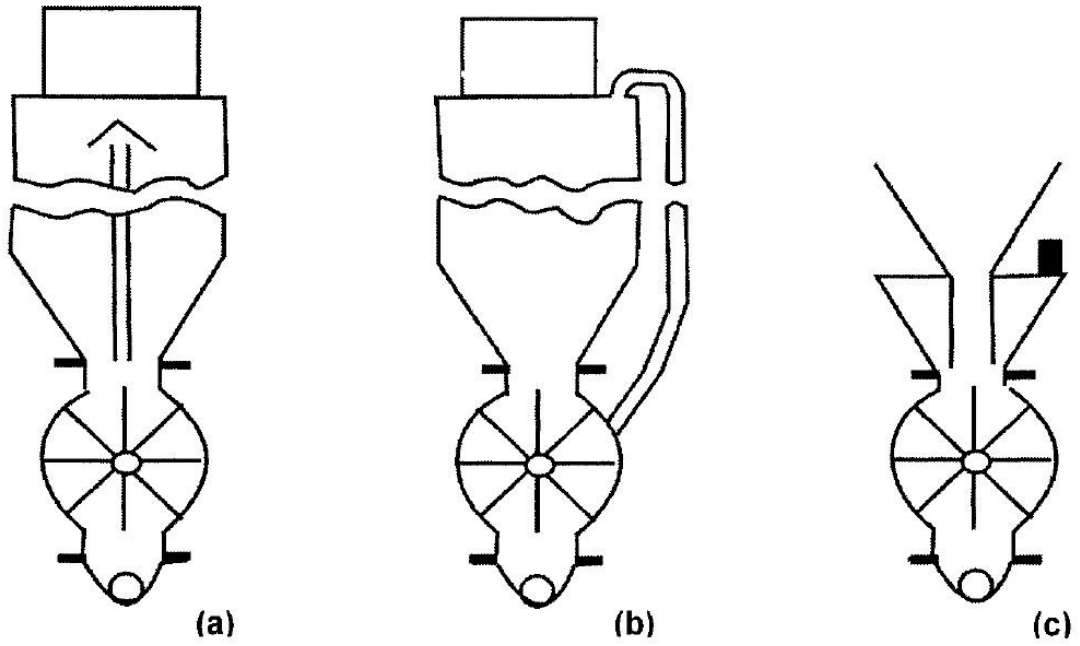
Kaybın derecesi valf boyunca ki basınç farkına, valfin büyüklüğüne, rotor plaka boşluğuna, taşınan malzemenin doğasına ve malzemenin hava akışına gösterdiği dirence bağlıdır. Hava sızıntısı hesaba katılmazsa ya da hesaplanan hava sızıntısı bir şekilde yanlıssa bu taşıma hattı performansında ciddi bir etki yaratır.

Eğer döner valf boyuncaki kayıplardan ötürü malzemeyi taşımak için yeterli hava boru hattına sağlanmazsa boru hattının tıkanması muhtemeldir. Sisteme sağlanan toplam havanın %10-20 arasındaki kısmı kaybedilirse sistemdeki havanın hızı bundan ciddi şekilde etkilenir. Sistemde birden çok döner valf kullanılmış ve hava sızıntıları için önlem alınmamışsa hava ve dolayısıyla enerji kaybı ciddi boyutlara ulaşır.

Rotor kanatları ve gövde arasındaki boşluk önemli bir etkidir. Kullanılan rotorun ve gövde arasındaki boşluk aşamalı olarak zamandan zamana artarsa rotor içindeki hava akış değerleri olumsuz etkilenecek ve dolayısıyla bu da taşıma hattı performansını zamanla etkileyecektir. Bu, döner valflerin aşındırıcı malzemeler için tavsiye edilmemesinin nedenlerinden biridir. Döner valflerin düzenli bakımının yapılması çok önemlidir ve eğer aşındırıcı malzemeler için kullanılacaksa aşınmaya dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır.

Eğer döner valf boyunca gerçekleşen hava sızıntısı dışarıya tahliye edilemezse malzemenin boru hattına beslenmesi yukarı yönlü akan hava yüzünden büyük ölçüde engellenir. Hava akışı ayrıca malzemenin yığın yoğunluğunu da değiştirebilir. Problemin derecesi, taşınacak malzemenin özellikleri ile doğrudan ilgilidir.

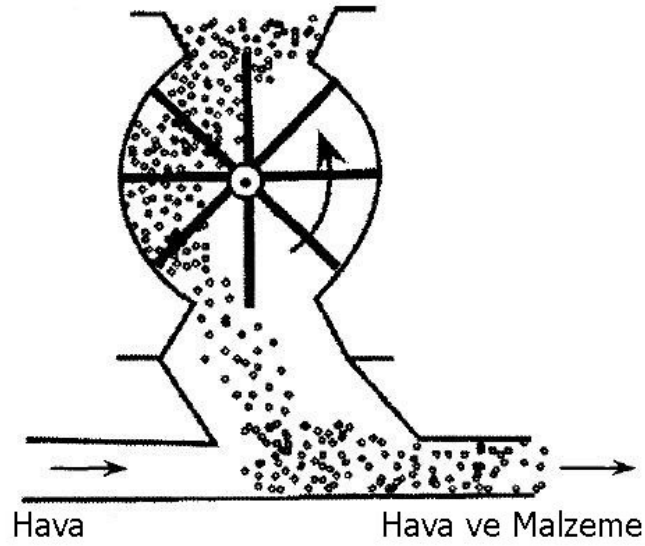
Küçük plastik parçalar ve granüllü malzemelerin taşınmasında hava tahliyesi gerekli olmayabilir ancak ince yapışkan malzemeler ve hafif ve yumuşak malzemeler için hücre dolumu etkileneceğinden valfin volümetrik verimi düşecektir. Bu gibi durumlarda kontrollü oranda malzeme beslemesinin sağlanması güçleşir. Birkaç döner valfin hava tahliye şekilleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Döner valflerin havalandırma şekilleri. (a) İç havalandırma, (b) Dış havalandırma, (c) hücreli havalandırma

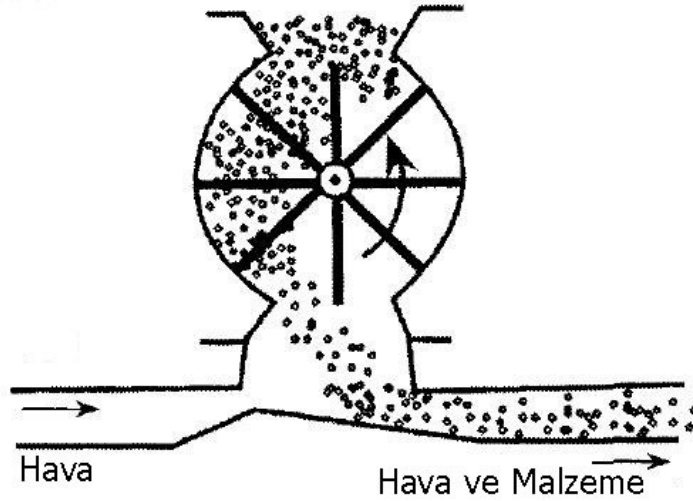
Tahliye edilen hava bazı ince malzemeler içereceğinden bunlar normal olarak besleme kaynağına ya da filtreye geri döner. Bu filtrelerin düzenli olarak temizlenmesi çok önemlidir. Yoksa filtreler hızlıca tıkanır ve işlevini yitirirler. Aslında filtre ve hava tahliyesi arasında sanki minyatür bir pnömatik götürücü gibi çalışan bir boru tasarlanıp ölçülendirilirse filtrelerin tıkanması önlenabilir.

Döner valflerin doğası ve malzeme hareketinden ötürü, döner valf iç kısımlarında türbülanslı ölçümler görülür. Türbülans seviyesini ve dolayısıyla enerji kaybını azaltmak için sürüklenme aygıtları döner valflerin altında sıklıkla kullanılır. Sık kullanılan bir aygıt “bırakma kutusu” Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Bırakma kutusu

Diğer bir sürüklenme aygıtı ventüridir ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Kesit daraldıkça sürüklenme hızı artar ve dolayısıyla bu bölgedeki basınç azalır. Bu basınç azalmasından ötürü daha az hava sızıntısı meydana gelir.

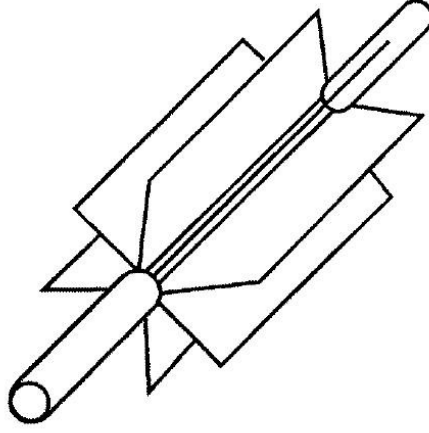


Şekil 3.11 Ventüri sürüklenme aygıtı

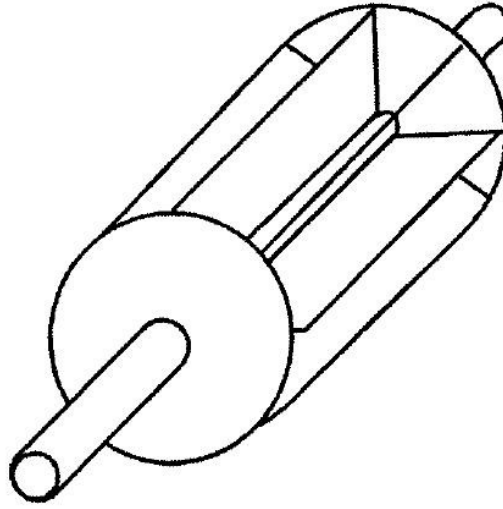
Bu da ince ve serbest akışlı malzemelerin taşınmasında performans artışı sağlar. Aygıtın uzak kısmında yüksek hızlı havanın kinetik enerjisi tekrar basınca dönüşür. Bu tip aygıtlar aşındırıcı ya da yanıcı malzemeler için tavsiye edilmez.

Döner valflerde kullanılan rotorlar açık sonlu ya da kapalı sonludur. Açık sonlu rotorlarda kanatlar tahrik miline kaynaklanır. Kapalı sonlu rotorlarda ise hem mile hem de kanat

sonundaki kapaklara kaynaklanır ki kapalı bir hücre elde edilebilsin. Bu iki tip rotor Şekil 3.12 ve 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Açık sonlu rotor



Şekil 3.13 Kapalı sonlu rotor

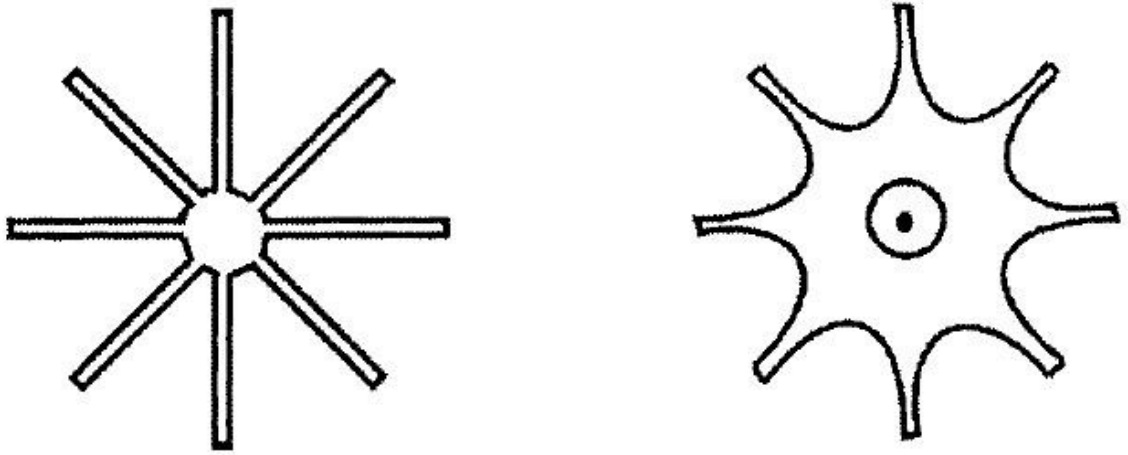
Açık sonlu rotorlar ucuz olmalarına rağmen dezavantajları çoktur. Aşındırıcı malzemeler taşınırken rotor muhafazasının ve plakaların aşınması olasıdır çünkü malzeme onlarla direk temas halindedir. Aynı zamanda kapalı sonlu rotorlar kadar rijit değildir çünkü sadece bir uçları tahrik miline bağlanmıştır. Diğer bir dezavantajı da uçurma valfiyle (Blow-through valve) birlikte kullanılamamasıdır.

Kapalı sonlu rotorlar döner valflerin çok daha yüksek rijitlikte olmalarını sağlarlar ve bu tip rotorlar sayesinde yüksek basınçlı geliştirmeler mümkün hale gelmiştir. Kapalı sonlu rotorlar

sayesinde valf boyunca sızan hava büyük ölçüde azaltılmıştır. Aynı zamanda daha rijit yapıda olmasıyla kanatlar ve muhafaza arasındaki boşluklar küçük seviyelerde olabilmektedir. Kapalı sonlu rotorlar bu özelliklerinden dolayı yataklar için de ekstra güvenlik sağlarlar.

Geri dönen boş ceplerden sızan hava hala bir sorundur ve kanatlar ve muhafaza arasında küçük bir boşluk yine de bulunacaktır. Yapılan geliştirmeler sonucu çalışma basıncı 15 lbf/in² (1 bar) mertebesinde, 45 ila 60 lbf/in² (3.1 - 4.1 bar) mertebesine kadar çıkartılabilmektedir.

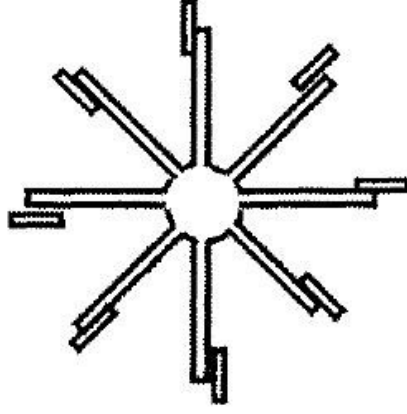
Geniş kullanıma sahip iki rotor cebi tipi mevcuttur ve bunlar Şekil 3.14’de gösterilmiştir. En çok kullanılan tipin derin cepleri vardır ve bu sayede en yüksek hacimsel taşıma sağlanmaktadır. Bu tip genelde serbest akışlı malzemeler için daha uygundur.



Şekil 3.14 Derin ve sığ rotor cepleri

İkinci tipin sığ ve dairesel şekilli cepleri vardır ve bu yüzden hacimsel kapasitesi azalmıştır. Bu tip rotorlar daha çok yapışkan malzemelerin beslenmesinde tercih edilir ki malzemeler cep diplerine takılmasın. Yuvarlatılmış yapıyla tüm köşelerden arındırılmıştır.

Kanat uçları da sıklıkla kullanılır. Bir örnek Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Bu uçların çoğu çalışma verimini sağlamak için ayarlanabilir haldedir. Esnek, kıvrılcım geçirmez ya da aşınmaya dayanıklı malzemelerden yapılabilirler.



Şekil 3.15 Rotor kanat uçları

Rotor boşluğunun vana performansı üzerinde çok büyük bir etkisi vardır. Sızıntıları minimuma indirmek için üreticiler bu boşluğu olabildiğince küçük tutmaktadır. Yeni vanalarda rotor boşlukları 0.1mm mertebesindedir. Bu değerlerden daha aşağılara inilmesi maliyetleri ciddi oranda arttıracaktır ve örneğin yataktaki herhangi bir oynama rotor muhafazasının aşınmasına neden olabilecektir. Eğer taşınacak malzeme sıcaksa özel önlemler alınmalıdır. Çünkü ısınmayla birlikte rotorun genişlemesi rotorun sıkışmasına neden olabilir. Esnek, elastomer-polimer süpürücülerin kullanımı da oldukça yaygındır. Ancak bu yaklaşım sadece düşük basınçlı uygulamalarla sınırlıdır. (genellikle 4 lbf/in² (0.2 bar) mertebesinde) Çünkü yüksek basınçlarda bu uçlar esneyerek sızdırmazlıklarını yitirir ve avantajlarını kaybederler.

Rotor üzerindeki paletlerin sayısı havanın sistemden geçmesi için gereken palet labirent kapağı sayısını belirleyecektir. Hava kaybı bakış açısından bakılacak olursa on paletli bir rotor genellikle 8 ila 15 lbf/in² (0.4 ila 1 bar) basınç aralığında çalışan sistemlerde kullanılır. Sekiz paletli rotorlar genellikle 8 lbf/in² (0.4 bar)'a kadar; altı paletli rotorlar ise 3 lbf/in² (0.15bar)'a kadar olan sistem basınçlarında kullanılır.

Bir malzemeyi taşımak için kullanılacak rotor paleti sayısının bir limiti vardır. Palet sayısı genellikle malzemenin kendisine bağlıdır. Palet sayısı arttıkça aralarındaki açı azalacaktır. Bu açının azalması bazı malzemelerin sıkışmasına ve çıkış bölümüne gönderilememesine neden olur.

Bir döner valfin besleme oranı direk olarak rotorun yer değiştirme hacmi ve dönüş hızıyla orantılıdır. Yer değiştirme hacmi rotor cebi hacmidir.

Hava sızıntısı malzeme akışına engel oluyorsa cepler tamamen dolmayacak ve dolayısıyla volümetrik verim düşecektir. Bilinmesi gerekir ki volümetrik verim negatif basınçlı pnömatik konveyör sistemlerinde, pozitif basınçlı pnömatik konveyör sistemlerine göre daha çok etkilenir.

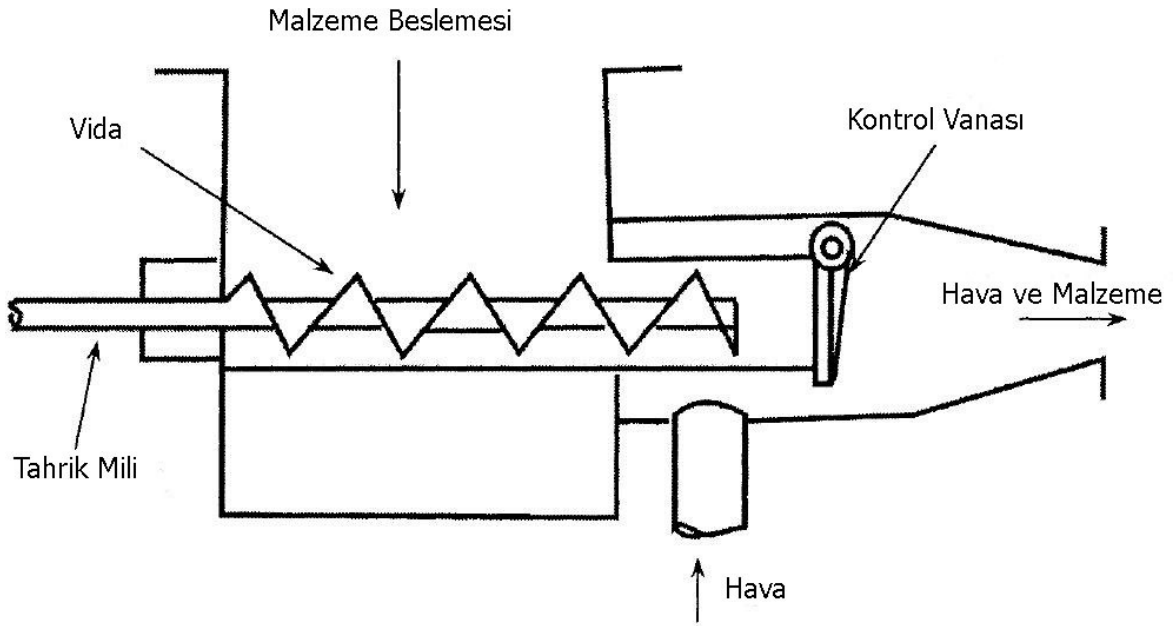
Döner valf pozitif yer değiştirme cihazı olduğundan dönüş hızı ayarlanarak besleme oranı kolayca sağlanır. Döner valfin cep dolum verimi de rotor hızının bir fonksiyonudur. 20 d/d'lık hıza kadar dolum verimi büyük ölçüde sabittir. Ancak bu hızın üstünde bu verim hızla düşer. Yani seçilen döner valf için besleme oranı sınırı vardır. Ancak döner valfler çok çeşitli büyüklüklerde üretildiklerinden her göreve uygun döner valf bulunabilmektedir. (Mills vd., 2004)

3.2.1.2 Vidalı Besleyiciler

Döner valfler için söylenen birçok şey vidalı besleyiciler için de geçerlidir. Pozitif yer değiştirme cihazlarıdır ve besleme oranı kontrolü hız ayarlanarak sağlanabilir. Pozitif veya negatif basınçlı boru hattı besleme görevleri için kullanılabilir. Pozitif basınçlı sistemlerde hava sızıntısı bir sorundur ve aşındırıcı malzemeler taşındığında aşınmaya eğilimlidirler.

İki tip vidalı besleyici mevcuttur: Basit vidalı besleyici ve değişken adımlı vidalı besleyici. Bu iki tip vidalı besleyicilerin boru hattı beslemede çok farklı yeterlilikleri vardır.

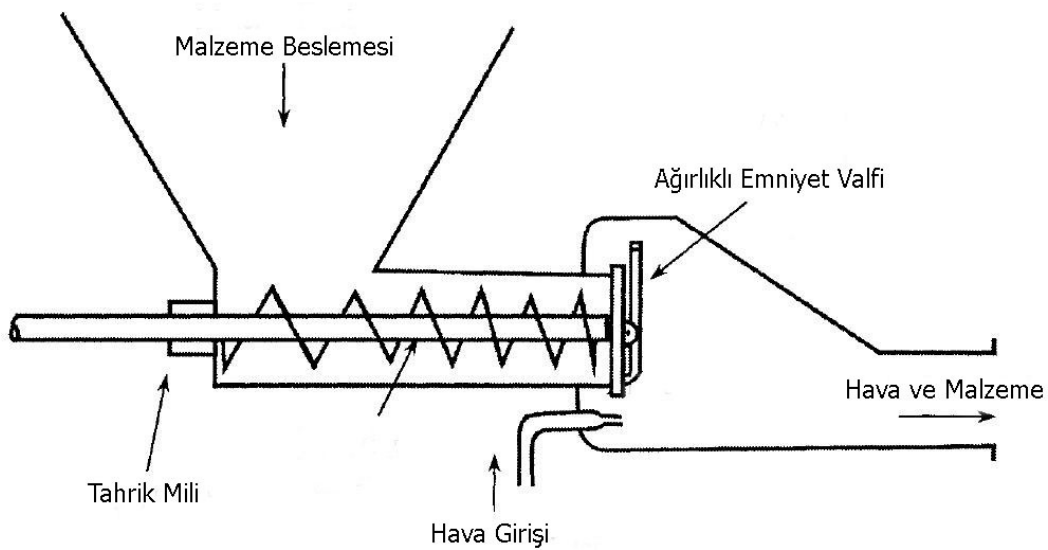
Bir basit vidalı besleyici Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Vidanın dönüşüyle malzeme, taşıma havasına karıştığı boru hattına hareket eder. Bu besleyicinin dikkate değer bir avantajı malzeme besleme oranı ve vida hızı arasında yaklaşık bir çizgisel ilişki vardır yani besleme oranı çok hassas olarak ayarlanabilir.



Şekil 3.16 Basit bir vidalı besleyici

Basit vidalı besleyiciler pozitif basınçlı pnömomatik konveyörlerde nadiren kullanılır. Çünkü hava sızıntısı büyük bir problem oluşturur.

Basit vidalı besleyiciler bir çok şirket tarafından yaklaşık 35 lbf/in² (2.4 bar) basınç mertebesine kadar basınçlarda çalışacak şekilde başarılı olarak geliştirilmiştir. Fuller şirketi tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen ve Fuller-Kinyon pompası ya da vidalı pompa adı verilen cihaz Şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.17 Ticari tip vidalı besleyici

Bu tip besleyicilerin temel özelliği vida adımının vida boyunca azalmasıdır. Bunun anlamı malzemenin tüp içerisinde sıkışık forma getirilmesidir. Bu tip besleyiciler çimento endüstrisinde ve enerji santrallerinde uçucu küllerin taşınması için sıklıkla kullanılır. Malzeme besleme hunisinden beslenir ve vida yardımıyla tüp boyunca ilerler.

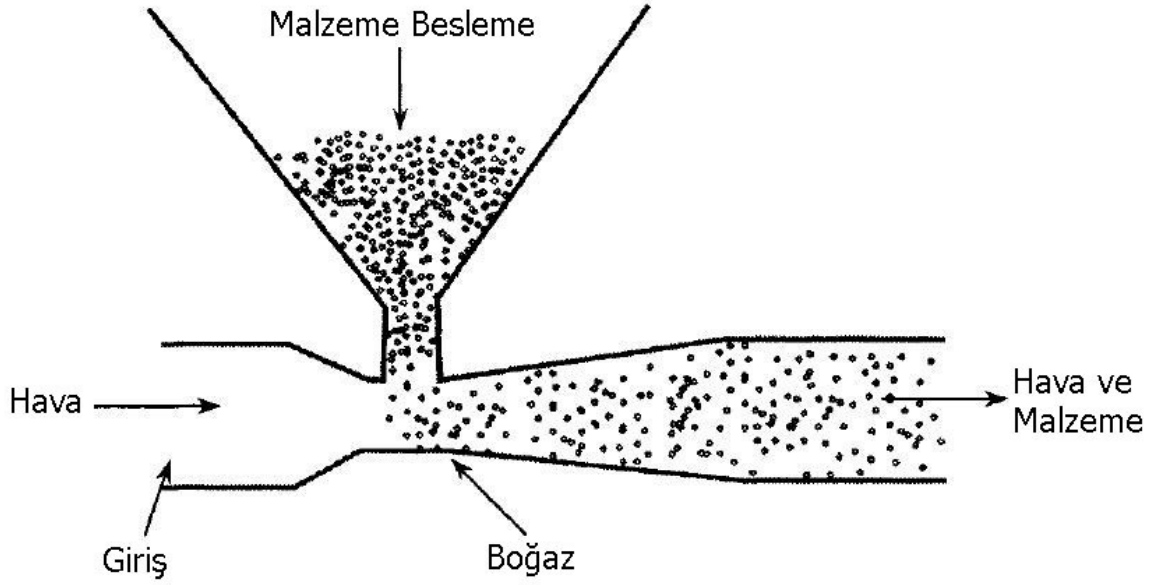
Vida adımı çıkışa doğru küçüldüğünden malzeme tüp boyunca sıkıştırılır. Malzeme sıkışık halde tüpün sonundaki basınçlı havanın nozüllerle verildiği odaya gelir. Bu nozüller boyunca yaklaşık 7 lbf/in² (0.5 bar) basınç kaybı kabul edilebilir. Bu basınç kaybı direk olarak enerji ihtiyacına eklenir.

Küçülen adımlı vidalı besleyicilerin yüksek güç gereksinimleri vardır. Aynı besleme oranı için vidalı pompa 100 hp güce ihtiyaç duyarken bu değer döner valfte 5 hp, basınçlı tankta ise efektif olarak neredeyse sıfırdır. Yüksek basınçlı sistemler için sadece çimento veya uçucu kül gibi sıkıştırılabilen malzemeler için uygundur.

Hem uçucu kül hem çimento aşındırıcı malzemedir ve bu yüzden bu tip bir besleyicinin endüstride bakımı uzun süreli kapatmaları gerektirebilir. Yüksek güç gereksinimleri ve aşınma problemleri yüzünden bu tip besleyicilerin pazarı son yıllarda azalmıştır. Ancak yüksek basınçlı kapalı sistemlerde hafif ve potansiyel olarak yanıcı malzemelerin taşınmasında sıklıkla kullanılır. (Mills vd., 2004)

3.2.1.3 Ventüri Besleyiciler

Pozitif basınçlı pnömatik konveyörlerin beslenmesindeki temel problem basınç farklılığından ötürü malzemenin boru hattına girememesidir. Bu problem ventüri besleyicilerle çözülebilir. Ventüri besleyicilerde genellikle malzemenin boru hattına beslendiği kısımda bir daralma, ilerleyen kısımda da genişleme görülür. Bir örnek Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



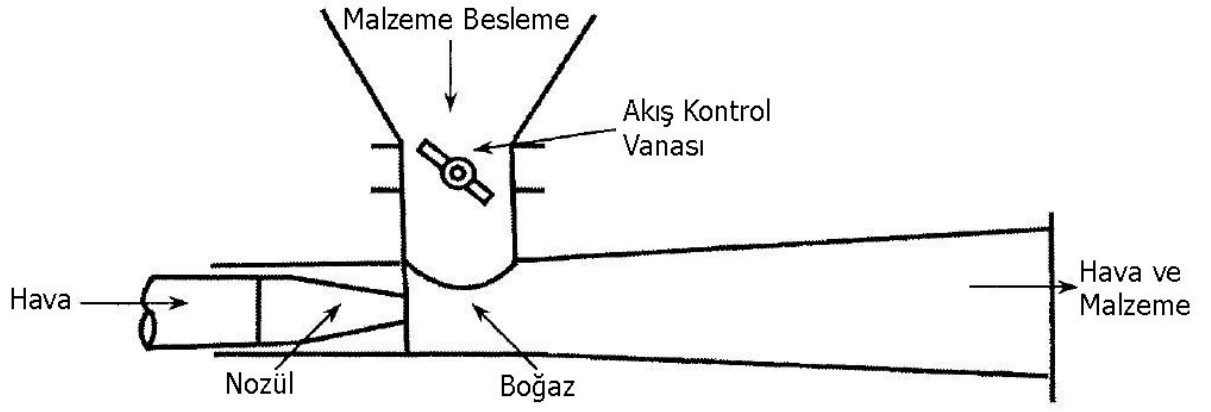
Şekil 3.18 Temel tip ventüri besleyici

Boru hattındaki bu daralma sürüklenen hava hızında bir düşüşe dolayısıyla bu bölgedeki basınçta düşüşe neden olur. İyi tasarlanmış bir ventüride boğazdaki basınç besleme hunisindeki basınçla aynı veya çok az bir miktar düşüktür. Bu basınç değeri de birçok uygulama için atmosfer basıncıdır. Bu şekilde malzeme daha kararlı şekilde boru hattına beslenir ve besleme hunisi tarafına hava sızıntısı gerçekleşmez.

Boğazdaki basıncı atmosfer basıncında tutabilmek için hava sağlayan pompaya bir alt limit getirilmesi gerekir.

Bu tip besleyiciler genellikle serbest akışlı malzemelerin düşük akış oranları ve kısa mesafeli taşınmalarında kullanılır. Bu sistemlerde düşük basınç kullanıldığından hava sağlayıcı olarak standart küçük bir fan seçimi genellikle yeterli olmaktadır.

Ventüri besleyicilerin bir başka çeşidi de ticari ventüri besleyicilerdir. Bu tip ventüri besleyicisine bir örnek Şekil 3.19’da verilmiştir. Bu tip besleyicilerin limitlerinin tamamıyla anlaşılabilmesi için termodinamik ilişkilerin bilinmesi gerekir. Bu ilişkiler çoğu standart kitabında mevcuttur. Örnek olarak 4 inch çapındaki bir boruya 3 lbf/in² basınç mertebesinde bir hava verilecekse boğaz çapı yaklaşık 1.5 inch olmalıdır. Ventüride basınç düşümü gerçekleşeceğinden sisteme verilen hava yaklaşık 10 lbf/in² mertebesinde olmalıdır. Hava kaynağı da pozitif yer değiştirme elemanı olmalıdır.



Şekil 3.19 Ticari tip ventüri besleyici

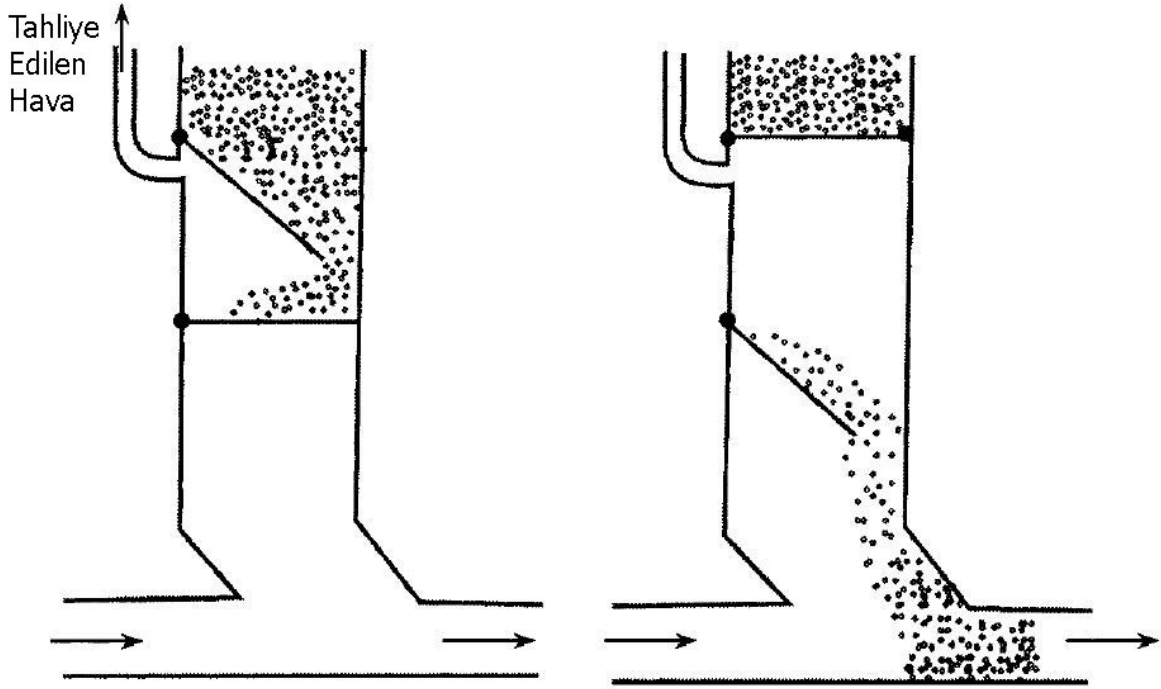
Hareketli parçaları olmadığından bu tip besleyiciler aşındırıcı ve kırılğan malzemelerin taşınmasına son derece uygundur. Ventüri boğazında hava hızı yüksek değerlere ulaştığı için bu tip malzemeler taşınırken erozyon olmamasına karşı ve malzeme parçacıklarındaki bozulmalara karşı önlem alınmalıdır. Tecrübeler göstermiştir ki bu tip besleyiciler serbest akışlı malzemelerin taşınmasında en iyi sonuçları verir. Ancak gene de tıkanıklıkların oluşmaması için dikkatli olunmalıdır.

Bu tip besleyicilerin hareketli parçaları olmadığından aşınma sorununa karşı kesin bir avantajı olduğu görülür. Ancak malzeme besleme hızı kontrolüne gelince bu bir dezavantaja dönüşür. Malzeme besleme hızını ayrıca bir elemanla ayarlamak gereklidir. Örneğin bir bant, vida, döner valf veya titreşimli besleyici.

Vida ya da titreşimli besleyicinin seçilmesi hava sızıntısı yönünden olumlu olacaktır. Ayar vanalarının kullanılması da bu tip besleyicilerde malzeme besleme oranı kontrolü sağlamada kullanılabilir. (Mills vd., 2004)

3.2.1.4 Kapı Kilitli Vanalar

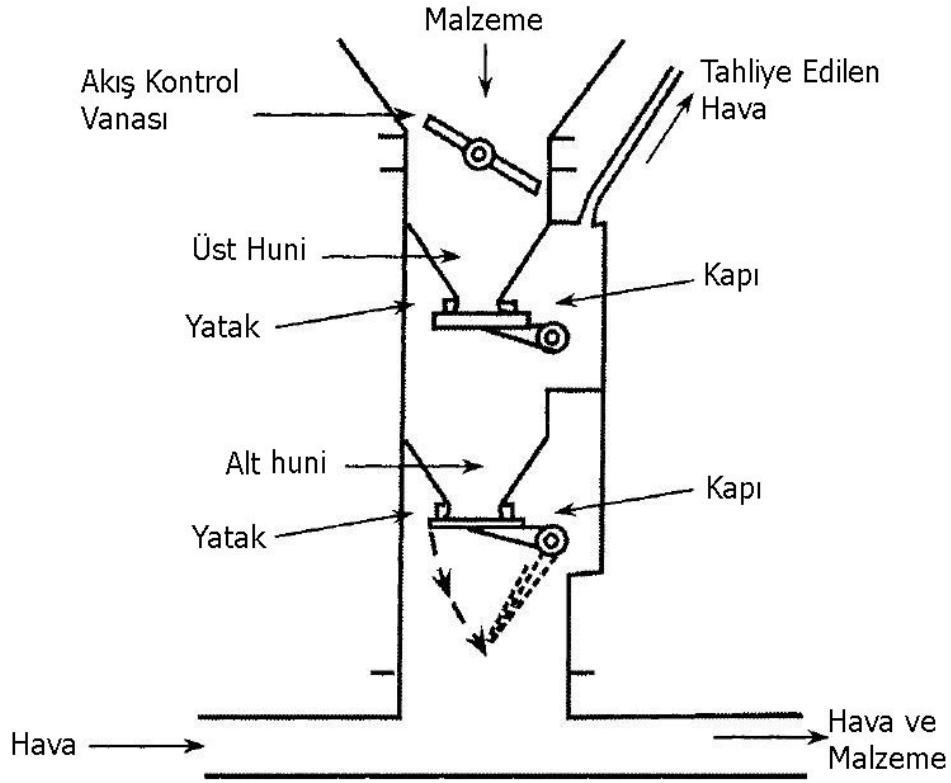
Bu tip besleyiciler pnömatik konveyör sistemlerinde belki de en az kullanılan besleyici tipleridir. Bilinen diğer isimleri ikili klape vanaları, ikili boşaltma vanaları ve ikili tahliye kapılarıdır. Temel olarak sırayla açılan iki kapıya sahiptirler ve bu şekilde malzeme besleme hunisinden boru hattına beslenir. İşlem sırası Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Kapı kilitli vanaların işlem sırası

Bu kapılar bir motor vasıtasıyla, kam veya hava silindiri yardımıyla açılıp kapanabileceği gibi yerçekimi altında da çalışabilir. Pozitif basınçlı sistemlerde alttaki kapı açıldığında boru hattından gelecek hava besleme kısmındaki malzemeye temasa geçmeden sistemden tahliye edilebilir. Döner valflerde hava sızıntısına göre hava üfleci büyüklükleriyle oynanabilmesine rağmen bu tip besleyiciler bu etkili değildir.

Ventüri besleyicilerinde olduğu gibi bu besleyicilerde de tıkanıklarının oluşmaması için dikkatli olunmalıdır. Tipik bir ticari tip kapı kilitli vana besleyici Şekil 3.21’de görülmektedir.



Şekil 3.21 Ticari tip kapı kilitli besleme mekanizması

Bu tip besleyiciler malzeme akış oranlarını ayarlayabilmelerine rağmen süreç kesiklidir. Bu tip besleyiciler genellikle dakikada 10-15 çevrimle çalışır. Karşılaştırmak gerekirse döner valfler dakikada 150-200 cep boşaltabilir.

Hareket eden parçalarının azlığı nedeniyle bu tip besleyiciler kırılğan malzemeler için kullanılabilir. Yapısında uygun maddeler kullanılırsa aşındırıcı malzemeler için de kullanılabilir.

Genellikle büyük granüllü parçaların taşınmasında kullanılırlar. Parçaların kapılara sıkışmaması için dikkatli olunmalıdır. Eğer kapı arasına malzeme sıkışır ve dolayısıyla kapı kapanmazsa taşıma havasının büyük kısmı tahliye sisteminden kaçacak ve bu da taşıma hattının tıkanmasına neden olacaktır. Malzemenin sıkışıp kapıları tamamen kapalı şekilde tutması da özellikle pozitif basınçlı pnömatik konveyörlerde ciddi sorunlar doğurur.

3.2.1.5 Basınçlı Tanklar

Basınçlı tanklar son yıllarda daha yaygın kullanılır hale gelmiştir ancak onların nasıl çalışıp nasıl kontrol edilebilir oldukları ve nasıl bir görev için belirlenmiş oldukları gibi belirsiz birçok yönleri vardır. Ayrıca çok sayıda farklı tipleri ve düzenleme biçimleri mevcuttur. Nadiren döner valfler gibi bir katalogdan satın alınabilen standart bir parça olarak kullanabilirler ve genellikle bir taşıma sistemi için bir paketin parçası olarak tedarik edilirler.

Basınç tankları genellikle yüksek basınçlı hava kullanabilme özelliklerinden dolayı pnömatik taşıma sistemlerinde kullanılmaktadır. Eğer uzun mesafelerde seyrek fazda malzeme taşınması gerekiyorsa ya da yüksek kütleli debilerde kısa mesafelerde küçük çaplı boru hatlarında iletim yapılacaksa yüksek basınçlı bir besleme havası gereklidir.

Yoğun fazda taşınma eğilimi olmayan malzemeler, basınçlı bir tanktan seyrek bir fazda süspansiyon akışında iyi olarak taşınabilirler. Basınç tankları genellikle basınç oranlarına bağlı olarak uygun bir basınç tank kodunda dizayn edilmek ve üretilmek zorundadır. Sigorta ve denetimleri de göz önüne alındığında basınçlı tankların alternatif besleme sistemlerine göre daha pahalı oldukları söylenebilir.

Düşük basınçlı basınç tankları genellikle besleme hatları için özellikle aşındırıcı malzemeler taşınmak zorundaysa vida besleyiciler ve döner valflere göre bir alternatif olarak kullanılırlar. Basınçlı tankın hareket eden hiç bir parçası yoktur ve bu yüzden malzemenin bozulması ve besleyicinin aşınması önemli derecede azalmıştır. Düşük basınçlı basınç tankları pozitif yer değiştirme fanları ile çalışırlar. Genellikle tank kodu olması gerekmez ve bu yüzden bu tip basınçlı tankların maliyetleri sonuç olarak daha düşük olabilir.

Bu sistemin diğer avantajı ise basınçlı tanklar hem besleme hunisi hem de besleyici olarak çalışırlar ve bu yüzden hava sızıntısı gibi sorunlar ters bir basınç eğimine karşı besleme ile ilişkili olduğundan artmaz. Bununla birlikte malzemelerin boru hattına akması için basınç tankı içinde küçük bir basınç düşüşü olacaktır. Bu yüzden hava ihtiyacı hesaplanırken bu göz önüne alınmalıdır. Basınçlı tanklar malzeme ile dolduğunda bir de basınçlı tankın havalandırılmasına ihtiyaç vardır.

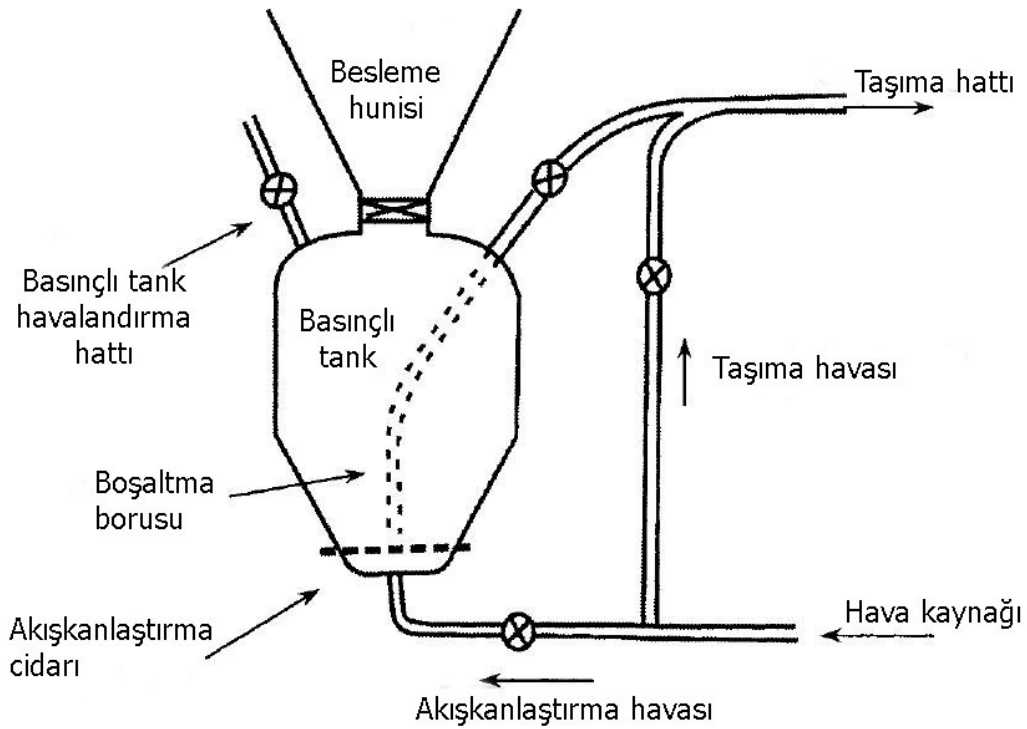
Basınçlı tank sistemlerinin çoğunda besleme havası basınçlı tanka kadar iki gidişe ayrılır. Hava akışlarından biri basınçlı tanka basınç uygular ve bir de basınçlı tank içindeki malzemeyi akışkanlaştırıcı hava verir. Bu hava gidişi malzemelerin basınçlı tanktan boşalmasına hizmet eder. Diğer hava akışı ise boşaltma hattının içine doğru basınçlı tankın

biraz aşağısında direkt olarak beslenir. Bu genellikle ilave hava olarak anılır ve bu götürücü hattında malzeme akışı boyunca gerekli kontrolü sağlar.

Basıncı tankların birçok farklı tipleri vardır ve her bir tip için alternatif düzenleme biçimleri mümkündür. Farklı basınçlı tankların basit özellikleri temelde benzerdir fakat farklı tertibatlar çok farklı taşıma kapasitesi ve kontrol karakteristikleri sonucunu doğururlar.

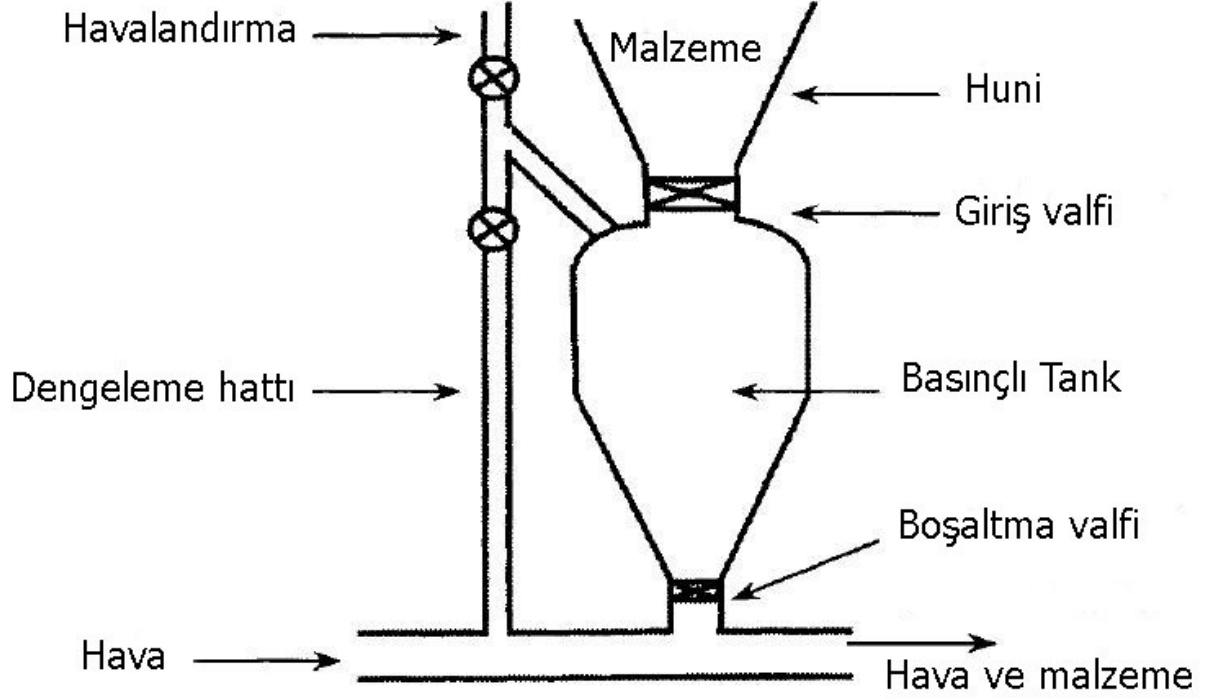
—**Üstten ve alttan boşaltmalı sistemler:**

Şekil 3.22’de üstten boşaltma tipli basınçlı tank gösterilmiştir. Boşaltma, akışkanlaştırma zarı yukarısında bulunan bir çıkış borusu boyunca düzenlenmiştir. Basınçlı tankların bu tipi ile içindikileri tamamen boşaltmak yine de mümkün değildir. Konik bir zarda bile çok küçük malzeme kalabilir.



Şekil 3.22 Akışkanlaştırıcı zarlı, üstten boşaltmalı basınçlı tank

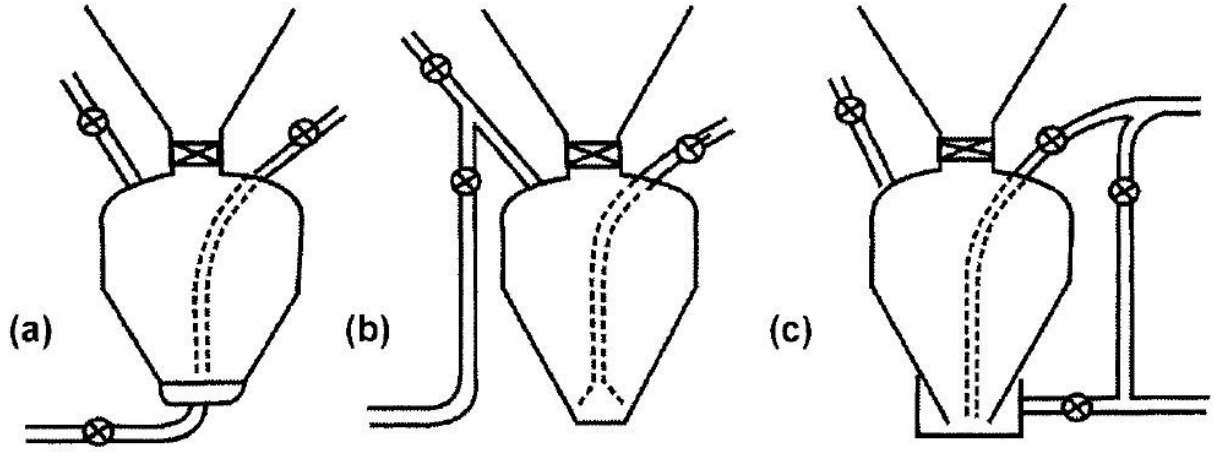
Alttan boşaltmalı basınçlı tanklarda zar yoktur ve malzeme boru hattı içine yerçekimi ile ilerler ve bu yüzden içindikiler tamamıyla boşaltılabilmektedirler. Bu tip bir sistem Şekil 3.23’de gösterilmektedir.



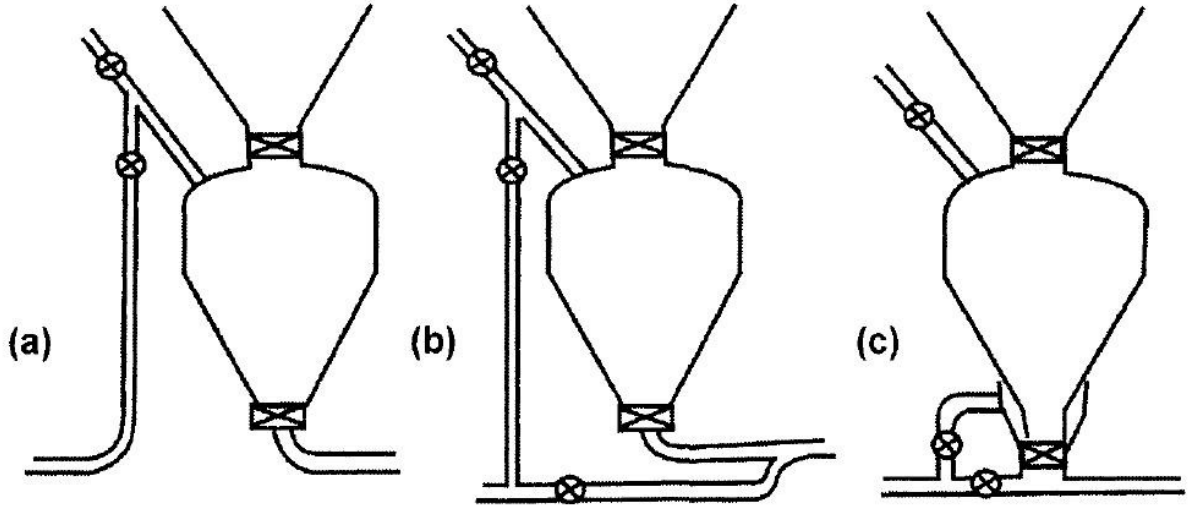
Şekil 3.23 Alttan boşaltmalı basınçlı tank

Üstten ve alttan boşaltma genellikle malzemenin hareket yönüne göre isimlendirilir. Bu tip bir sınıflandırma bazı alternatif tasarımlarda kafa karıştırıcı bir hal alabilir.

Alternatif üstten boşaltmalı akışkanlaştırılmış zarlı ya da zarsız tank tiplerinin tipleri Şekil 3.24’de gösterilmiştir. Alternatif alttan boşaltmalıların tipleri de Şekil 3.25’de sıralanmıştır. Bu tipler, diğer olasılıkların çok sayıda tipi olduğu için hiç bir şekilde tam değildir. Birçok şirket, kendi şirketlerinin belirli bir ürünü olarak tanımlanabilir özel bir düzenleme şeklini benimsemekten hoşlanırlar.



Şekil 3.24 Alternatif üstten boşaltmalı tank tipleri a) akışkanlaştırıcı zarlı b) konik çıkış borulu c) havalandırma tabanlı



Şekil 3.25 Alternatif alttan boşaltmalı tank tipleri a) yalnız üstten hava girişli b) üstten ve boru hattına hava girişli c) tabanda iki hava kaynaklı

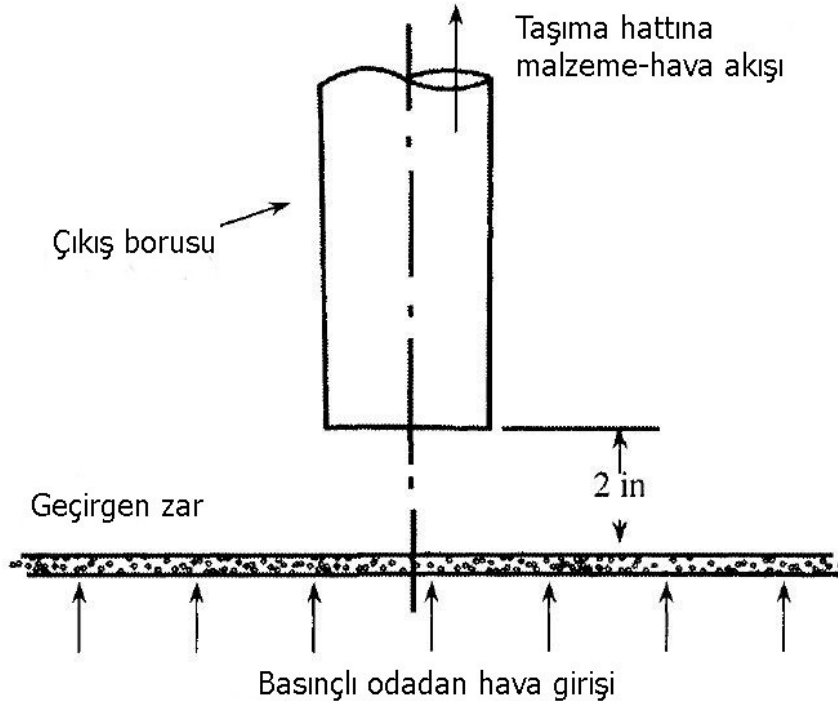
Şekil 3.24a ve c ve Şekil 3.25c’de malzeme ilk durumda gözenekli bir zar sayesinde dar bir halkasal geçit yoluyla havalandırılır veya akışkanlaştırılır. Bazı durumlarda ilave besleme havası bu bölgede daha fazla akışkanlığı sağlamak için çıkış borusunun girişinden direkt olarak alınır. Bu bazen çok fakir hava karışımli malzemeler eğer toplam hava beslemesinin sadece küçük bir yüzdesi malzemenin havalandırılması ve basınçlı tankı basınçlandırmak için basınçlı tanka yönlendirilmiş ise boşaltma borusunun bloke olmaması için gereklidir.

Resimlerde gösterilen basınçlı tankların bazılarında sadece bir tane hava besleme hattı kullanılır. Bu tiplerin uygulaması malzeme akış hızı üzerinde uygulama yapılabilmesinden beri eğer hava yardımcı motor aracılığıyla basınçlı tankın sistem çıkışındaki boru hattı içine

yerleştirilmezse kesin bir şekilde sınırlandırılmıştır. Genellikle üstten boşaltmalı tip ile akışkanlaştırılmış malzeme toz haline getirilmiş malzemeler için en uygundur ve alttan boşaltmalı basınçlı tanklar tanecikli (granüllü) malzemeler için en uygundur.

Akışkanlaştırıcı zarlar gözenekli bir plastik, gözenekli bir seramik ya da delikli metal tabakalar arasına sıkıştırılmış filtre bezinden oluşabilmektedir. Taşınması zorunlu olan akışkanlaştırılmış malzemenin kütlesini taşımak için delikli bir metal levhanın zarın altında olması gereklidir. Delikli bir metal levha zarı aşağıdan akışkanlaştırılmış havanın basıncına karşı taşıma sağlaması için zarın yukarısında olmalıdır. Eğer delikli zar kullanılırsa havadaki nem ve toz performansta yavaş bir bozulmaya neden olacağından akışkanlaştırılmış havanın kuru ve temiz olması önemlidir.

Üstten boşaltmalı basınçlı tanklarda boşaltma borusu için bu bölgede ilave akışkan istenmiyorsa konik biçiminde uç genellikle gerekli değildir. Şekil 3.26'da tipik bir düzenlemesi gösterilmiştir. Toz haline getirilmiş malzemeler için çıkış borusu zar ya da tabanın 2 inç (5 cm) yukarısında olmalıdır. Eğer bu daha ileride olursa basınçlı tank sadece daha az malzeme boşaltır ve belirli bir zaman sonra kendisinin gerçek kapasitesini azaltır. Eğer çok yakın olursa bu boşaltma hızını olumsuz etkiler.



Şekil 3.26 Düz sonlu boşaltma borusu düzeni

Basınçlı tank boyunca basınç düşüşü taşıma sistemine doğru olan enerji kaybının olası bir kaynağı sonucu olmaktadır ve bu yüzden mümkün olduğunca aşağıda tutulmalıdır. Bu durumdaki üstten boşaltmalı basınçlı tanklarda bu özellikle önemlidir. Boşaltma borusu mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır çünkü bu hattaki basınç değişimi çok yüksek malzeme konsantrasyonundan dolayı oldukça yüksek olur. İlave hava Şekil 3.22 ve 3.24c’de gösterildiği gibi hemen basınçlı tankın yukarısına getirilmelidir.

Basınçlı tank boyunca basınç düşüşü taşıma sistemine doğru olan enerji kaybının olası bir kaynağı sonucu olmaktadır ve bu yüzden mümkün olduğunca aşağıda tutulmalıdır. Bu durumdaki üstten boşaltmalı basınçlı tanklarda bu özellikle önemlidir. Boşaltma borusu mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır çünkü bu hattaki basınç değişimi çok yüksek malzeme konsantrasyonundan dolayı oldukça yüksek olur. İlave hava Şekil 3.22 ve 3.24c’de gösterildiği gibi hemen basınçlı tankın yukarısına getirilmelidir.

Çok büyük basınçlı tank ile boşaltma borusu zarın biraz yukarısında 90° döndürülmelidir ve eğer gerekiyorsa tankın yanına doğru alınmalıdır. Alternatif olarak ilave hava basınçlı tankın içinden içeri katılmalıdır ve vakum nozülü tarzında zar sonuna yakın boşaltma borusu içine doğru beslenir. Eğer boşaltma borusu yaklaşık olarak 6 feet (180 cm) uzunluğunda tutulursa basınçlı tank boyunca basınç düşer bu zar direncini de içerir. Altan boşaltmalı basınçlı tankların durumunda, çok düşük boşaltma hattı genellikle düzenlenebilir ve bu yüzden basınç düşüşü genellikle 1.5 lbf/in²’den (0.1 bar) daha fazla olmaz.

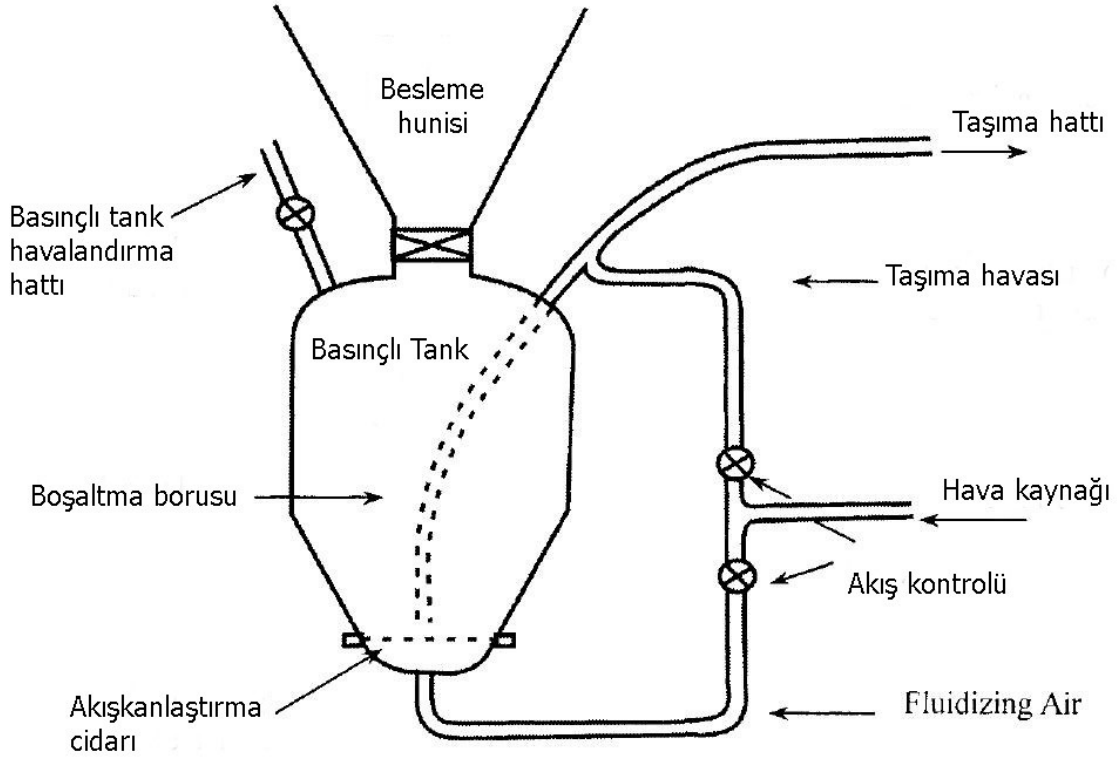
Katı yüklerinin taşınmasında kullanılan birçok karayolu ve demiryolu araçları aslında basınçlı tanklardır. Karayolu tankerlerinin durumunda araçlar boşaltma için çoğunlukla kendi besleme havasını kullanırlar. Bunlar genellikle yaklaşık olarak 15 lbf/in² (1 bar) birimindeki bir basınçta değerlendirilmiştir ve pozitif basınçlı hava fanları bu amaç için kullanılırlar. Demiryolu araçları genellikle boşaltma için daha yüksek basınç kapasitesi ile yer teminine dayanır.

—Tekli basınçlı tank sistemleri:

Tek basınçlı tank sistemlerine özgü bir problem taşımanın döner valf veya vidalı besleyicide olduğu gibi devamlı olmamasıdır. Eşit bir malzeme debisine ulaşmak için, akış hızının kararlı hali (dengesi) taşıma boyunca bir miktar daha yüksek olmak zorundadır.

Basınçlı tankların en kolay modeli boşaltma valfsiz olanlarıdır. Örnek bir düzenlemesi Şekil 3.27’de resimlendirilmiştir. Bu şekil üstten boşaltmalı bir düzenleme biçimi ile

akışkanlaştırıcı zarı gösteriyor fakat bu daha önceki bölümde verilen Şekil 3.22 ve 3.25'in herhangi birinde aynı derecede gösterilmiştir. Aşındırıcı malzemeli boşaltmalı valfi özellikle aşınmaya karşı duyarlıdır ve bu yüzden böyle bir valf olmadan çalışan bir basınçlı tankın olasılığı önemli bir avantaj sağlayabilir.



Şekil 3.27 Boşaltma valfsiz tekli basınçlı tank

Malzemenin boşaltma hattında valf olmamasına rağmen başka valfler gereklidir. Bir valf basınçlı tankı malzeme destek hunisinden izole etmek ister. Bu yüzden basınçlı olabilmektedir ve menfez hattı valfi basınçlı tank hunisinden doluyor iken tahliye edilmesi için ihtiyaç vardır. Bu valfler tamamen açık ya da kapalıdır. Valfler ya da olası akış sınırlayıcılar ya da orifisler hava besleme hattında basınçlı tanktan malzemenin boşalma hızı üzerindeki kontrolünün istenen ayarının sağlanması için gereklidir.

Boşaltma valfsiz çalıştırma üstten boşaltmalı basınçlı tanklar için hiçbir işletme problemi oluşturmaz fakat alttan boşaltmalı basınçlı tank ile yapılan böyle bir düzenlemedeki olasılık malzemenin beslenmiş olmasına bağlıdır. Kendiliğinden akan malzemeler muhtemelen başlangıçta boru hattı tıkanıklığının olasılığı ile beslemeye akın ederler.

Basınçlı tankın boşaltma hattında bir valf ve akışkanlaştırıcı besleme hattında kontrol valfleri var ise basınçlı tank kısa bir zaman diliminde basınçlandırılabilir.

Basınçlı tank boşaltma valfi açıldığında ilave ve akışkanlaştırıcı hava ikmal yolundaki kontrol valfleri taşıma için kendi ayarlarına dönmek zorundadır. Bu doğru hava akışı için tatmin edici basınçlı tank yük boşaltımı ve malzeme iletiminin istenen oranlarda kalmasını sağlamak için gereklidir. Boşaltma valfsiz basınçlı tanklarda bu ayarlar nadiren değişirler ve bu özellikle malzemeler seyrek fazda taşınırlarsa sürekli durum iletiminin bu kadar uzun sürmesinin nedenidir.

Eğer basınçlı tank ve besleme hunisi arasında havalandırma hattı var ise, sistemin basıncının düşürülmesi için gerekli zamanın azaltılması mümkündür. Basınçlı tank boşalır boşalmaz boşaltma valfi kapatılması ve ilave besleme havası valfinin tamamıyla açık olması gereklidir. Bu sayede basınçlı tank besleme havası ve taşıma hattından ayrılabilir ve her biri ile ilişkili olan işlemler aynı zamanda uygulanabilir.

Bu suretle basınçlı tank taşıma hattından yalnız bir şekilde çok hızlı olarak basıncı düşürülebilir. Toplam hava beslemesi hala boru hattına elverişlidir bu yüzden bu ayrı ayrı ve aynı zamanda saflaştırılabilir. Bu birde basınçlı tank içindeki yüksek hacimli havanın taşıma hattına doğru hızlıca genişlemesinden önler dolayısı ile çok yüksek hava hızlarına neden olur ve eğer taşınan malzemeler aşındırıcı ise hava tahliye işlemi boyunca ciddi boru hattı aşınması mümkündür.

Basınçlı tankların yalıtımı iletim hattındaki filtreleme ünitesinde yüklemeyi de azaltır. Çevrim sonunda aniden yükselmiş havanın tesis için filtrenin boyutlandırılmasında basınçlı tankın çalıştırma şekline bakmadan özellikle basınçlı tank bir başına havalandırılmamışsa göz önüne alınması önemlidir. Eğer basınçlı tank besleme hunisine kadar havalandırılmış ise bu besleme hunisi üzerindeki filtre beklenen hacimsel oran için doğru olarak boyutlandırılması da aynı derecede gereklidir.

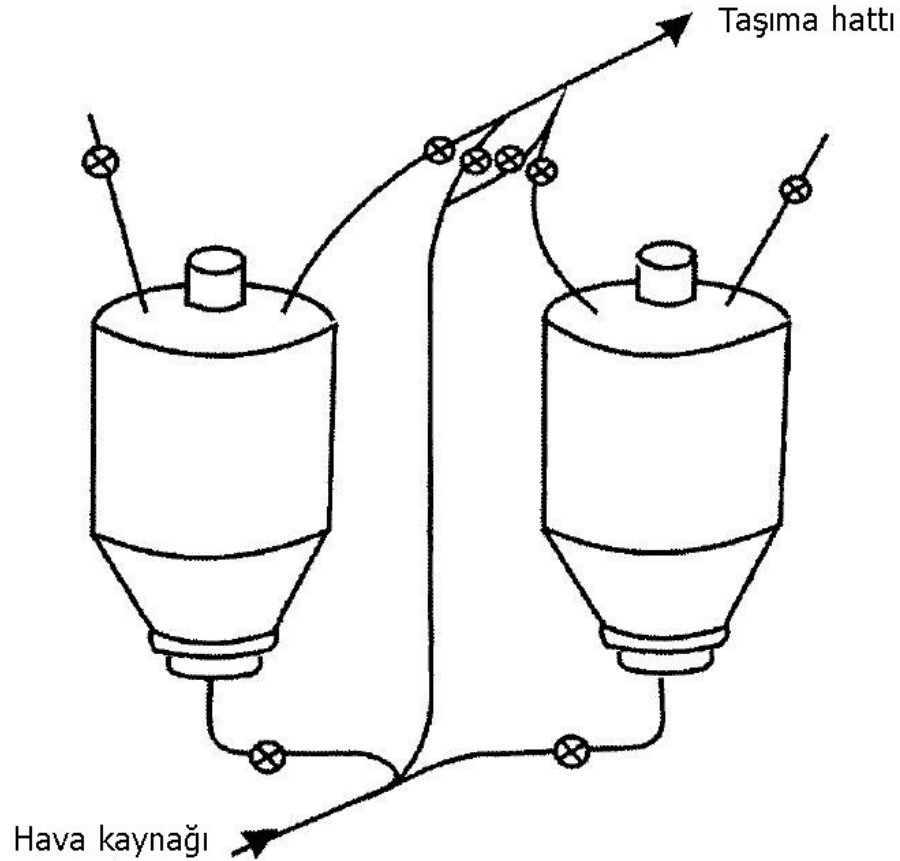
—İkiz basınçlı tank sistemleri:

Eğer iki basınçlı tank kullanılırsa performansta bir basınçlı tank kullanılan sisteme göre önemli bir ilerleme elde edilebilmektedir. Burada ikiz basınçlı tank için iki basit çeşit vardır. Bunlardan birinde çift basınçlı tank paralel durumda, diğesinde ise seri durumdadır.

Ortalama akış oranının (debinin) kararlı haldeki(denge durumundaki) malzeme akış hızına oranı, eğer iki basınç tankı paralel durumda kullanılırsa tektir. Basınçlı tanklardan biri taşıma boru hattına malzeme beslemesi yaparken diğeri basıncı düşürür, malzeme ile dolar ve basıncı

arttırır. Diğer basınçlı tank boşaldığında boşaltma için hazırdır. Bu sayede ortak bir boru hattına neredeyse kesintisiz (sürekli) taşıma sağlanır.

Bu düzenleme, tam tankın boşaltma her bir basınçlı tank için yalıtım ve havalandırma valfi ve en uygun zamanlama elde etmek için otomatik bir kontrol sistemi gerektirir. Bazı tesislerde üç adet basınçlı tank kullanılmaktadır. Şekil 3.28’de tipik bir ikiz basınçlı tank düzenlemesi gösterilmiştir.

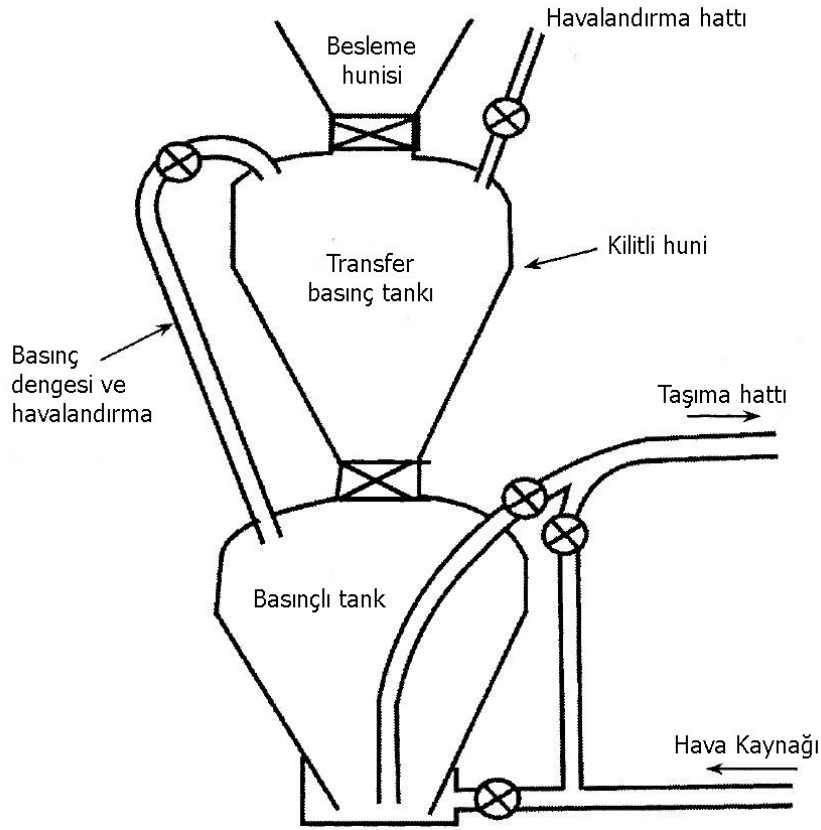


Şekil 3.28 Tipik ikiz basınçlı tank sistemi

Burada bir basınçlı tankın içindeki basınçlı tank buharlaştırma işlemi malzeme diğerinden boşaltılıyor iken uygulanması görülmektedir. Bu ilave hava gerektirir. Son olarak bu, düşük bir gelişme elde edildiği için muhtemelen ekonomik olarak uygun değildir. Sadece bir adet basınçlı tankına ihtiyaç vardır fakat çift basınçlı tank ile basınçlı tankın boyutları daha küçük olur.

Eğer çift basınçlı tanklar huninin altındaki giriş hattında dik olarak yerleştirilse bir malzemenin sürekli taşıma için yüksek basınçlı besleme havası kullanmak mümkündür. Şekil 3.29’da tipik bir seri bağlanmış ikiz basınçlı tank sistemi görülmektedir. Basınçlı tank ile huni

arasındaki kanal, malzemeleri ikisi arasına aktarır ve etkileyici bir kilit hunisidir. Boşaltma hattı, transfer tankı içindeki basıncı serbest bırakır.



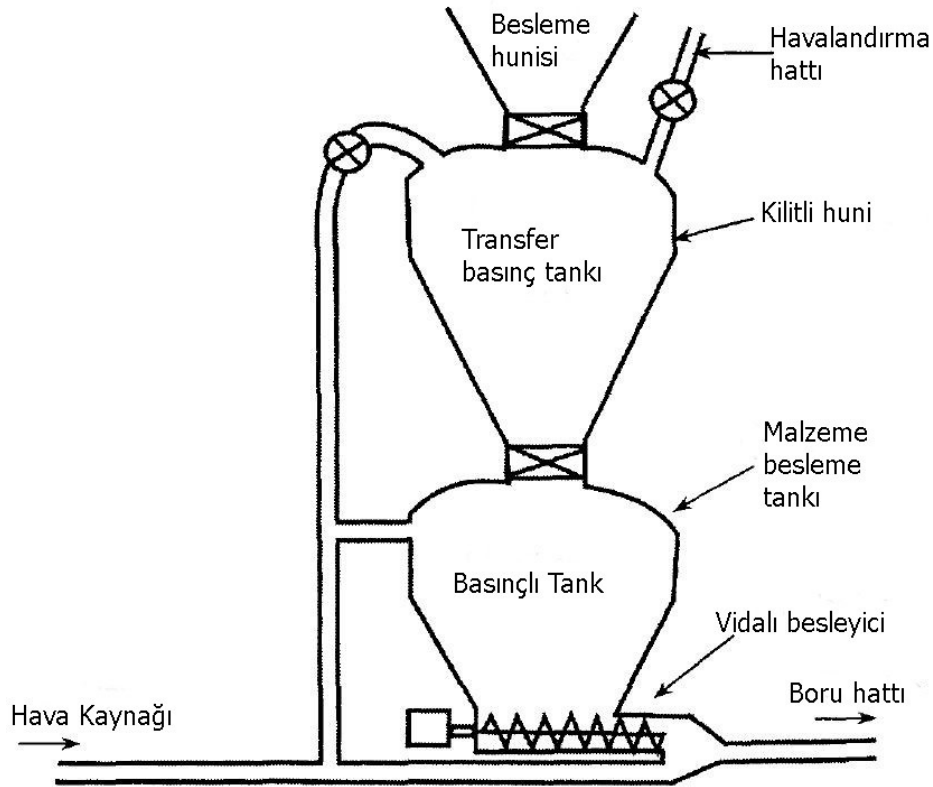
Şekil 3.29 Seri çalışmaya uygun basınçlı tank sistemi

Kilit hunisi ya da transfer tankı yukarıdaki huniden doldurulur. Daha sonra kilit hunisi basınçlı tankta olduğu gibi basınçlı tanktan bir basınç dengesinin sayesinde, basınçlı tank doluyorken onun için bir havalandırma hattı gibi hareket eden ya da ana hava beslemesinden bir direkt hattın aracılığıyla aynı basınçta basınç yapar. Basınçlı tanklarda olduğu gibi aynı basınçta transfer tankı ile basınçlı tank malzemesinin sürekli akışını devam ettirmek için tamamen doldurulabilir.

Kilitli besleme hunisinin basıncı yavaşça arttırılmalıdır ki malzeme taşımada performans kaybı yaşanmasın. Şekil 3.29'da üstten boşaltmalı akışkanlaştırıcı çeperi olmayan bir basınçlı tank görülmektedir. Hava basınçlı tankın doldurmak için odaya girer ve alt üst edilmiş bir koni vasıtasıyla taşıma hattına verilir. Birinin diğerinin üzerinde konumlandırıldığı ikiz basınçlı tanklar büyük miktarda tavan boşluğuna ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla şekildeki basınçlı tank tavan boşluğunu minimize etmek için tercih edilebilir.

Eğer Şekil 3.29'daki gibi kilitli bir besleme hunisi kullanılırsa, yüksek basınçlı hava kullanılmasına rağmen boru hattı besleme mekanizmasının basınçlı tank olmasına gerek bile yoktur. Transfer basınç tankının huni ve boru hattı besleme mekanizmasını birbirinden ayırdığından ötürü besleme mekanizması bir döner valf ya da vidalı besleyici olabilir. Besleyicide çok küçük miktarda basınç düşümü vardır ancak bu basınç düşümü malzemenin beslendiği yöndedir. Dolayısıyla bu mekanizmaların geleneksel tiplerinde rastlanılan hava sızıntısı bu tip sistemlerde sorun olmaktan çıkar.

Bir döner valf ya da vidalı besleyici malzemenin düzgün bir biçimde ve sabit hızda boru hattına beslenmesi istenilen durumlarda kullanılabilir. Eğer döner valf veya vidalı besleyici kullanılacaksa yüksek basınç diferansiyelleri sağlamak için tasarım yapmak gereksizdir. Bu tip sistemlerde aşındırıcı malzemelerden kaynaklanan erozif aşınma da büyük ölçüde azaltılmış olur. En yaygın kullanım döner valf ya da vidalı besleyicinin basınçlı tank içine yerleştirilmesidir. Bir örnek Şekil 3.30'da görülmektedir.

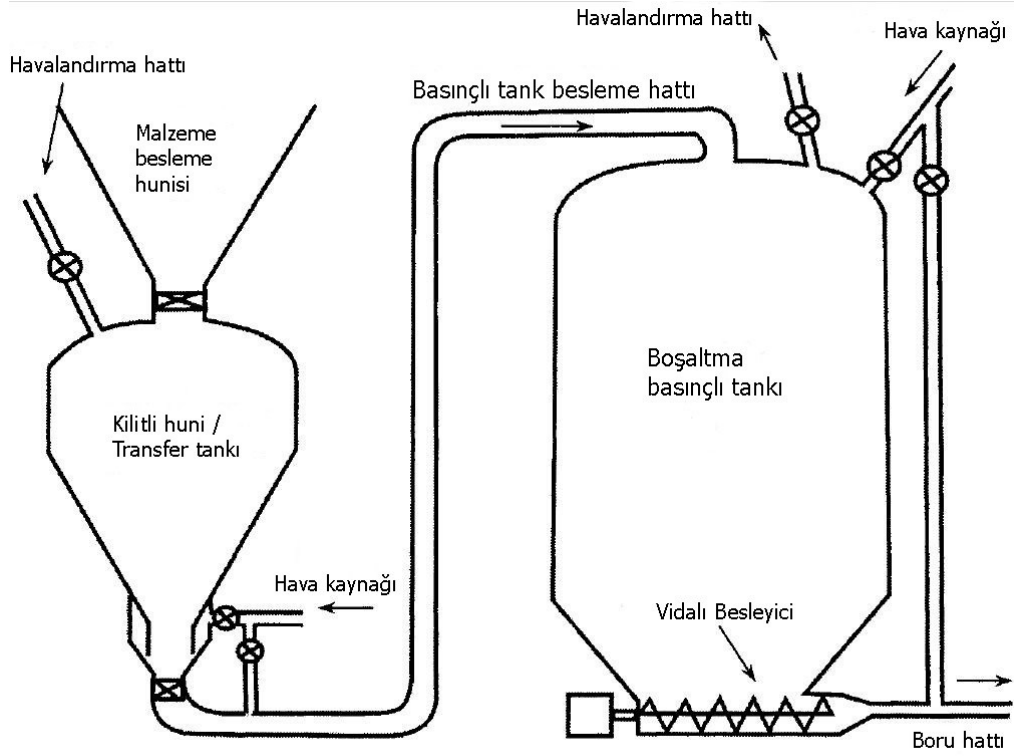


Şekil 3.30 Vidalı beslemeli ikiz basınçlı tank sistemi

Malzemeyi yoğun fazda ya da uzun mesafeler boyunca taşımak için yüksek hava basıncı gerekliyse ve sürekli çalışma önemliyse bunun gibi bir ikiz tank sistemi idealdir. Bu sistemler diğer döner valf, vidalı besleyici ya da tekil basınçlı tank besleme sistemlerine göre daha çok

yer kaplamalarına rağmen bu çok da önemli değildir. Malzeme debisine bağlı olarak eğer iki basınç tankı arasında makul bir çevrim frekansı seçilirse tankların kapasitesi küçük olur ve dolayısıyla daha kompakt bir sistem elde edilebilir.

Eğer tavan boşluğu sınırlı ise kilitli besleme hunisinin ana besleme hunisinin yanına yerleştirildiği seri çalışan bir basınçlı tank sistemi tercih edilebilir. Vidalı besleme aparatıyla birlikte gösterilen tipik bir sistem Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



Şekil 3.31 Seri bağlı yan yana duran ikiz tank sistemi

Tanklar arasındaki geçiş yerçekimiyle değil pnömatik olarak sağlanmalıdır. Bu tip sistemler malzemenin kilitli besleme hunisinden basınçlı tanka aktarılmasını gerektirir ancak sürekli çalışır.

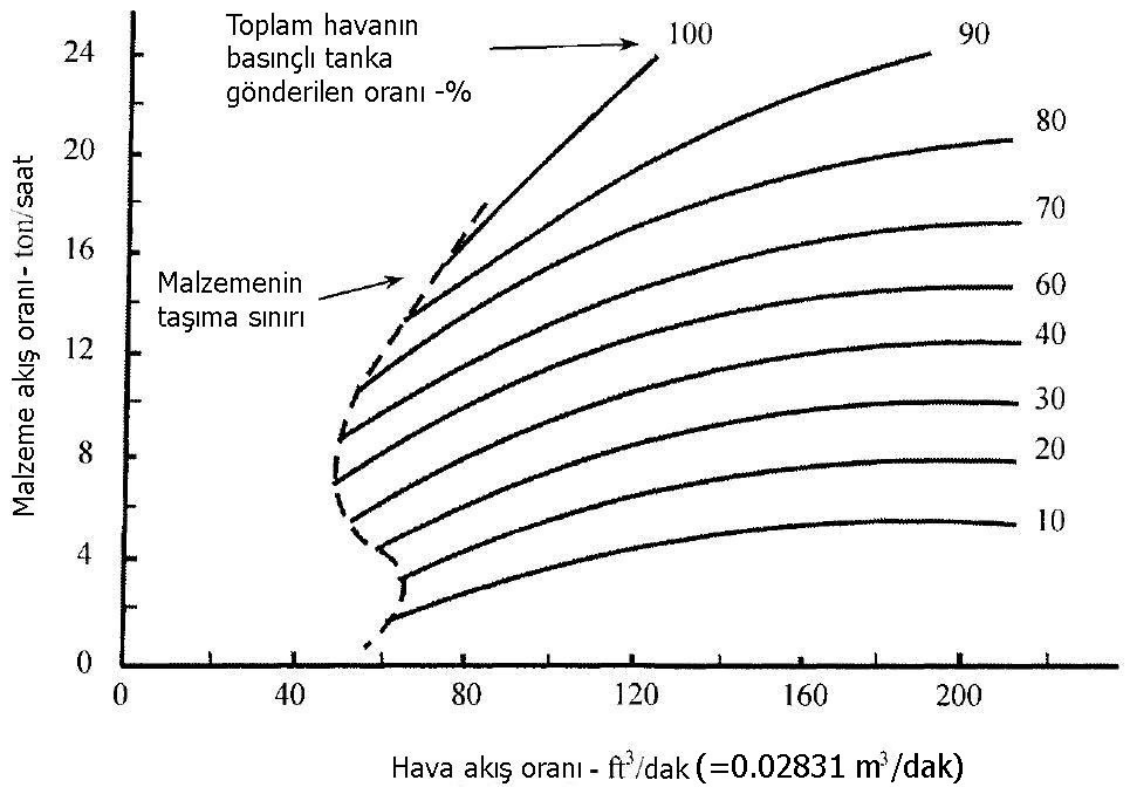
Döner valf ve vidalı besleyicilerle malzeme debisi sınırlı bir aralık için kontrol edilebilir. Bu kontrol basitçe hız ayarlanarak yapılır. Basınçlı tankların, daha önce de bahsedildiği gibi, hareketli parçaları yoktur ve 10:1 gibi geri çevirme oranı başarılı bir şekilde sağlanabilir.

Basınçlı tank kontrolü basitçe basınçlı tanka giden havanın ve direk olarak taşıma hattına verilen havanın oranı ayarlanarak yapılabilir. Toplam hava miktarı malzemenin boru hattında götürülmesi için kullanılır.

Basınçlı tanka yönlendirilen hava basınçlı tankın basıncının arttırılmasını sağlar. Bu hava aynı zamanda malzemenin yığın karakteristiğine bağlı olarak havalandırılması ya da akışkanlaştırılması için de kullanılır. Basınçlı tank havası malzemenin basınçlı tanktan taşıma hattına geçişini de sağlar.

Besleme havası direk olarak basınçlı kap boşaltma kısmına yani taşıma hattının başına verilir. Besleme havası efektif olarak boru hattında taşınan malzemenin debisini seyreltir. Malzeme yükleme oranının iyi tespit edilmesi büyük önem taşır. Eğer malzeme yükleme oranı gereğinden düşükse taşıma hattından faydalanılamaz. Malzeme yükleme oranı gereğinden çoksa da boru hattı tikanıp taşıma yapılamamasına sebebiyet verebilir.

Basınçlı tanktaki malzemeyi akışkanlaştırmak için kullanılan havanın oranının boşaltma oranını nasıl etkilediğinin görülmesi için, malzeme akış oranının toplam hava akış oranıyla karşılaştırıldığı grafik çizilmiştir ve veriler gösterilmiştir. Sonuç eğri ailesi Şekil 3.32'de görülmektedir.



Şekil 3.32 Tipik basınçlı tank boşaltma karakteristiği (Mills, 1990)

Grafik toplam hava kaynağının malzemeyi akışkanlaştırmak ve taşıma hattını beslemek için nasıl dağıtılması gerektiğini gösterir. Tabii ki bu dağıtmanın yapılması için ön hazırlıkların yapılması ve santrale monte edilmesi gerekir.

Bu grafik; üstten boşaltmalı, akışkanlaştırıcılı cidarlı basınçlı kapla çimentonun 100 metre boyunca taşınarak deneyler yapılmasıyla oluşturulmuştur. Kullanılan borular iki inçlik nominal çaptadır ve 17 adet 90°'lik dirsek bulunmaktadır. %100 çizgisi kullanılan basınç tankının taşıma sınırını gösterir.

Çok iyi bilinmektedir ki bir boru hattında her malzemenin taşıma karakteristiği birbirinden farklıdır. Aynı durum basınçlı tank boşaltmasında da söz konusudur. Bu karakteristik aynı zamanda basınçlı tank cinsine göre (özellikle üstten ya da alttan boşaltmalı olmasına göre) değişir. Eğer malzemenin boşaltma oranının yüksek olması isteniyorsa malzeme havalandırılmasının geliştirilmesinin yardımı olabilir. Aksi halde daha büyük bir boşaltma boru çapı tercih edilebilir. Boşaltma borusunun çapının taşıma borusu çapıyla aynı büyüklükte olması şart değildir. (Mills, 1990)

3.2.2 Boru Hatları

Pnömatik taşıma sistemlerinde boru hatlarıyla ilgili kararlar da verilmelidir. Boru hattı malzemesi, çeper kalınlığı, yüzey kalitesi, adımlar ve kullanılacak köşeler dikkatlice seçilmelidir. Başarılı bir pnömatik taşıma işlemi için en önemli parametre taşınacak malzeme için en düşük taşıma havası hızını sağlamaktır. Örneğin granül halindeki şekerin seyrek fazda taşınması için bu değer yaklaşık 1000 m/dk'dır. Eğer taşıma havası hızı 900 m/dk'nın altına düşerse boru hattının tıkanması muhtemeldir.

3.2.2.1 Çeper Kalınlığı

Gereken havanın hacimsel debisi taşıma havasının boru hattının kesit alanında artmasıyla sağlanır. 4 inçlik bir çapa sahip olan boru hattın esasen çapı nadiren 4 inçtir. Eğer hesaplar 4 inçlik boruya göre yapılır ancak boru çapı 4.176 inç olursa taşıma havasının hızı yaklaşık %9 oranında düşecektir. Bunun anlamı hız 1000 m/dk olarak beklenirken 890 m/dk civarında olacak bu da boru hattının muhtemelen tıkanmasına neden olacaktır.

Eğer aşındırıcı bir malzeme taşınacaksa boru hattının aşınması göz önüne alınmalıdır. Boru hattına daha uzun bir ömür sağlamak için boru çeper kalınlığı daha büyük seçilebilir. Çeper kalınlığını tanımlamak için genellikle çizelge numaraları kullanılır. Eğer aşındırıcı bir malzeme taşınacaksa en az çizelge 80 tipi bir boru seçilmelidir. 4 inçlik nominal çapa sahip bir boru hattı için tipik ölçüler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Dört inçlik nominal çaptaki bir boru için çeper kalınlığı ve boru çapları

(Değerler inç cinsindendir)	Çizelge Numarası			
	10	40	80	160
Cidar kalınlığı	0.162	0.237	0.337	0.531
Boru çapı	4.176	4.026	3.826	3.438
Dış çap	4.5	4.5	4.5	4.5

Eğer taşınacak malzeme hiç aşındırıcı değilse ince duvarlı çizelge 10 bir boru seçilebilir. Boru hattı ağırlıkları da bu tabloya eklenebilir ve bu önemli bir ayırıcı faktör olacaktır çünkü hafif boru hattı demek daha kolay konstrüksiyon demektir.

Eğer boru hattında iri taneli aşındırıcı malzemeler taşınacak boru hattındaki aşınma genellikle borunun yere bakan kısımlarında yoğunlaşır. Eroziyon aşınma bu gibi durumlarda ciddi boyutlara ulaşabilir. Bu durumlarda muhakkak kalın cidarlı borular tercih edilmelidir. Aynı zamanda borular periyodik olarak döndürülürse bu da boru hattının ömrünün uzamasında etkili olacaktır. Bu amaçla borular kolayca ulaşılacak ve gerekli değişikliklerin yapılabileceği bir düzende tasarlanmalıdır.

3.2.2.2 Boru Hattı Malzemesi

Çelik en çok kullanılan boru hattı malzemesi olmasına rağmen diğer birçok malzeme de taşıma hattında kullanılabilir. İnce kalınlıklı boruların taşınmasının ve dikilmesinin daha kolay olduğu bahsedilmişti. Bunu sağlamak için genellikle alüminyum borular tercih edilir.

Hava kurutma sistemi yoksa boru hatlarındaki nem ve yoğunlaşma olayları çeliğin paslanmasına ve taşınan malzemeyi kirletmesine neden olabilir. Yiyecek, kimyasallar, ilaçlar ve hijyen gereksinimi olan diğer malzemelerin taşınmasında boru hattının paslanmaz çelikten yapılması gerekir.

Esnekliğin gerekli olduğu ve bunun düz boru ve köşeler yardımıyla uygun bir şekilde sağlanamadığı durumlarda esnek hortumlar kullanılabilir.

Kamyon, tren, gemi gibi taşıtların boşaltılmasında esnek borular idealdir. Genelde doğal kauçuk ve sentetik malzemelerden yapılırlar ve çeşitli büyüklüklerde bulunabilirler.

Esnekliğe genellikle gemilerin boşaltılmasında ihtiyaç duyulur. Bu tip durumlarda vakum sistemleri tercih edilir. Aşındırıcı malzemeler taşınacaksa dikkat edilmelidir çünkü kauçuk ve benzeri malzemelerin aşınma oranı çok ciddi boyutlara ulaşabilir.

Çok aşındırıcı malzemelerin taşınması için çizelge 80 ve üstü borular tercih edilmelidir. Buna bir alternatif olarak çok aşındırıcı malzemeler için boru hatlarında alaşımlı dökme demir kullanılabilir ya da bazaltla giydirilebilir. Daha iyi bir malzeme gerekliyse alümina-seramik kullanılabilir ancak bu pahalı bir malzemedir. Genel bir kombinasyon boru hattını bazaltla giydirip köşelerde alümina-seramik kullanmaktır.

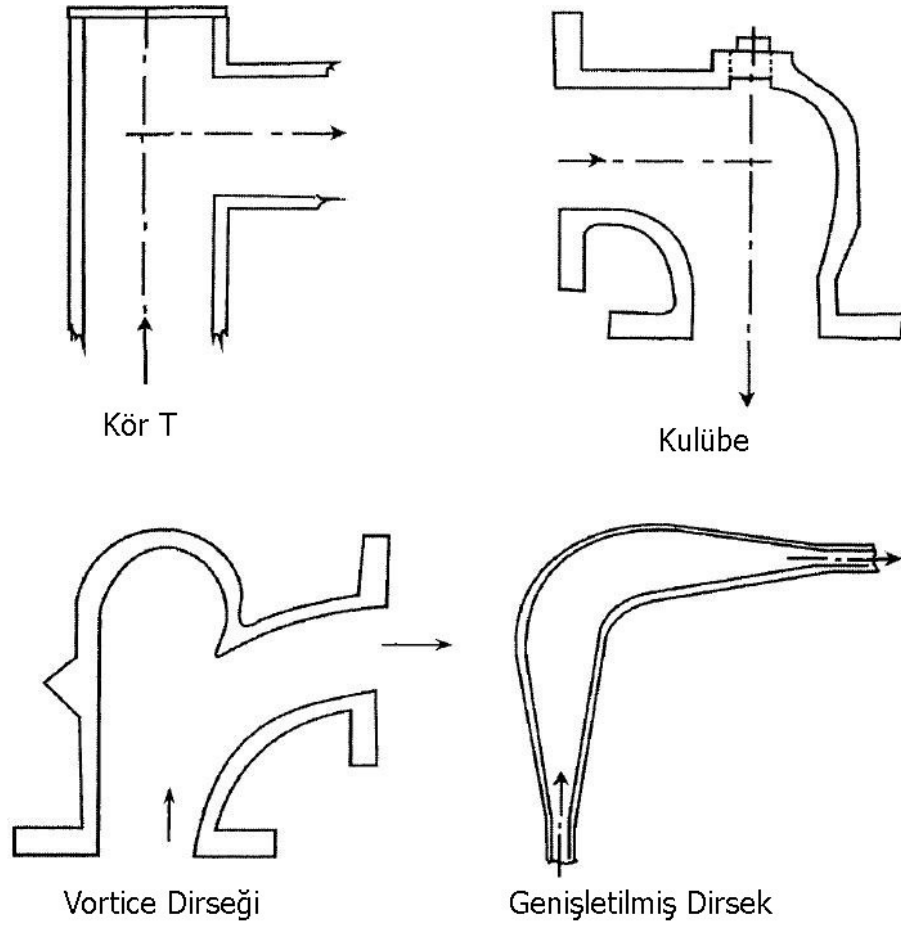
3.2.2.3 Yüzey İşleme

Çoğu boru hattının yüzey pürüzlülüğü akışa karşı gösterilen sürtünme dayanımına göre kabul edilebilir bir değerde gelmektedir. Polietilen gibi bazı malzemelerin taşınması için özel yüzey işlemi gerekebilir. Yapay olarak pürüzlendirilmiş bir yüzey bu tip malzemeler için kullanılabilir.

Aşındırıcı bir malzeme kullanılacaksa boru birleşim yerlerine dikkat edilmelidir. Merkezlenememe ya da kötü kaynak, adımlara ve çıkıntılara sebep olabilir. Bu da borunun daha hızlı aşınmasına sebebiyet verebilir.

3.2.2.4 Dirsekler

Dirsekler taşımanın farklı yönlerde yapılabilmesinin anahtarıdır. Tamamı standart olmayan elemanlardır. Kullanılan köşelerden bazıları Şekil 3.33'de gösterilmiştir.



Şekil 3.33 Pnömatik konveyör sistemleri için geliştirilen dirsek tipleri

Dirsekler yön konusunda esnekliği sağlamalarına rağmen birçok sorunu da beraberinde getirir. Her dirsek kayıp demektir ve taşıma basıncı bu yüzden doğrudan etkilenir. Eğer taşınan malzeme aşındırıcı ise sıradan bir çelik dirsek saatler içerisinde işlevini yitirecektir. Çok çeşitli dirsek tipleri bulunmaktadır. Bunlardan pek çoğu bazalt, dökme demir, kauçuk gibi malzemelerden yapılmıştır ya da giydirilmiştir. Geleneksel dirsekler sabit çaplara sahiptirler.

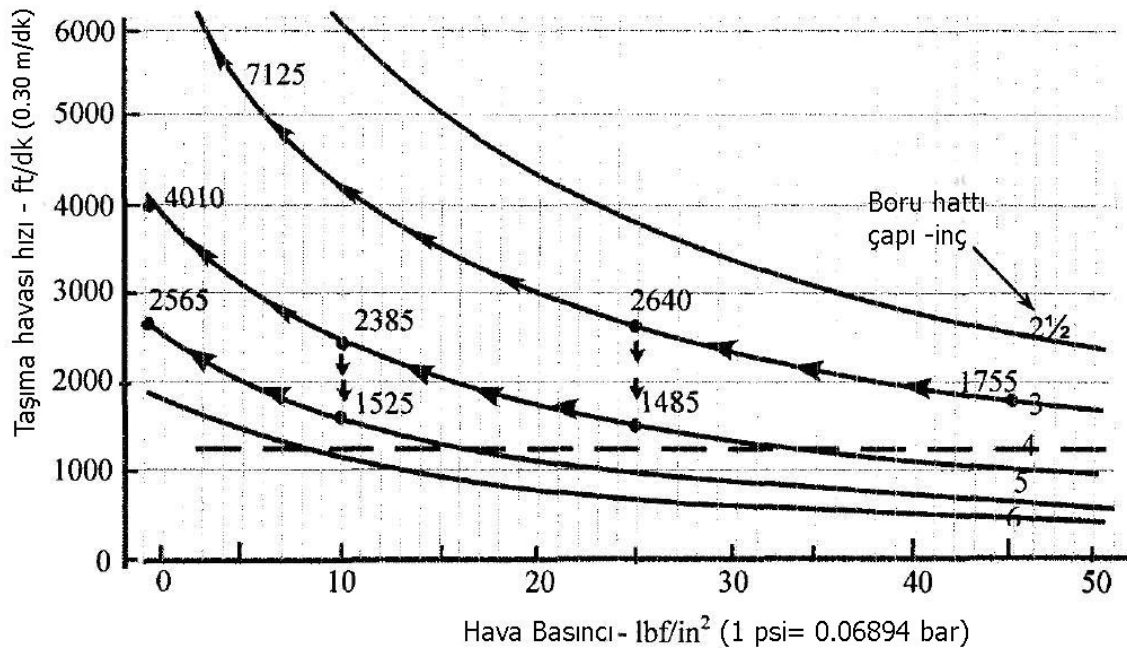
Bir takım dirseğin ise sabit çapı ya da yarıçapı yoktur. Bu tip dirseklerden bazıları Şekil 3.33’de gösterilmiştir. Bu tip dirseklerin seçiminde taşınacak malzemeyle olan uyumuna ve bu malzemenin taşınmasında dirsek boyunca gerçekleşecek basınç düşümüne dikkat edilmelidir.

Şekilde gösterilen kör T dirsek aşındırıcı malzemelerin taşınmasında sıradan düşük karbonlu sabit yarıçaplı dirseklere göre 50 kat daha fazla ömre sahiptir. Dirseğin kör ucu malzemeyi hapseder ve bu sayede taşınan aşındırıcı malzeme dirseğe değil malzemenin kendisine çarparak yola devam eder. Bu sayede dirsek aşınmaktan kurtarılmış olur.

Bu tip bir dirseğin dezavantajı da tabii ki basınç düşümündeki fazlalıktır. Yapılan bir testte 50 metrelik bir mesafede 2 inçlik boru kullanılarak uçucu kül taşınmıştır. Test önce 7 sabit yarıçaplı dirseklerle daha sonra 7 kör T dirseğiyle yapılmıştır. Test sonuçlarında göre 30 lbf/in² (2 bar) basınçta sabit yarıçaplı köşeler kullanıldığında 20000 kg/saat taşıma kapasitesi sağlanırken aynı basınçta kör T dirsekler kullanıldığında 10000 kg/saat'lik bir taşıma kapasitesi ancak sağlanmıştır.

3.2.2.5 Adımlar

Yüksek basınçlı bir pnömatis konveyör kullanılacaksa boru çapı yol boyunca adımlarla yükseltilmelidir. Bu sayede çıkış hızı uygun olacak şekilde ayarlanabilir. Çıkıştaki yüksek hızlar seyrek fazdaki taşımalar için kabul edilebilir olsa da yoğun fazda yüksek hız oldukça gereksizdir. Şekil 3.34'de bir örnekle boru çapı değişimiyle hızın nasıl etkilendiği gösterilmiştir. (Mills vd., 2004)



Şekil 3.34 Yüksek basınçlı yoğun fazdaki taşıma sisteminde adımlı boru hız profilleri (Mills vd., 2004)

Azeloğlu (2006), yaptığı araştırmada 100 m mesafeye 20 ton/saat kapasiteyle farin tozu taşınmasında 4 kademeli boru hattı kullanılırsa, tek kademeli boru hattına göre %15 enerji tasarrufu sağlanacağını ve bununla birlikte aşınmaların azaltılıp, sistemin ömrünün uzayacağını saptamıştır.

3.2.3 Vanalar

Pnömatik taşıma sistemlerinde çeşitli vanalar kullanılabilir. Piyasada bu işler için kullanılabilecek geniş çeşitlilikte vanalar mevcuttur. Döner vanalar özellikle boru hattının beslenmesinde sıklıkla kullanılır. Besleme haricinde sistemin diğer kısımlarında da vanalar kullanılır. Bunlardan en sık rastlanılanları: boşaltma vanaları, havalandırma hattı vanaları ve ayırıcı vanalar.

3.2.3.1 Boşaltma Vanaları

Bir taşıma sisteminde akışı başlatmak ya da durdurmak için gerekli olan vananın görevi meşakkatlidir. Vananın yalnızca açık ya da kapalı pozisyonda kullanılması yani akış kontrolü sağlamak amacıyla kullanılmamasına rağmen partiküllü malzemelerin vana açıkken içinden rahatlıkla geçebilmesi gerekir. Vana içinde türbülans oluşturabilecek herhangi küçük kabartı ya da yüzey düzensizlikleri performansta hızlı bir kötüleşmeyle sonuçlanacaktır. Bu sorunla özellikle taşınacak malzemenin aşındırıcı olduğu durumlarda karşılaşılır. Bu tip vanalar açılıp kapanma süreçlerinde de korunmasız olduğu için bu işlemlerin mümkün olduğunca hızlı tamamlanması gerekir.

3.2.3.2 Açma Kapama Vanaları

Malzemenin yerçekimi altında transfer edilmesi bir dizi aşamada gerçekleşir. Vana ya açıktır ya kapalı ve genellikle hava geçirmeyen bir conta görevi görmelidir. Örneğin kapı kilitli besleme mekanizmalarında bir dizi vana sırasıyla açılıp kapanarak istenen miktardaki malzemeyi boru hattına besler. Bu vanalar basınçlı tanklarda kullanılacaksa basınç altında çalışmaya elverişli olmalıdır. Hava sızdırmazlığı da hayati önem taşımaktadır.

3.2.3.3 Havalandırma Hattı Vanaları

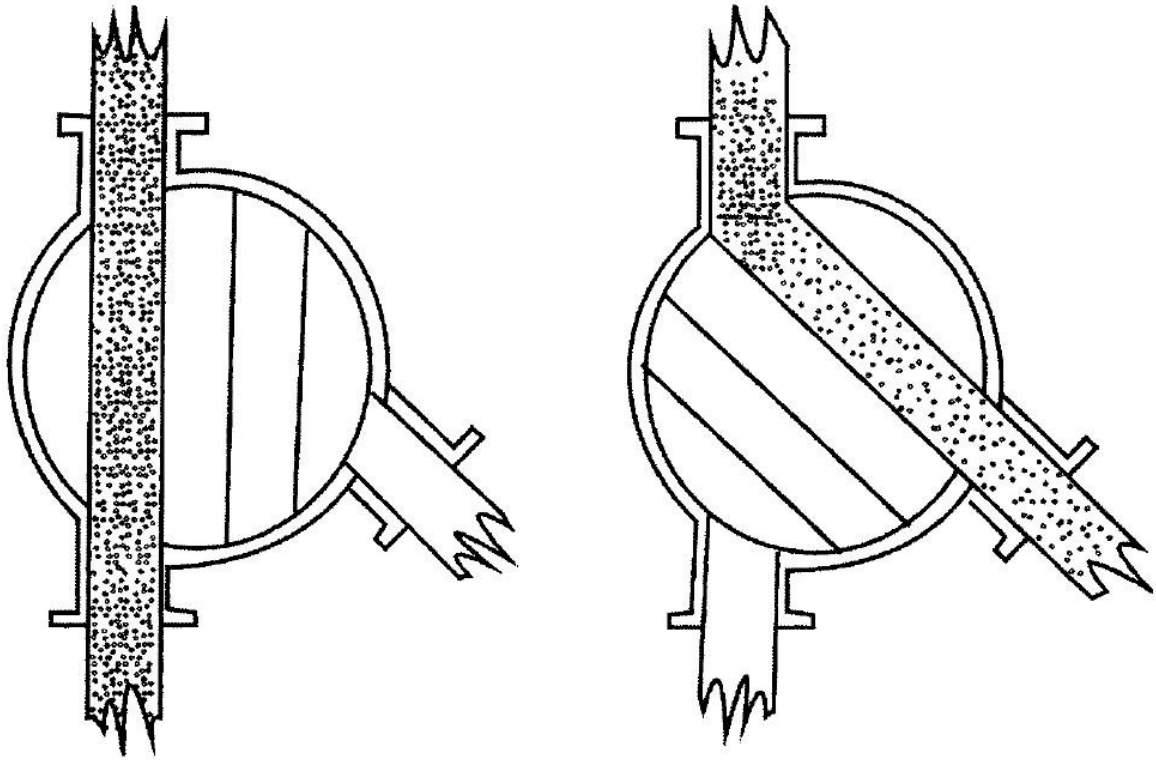
Bu aldatıcı biçimde kolay bir görevdir. Bu vanalar yüksek basınçlı çimento veya uçucu kül taşıyan basınçlı tank üzerinde ise çok zorlu koşullarda çalışması gereklidir. Hava hızı çok yüksek olacaktır ama birçok aşındırıcı toz, hava ile taşınmalıdır. Eğer malzeme aşındırıcı ise esnek vana veya kubbe vana kullanılabilir. Malzeme aşındırıcı değilse ayraç vana kullanılabilir.

3.2.3.4 Ayırıcı vanalar

Akış yönünün değiştirilmesi pnömatik taşıma sistemlerinde çok genel bir ihtiyaçtır ve çok kolay bir şekilde sağlanabilir. Pek çok şirket özel akış yönü değiştirme vanası üretir. Alternatif olarak bir dizi açma kapama vanası kullanarak da akış yönü değiştirilebilir. En genel ihtiyaç akışı iki farklı yönden birine yönlendirme şeklindedir. Bu tip bir duruma en çok malzemenin farklı boşaltma noktalarına aktarılmasında rastlanır.

İki ana tip ayırıcı vana mevcuttur. Birincisinde iki çıkış borusunda da mafsallı bir kapak bulunur. Bu kapak her iki boruya da bir mühür görevi görür. Bu bölgedeki boru çeperleri üretilen veya benzeri bir malzeme ile kaplanır ki hava sızdırmaz bir mühür görevi görebilsin.

Diğer ana dizayn paralel tünel tipi ayırıcı vanadır. Bu tip vana da aşındırıcı malzemeler için tavsiye edilmez. Ancak bu dizayn çalışmayan hat için daha sıkı bir hava sızdırmazlığı sağlar. Bu da onu vakumlu sistemler için daha uygun konuma getirir. Tipik bir paralel tünel tipi vana Şekil 3.35’de gösterilmiştir.



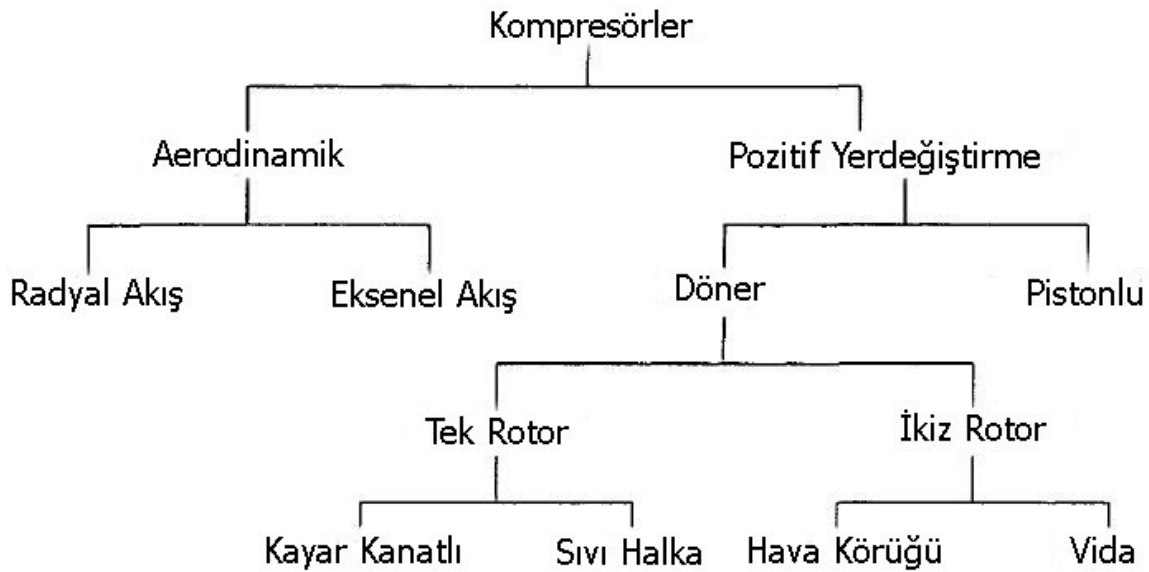
Şekil 3.35 Paralel tünel tipi ayırıcı valf

3.2.4 Hava Sağlayıcılar

Hava sağlayıcılar pnömatik konveyör sistemlerinin kalbidir. Bütün sistemin başarısı hava sağlayıcının doğru şekilde seçilmesine bağlıdır çünkü bu seçim hem gereken serbest havanın hacimsel debisini hem de basıncı belirler. Bu görevi yerine getirebilecek çok çeşitli makineler mevcuttur. Her hava sağlayıcısı pnömatik taşıma sistemleri için uygun değildir. Bu makinelerin çalışma karakteristiklerinin iyi anlaşılıp yorumlanması gerekir. Bazı hava sağlayıcıların limitleri vardır ve bazıları diğerlerinden daha uygundur. Bu nedenlerle vakumlu ve pozitif basınçlı sistemler için bu seçimin yapılması gereklidir.

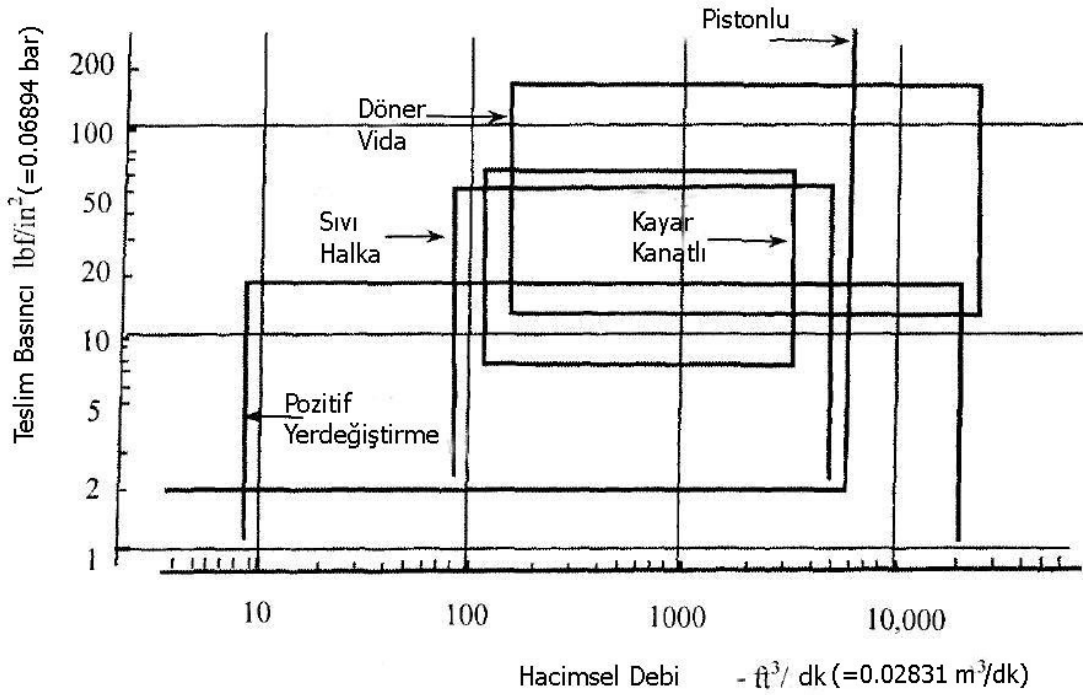
Pnömatik konveyörlerin hava sağlayıcılarının seçimlerinde temel ekipmana ek olarak birçok dış etmen de vardır. Pek çok kompresörde hava yüksek ısıda iletilir ki bu genellikle istenilen bir durum değildir. Sıkıştırılmış hava ambiyans sıcaklığına soğutulduğunda hava genellikle suyla doyurulur ancak bu uygun bir durum değildir. Aynı zamanda çoğu kompresör yağsız havayı taşıyamaz.

Pnömatik taşıma sistemleri için uygun hava taşıyıcıları fan ve körüklerden (blower) pozitif yer değiştirme kompresörlerine kadar geniş bir skalada yer alır. Fan ve körükler yüksek hacimsel debileri göreceli olarak düşük basınçlarda sağlarlar. Kompresörlerde genellikle pistonlu ya da vidalı olarak sınıflandırılabilir ve yüksek basınçlarda uzun mesafelere götürmelerde ya da yoğun fazda taşımada kullanılır. Hava sağlayıcıların temel çeşitleri Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.36 Hava sağlayıcılarının sınıflandırılması

Bu makinelerden bazılarının yaklaşık performans aralıkları Şekil 3.37’de gösterilmiştir. Bu şekil sadece farklı makinelerin işlem aralığını göstermek için bir rehber mahiyetindedir. Pek çok durumda performanslarında önemli çakışmalar vardır. Özellikle pistonlu kompresörler çok geniş ebat ve tiplerde mevcuttur. Aynı zamanda Şekil 3.37’de gösterildiği gibi neredeyse her işlem için bir model bulmak mümkündür. Pek çok kompresör yüksek basınçlı hava iletimleri uygundur.



Şekil 3.37 Hava sağlayıcıların yaklaşık çalışma aralıkları (Mills, 1990)

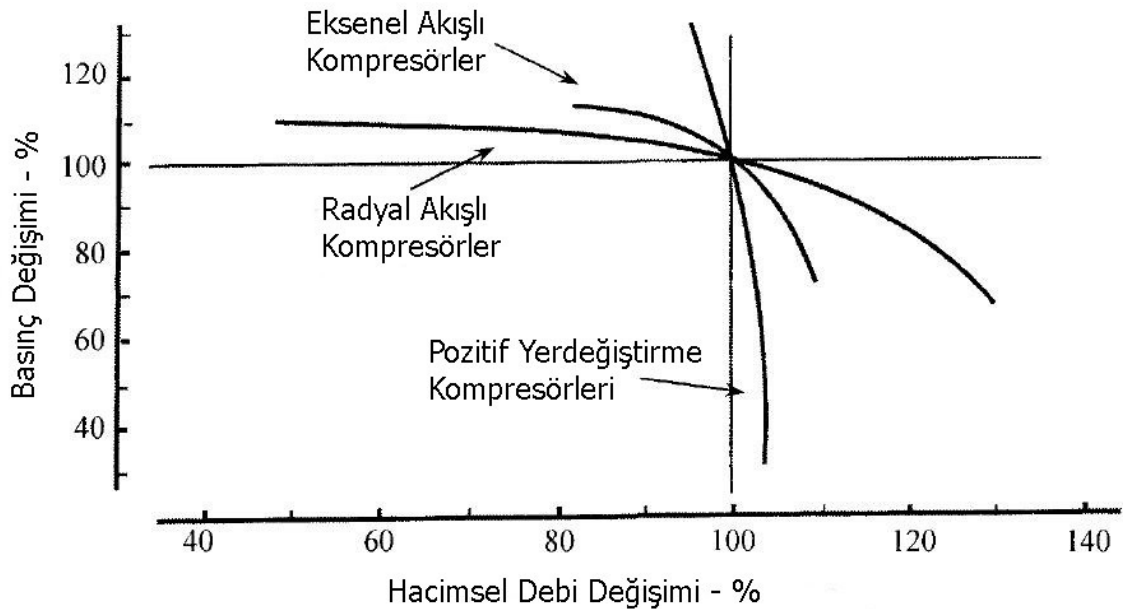
3.2.4.1 Aerodinamik Kompresörler

Yüksek basınçlı işler için santrifüj kompresörler normalde sadece büyük boyutlarda üretilirler. Bu yüzden de pnömatik taşıma sistemlerinde nadiren kullanılırlar. Eksenel akışlı kompresörler uçak motorlarında sıklıkla kullanılır. Santrifüj kompresörler de genellikle uçak motorlarının rüzgar tünellerindeki testleri için kullanılır. Fanlar ise genellikle seyrek fazlı sistemlerde, düşük basınçlarda yüksek hacimsel debi sağladıkları için kullanılır.

Fanlarla ilgili ana problem hava akış oranının taşıma hattı basınç düşümüyle direk bağlantılı olmasıdır. Sabit hız çalışma karakteristiği yüksek çalışma basıncında düzleşme eğilimi gösterir. Bu pnömatik taşıma için temel çalışma karakteristiğidir ve bu yüzden bu tip kompresörler ağır taşıma işleri için güvenilir değildir.

Bu tip çalışma karakteristiği gösteren kompresörlerde, eğer sisteme malzeme besleme oranı herhangi bir nedenden ötürü gereğinden fazla miktara çıkarsa, ki bu basınç düşümünün ciddi bir şekilde artmasına neden olur, hava debisi malzemenin taşınamamasına neden olacak şekilde düşer, ki bu da boru hattının tıkanmasına neden olur. Bu özellikle seyrek fazlı sistemlerde bir sorundur çünkü taşıma hava hızı göreceli olarak yüksektir. Besleme oranındaki küçük bir değişim bile taşıma için gereken hava basıncının önemli ölçüde etkilenmesine neden olur.

Hacimsel debinin boşaltma basıncından bağımsız olduğu pozitif yer değiştirme makinelerinde bu tip sistem hatasına rastlanılması daha az ihtimaldir. Bu noktanın bu iki sınıf kompresörde karşılaştırılması Şekil 3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3.38 Aerodinamik ve pozitif yer değiştirme kompresörlerinin sabit hız karakteristiği (Mills, 1990)

Pnömatik taşıma sistemlerinde malzemenin güvenilir bir şekilde götürülmesi için minimum bir taşıma havası hızı belirlenmelidir. Seyrek fazlı pnömatik taşıma sistemleri için bu genellikle 900 m/dk civarındadır. Bu hız %10-20 aralığında düşecek olursa boru hattının tıkanması çok muhtemeldir.

3.2.4.2 Pozitif Yer Değiştirme Kompresörleri

Şekil 3.38’de gösterilen pozitif yer değiştirme makineleri için sabit hız karakteristiği, ağır iş taşıma sistemleri için güvenilir bir temel oluşturabilecek altyapıyı gösterir. Taşıma sistemindeki bir basınç dalgalanması kompresör tarafından sağlanan hava debisinde küçük bir düşüşe neden olacaktır.

Basınç dalgalanması sıkıştırma etkileri nedeniyle hava hızında azalmaya neden olacaktır. Pozitif yer değiştirme kompresörüyle taşıma havası hızındaki sabit hız karakteristiği nedeniyle oluşan azalma yüzdesi sıkıştırılabilme etkisinden kaynaklanandan daha fazla olmayacaktır.

Şekil 3.36’da gösterilen kompresörlerin sınıflandırılmasında beş farklı tip kompresör belirtilmiştir. Bu beş çeşidinde sabit hız karakteristiği Şekil 3.38’deki gibidir.

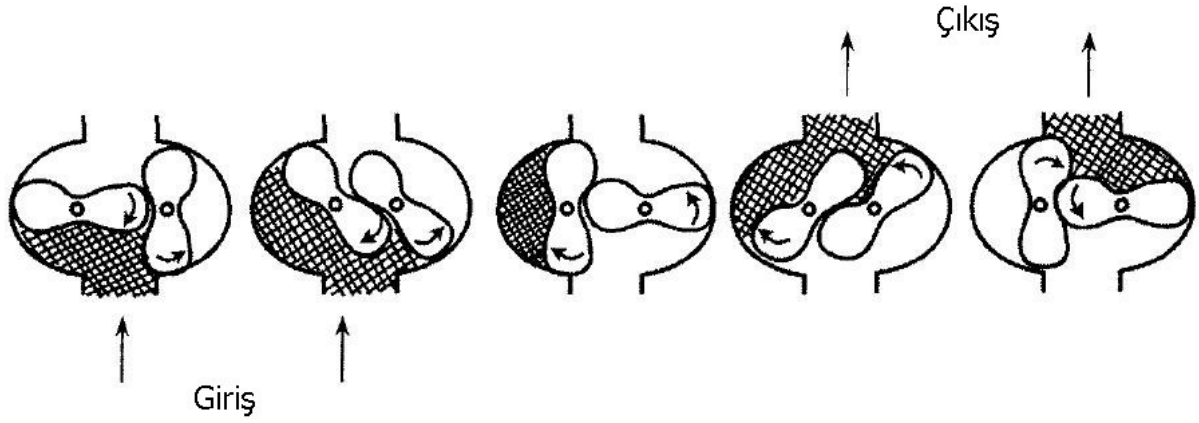
Bu tip makinelerin önemli bir özelliği hareketli parçaları arasında çok hassas çalışma boşluklarına sahip olmalarıdır. Bu sayede taşınacak malzeme kompresör parçalarından uzak tutulur. Taşınacak malzeme aşındırıcıysa tozunun bile kompresöre girmesi önlenmelidir yoksa kompresör çok ciddi hasar alabilir.

—Hava Körükleri:

1854 yılında Roots orijinal döner pozitif hava körüğünü icat etmiştir. Günümüzde çalışma basıncının 15 lbf/in² (1 bar) düzeyini geçmediği pnömatik taşıma sistemlerinde sıklıkla kullanılırlar. Hava körükleri seyrek fazlı taşıma sistemleri için beklide en çok kullanılan kompresörlerdir.

Geleneksel döner vana ile birlikte basınç kabiliyeti açısından tam bir uyum gösterirler ve bu yüzden birçok tesiste kullanılan tipik kombinasyondurlar. Pozitif yer değiştirme hava körükleri genellikle iki yöne de çalışabilir yani hem pozitif hem negatif basınçlı sistemlerde kullanılabilirler.

20000 ft³/dk (570 m³/dk) oranında kapasiteye sahip hava körüğünün çalışma prensibi Şekil 3.39’da gösterilmiştir. Paralel millerde iki rotor bir muhafaza içinde kullanılır ve farklı yönlerde dönerler. Rotorlar döndükçe hava rotorlar ve muhafaza duvarı arasına alınır ve sıkıştırma olmadan girişten çıkışa transfer edilir.



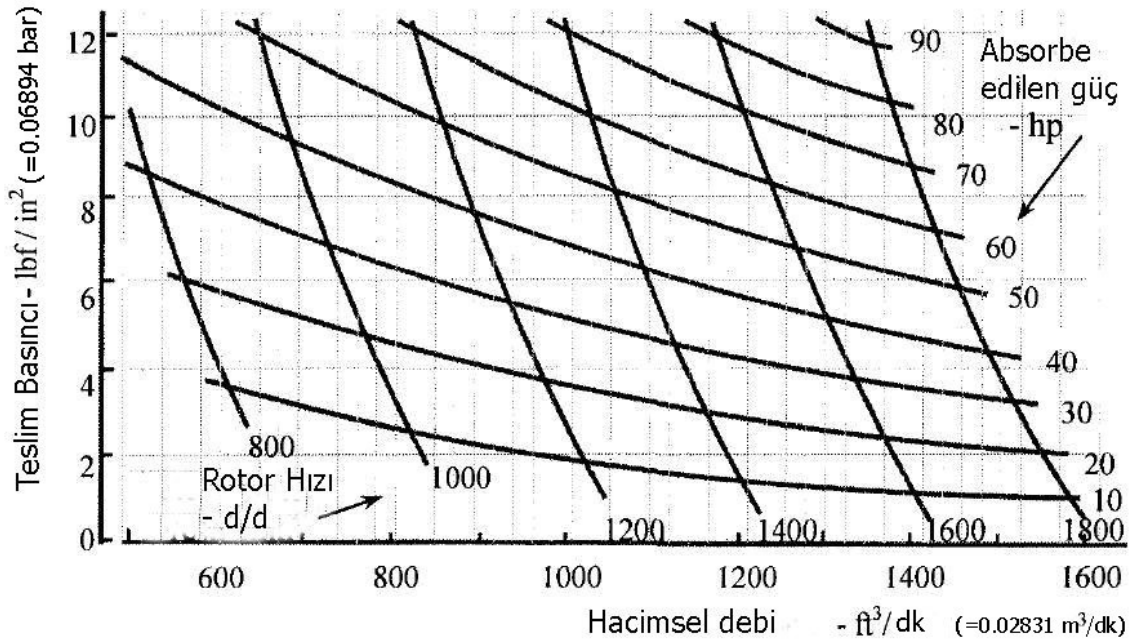
Şekil 3.39 Pozitif yer değiştirme hava körüğünün çalışma prensibi

Çıkış kısmına gelindiğinde sıkıştırma, taşıma borusundaki havanın geri gelip kısıtılmış havayla karşılaşmasıyla gerçekleşir. Bu şok sıkıştırma nedeniyle bu makinelerin termodinamik verimlilikleri düşüktür. Bu da bu makinelerin sadece düşük basınçlarda kullanılabilmelerinin nedenlerinden biridir. Hem titreşimi hem de gürültüyü azaltmak için üç dilimli rotor ya da burkulmuş rotor kullanılabilir.

Bu tip makinelerde maksimum sıkıştırma oranı 2:1 civarındadır. Bu da demektir ki basınçlı sistemlerde maksimum 15 lbf/in^2 (1 bar), vakumlu sistemlerde $7-8 \text{ lbf/in}^2$ (0.5 bar) ve kombine sistemler için 3.7 ile 7.3 lbf/in^2 (0.3-0.5 bar) mertebesinde çalışma sağlanabilir.

İki çarkın birbirine göre göreceli pozisyonunu dişliler kontrol eder. Yağlamayla makinenin performansı artırılabilir ancak yağsız hava bu operasyonlar için genel bir gereksinimdir.

Tipik hava körüğü karakteristikleri Şekil 3.40'da gösterilmiştir. Hava körüğü üreticileri nadiren bu formda bir çalışma karakteristiği sunarlar ama bu sunum makinelerin sabit hız karakteristiğini açıkça gösterir.



Şekil 3.40 Pozitif yer değiştirme hava körüğü çalışma karakteristiği (Mills vd., 2004)

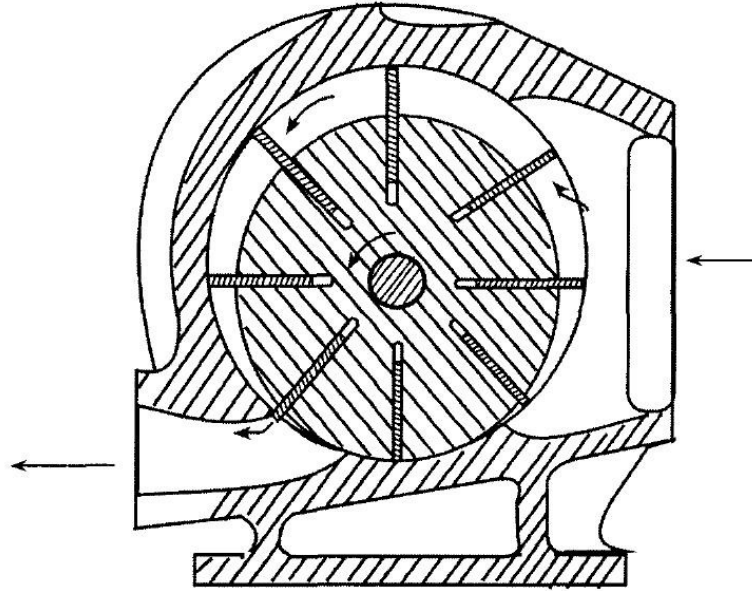
Bu grafik aynı zamanda rotor hızı değiştirilerek performansta ayarlama yapılmasına olanak tanır. Sabit güç çizgileri özellikle var olan sürüşle değişikliklerin elde edilip edilemeyeceğini gösterir. Kompresörler için performans verileri genellikle tablo şeklinde verilir. Yukarıdaki grafik üzerindeki veriler kullanılarak bu tablo rahatlıkla oluşturulabilir.

Bu makineler için daha ileri bir gelişim grafikte gösterilen hızlardan çok daha yüksek hızlara çıkılmayla sağlanır. Malzeme kalitesindeki artış ve daha hassas yüzey işlemesi ile bu makineler daha kompakt hale getirilirken hızları da yükseltebilmiştir. Termodinamik verimlilikleri geliştirilmiştir ve bu sayede çalışma sıcaklıkları düşürülmüştür. Aynı zamanda güç gereksinimleri de azaltılmıştır.

—Kayar Kanatlı Döner Kompresörler:

Orta ve yüksek basınçlı sistemler için kayar kanatlı tip döner kompresörler çok uygundur. Bunlar genellikle yüksek basınçlarda hava körüklerine göre daha düzgün bir akış sağlarlar. Tek aşamalı bir makine havayı 3000 ft³/dk (85 m³/dk) oranında ve 60 lbf/in² (5 bar) basıncında iletebilir. İki aşamalı makinelerde daha yüksek basınçlar elde edilebilir. Yağ enjeksiyonu da daha yüksek çalışma basınçlarına izin verir (150 lbf/in² (13 bar) basınca kadar) ancak bu tip makineler 250 ft³/dk'dan (7 m³/dk) daha büyük kapasiteler izin vermez.

Şekil 3.41 tek aşamalı kayar kanatlı bir kompresörün çalışma prensibini göstermektedir. Bu bir tek rotorlu alettir ve rotor eksantriği muhafaza üzerindedir. Sıkıştırma hava körüklerinden farklı olarak makine içersinde gerçekleşir. Bu yüzden hava titreşim olmaksızın iletilir. Bu tip bir alet vakumlu sistemler içinde düzgün bir şekilde çalışmaktadır.

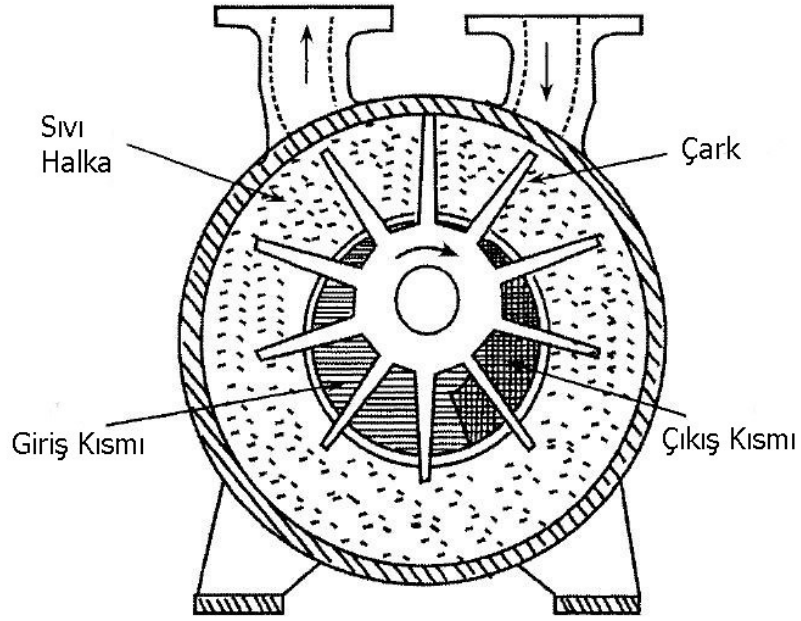


Şekil 3.41 Kayar kanatlı döner kompresör mekanizması

Kanatların muhafazaya sürtünmesi ve havanın sıkıştırılmasından ötürü yüksek sıcaklıklar meydana gelebilir. Bunu engellemek için bir çeşit soğutmaya ihtiyaç duyulur. Soğutma mekanizmayı saran bir sistemden su geçirilmesiyle ya da sıkıştırma başlar başlamaz havaya yağ enjekte ederek yapılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi yağlı hava çalışma basıncının yüksek olmasını sağlamaktadır ancak hava ve yağın ayrılması için kullanılacak mekanizma da tesisin masrafına eklenecektir.

—Sıvı Halka Kompresörleri:

Kayar kanatlı kompresörlerle benzer özelliklere sahip olan bu kompresörler vakumlu pnömatik konveyörlerde kullanılır. Bu yüzden bu kısımda detaylı olarak anlatılmayacaktır. Bir örneği Şekil 3.42’de görülebilir.



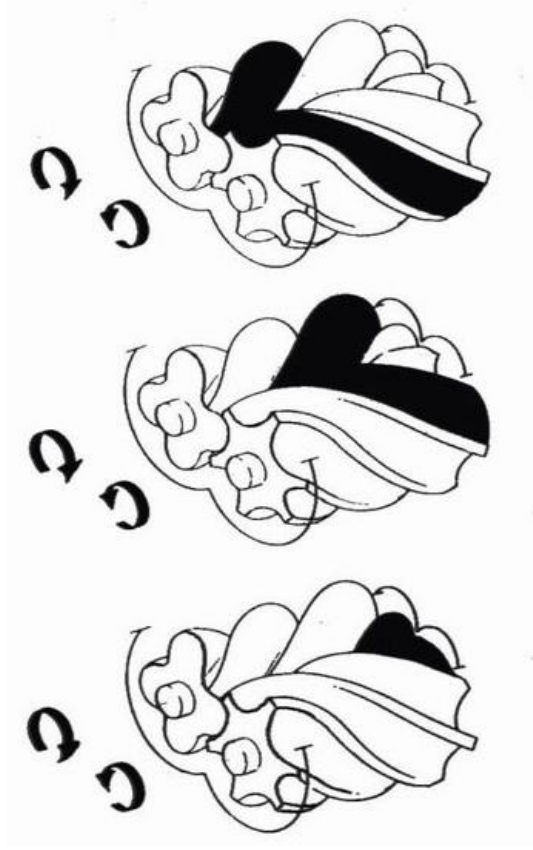
3.42 Sıvı halka kompresörü mekanizması

—Döner Vida Kompresörleri:

Döner vidalı kompresörler göreceli olarak daha yeni bir buluştur. İlk patent 1878 yılında alınmıştır ancak o zamanlarda geliştirilen model daha çok pozitif yer değiştirme hava körüğüne benziyordu. Sıkıştırma ile ilgili matematiksel kanunlar 1930’larda İsveçli mühendis A Lysholm tarafından geliştirilmiştir.

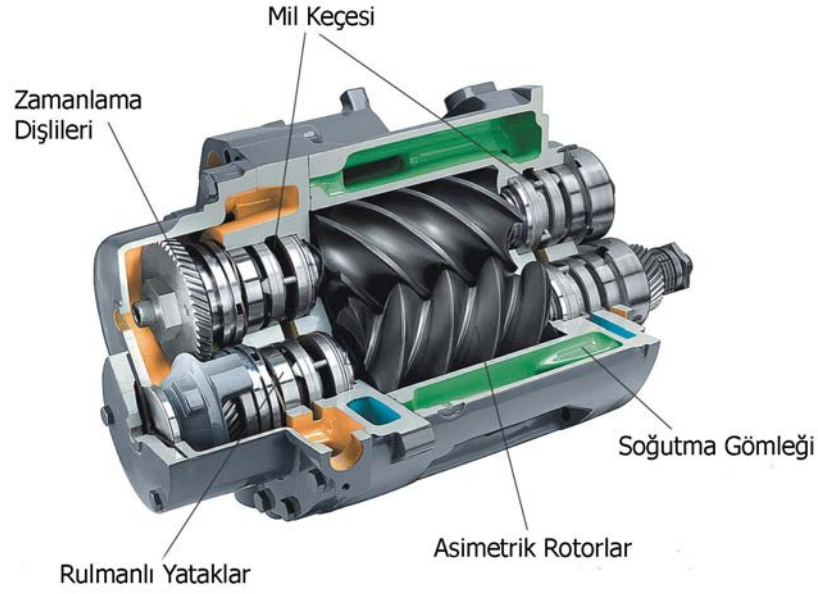
1958’de yüksek verim sağlayan rotor profilleri geliştirilmiştir ancak bunlar iç hava sızıntısını engellemek için yağ enjeksiyonuna ihtiyaç duymaktaydı. Yağ, sıkıştırma esnasında havanın soğutulmasını sağlar ancak yağ enjekte edilmiş kayar kanatlı kompresörlerde olduğu gibi genellikle yağ sıkıştırılmış havadan ayrılmalıdır. Büyük kompresörlerde enjeksiyon, ayırma ve filtreleme mekanizmaları tesisin maliyetinin önemli bir oranını teşkil eder. 1967’de daha da geliştirilmiş bir rotor profili geliştirildi. Bu profille yağ enjeksiyonuna gerek kalmadan rotorlar dönme hareketini gerçekleştirebilmektedir.

Bu makine paralel miller üzerinde birbiriyle eşleşen erkek ve dişi rotorlara sahiptir. Giriş ve çıkış kısımları kompresörün iki ayrı kısmında bulunur. Hava giriş kısmından dişi rotor sayesinde içeri alınır. Rotorun dönüş hareketiyle bu hava erkek rotor tarafından sıkıştırılarak çıkış kısmına doğru hareket ettirilir. Bu sayede hacmi en düşük seviyeye gelen hava boşaltma hattına verilmiş olur. Rotorların çalışma prensibi Şekil 3.43’de gösterilmiştir.



Şekil 3.43 Döner vidalı kompresör rotorlarının havayı sıkıştırma prensibi

Vidalı kompresörler 120 ft³/dak'dan (3.4 m³/dak) 25000 ft³/dak'ya (700 m³/dak) kadar geniş bir kapasite aralığında üretilmektedir. Yağ enjeksiyonuyla 120 lbf/in² (10 bar) mertebesine kadar basınç sağlayabilirler. Kuru makineler tek aşamada 60 lbf/in² (5 bar), iki aşamada 160 lbf/in² (11 bar) mertebesine kadar çıkabilir. Titreşim bu tip makinelerde bir sorun oluşturmadığı için pistonlu kompresörlerde olduğu gibi özel bir temele ihtiyaç duymazlar. Bir döner vida kompresör mekanizması Şekil 3.44'de gösterilmiştir.

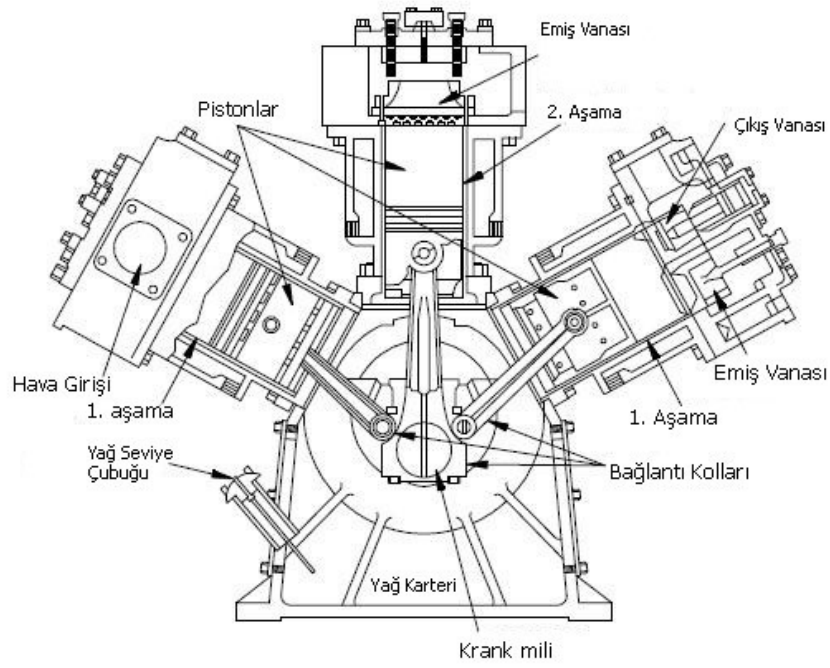


Şekil 3.44 Yağsız döner vida mekanizması

—Pistonlu Kompresörler:

Pistonlu kompresörler son yıllara kadar pnömatik taşıma sistemleri için en önemli yüksek basınç sağlayıcısıydı. Ancak vidalı kompresörler özellikle büyük debiler söz konusu olduğunda pistonlu kompresörlere çok ciddi bir rakip olarak ortaya çıktı. Pistonlu kompresörler tek pistonlu ya da birden fazla aşamada sıkıştırma sağlayabilen çok pistonlu modellere sahiptir. Pistonlu kompresörler belki de hava sağlayıcılar arasında en yüksek termodinamik verime sahip olanıdır.

Geliştirilen son gelişmiş modellerde titreşim sorunlarının da önüne geçilmiştir. Bir pistonlu kompresör mekanizması Şekil 3.45’de gösterilmiştir.



Şekil 3.45 Pistonlu kompresör mekanizması

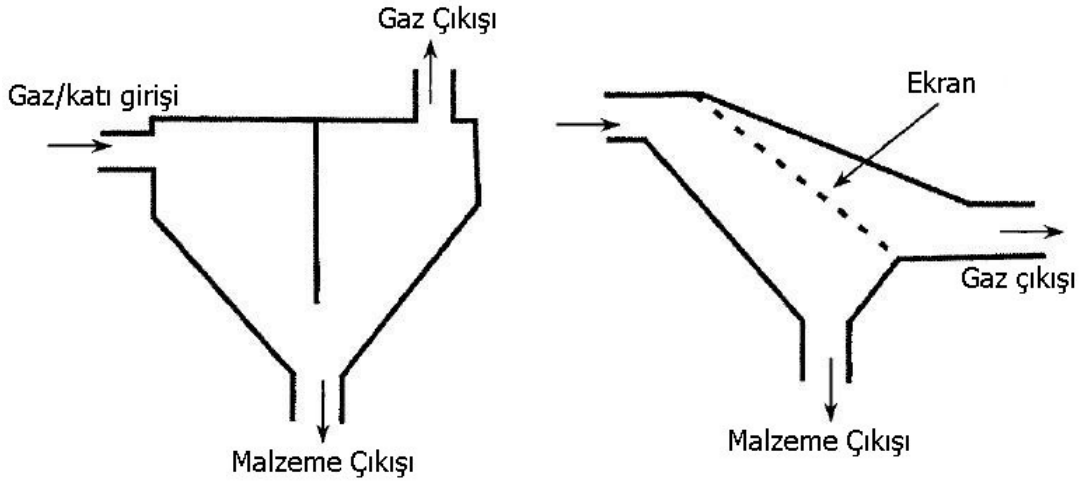
Birden fazla kompresör mekanizması daha yüksek basınçlar elde etmek için seri şekilde bağlanabilir. Bu tip durumlarda en büyük problem ısı olmaktadır. Kompresörler arasında ara soğutma uygulanması kaçınılmazdır. Soğutma hava veya suyla yapılabilir. Bazı kompresörler su damlalarına karşı dayanıksız olduklarından havanın yoğuşma noktası altına kadar soğutulmamasına dikkat edilmelidir. (Mills vd., 2004)

3.2.5 Separatörler

Seperatör olarak adlandırılan mekanizmalar, taşınan hava ve malzemenin birbirinden ayrıldığı bir düzendir. Bir malzeme için hangi tip separatörün kullanılacağını seçilebilmesi için malzemenin besleme anındaki değil taşındıktan sonraki parçacık büyüklüğünün bilinmesine ihtiyaç vardır.

3.2.5.1 Yerçekimi Çöktürme Separatörleri

Pnömatik taşıma sistemlerinde en çok kullanılan ayırma mekanizması yerçekimi çöktürme mekanizmalarıdır. Bu sistemle taşınan gaz-katı karışımının hızı düşürülerek malzemenin yer çekimi etkisiyle havadan ayrılması sağlanır. Şekil 3.46'da bu tip separatörlere örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.46 Yerçekimi çöktürme odaları

Katı parçacıklarının çöme oranı yani ayırma verimliliği en çok parçacık kütlesine, dolayısıyla büyüklük ve yoğunluklarına bağlıdır.

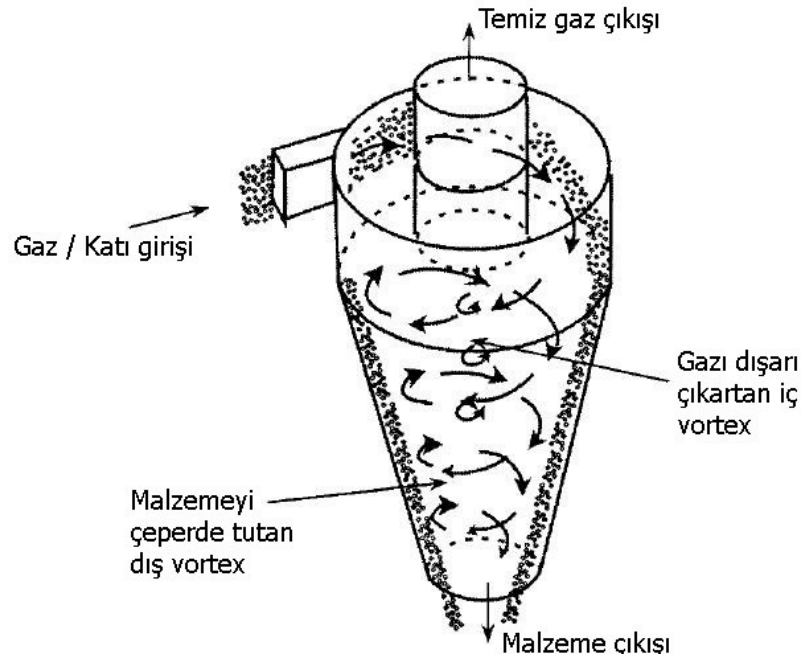
Özellikle düşük yoğunluktaki malzemelerin taşınmasında tutma verimini arttırmak için temel yerçekimi çöktürme odalarına gözenekli bir ekran ilave edilebilir. Bu ekrana bir titretme mekanizması monte edilmelidir ki ekran belli aralıklarla sallanıp üzerinde tuttuğu parçacıkları serbest bırakabilsin.

Yerçekimi çöktürme mekanizmaları çok basit mekanizmalar olmalarına rağmen giren ve çıkan havanın üniform olması için dikkat edilmelidir. Çöktürme odasında gaz hızı çoğu durumda 500 ft/dak'dan (153 m/dak) daha az olmalıdır.

3.2.5.2 Siklon Separatörler

Orta ve ince parçacıklı malzeme taşıyan pnömatik taşıma sistemlerinde malzemenin taşındığı kaplar genellikle siklon şeklindedir. Malzeme eğer tozlu ise buna bir kumaş filtre eklenebilir. Siklon operatörlerin çalışması taşınan malzemenin kütlesine bağlıdır. Bu mekanizma ile malzemeler hem merkezkaç hem de yerçekimi kuvvetlerinin etkisiyle havadan ayrılır.

En çok kullanılan siklon tipi olan ters akışlı siklon Şekil 3.47'de gösterilmiştir. Bu sistemde malzeme dönerek aşağı yönlü hareket ederken hava yukarı yükselip sistemi genellikle bir filtre üzerinden terk eder.

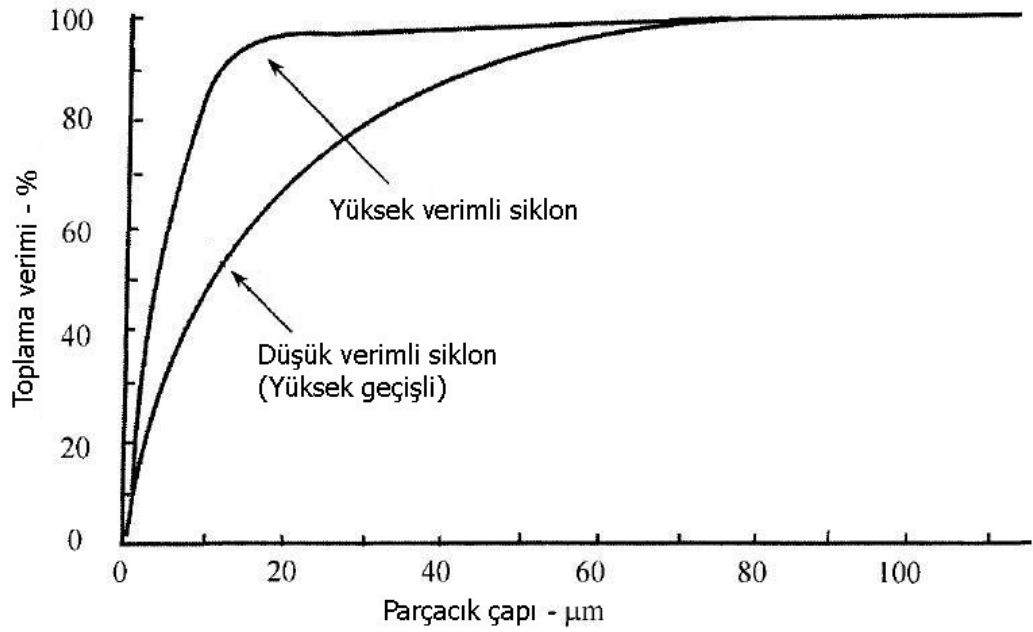


Şekil 3.47 Siklon ayırıcının çalışma prensibi

Siklon ayırıcılarla ayrılacak parçacıkların ölçüleri ve toplama verimi hava ile katı arasındaki yoğunluk farkına, katı konsantrasyonuna ve siklonun ölçülerine (genellikle çapı) bağlıdır. Katı-gaz giriş hızını arttırmak ya da siklon çapını azaltmak normalde tutma verimini artırır veya daha ince taneli parçacıkların ayrılmasını sağlar. Ancak ayrılacak malzemenin 10 mikron gibi bir parçacık alt limiti vardır.

Belirtmek gerekir ki siklon çapını azaltmaz katı-gaz geçişini azaltacaktır ve dolayısıyla daha fazla sayıda siklona ihtiyaç olacaktır. Bu da doğal olarak maliyeti arttıracaktır. Aynı zamanda giriş hızının artırılması malzeme yanıcı veya aşındırıcı ise sorun yaratabilir.

Performans verileri genellikle parçacık çapı ve toplama veriminin gösterildiği bir grafikte sunulur. Mümkün olan iki farklı tasarımın karşılaştırıldığı grafik Şekil 3.48’de gösterilmiştir. Bir ya da daha fazla yüksek verimli siklonun birada kullanılıp düşük verimli siklonların debilerine ulaşılması da mümkündür.



Şekil 3.48 Tipik siklon ayırıcılar için performans eğrileri (Mills vd., 2004)

3.2.6 Filtreler

Kumaş filtreler pnömatik taşıma sistemlerinde katı gaz ayrılması için endüstri standardı haline gelmiştir. Bu genellikle taşınacak malzeme tozlu ise bir meseledir. Kumaşlardaki dikkate değer gelişmelerle birlikte son yıllarda filtrelerde önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Hangi tip filtrenin kullanılacağını anlamak için önce onların nasıl çalıştıklarını anlamak gerekir.

Gözenekli kumaş içersinden geçen gazdan partiküllerin ayrılması için iki temel mekanizma vardır. Bunlardan en belirginini elek mekanizmasıdır. Bu mekanizmada kumaş filtrenin gözeneklerinden geçemeyecek kadar büyük partiküller filtre yüzeyinde yakalanır ve tutulur. Tutulan partiküller filtre yüzeyinde biriktikçe gaz akışının dolambaç şeklindeki doğası sürekli artarken efektif gözenek büyüklüğü düşecektir. Bu yüzden toplama verimi zamanla artacaktır ancak elbette ki filtre boyunca basınç düşümü de artacaktır. Bu yüzden filtrelerin zamanla temizlenmesi çok önemlidir.

Daha az kullanılan ancak çok küçük partiküller için daha önemli diğer filtreleme mekanizması ise partiküllerin kumaş filtre içindeki ipliklere çarpmasıdır. Bu yönteme genellikle elek mekanizmasından ayrılması için derin filtreleme adı verilir. Bu nedenledir ki filtrelerin tek bir dokuma kumaş yüzeyleri değil lif keçe yüzeyleri vardır. Derin filtrelerden geçen havanın yolu son derece dolambaçlıdır. Bu nedenle havanın içindeki partiküller eninde sonunda bir lifle denk gelip filtrede tutulacaktır.

Kumaş filtrelerin toplama verimliliği filtreden geçen havanın hızı ve partikül büyüklüğüyle alakalıdır. Partikül ebadının büyük olduğu durumlarda (beş mikrondan büyük) ataletlerinin büyük olması nedeniyle eninde sonunda bir life denk gelip tutulacaktır. Özellikle filtreden geçen hava hızının büyük olduğu durumlarda ise sekip filtreden kaçma ihtimali de artacaktır.

Filtre kumaşlarını üretmek için çok çeşitli malzemeler mevcuttur. Yün ya da pamuk az masraflı olduklarından sıklıkla kullanılır. Aşındırıcı malzemeler ve daha yüksek çalışma sıcaklıkları için cam elyafı (glass fiber) ya da insan yapımı Polethylen, Polypropylene, Polyamid (nylon), Orlon (akrilik), Dacron (polyester) ve Teflon (PTFE) gibi lifler de kullanılabilir.

Liflerin yapısının yanında her birim alandaki ağırlıklarının da bilinmesi gerekir. Bu bilgi filtrenin kalınlığı, kumaşın yapısı ve geçirgenliği hakkında fikir vermektedir. Filtre yüzeyleri yanmaya karşı dayanırlıklarını arttırmak için işlenmelidir.

Birkaç kıstas göz önünde bulundurulduktan sonra verilen uygulama için filtre seçimi yapılmalıdır. Ortalama parçacık ebadı, daha da önemlisi parçacık ebat aralığı, toplanacak malzemenin doğası ve taşıma havasının sıcaklığı seçilecek kumaşın cinsini belirlemede etmenlerdir. Filtrenin büyüklüğü ise taşınacak havanın en yüksek debisi ve izin verilen en yüksek basınç düşümüyle belirlenir.

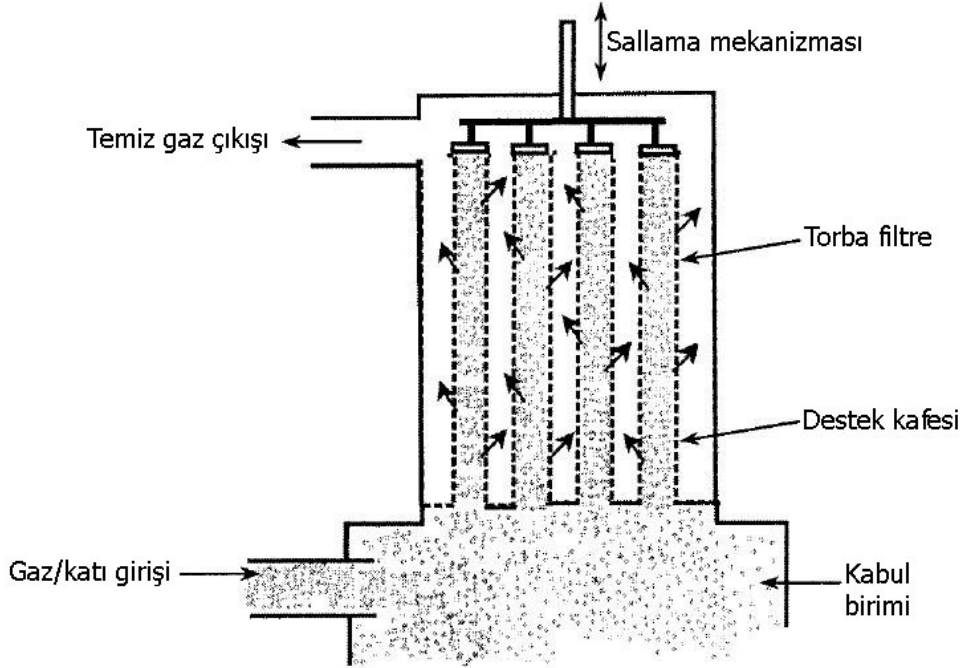
Büyüklik aynı zamanda taşınan hava içindeki katı malzeme oranıyla yani besleme oranıyla da ilgilidir. Bu etmen filtrenin hangi yolla temizleneceği ve ne kadar sürede bir değiştirilmesi gerektiği gibi sorulara da yanıt verir. Bu etmenler düşünülürken tabii ki maliyet de göz önünde bulundurulmalıdır. Filtrenin ham maliyetine normal çalışma maliyetleri ve düzenli bakım maliyetleri de eklenip hesaplar bu duruma göre yapılmalıdır.

Pnömatik taşıma sistemlerinde ince taneli ve tozlu malzemelerin taşınmasında torba tipi filtreler kullanılması neredeyse evrensel biçimde kabul edilmiştir.

Torba tipi filtrelerin yapısı ve temizlenme metotları üreticiden üreticiye değişmektedir. Torbalar genellikle tek tip çapraz kesite sahiptirler ve dairesel ya da kare biçiminde şekillere sahiptirler. Dörtgensel şekilliler belki de en geniş yüzeyli filtrelerdir.

Şekil 3.49'da bir torba tipi filtrenin işleyişi görülmektedir. Şekil 3.49'da görülen torba filtre sürekli çalışan bir sistem için uygun olsa da temizleme yöntemi sadece kesikli çalışan

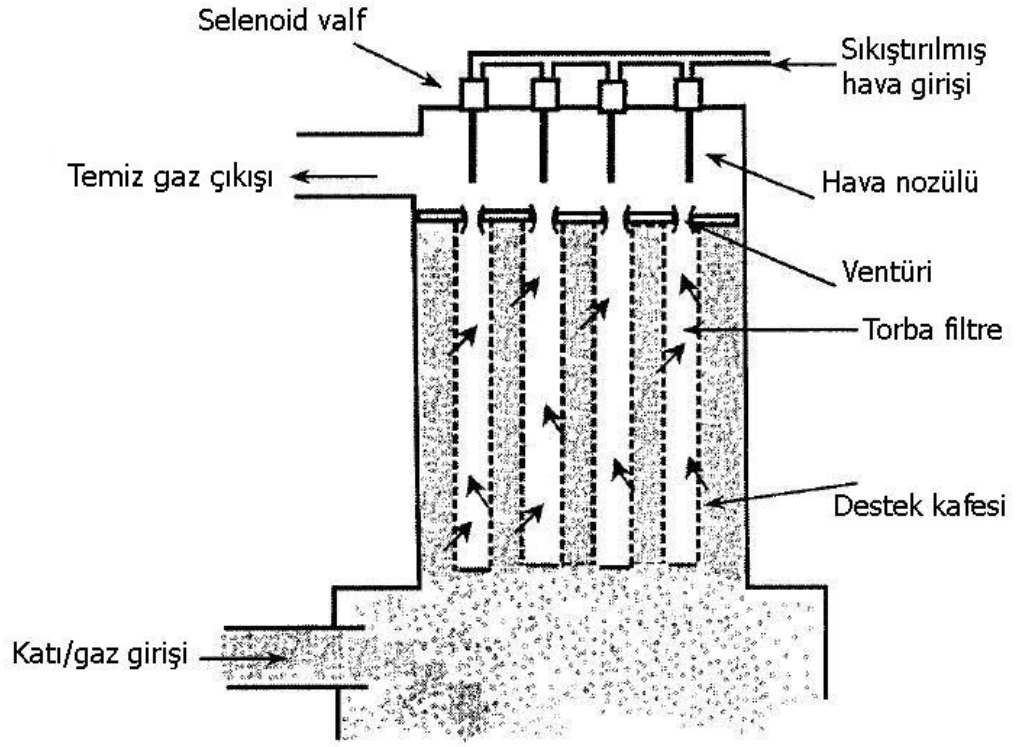
sistemler için uygundur. Bunun nedeni filtrenin içinden hava geçmeye devam ederken sallanarak etkili bir biçimde temizlenememesidir.



Şekil 3.49 Tipik sallamalı torba filtre düzeneği

Gaz-katı karışımının torbanın altından girmesi büyük parçacıkların yerçekimi etkisiyle filtreye gelmesini engeller. Bu büyük parçacıkların torbaya çarpmasının engellenmesi aşınmaya karşı da önemlidir. İnce parçacıklarsa gaz yukarıya doğru hareket ederken torba tarafından tutulur. Bu tip filtreler çok çeşitli ebat, uzunluk, şekil ve düzenlemelerde mevcuttur.

Şekil 3.49'da gösterilen filtre temizleme yöntemi seçilebilecek birçok temizleme yönteminden sadece biridir. Sanayide en çok kullanılan temizleme yöntemlerden biri de ters yönlü hava jetleridir. Bu jetlerle filtreye belli aralıklarla yukarıdan aşağı doğru yüksek basınçla hava püskürtülür. Bu hava jetlerinin çalışması çok kısa sürelidir. Bu sebeple taşıma sistemi sürekli olarak çalışabilir. Püskürtülen havanın basıncı genellikle 80 psi'dir (5.5 bar). Ancak debileri çok düşük olduğundan güç gereksinimleri görece küçüktür. Şekil 3.50'de bu tip bir temizleme mekanizması görülmektedir.



Şekil 3.50 Yüksek basınçlı hava jeti mekanizmalı torba filtre düzeneği

4. BASINÇLI PNÖMATİK KONVEYÖRLERİN TASARIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER

Kullanılacak pnömatik konveyör sisteminin tasarımında genellikle şu üç adım uygulanır:

- Kullanılacak temel taşıma tipinin belirlenmesi.
- Boru hattı tasarımı.
- Kullanılacak tesis bileşenlerinin belirlenmesi.

Bu sıralama kesin değildir ancak eğer tesis bileşenleri seçiminde herhangi bir kısıtlama yoksa tercih edilir ve verilen iş için en ekonomik ve en uygun sistemle sonuçlanır. Eğer dış etmenler belirli ekipmanların kullanılmasını gerektiriyorsa mümkün olan sistemlerin sayısı sınırlanacak ve karar verme aşaması sıralaması değişecektir. (Mills, 1990)

4.1 Sistem Seçimi

Pnömatik taşıma gerçekleştirebilecek çok çeşitli sistemler vardır ve bu sistemlerin çoğunluğu istenen debi ve taşıma mesafesini sağlayabilecek niteliktedir. Bu da sistem seçimini çok zor bir hale getirir.

Taşınamak malzemenin özelliklerinin karar verme aşamalarında çok büyük etkileri vardır. Sistem tipi, besleme mekanizması ve hava sağlayıcı için kişisel tercihler otomatik olarak seçimi sınırlar. Sistemin kurulacağı yerin mekan kısıtlamaları ve tavan yüksekliği de hesaba katılmalıdır. Gelişmekte olan ülkeler için sistemin basitliği de bir gereklilik olabilir. Yatırım maliyeti belki de en önemli etmendir ancak işletme maliyeti, bakım ve güvenilirlik de önemli etmenler arasındadır. Sistem seçimi için hazırlanmış mantık diyagramları kullanılabilir.

Sistem seçiminde iki önemli seçim yapılmalıdır. Birincisi sistemin açık mı yoksa kapalı mı olması gerektiğidir. Taşınamak malzemenin özellikleri bu seçimde büyük ölçüde belirleyicidir. İkinci olarak sistem tipi belirlenmelidir. Burada sistem gereksinimleri ve malzeme özellikleri göz önüne alınmalıdır.

4.2 Boru Hattı Tasarımı

Boru hattı tasarımı, taşıma sistemi tasarımındaki en karmaşık ve kritik adımdır. Tesisin bütün başarısı boru çapının ve hava gereksiniminin doğru belirlenmesine bağlıdır. Boru hattı tasarımı için uygulama ve matematik model güvenilirliği sınırlı olduğundan tasarım işlemi tamamen ya daha önce malzeme ile yapılan deneylerden elde edilen verilere ya da malzemenin taşıma denemelerinin sonuçlarına dayanır.

Seçilen bir iş için boru çapı seçimi ve hava gereksinimleri, teslim basıncı ve hacimsel debi bakımından gereklidir. Hava sağlayıcısının derecelendirilmesi bu verilere dayanır. Bu verilerdeki herhangi bir hata ya aşırı yüklenmiş bir sistemle ya da gerekli debiyi sağlayamayan bir sistemle sonuçlanacaktır.

4.2.1 Taşıma Havaşı Hızı

Gerekli hızın sağlandığından emin olmak için taşıma havası debisinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Havanın sıkıştırılabilir olması ve debinin basınç ve sıcaklıkla değişkenlik göstermesinden ötürü problemler çıkmaktadır. Bir malzemeyi taşımak için gereken “serbest hava” debisi 4.1 denklemiyle belirlenebilir:

$$\dot{V}_0 = \frac{13400 p_i d^2 C_i}{(t_i + 273)} \text{ m}^3/\text{dk} \quad (4.1)$$

Burada;

$\dot{V}_0$ = serbest havanın debisi (m³/dk)

p_i = taşıma hattı giriş hava basıncı (bar)

d = boru hattı çapı (m)

C_i = taşıma hattı giriş hava hızı (m/sn)

t_i = taşıma hattı giriş hava sıcaklığı (°C)’dır.

Denklem şu şekilde de dönüştürülebilir:

$$\dot{V}_0 = 2.23 \frac{p_i d^2 C_i}{(t_i + 273)} \text{ m}^3/\text{sn} \quad (4.2)$$

Burada;

$\dot{V}_0$ = serbest havanın debisi (m³/sn)

p_i = taşıma hattı giriş hava basıncı (kN/m²)’dır.

4.2.1.1 Taşıma Hattı Giriş Hava Hızı

Bu, havanın malzeme besleme noktasındaki yüzeysel hızıdır. Belirlenen bu hızın sağlanması çok önemlidir. Aksi halde boru hattı tıkanabilir. Bu yüzden minimum taşıyabilme hızından yaklaşık %20 fazlasının taşıma hattı giriş hava hızı olarak kullanılması tavsiye edilir. Bu hızdan daha yüksek hızlar ise yüksek güç ve filtreleme gereksinimleri, malzeme debisindeki ters etkiler ve aşındırıcı malzemelerde yüksek erozif aşınma, kırılğan malzemelerde de parçacık bozulması meydana getireceğinden genellikle tavsiye edilmez.

4.2.1.2 Hava Debisi

Bu, malzemenin taşınması için gereken serbest havanın hacimsel debisidir. Hava debisi hesaplanırken pozitif basınçlı sistemlerde besleme mekanizmalarında gerçekleşen hava sızıntıları da hesaba katılmalıdır.

4.2.1.3 Taşıma Hattı Giriş Hava Basıncı

Bu, taşıma hattı başlangıcında yani malzeme besleme noktasındaki hava basıncıdır. Bu değer hesaplanırken besleme mekanizmalarında meydana gelen basınç düşüşleri hesaba katılmalıdır. Malzeme beslemesindeki dalgalanmalar için de muhakkak pay bırakılmalıdır.

4.2.1.4 Taşıma Değişkenlerinin Etkisi

Taşıma hattı giriş hava hızının çok önemli bir parametre olmasından ötürü basınç, hava debisi ve sıcaklık etkenlerinin de hesaba katılması çok önemlidir. Taşıma hattı giriş hava hızı 4.3 veya 4.4 denklemlerinden elde edilebilir:

$$C_i = \frac{(t_i + 273)\dot{V}_0}{13400 p_i d^2} \text{ m/sn} \quad (4.3)$$

$$C_i = \frac{(t_i + 273)\dot{V}_0}{2.23 p_i d^2} \text{ m/sn} \quad (4.4)$$

4.3 denkleminde $\dot{V}_0$ değeri m³/dk, 4.4'de m³/sn'dir. Birinci denklemde p_i değeri bar, ikincide ise kN/m²'dir.

4.3 ve 4.4 denklemlerinden görülmektedir ki eğer basınç artarsa taşıma hattı giriş hava hızı düşecektir. Bununla birlikte, belirlenen hava hacimsel debisi taşıma hattı giriş hava hızını maksimum hava besleme basıncında sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Malzeme besleme oranındaki olası dalgalanmalar da hesaba katılmalıdır.

Pozitif basınçlı taşıma sistemlerinde besleme mekanizmalarında meydana gelebilecek hava sızıntıları da hesaba katılmalıdır. Eğer bu yapılmazda hava debisi gerekenin altında kalır ve bu da boru hattının tıkanmasına neden olur.

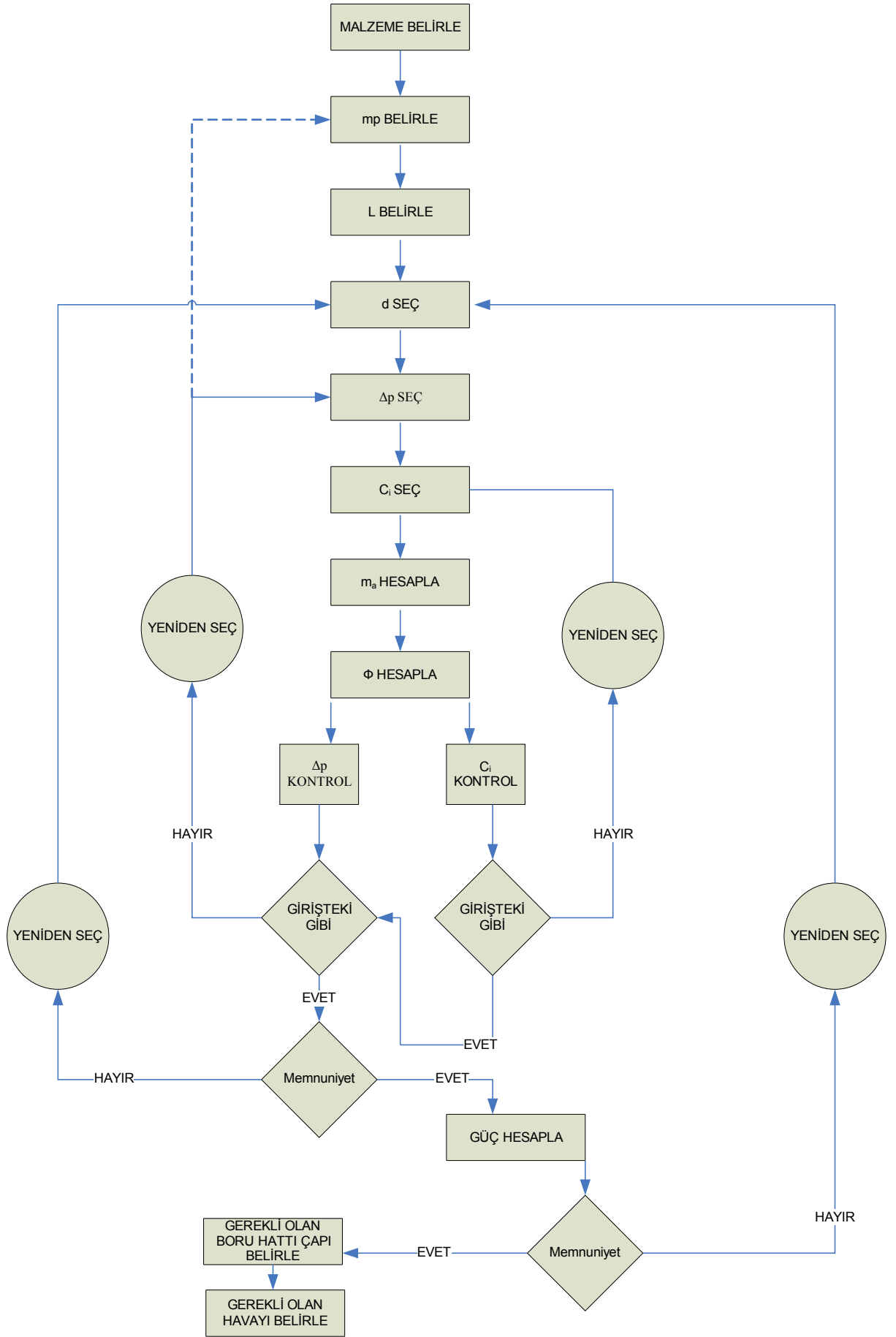
Bu denklemlerden aynı zamanda görülmektedir ki sıcaklık düştüğünde taşıma hattı giriş hava hızı da düşecektir. Belirlenen hava hacimsel debisi taşıma hattı giriş hava hızını en düşük sıcaklıkta sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Soğuk çalışma ve kış koşullarında çalışma da hesaba katılmalıdır.

4.2.2 Mantık Diyagramları

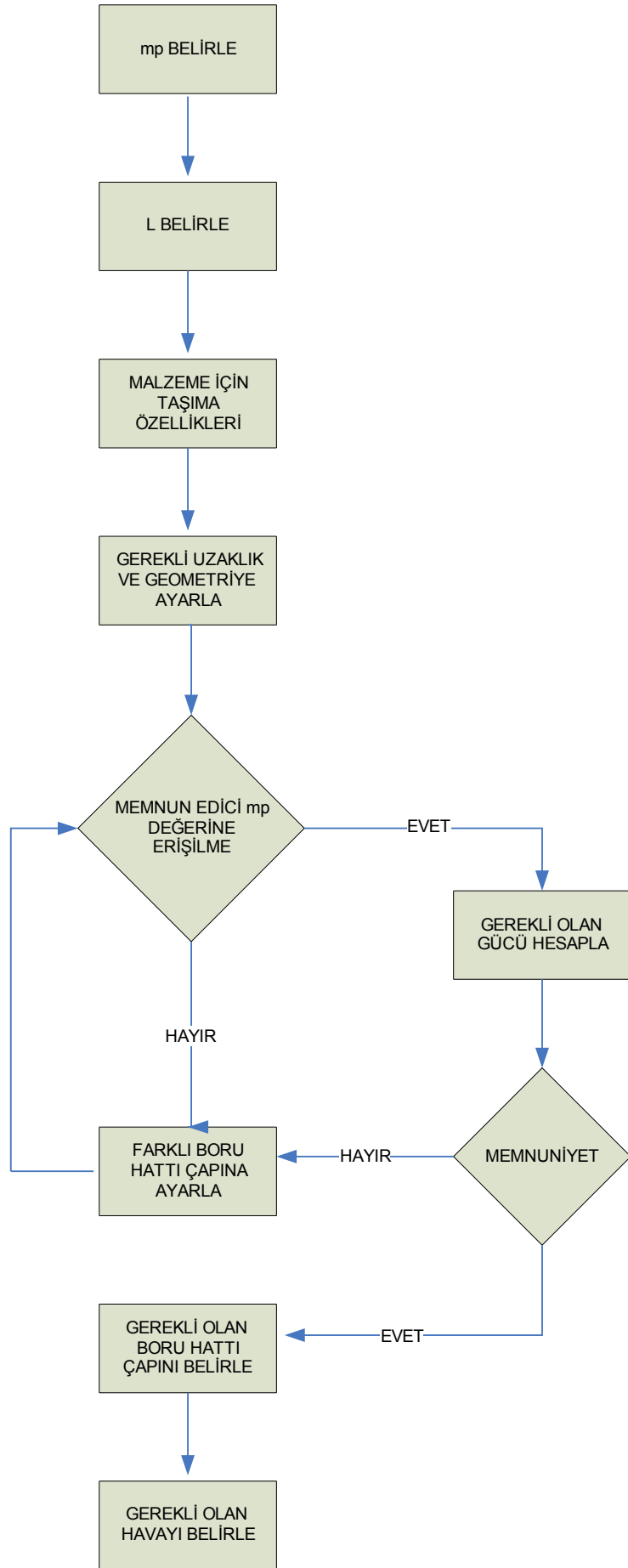
Bir pnömatik taşıma sistemi matematik modeller ile veya var olan test verilerine dayanarak tasarlanabilir. Matematik modeller kullanılacaksa bir emniyet derecesi belirlenmelidir. Test verileri kullanılacaksa ve elde daha önce yapılan deneylerin verileri yoksa bu deneyler gerçekleştirildikten sonra tasarıma geçilmelidir.

Mantık diyagramları yeni bir sistemi tasarlamak için kullanıldığı gibi var olan bir sistemin yeterliliğini saptamak için de kullanılabilir.

Matematik model ve test verileri mantık diyagramları Şekil 4.1 ve 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.1 Matematik model mantık diyagramı (Mills, 1990)



Şekil 4.2 Test verileri mantık diyagramı (Mills, 1990)

Matematik modeller kullanılarak pnömatik taşıma sistemi tasarlanması genellikle tercih edilen bir yöntemdir. Ancak şuan için güvenilir nitelikte olan denklem sayısı sınırlıdır.

Matematik modellerin kullanılmasıyla oluşturulan mantık diyagramı Şekil 4.1’de görülmektedir. Prosedür, sabit parametrelerin belirlenmesiyle başlar, taşıma ve sistem parametreleri için gerekli seçim ve hesaplamalarla devam eder ve en uygun boru çapı ve hava gereksiniminin belirlenmesiyle son bulur.

4.2.2.1 Taşınacak Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Aşağıdaki parametrelerin bazıları ya da tamamının malzeme için belirlenmesi gerekir.

Çizelge 4.1 Malzeme özellikleri tablosu

Malzeme Adı	
Yığın Özellikleri	
Yoğunluk	
Parçacık Ebat Dağılımı	
Serbest Nem	
Geçirgenlik	
Hava Tutulumu	
Parçacık Özellikleri	
Yoğunluk	
Şekil	
Sertlik	
Kırılgenlik	

Örneğin yığın yoğunluklarının, döner valf ve basınçlı tank gibi sistem bileşenlerinin ölçülendirilmesi için bilinmesi gereklidir. Sürüklenme, sürtünme ve kesme kuvvetiyle alakalı özelliklerin, belirli taşıma durumları için taşıma potansiyeli üzerinde etkisi olduğundan bilinmesi gerekir. Hava tutulumunun bilinmesi de minimum taşıma hızının saptanması için bilinmesi gereken bir özelliktir.

4.2.2.2Gerekli Malzeme Kütlesel Debisinin Belirlenmesi

Malzeme kütlesel debisi genellikle sabit saatlik bir oran olarak ya da zaman ortalamalı değer olarak verilir. Sürekli çalışan sistemleri için ikinci değer doğru olandır. Kesikli çalışan sistemler için ortalamanın üstünde bir değer seçilmelidir ki sürekli olmayan çalışmaya izin verilsin.

Eğer sistemin tipi belli ise malzeme kütlesel debisinin uygun değeri seçilebilir. Eğer tasarım araştırması geniş aralıkta boru çapları içeriyorsa basınç düşüm değerleri de geniş aralıkta

değişecektir. Mantık diyagramında bu değerin hesaplanmasına geri dönüşler yapılmıştır. Bunun nedeni tasarım araştırmasında sistem tipinde sürekliden kesikliye bir değişiklik yapılması gerektiğinde bu noktaya geri dönebilmektir.

Tasarımın en önemli hedefi belirlenen debide malzemeyi götürebilecek hava miktarının belirlenmesidir. Bu nedenle besleme mekanizması seçilmesi önemlidir. Besleme mekanizması seçiminde boru hattı genellikle göz ardı edilebilir.

4.2.2.3 Gerekli Taşıma Mesafesinin Belirlenmesi

Taşıma mesafesi birincil öneme sahiptir ama boru hattının yönlendirmesi ve dirseklerin sayısı ve geometrisi de çok önemlidir. Boru hattı uzunluğu, yatay uzunluklar, yukarı yönlü dikey ve aşağı yönlü dikey uzunluklar olarak hesaplanmalıdır. Dirsek geometrisi de dirsek çapının boru çapına oranı olarak değerlendirilir. (D/d)

4.2.2.4 Boru Hattı Çapının Belirlenmesi

Boru hattı çapı birincil değişkenlerden biridir. Basınç düşümleri farklı olan geniş aralıktaki boru çapları genellikle taşıma ihtiyaçlarını karşılar. Öncelikle bir boru çapı seçilmelidir. İlk aşamada bu çap tahmin edilen çap olacaktır. Mantık diyagramı üzerinden hareket edilirken boru çapının değiştirilmesi gereken durumlarda bu aşamaya geri dönülebilir. İlk çap tahmini yapılırken daha önce yapılan deneyler ve bu deneylerden elde edilen grafiklerden yararlanılabilir. Bu sayede daha doğru bir çap tahmini yapılmış olur.

Bu aşamada boru hattı adımlarıyla ilgili herhangi bir hesap yapılmaz. Tasarım yapıldıktan sonra boru hattına ilerleyen mesafelerde adımlar verilebilir.

4.2.2.5 Taşıma Hattı Basınç Düşümü Seçimi

Bir taşıma hattı basınç düşümü değeri seçmek gereklidir. Bu değer tahmini bir değer olacaktır. Seçim vakumlu ya da düşük basınçlı sistemler için yapılacaksa aralık otomatikman daralacaktır. Eğer bu yapılan seçimin değiştirilmesi gerekli olaksa mantık diyagramı takip edilerek bu seçime geri dönülebilir. Bu değerin seçimini kolaylaştıracak grafikler mevcuttur.

4.2.2.6 Taşıma Hattı Giriş Hava Hızının Belirlenmesi

Taşıma hattı giriş hava hızı daha önce gösterilen denklemlerden hesaplanabilir.

4.2.2.7 Hava Kütlesel Debinin Belirlenmesi

Hava kütlesel debisinin belirlenmesi faz yoğunluğunun tespitinin ilk aşamasıdır. Aynı zamanda taşıma hattı giriş hava hızının da kontrol edilmesini sağlar. Hava kütlesel debisi ideal gaz yasası kullanılarak tespit edilebilir.

$$p\dot{V} = \dot{m}_a RT \quad (4.5)$$

Burada;

P = Havanın mutlak basıncı (kN/m²)

$\dot{V}$ = Esas hacimsel debi (m³/sn)

$\dot{m}_a$ = hava kütleli debisi (kg/sn)

R = Karakteristik gaz sabiti (kJ/kgK)

T = Mutlak sıcaklık (K)'tır.

Bu denklemden;

$$\dot{m}_a = \frac{p\dot{V}}{RT} \quad (4.6)$$

çekilebilir.

$$\dot{V} = C \frac{\pi l^2}{4} \quad (4.7)$$

denklemini de yerine yerleştirilirse;

$$\dot{m}_a = \frac{pC\pi l^2}{4RT} \quad (4.8)$$

denklemini elde edilir.

$R= 0.287$ kJ/kgK, $T= 288$ K değerleri alınır ve denklemde yerine yerleştirilirse;

$$\dot{m}_a = 9.5 p_i C_i d^2 \times 10^{-3} \text{ kg/sn} \quad (4.9)$$

denklemini elde edilir.

Burada;

d = seçilen boru hattı çapı,

C_i = seçilen taşıma hattı giriş hava hızı,

p_i = vakumlu sistemler için atmosfer basıncı, pozitif basınçlı sistemler için ise atmosfer basıncı artı basınç düşümüdür. Bu değer $101.3 + 100\Delta p$ (kN/m²) olarak gösterilebilir.

Δp = seçilen basınç düşüm değeridir.

4.2.2.8 Faz Yoğunluğunun Hesaplanması

Faz yoğunluğu, malzeme kütleli debisinin hava kütleli debisine oranıdır.

$$\phi = \frac{\dot{m}_p}{3.6\dot{m}_a} \quad (4.10)$$

Burada;

$\dot{m}_p$ malzeme debisi (ton/saat)

$\dot{m}_a$ hava kütle debisi (kg/sn)'dir.

4.2.2.9 Taşıma Hattı Giriş Hava Hızının Kontrol Edilmesi

Bu kontrol malzeme özelliğine göre yapılır. Çok iyi hava tutma özelliği olan malzemeler için;

$$C_i = 12 \quad (\phi < 10)$$

$$C_i = 33\phi^{-0.45} \quad (10 < \phi < 150)$$

$$C_i = 3.5 \quad (\phi < 150)$$

ve zayıf hava tutma özelliği olan malzemeler için;

$$C_i = 15 \quad (\text{bütün } \phi \text{ değerleri için) olarak alınır.}$$

Bu seçim sonrası önceki aşamalara geri dönülür ve işlemler tekrarlanır.

4.2.2.10 Taşıma Hattı Basınç Düşümünün Kontrol Edilmesi

Bu aşamada tüm ana parametrelere ulaşılmış durumdadır. Bu yüzden seçilen basınç düşümü kontrol edilebilir. Matematik modellerle bulunan değer seçilen değerden farklı ise mantık diyagramında geriye dönülüp gerekli seçimler tekrarlanabilir.

4.2.2.11 Malzeme Kütleli Debisinin Yeniden Belirlenmesi

Bu aşamadan sonra eğer hesaplanan değer seçilen değere yakınsa basınç düşümü seçimi aşamasına geri dönmek yeterli olacaktır. Ancak eğer bu iki değer arasında büyük bir fark varsa malzeme kütleli debisinde değişiklik yapmak gerekebilir. Örneğin ilk tahmin 0.8 bar gibi bir değer ve hesaplanan değer bu değerden iki, üç kat daha büyük bir değer ise sistemin baştan tasarlanması doğru olacaktır.

4.2.2.12 Boru Hattı Çapının Yeniden Belirlenmesi

Basınç düşümü kontrol edildikten sonra bulunan değer tatmin edici değilse farklı bir boru çapı seçip hesapları tekrarlamak gerekir. Örneğin düşük basınçlı bir sistem kullanmak bir

zorunluluksa ve bulunan değer büyük bir değerse boru çapını daha büyük seçip, analizlerin tekrarlanması gerekir.

4.2.2.13Gerekli Gücün Hesaplanması

Sistemde gerekli tüm parametrelerin bulunmasıyla gerekli gücün belirlenmesi mümkündür. Daha kesin sonuçlar için üreticilerin hava götürücü kataloglarından yararlanılabilir.

$$Güç = 2\dot{m}_a RT \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \text{ kW} \quad (4.11)$$

Burada;

$\dot{m}_a$ = Hava kütleli debisi (kg/sn)

R = Karakteristik gaz sabiti (kJ/kgK)

T = Mutlak sıcaklık (K)

p_1 = Hava giriş basıncı (bar)

p_2 = Hava çıkış basıncı (bar)'dır.

$R = 0.287$ ve $T = 288$ alınırse denklem;

$$Güç = 165\dot{m}_a \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \quad (\text{kW})$$

(4.12)

şekline dönüşür.

Sistem türüne göre p_2 ya da p_1 değerlerinden biri mutlaka atmosfer basıncıdır. p_1 ve p_2 basınçları arasındaki fark sistemdeki basınç düşümdür.

4.2.2.14Sistemin Yeniden Değerlendirilmesi

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki aynı taşıma işi, farklı boru hattı çapı ve basınç düşümü değerleriyle sağlanabilmektedir. Mantık diyagramının bu kısmındaki geri dönüş sistemin yeniden değerlendirilip optimum çözümün bulunmasına olanak sağlar.

Geri dönüş noktası boru hattı seçiminin yapıldığı kısımdır. Bu sayede yeni bir çap değeri seçilip farklı basınç düşüş değeri elde edilmesine ve çalışma için daha fazla veri elde edilmesine olanak sağlar.

4.2.2.15Gerekli Boru Hattı apının Belirlenmesi

Tasarım prosesinde son gereklilik boru çapının ve hava sağlayıcı derecesinin belirlenmesidir. Mantık diyagramına göre tam analiz yapıldığında en uygun boru çapına ulaşılacaktır. Eğer boru hattında farklı malzemeler taşınacaksa çap değerleri arasında bir kıyaslama yapılması gerekebilir.

4.2.2.16Hava Gereksiniminin Belirlenmesi

Hacimsel ve kütlesel debi arasındaki bağıntı aşığıdaki denklemle verilir:

$$\dot{V} = 0.816 \dot{m}_a \quad \text{m}^3/\text{sn}$$

(4.13)

Besleme mekanizmalarındaki hava sızıntıları da hesaba katılmalıdır.

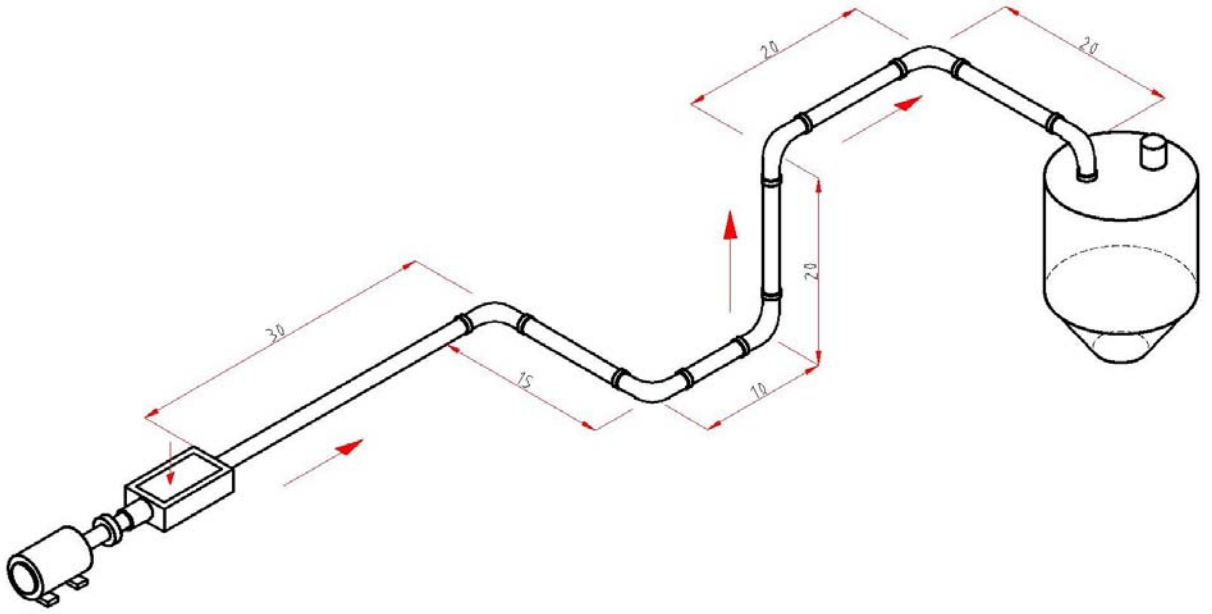
Hava gereksinimin kesin olarak belirlenmesiyle en uygun hava sağlayıcının seçimi gerçekleştirebilir.

4.3 Bileşenlerin Özellikleri

Boru hattı tasarım parametreleri belirlendikten sonra uygun bir sistem seçilmelidir. Bunun anlamı genellikle yatırım maliyeti ve işletme maliyetinin minimum olmasıdır. Dizayn parametrelerinin saptanmasındaki temel amaç da gerekli en düşük güç gereksiniminin saptanmasıdır. Seçilen alışma biçimi ve bileşenlerle birlikte yatırım maliyeti hesaplanabilir. (Mills, 1990)

5. ÖRNEK BASINÇLI GÖTÜRME DONANIMI PROBLEMİ

Soru: Bir fabrika içersinde iki istasyon arasında $Q = 60$ ton/saat debisinde çimento taşınması istenmektedir. Yükün özgül ağırlığı $\gamma_y=3.5$ ton/m³'dür. Gerekli hesaplamaları yaparak pnömatik götürme donanımını tasarlayınız.



Şekil 5.1 Basınçlı çimento taşıma tertibatı şeması

Cevap:

—İndirgenmiş götürme uzunluğu aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$L_{ind} = \sum l_{yat} + \sum l_{düş} + \sum l_{eş_d} + \sum l_{eş_v} \quad (5.1)$$

Burada;

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

$\sum l_{düş}$ = Düşey bölümlerin uzunlukları toplamı,

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

$\sum l_{eş_v} = \text{Vanaların toplam eşdeğer uzunluğudur.}$

90°'lik dirseklerden doğan eşdeğer uzunluk (m) Çizelge 5.1'den alınabilir. Burada R_0 dirseklerin eğrilik yarıçapı ve d_b ise götürme borusunun iç çapıdır.

Çizelge 5.1 Dirsekler için eşdeğer uzunluklar

Malzeme	R_0/d_b oranına göre $L_{eş_d}$ 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 görece düşük götürme hızlarındaki malzemeler için alınır.

Buna göre Çizelge 5.1'den 5 değeri seçilerek;

$$L_{ind} = (30 + 15 + 10 + 20 + 20) + 20 + (6 \cdot 5) = 145m$$

olarak hesaplanabilir.

—Götürme havası akımının hızı aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$v_{hava} = \alpha \sqrt{\gamma_y} + B L_{ind}^2 \quad (\text{m/s}) \quad (5.2)$$

Burada;

α = yük parçacıklarına bağlı ve onların boyutlarıyla artan katsayı,

γ_y = yük parçacıklarının özgül ağırlığı (ton/m^3),

$B = (2-5) \times 10^{-5}$ 'e eşit bir katsayı (kuru pudra malzemelerde düşük değerler alınır),

L_{ind} =Denklem 4.1'den hesaplanan indirgenmiş götürme uzunluğudur.

α değeri Çizelge 5.2'den alınır.

Çizelge 5.2 Yük parçacıklarının boyutlarına göre α katsayısının değerleri

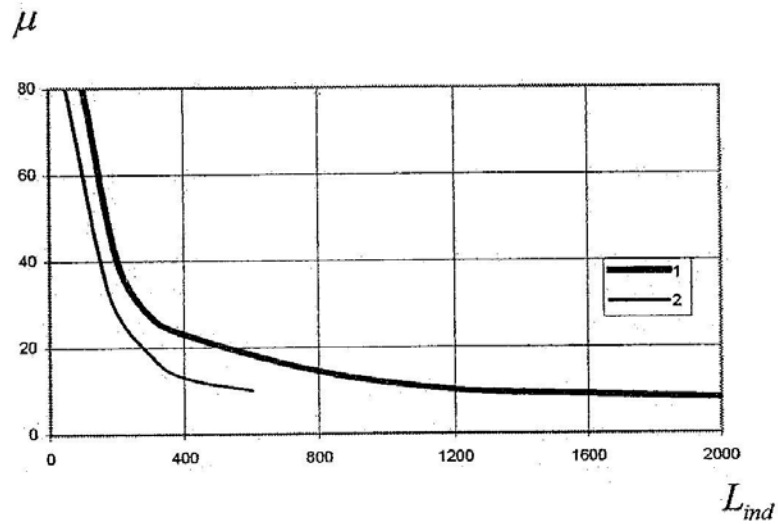
Malzeme	Maksimum parçacık ölçüsü, α'	α
Pudra	1-1000 mikron	10-16
Homojen taneli	1-10 mm	17-20
Küçük parçalı, homojen	10-20 mm	17-22
Orta parçalı, homojen	40-80 mm	22-25

α değeri 12, B değeri $3 \cdot 10^{-5}$ seçilerek hesap yapılırsa;

$$v_{hava} = 12 \cdot \sqrt{3.5} + 3 \cdot 10^{-5} \cdot 145^2 = 23.08 \text{ m/s}$$

bulunur.

—Karışımın ağırlık yığılması Şekil 5.2'deki [1] eğrisinden L_{ind} uzunluğuna göre seçilir.



Şekil 5.2 Karışımın ağırlık yığılmasının indirgenmiş götürme uzunluğuna bağımlılığı
(Spivakovsky ve Dyachkov, 1984)

Buna göre;

$$\mu=50$$

olarak seçilebilir.

—Gerekli hava tüketimi aşağıdaki denklemden hesaplanır;

$$V_{hava} = \frac{Q}{3.6 \gamma_{hava} \mu} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5.3)$$

$$V_{hava} = \frac{Q}{3.6 \gamma_{hava} \mu} = \frac{60}{3.6 \cdot 1.2 \cdot 50} = 0.27 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Burada $\gamma_{hava} = 1.2$ değeri havanın özgül ağırlığı olarak seçilmiştir.

—Götürme borusunun iç çapı aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{\pi v_{hava}}} \quad (\text{m}) \quad (5.4)$$

$$d_b = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.27}{\pi \cdot 23.08}} = 0.122 \quad (\text{m})$$

—Götürme borusunun girişinde gerekli hava basıncı aşağıdaki denklemlerden hesaplanır;

$$P_g = \sqrt{1 + \frac{\beta \cdot \mu \cdot L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} + \frac{H \gamma'_{hava} \mu}{10^4} \quad (5.5)$$

Burada H değeri malzemenin taşınacağı yüksekliktir. β değerini bulmak için S değeri hesaplanmalıdır.

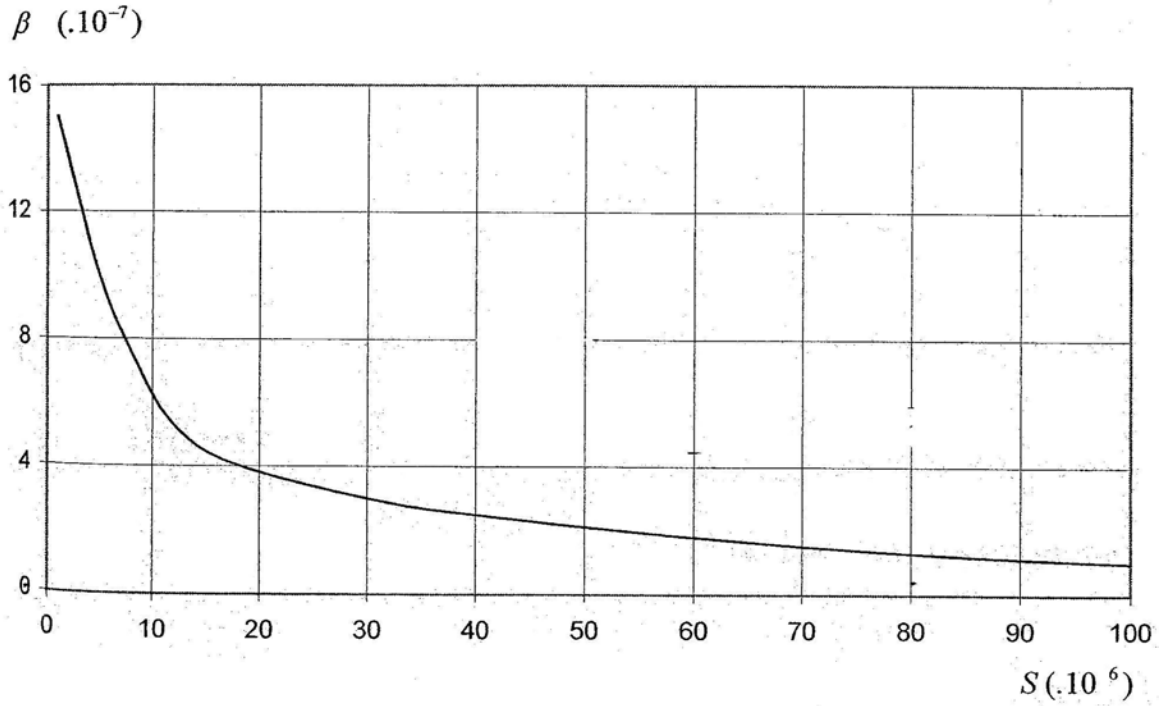
$$S = \frac{\mu \cdot v_{hava}^2 \cdot L_{ind}}{d_b} \quad (5.6)$$

Buna göre;

$$S = \frac{50 \cdot 23.08^2 \cdot 145}{0.122} \approx 32 \cdot 10^6$$

olarak hesaplanır.

Bu değere karşılık gelen β değeri Şekil 5.3'den bulunur.



Şekil 5.3 β katsayısının S değerine bağımlılığı (Spivakovsky ve Dyachkov, 1984)

Buna göre β değeri $3 \cdot 10^{-7}$ olarak alınabilir.

Gerekli hesaplama yapılırsa;

$$P_g = \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 10^{-7} \cdot 50 \cdot 145 \cdot 23.08^2}{0.122}} + \frac{20 \cdot 1.8 \cdot 50}{10^4} \approx 3.5 \text{ ata} = 2.5 \text{ atü}$$

$\gamma_{hava} = 1.8$ değeri borunun düşey bölümünün biçiminden bağımsız olarak alınmıştır.

—Kompresörün ana hava besleme borusunda gerekli hava basıncı aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$P_k = P_w \cdot \alpha + P_{kyp} \quad (\text{ata}) \quad (5.7)$$

Burada;

P_k = körükteki basınç değeri,

P_w = ata olarak çalışma basıncıdır. Bu basınçlı götürücülerde giriş noktasındaki hava basıncıdır.

α = girişlerdeki kayıplar için katsayı (1.15-1.25). Bu katsayının değeri enjektörlerin yapısına bağlıdır.

$P_{kayıp}$ = ana hava besleme borusundaki basınç kayıpları, kompresörler için $P_{kayıp} \approx 1.3$ (kg/cm²) alınabilir.

Buna göre;

$$P_k = 3.5 \cdot 1.2 + 1.3 = 5.5 \text{ ata}$$

olarak hesaplanır.

—Gerekli kompresör kapasitesi aşağıdaki denklemle belirlenir;

$$V_0 = V_{hava} \alpha' = \frac{\pi d_b^2}{4} \cdot V_{hava} \alpha' \cdot 60 \quad (5.8)$$

Burada α' değeri sistemdeki kaçakları hesaba katan bir katsayıdır.

Buna göre;

$$V_0 = \frac{\pi \cdot 0.122^2 \cdot 23.08 \cdot 1.1 \cdot 60}{4} \approx 18 \text{ m}^3/\text{dak}$$

—Gerekli motor gücü aşağıdaki denklemle belirlenir;

$$N_k = \frac{L_k V_o}{60 \cdot 102 \eta} \quad (5.9)$$

Burada;

η = toplam kompresör verimi 0.55-0.75 arasında değişir.

L_k = kompresörün emilen her m³ hava başına yaptığı teorik iştir ve (5.10) denklemiyle hesaplanır.

$$L_k = 23030 \cdot P_0 \cdot \log \frac{P_k}{P_0} \quad (5.10)$$

P_0 = atmosferik basınç, 1 ata olarak alınır.

$$L_k = 23030 \cdot 1 \cdot \log \frac{5.5}{1} \approx 17 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Buna göre;

$$N_k = \frac{17 \cdot 10^3 \cdot 18}{60 \cdot 102 \cdot 0.55} = 91 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

Bu hesaplara göre örneğin Yiğitsan yağsız vidalı hava kompresörlerinden YVK150 tipi kompresör sistemde kullanılabilir. Bu kompresörün özellikleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3 YVK150 tipi kompresörün özellikleri

Tip	Çalışma Basıncı	Kapasite	Motor Gücü		Boyutlar (En x Boy x Yükseklik)	Ağırlık
	bar	m ³ /dak	kW	hp	mm	kg
YVK 150	8	18.8	110	150	1700*2700*2050	3550

6. SONUÇ

Pnömatik taşıma sistemleri özellikle yığın halindeki ve taneli malzemelerin taşınmasında kullanılan en verimli sistemlerdir. Zehirli, kimyasal veya çok tozlu malzemeler bile bu sistemler ile güvenli bir şekilde taşınabilir.

Standartlaştırılmış taşıyıcılarda parça mallar da pnömatik şekilde taşınabilir. Özellikle hastanelerde kullanılan borulu pnömatik tesisler buralarda işleri çok kolaylaştırıp hızlandırmaktadır.

Basınçlı pnömatik konveyörler pnömatik taşıma sistemlerinin en çok kullanılan çeşididir. Doğru tasarlanmış bir basınçlı pnömatik konveyör sistemi ile malzemeler yüzlerce metre öteye ve yüksekliğe verimli ve hızlı bir biçimde taşınabilir.

Basınçlı pnömatik konveyör tasarımında besleme ünitesi ve hava sağlayıcısı seçimi çok önemlidir. Bu iki seçim sistemin normal bir biçimde çalışıp çalışmayacağını belirleyecek en önemli etmenlerdir. Bunun yanında götürme borusu et kalınlığı ve çapı ve dirsek şekilleri de sistemin doğru belirlenmesi gereken diğer etmenleridir.

Yeni bir pnömatik konveyör tasarlamak ya da var olan bir pnömatik konveyörün yeterliliğini saptamak için önceden hazırlanmış mantık diyagramlarından faydalanmalıdır. Bu diyagramlar takip edildiğinde tasarım muhakkak en doğru şekilde sonuçlanacaktır. Pnömatik taşıma sistemlerinin tasarımı üzerine yapılacak araştırma ve deneylerin artmasıyla sistem parametrelerinin daha hızlı ve kesin bir biçimde belirlenmesi mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Agarwal, A.T., (2005), “Theory and Design of Dilute Phase Pneumatic Conveying Systems”, USA.

Alışverişçi, M., “Havalı Götürücüler”, Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notları, İstanbul.

Azeloğlu, C.O., (2006), “Pnömatik İletim Sistemlerinin Tasarımında Çok Kademeli Boru Çapı Uygulamasının Enerji Harcamasına Etkisi”, 12. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Kuşadası, Türkiye.

Gerdemeli, İ., İmrak, C. E. ve Kesikçi, M. K., (2005), “Sürekli Transport Sistemleri”, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Mills, D., Jones, M.G. ve Agarwal, V.K. (2004), Handbook of Pneumatic Conveying Engineering, Marcel Dekker Inc., New York.

Mills, D., (1990), Pneumatic Conveying Design Guide, Butterworths, UK.

Milton, N.K., (1980), Pneumatic Conveying of Bulk Materials, McGraw-Hill, New York.

Polat, Y., (2008), “Vakumlu Pnömatik Konveyörler ve Bunların Tasarım Kriterlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Spivakovsky, A. ve Dyachkov, V., (1984), Götürücüler (Konveyörler) ve İlgili Donatımı, Çev: Cerit, A. M., TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını Yayın No: 105, 2. baskı, Ankara.

Tenger, A., (2006), “Hidrolik ve Pnömatik Götürücülerin Dizayn Parametreleri”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Vural, B., (2005), “Pnömatik Götürücüler ve Tasarımında Etkili Olan Parametrelerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yurdakul, M. ve İpek, A.Ö., (2005), “Malzeme Taşıma Sistemlerinin Seçilmesine Yönelik Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 20, No 2, 171-181.

İNTERNET KAYNAKLARI

<http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.htm>

<http://www.pneumaticconveyors.net/>

<http://www.mmo.org.tr>

http://www.yigitsan.com.tr/yagsiz_vidali_teknik.asp

EKLER

Ek 1	TS 1556: Yığın Halindeki Taneli Maddelerin Pnömatik Taşıma Elemanları Borular
Ek 2	TS 1943: Yığın Halindeki Taneli Maddelerin Sürekli Mekanik Taşıma Ekipmanları – Pnömatik Taşımada Kullanılan Dirseklerin Boyutları
Ek 3	Birim Dönüşümleri

**Ek 1 TS 1556: Yığın Halindeki Taneli Maddelerin Pnömatik Taşıma Ekipmanları
Borular**



TÜRK STANDARDI

TURKISH STANDARD

TS 1556

Mart 1974

ICS

YIĞIN HALİNDEKİ TANELİ MADDELERİN PNÖMATİK TAŞIMA EKİPMANLARI BORULAR

Pneumatic Handling Appliances for Loose Bulk Materials
Piping

TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ
Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA

TÜRK STANDARDLARININ YAYIN HAKLARI SAKLIDIR.

İÇİNDEKİLER

1 – KONU, KAPSAM VE UYGULAMA ALANLARI	1
2 – BOYUTLAR.....	1

YIĞIN HALİNDEKİ TANELİ MADDELERİN PNÖMATİK TAŞIMA EKİPMANLARI BORULAR

1 – KONU, KAPSAM VE UYGULAMA ALANLARI

Bu standard yığın halindeki taneli pnömatik ekipmanlardan hafif, orta ağırlıkta ve ağır serilere giren maddeler için kullanılan boruların ölçülerine dairdir.

2 – BOYUTLAR

D – boru iç çapı

D₁ – boru dış çapı

e – boru et kalınlığı

Ölçüler mm'dir.

çizelge – boruların boyutları

Hafif Seri,			Orta Seri			Sert ve Ağır Seri		
D	D ₁	e	D	D ₁	e	D	D ₁	e
	48,3			48,3			48,3	
	54			54			54	
	57			57			57	
	60,3			60,3			60,3	
66	70	2	64,2	70	2,9	57,4	70	6,3
72,1	76,1	2	70,3	76,1	2,9	63,5	76,1	6,3
84,9	88,9	2	82,5	88,9	3,2	76,3	88,9	6,3
96,4	101,6	2,6	94,4	101,6	3,6	89	101,6	6,3
102,8	108	2,6	100,8	108	3,6	95,4	108	6,3
109,1	114,3	2,6	107,1	114,3	3,6	101,7	114,3	6,3
127,2	133	2,9	125	133	4	120,4	133	6,3
133,9	139,7	2,9	131,7	139,7	4	127,1	139,7	6,3
153,2	159	2,9	150	159	4,5	148,4	159	6,3
162,5	168,3	2,9	159,3	168,3	4,5	155,7	168,3	6,3
187,9	193,7	2,9	182,9	193,7	5,4	177,7	193,7	8
211,9	219,1	3,6	207,3	219,1	5,9	203,1	219,1	8
236,5	244,5	4	231,9	244,5	6,3	228,5	244,5	8
	273,			273			273	
	323,9			323,9			323,9	
	355,6			355,6			355,6	
	368			368			368	

NOT — 1) Önerilen ölçüler siyah rakamlarla gösterilmiştir. (TS 302 I), TS 346 ve TS 416)

1) Standard metninde yer alan bu ve öteki Türk Standardlarına ilişkin atıflar hakkında bilgi arka sayfada verilmiştir.

Bu Standard Metninde Atıf Yapılan Diğer Türk Standardları

Numarası	Tarihi
TS 302	1965/1. Baskı
TS 346	1966/1. Baskı
TS 416	1966/1. Baskı

**Ek 2 TS 1943: Yığın Halindeki Taneli Maddelerin Sürekli Mekanik Taşıma
Ekipmanları – Pnömatik Taşımada Kullanılan Dirseklerin Boyutları**



TÜRK STANDARDI
TURKISH STANDARD

TS 1943

Nisan 1975

ICS

**YIĞIN HALİNDEKİ TANELİ MADDELERİN SÜREKLİ
MEKANİK TAŞIMA EKİPMANLARI-PNÖMATİK TAŞIMADA
KULLANILAN DİRSEKLERİN BOYUTLARI**

Continuous Mechanical Handling Equipment for Loose Bulk
Materials-Dimensions of Bends for Use In Pneumatic Handling

TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ
Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA

TÜRK STANDARDLARININ YAYIN HAKLARI SAKLIDIR.

İÇİNDEKİLER

1 - KONU, KAPSAM VE UYGULAMA.....	1
2 - SEMBOLLER.....	1
3 - HAFİF İŞLERLE İLGİLİ HİZMETLERDE KULLANILACAK BOYUTLAR	1
4 - ORTA AĞIRLIKTAKİ İŞLERLE İLGİLİ HİZMETLERDE KULLANILACAK BOYUTLAR.....	2
5 - AĞIR İŞLEMLERLE İLGİLİ HİZMETLERDE KULLANILACAK BOYUTLAR	3

YIĞIN HALİNDEKİ MADDELERİN SÜREKLİ MEKANİK TAŞIMA EKİPMANLARI – PNÖMATİK TAŞIMADA KULLANILAN DİRSEKLERİN BOYUTLARI

1 - KONU, KAPSAM VE UYGULAMA

Bu standard yığın halindeki taneli maddelerin pnömatik taşımalarında kullanılan, hafif, orta ve ağır olmak üzere üç grup içinde toplanan dirseklerin boyutlarına dairdir.

2 - SEMBOLLER

D = iç çap

R = ortalama eğrilik çapı

D₁ = dış çap

L = düz bağlantı bilezik boyu

3 - HAFİF İŞLERLE İLGİLİ HİZMETLERDE KULLANILACAK BOYUTLAR

D	D ₁	Küçük Yarı Çaplı Eğri ¹⁾	Orta Yarı Çaplı Eğri	Büyük Yarı Çaplı Eğri
		R	R	R
66	70	160	500	1500
72,1	76,1	175	500	
84,9	88,9	207,5	500	
96,4	101,6	235	750	2000
102,8	108	252,5	750	
109,1	114,3	270	750	
127,2	133	311,5	750	
133,9	139,7	330	750	
153,2	159	375	1000	2000
162,5	168,3	390	1000	2000
187,9	193,7	455	1000	2000
211,9	219,1	515	1250	2500
236,5	244,5	580	1250	2500

1) Bu eğrilerin orta çaplı eğri dizileri içinde kullanılabilir.

NOT_ Öncelikli dizileri **SİYAH** yazılmıştır.

4 - ORTA AĞIRLIKTAKİ İŞLERLE İLGİLİ HİZMETLERDE KULLANILACAK BOYUTLAR

D	D1	Küçük Yan Çaplı Eğri	Orta Yarı Çaplı Eğri		Büyük Yan Çaplı Eğri	
		R	R	L	R	L
43,1	48,3	109,5	500	500	1000	500
48,8	54	122,5	500	500	1000	500
51,2	57	130	500	500	1000	500
54,5	60,3	137,5	500	500	1000	500
64,2	70	160	500	500	1000	500
70,3	76,1	175	500	500	1000	500
82,5	88,9	207,5	500	500	1000	500
94,4	101,6	235	750	500	1500	500
100,8	108	252,5	750	500	1500	500
107,1	114,3	270	750	500	1500	500
125	133	311,5	750	500	1500	500
131,7	139,7	330	750	500	1500	500
150	159	375	1000	500	2000	500
159,3	168,3	390	1000	500	2000	500
182,9	193,7	455	1000	500	2000	500
207,3	219,1	515	1250	500	2500	500
231,9	244,5	580	1250	500	2500	500
260,4	273	650	1250	500	2500	500
315,1	323,9	770	1250	500	2500	500
339,6	355,6	850	1250	500	2500	500
352	368	875	1250	500	2500	500

Ölçüler mm olarak verilmiştir.

5 - AĞIR İŞLEMLERLE İLGİLİ HİZMETLERDE KULLANILACAK BOYUTLAR

D	D ₁	Küçük Yan Çaplı Eğri		Orta Yan Çaplı Eğri		Büyük Yan Çaplı Eğri	
		R	L	R	L	R	L
40,2	48,3	120	50	500	500	750	500
44	54	120	50	500	500	750	500
47	57	150	50	500	500	750	500
50,3	60,3	150	50	500	500	750	500
57,4	70	160	50	750	500	1000	500
63,5	76,1	175	50	750	500	1000	500
76,3	88,9	200	50	750	500	1500	500
89	101,6	200	50	750	500	1500	500
95,4	108	200	50	750	500	1500	500
101,7	114,3	215	75	1000	500	1500	500
120,4	133	250	75	1000	500	1500	500
127,1	139,7	265	75	1000	500	1500	500
146,4	159	300	75	1000	500	1500	500
155,7	168,3	320	100	1000	500	1500	500
177,7	193,7	365	100	1000	500	1500	500
203,1	219,1	415	100	1000	500	1500	500
228,5	244,5	465	100	1000	500	1500	500
253	273	550	150	1000	500	1500	500
303,9	323,9	650	150	1500	500	2000	500
335,6	355,6	700	150	1500	500	2000	500

Ölçüler mm olarak verilmiştir

NOT_ İlk sırada yer alan dirsekler 15°, 22,5° ve 30°'dir. Bunlar genellikle döküm malzemelerinden yapılır.

Ek 3 Birim Dönüşümleri

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kN/m}^2 = 760 \text{ mm civa} = 14.7 \text{ lbf/in}^2(\text{psi})$$

$$1 \text{ lbf/in}^2(\text{psi}) = 0.06894 \text{ bar}$$

$$1 \text{ lbf} = 4.448 \text{ N}$$

$$1 \text{ lbf/in}^2 = 6894.76 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ lb} = 0.4536 \text{ kg}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/sn}^2$$

$$1 \text{ kW} = 1.341 \text{ hp} = 1 \text{ kJ/sn}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ m} = 3.281 \text{ ft}$$

$$1 \text{ ft}^3 = 0.02831 \text{ m}^3$$

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 19.06.1984

Doğum yeri İstanbul

Lise 1998-2002 Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi

Lisans 2002-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Programı Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon

Çalıştığı Kurum

2007-2009 Türk Deniz Eğitim Vakfı