

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK ve PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLERİN
DİZAYN PARAMETRELERİ

Makine Müh. Atilla TENGER

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SİMGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLER	3
2.1 Genel Tanım	3
2.2 Pnömatik Götürme Tesislerinde Kullanılan Sistemler	5
2.2.1 Vakumlu Tesisler.....	5
2.2.2 Basıncılı Tesisler	6
2.2.3 Hem Vakumlu Hem de Basıncılı Tesisler	7
2.3 Pnömatik Götürücülerin Ekipmanları.....	8
2.3.1 Alış Birimi	8
2.3.2 Emme Ağızları.....	12
2.3.3 Götürme Boruları.....	13
2.3.4 Yol Değiştirme Vanaları.....	13
2.3.5 Separatörler(Depolar)	14
2.3.6 Toz Toplayıcılar(Filtreler)	14
2.4 Hava Kızakları	15
3. PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLERİN TASARIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER	16
3.1 İndirgenmiş L_{md} Götürme Uzunluğunun Belirlenmesi.....	16
3.2 Götürme Hava Akımının Hızının Hesabı.....	17
3.3 Pnömatik Taşıma Sistemlerinde İki Fazlı Katı-Gaz Akışında Optimum Taşıma Hızının Belirlenmesi	19
3.4 Karışımın Ağırlık Yığılmasının Hesabı	27
3.5 Hava Tüketiminin ve Götürme Borusu İç Çapının Hesabı	29
3.6 Boruda Gerekli Hava Basıncının Belirlenmesi.....	29
3.7 Körük İçin Gerekli Gücün Belirlenmesi	31
4. ÖRNEK PROBLEMLER.....	33
4.1 Basıncılı Bir Hava Götürme Donanımının Hesabı	33
4.2 Emmeli Bir Hava Götürme Donanımının Hesabı	35
5. HİDROLİK GÖTÜRÜCÜLER.....	38
5.1 Genel Tanım	38

5.2	Hidrolik Götürücüler İçin Besleyiciler	42
5.3	Hidrolik Götürücülerde İletim Türleri	44
5.3.1	Yıkamalı İletme	45
5.3.2	Pompa İletme	46
5.3.3	Pompa Borulu İletme Tesisi	46
5.4	Pompa İletmelerde Doldurma Tertibatları	48
5.5	Setli İletmelerde Yükleme Tertibatı	48
5.6	Enjektörlü Doldurma Tertibatı	49
5.7	Ayırıcı Tertibatlar	50
5.8	Boru Tesisatları	51
6.	HİDROLİK GÖTÜRÜCÜLERİN TASARIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER	53
6.1	Hacimsel Yükleme	53
6.2	İletme Hızı	53
6.3	Gerekli Boru Çapı	54
6.4	Çökme ve Yüzme Hızı	54
6.5	Basınç Kaybı	55
6.6	Tahrik Gücü	56
7.	ÖRNEK PROBLEM: HİDROLİK İLETME TESİSİNİN HESABI	59
8.	SONUÇLAR	60
	KAYNAKLAR	61
	ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGE LİSTESİ

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

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Pnömatik çimento taşıma sisteminin şematik resmi	5
Şekil 2.2	Vakumlu pnömatik sistem.....	6
Şekil 2.3	Basınçlı pnömatik sistem.....	7
Şekil 2.4	Buhar kazanından külün uzaklaştırılması.....	8
Şekil 2.5	Sabit helezon türü havalı besleyici.....	9
Şekil 2.6	Otomatik kumandalı ve tepeden boşaltmalı havalı hücreli besleyici	10
Şekil 2.7	Hücre tekerlekli vana.....	12
Şekil 2.8	Emme ağzı.....	12
Şekil 2.9	Tablalı ve iki yönlü bir yol değiştirme vanası.....	13
Şekil 2.10	Hava kızağı.....	15
Şekil 3.1	Pnömatik taşıma sistemi için faz diyagramı.....	21
Şekil 3.2	Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi	24
	(küçük çapa sahip parçacıklar için)	24
Şekil 3.3	Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (küçük çapa sahip parçacıklar için)	24
Şekil 3.4	Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi ($m=1$ ve $D=10$)	25
Şekil 3.5	Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (büyük çapa sahip parçacıklar için)	26
Şekil 3.6	Taşıma hızının katı-gaz kütleli debi oranı ile değişimi	26
	(büyük çapa sahip parçacıklar)	26
Şekil 3.7	Taşıma hızının boru çapı ile değişimi ($m=1$ ve $d_p=1000$ mm).....	26
Şekil 3.8	Karışımın ağırlık yığılmasının indirgenmiş götürme uzunluğuna bağımlılığını.....	28
	gösteren grafik	28
Şekil 3.9	Karışımın yığılmasının (tahıl için) indirgenmiş götürme uzunluğuna	
	bağımlılığını gösteren grafik	28
Şekil 3.10	β katsayısının S değerine bağımlılığını gösteren grafik	30
Şekil 4.1	Bir havalı çimento donanımının hesap şeması	33
Şekil 5.1	Hidrolik taşıma sisteminin temel unsurları	38
Şekil 5.2	Termik santralin kazan dairesinden cüruf ve kül uzaklaştırılması için kullanılan	
	hidrolik donanımın düzenlenmesi	40
Şekil 5.3	Beton pompalama donanımı.....	41
Şekil 5.4	Maden ocağında kullanılan hidrolik götürücü.....	41
Şekil 5.5	Beton santralinde kullanılan hidrolik götürücü	42
Şekil 5.6	Tek kademeli santrifüj karışım pompası	43
Şekil 5.7	Hidrolik yükseltici.....	44
Şekil 5.8	Hidrolik götürücülerin iletme sistemleri	45
Şekil 5.9	Hidrolik oluk (şematik)	45
Şekil 5.10	Hidrolik borulu götürücü.....	45
Şekil 5.11	Hidrolik bir iletme tesisinin şeması.....	47
Şekil 5.12	Pompalı iletme tesisinde yükleme ve iletme tertibatının şeması.....	48
Şekil 5.13	Basınç kaplı bir doldurma tertibatının şeması.....	49
Şekil 5.14	Bir enjektörlü yükleme tertibatının şeması	50
Şekil 5.15	Bir merkezkaç ayırıcısının şeması(Hidrosiklon).....	51

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Pnömatik iletme tesisleri için (VDI 2329'a göre) takribi işletme değerleri	4
Çizelge 2.2 Sabit havalı helezon türü besleyicilerin karakteristikleri (Çimento için).....	9
Çizelge 2.3 Havalı hücreli besleyicilerin karakteristikleri (Çimento için).....	11
Çizelge 3.1 Dirsekler için eşdeğer uzunluklar (m)	17
Çizelge 3.2 Yük parçacıklarının boyutlarına göre α katsayısının değerleri.....	19
Çizelge 6.1 Dökme malzemelerin eğim açıları	57
Çizelge 6.2 Boru kesici ve 90 ⁰ dirsek için eşdeğer uzunluklar(yaklaşık değerler)	58
Çizelge 6.3 İletme hızı (Su hızı)	58

ÖNSÖZ

Gelişen sanayilerde üretim zamanı ve kalite rekabetin en önemli unsurlarındandır. Bu sebepten dolayı malzeme taşıma sistemleri de sürekli gelişmektedir.

Bu çalışmada, geniş bir yelpazesi olan malzeme taşıma sistemlerinden pnömatik ve hidrolik konveyörler ele alınmıştır.

Tezimin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Sayın Prof. Mustafa Alışverişçi'ye teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Sanayide her aşamada malın taşınması sırasında konveyörler önemli bir yer tutmaktadır. Taşıma maliyetinin düşük tutulabilmesi için, taşıma işlemini daha verimli şekilde gerçekleştirebilecek düzenler ön plana çıkmaktadırlar. Özellikle de hafif ve ince taneli malzemelerin taşınmasında kullanılan pnömatik ve hidrolik konveyörlerin kullanılma alanları hızla artmaktadır.

Bu çalışmada; küçük taneli ya da toz biçimindeki malların, bir gaz aracılığı ile taşınmasını konu alan pnömatik konveyörler ve pnömatik konveyörlere göre daha az güce gereksinim gösteren, ilke açısından pnömatik taşıma ile benzerlik gösteren, ancak taşıyıcı olarak gaz yerine su kullanan ve su teminindeki güçlüklerden dolayı daha az kullanılan hidrolik konveyörler ele alınacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik taşıma, pnömatik taşıma, malzeme taşıma, dizayn parametreleri

ABSTRACT

Conveyors are being used in every process of handling in the industry. For decreasing handling cost, new effective mechanisms created. Hydraulic and pneumatic conveyors are used especially for carrying light and tiny particles.

This work is concerning pneumatic conveyors which transport tiny particles or powder products by gas and hydraulic conveyors that need less power than the pneumatic conveyors, principally similar with pneumatic transporting but uses water instead of gas. Hydraulic conveyors are less used because of the hardness of supplying water.

Key Words: Hydraulic handling, pneumatic handling, material handling, design parameters

1. GİRİŞ

Günümüzde, verimli bir biçimde düzenlenmiş etkin taşıma sistemleri, modern endüstriyel tesislerin temel yapı taşlarından biri konumundadır. Kömür madeni, termik santral, makine imalat fabrikası, tekstil fabrikası, vb. sektörlerde malzeme iletim hızını ve kalitesini arttırmak amacıyla, malzeme götürücülerinin çeşitlenmesi kaçınılmaz bir olgu haline aldı.

Taşıma maliyetinin düşük tutulabilmesi için, taşıma işlemini daha verimli şekilde gerçekleştirebilecek düzenler ön plana çıkmaktadırlar. Özellikle de hafif ve ince taneli malzemelerin taşınmasında kullanılan pnömatik ve hidrolik götürücülerin kullanılma alanları hızla artmaktadır. Pnömatik ve hidrolik götürücüler, özellikle kâğıt ve gıda sanayilerinde, çimento fabrikalarında, döküm fırınlarında, maden alanında ve tahılların taşınması işlemlerinde, tek veya kombine olarak kullanılmaktadır.

Pnömatik götürücüler, granül ve toz malzemenin ya da özel taşıyıcılar içinde birim yüklerin kayıpsız ve çevre kirliliğine sebep olmaksızın taşınmasında, mekanik transport götürücülerinin kullanılmasının ekonomik olmadığı alanlarda, otomasyonun istendiği hallerde, yatay ve düşey 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 çalıştıklarından, nakledilen malzemeyi dış tesirlerden korurlar, malzeme kayıpları yoktur ve çalışma ortamını kirlilemezler. Pnömatik götürücü sistemleri ile malzemeler, inert gaz veya kuru hava kullanılarak taşınırlar. Malzemeler bu sistemlerde bir boru içerisinde iletilir. İletilen malzeme, boru ve diğer ekipmanlarda tıkanıklıklara sebep olmamalı, malzemenin özellikleri bozulmamalıdır. Bu nedenle, pnömatik sistemin seçilmesi aşamasında taşınacak malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Havalı taşıma sistemleri endüstride çok geniş alanda kullanılırlar. Kimya, gıda, ağaç, inşaat sanayileri, demiryolu, denizyolu taşımacılığı pnömatik transportun başlıca kullanıldığı alanlardır.

Hidrolik transport, dökme malzemelerin borular veya tekneler (kanallar) boyunca bir su akımı içinde taşınmasıdır. Malzeme ve suyun oluşturduğu karışıma genellikle hamur adı verilir. Basıncılı transport düzenlerinde hamur, seviyeler arasındaki doğal farkın yarattığı basınçla ya da pompalar veya hidrolik yükselticiler gibi hidrolik düzenekler aracılığıyla; tekneler içinde ise aşağı doğru eğimden doğan ağırlık akımı ile hareket eder.

Hidrolik transport makineleri, endüstrinin birçok dalında ve inşaat işlerinde kullanılırlar. Elektrik santrallerinde kül ve cürufun kazan dairesinden uzaklaştırılmasında, maden ocaklarında cevherin aynadan koparılması ve taşınmasında ve cevher zenginleştirme tesislerinde cürufun uzaklaştırılmasında sık sık hidrolik konveyörler kullanılırlar. Ayrıca büyük binaların yapımında da hidrolik mekanik yöntemler geniş kullanım alanı bulurlar.

Hidrolik transport makinelerinin genel üstünlükleri olarak; yüksek kapasite ve önemli taşıma uzunluğu, oldukça basit donatım ve genellikle düşük işletme maliyetleri ve ayrıca taşıma sırasında maden cüruflarının ıslatılması ve tane biçimine getirilmesi, soğutma, yıkama ve yoğunlaştırma gibi belli teknolojik süreçlerin uygulanma olasılıkları sayılabilir.

Kapalı işletmelerde çalışırken artan hava nemliliği, alçak dış sıcaklıklarda suyun donması, suyla taşınacak malzemelerin sınırlı olması ve yüksek su tüketimi hidrolik transport makinelerinin başlıca sakıncalarını oluştururlar.

2. PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLER

2.1 Genel Tanım

Pnömatik götürücülerin çalışma prensibine göre, dökme mallar, oluşturulan hava akımı içerisinde askıya alınarak birkaç santimetreden binlerce metreye kadar olan uzaklıklarda düşey veya yatay düzlemde taşınmalıdırlar. Pnömatik götürücü sistemlerinin kapasiteleri, materyalin yığma yoğunluğuna, götürücü sisteminin enerjisine, götürücünün çapına ve uzunluğuna bağlıdır.

Pnömatik götürücülerin, transport şekli olarak tercih edilmesini sağlayan avantajları şunlardır:

- Malzeme sızdırmaz borularla taşındığından, kayıplar önlenir. Bu üstünlük özellikle tozlu malzemeler için önemlidir.
- Hava borusu istenilen doğrultuda bükülebilir, bu da yer ekonomisi sağlaması bakımından önemlidir.
- Hareketli parçaların azlığı nedeniyle az sayıda işletme personeli gerektirir ve ayrıca taşıma işlemi otomasyonu da kolaydır.
- Sürekli ve sessiz çalışır. Hava akımının yüksek hızı sayesinde iş kabiliyeti, mekanik sistemlerden çok fazladır.
- Gemi ambarları gibi yaklaşılması zor yerlerden bile tane mallar pnömatik yolla kolaylıkla emilir.
- Yatırım maliyeti düşüktür.
- Sıcak maddelerin taşınmasına uygundur.
- Çok fazla bakım ve kontrol gerektirmez.
- Taşınan malzemeleri çevre etkilerinden korumakla birlikte, çevre kirliliğine de bir etkisi bulunmamaktadır.

Pnömatik götürücülerin başlıca dezavantajları ise;

- Yüksek güç tüketimi.
- Aşındırıcı malların taşınması durumunda konveyörün hızlı yıpranması.
- Islak, topaklanan ve yapışkan malzemeyi taşımaya uygun olmamaları.
- Bazı malların, taşıma borusu duvarına çarpmasından dolayı malların bozulması.

Borularda hava akımının oluşturulmasında gereken basınç düşümünü sağlamak için, pnömatik götürücülerde, şu yöntemler geliştirilmiştir:

- Vakumlu (emme) tesisler
- Basıncılı tesisler
- Hem vakumlu hem de basıncılı tesisler

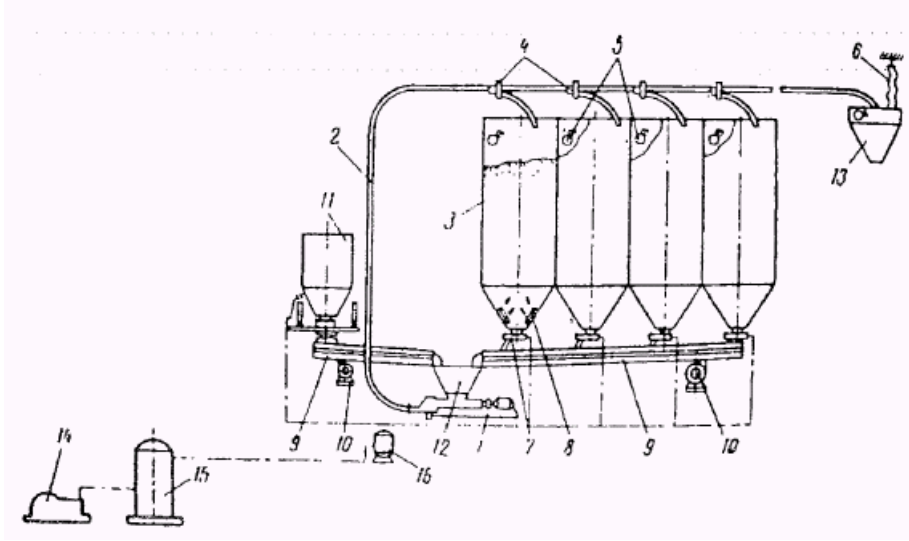
Taşınacak olan malzeme, vakumlu tesislerde düşük yoğunluktaki hava içinde, basıncılı tesislerde basıncılı bir hava akımı içerisinde götürülür. Birleşik tesislerde ise, taşınacak olan malzeme, önce kısmi vakum altında çalışan birinci bölümde daha sonra da basıncılı hava içinde çalışan ikinci bölümde taşınır.

Pnömatik konveyörler, çeşitli şekil ve ölçülerdeki partikülleri kapalı bir sistem içinde taşımayı temin ederler. Nakledilen malzeme, dış etkilerden tamamıyla korunduğundan dolayı, taşıma sırasında malzeme kayıpları veya çalışma ortamının kirlenmesi gibi olumsuzluklarla karşılaşmaz. Borular içerisinde kuru hava veya inert gaz kullanılarak taşınan malzeme oluşturulan düzenekteki ekipmanlara zarar vermemeli, borular içerisinde herhangi bir tıkanıklığa yol açmamalıdır. Bu sebepten dolayı, pnömatik sistemin oluşturulması sırasında taşınacak malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri göz önüne alınmalı, en etkin düzenek oluşturulmalıdır.

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

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

Aşağıdaki çimento silosunun şematik görünüşü pnömatik götürücülere iyi bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2.1 Pnömatik çimento taşıma sisteminin şematik resmi

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

2.2 Pnömatik Götürme Tesislerinde Kullanılan Sistemler

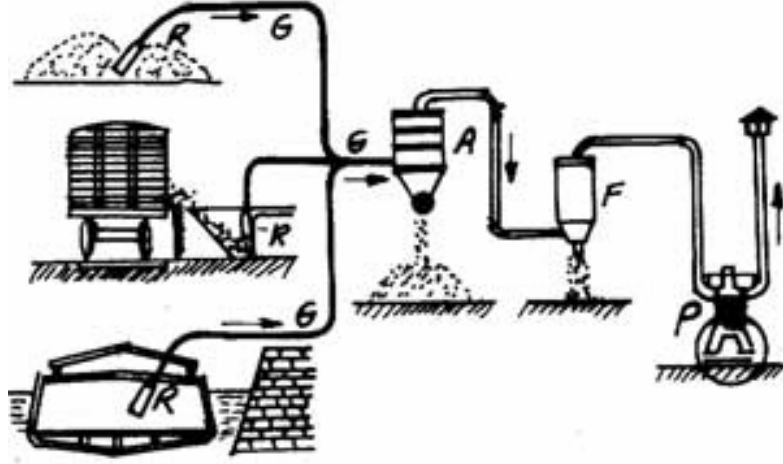
2.2.1 Vakumlu Tesisler

Taşınacak malın farklı yerlerden merkezi bir depoya iletilmesi istendiği durumlarda vakumlu pnömatik götürücü tesislerinin tercih edilmesi olumlu sonuçlar doğurur.

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 2.2 Vakumlu pnömatik sistem

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi gemiden, vagonlardan veya karadaki yığından emilen (R) taneli malzemeler, borulardan (G) geçerek siklona (A) gelir. Burada genişleme nedeniyle hava akımının hızı azaldığından, taneli malzemeler kabın dibine birikir. Siklondan çıkan hava önce filtreden (F) geçirilir, burada havadaki toz ayrıştırılır ve hava vakum pompasından (P) dışarı atılır.

Bu tip sistemlerde emmeyi sağlayan vakum pompası sistemin sonundadır. Taşımanın yapıldığı borularda delikler veya çatlaklar varsa bile sistem vakumlu olduğu için taşınan maddeler dışarıya sızamazlar. Vakumlu pnömatik götürücülerde taşıma uzunluğu sınırlıdır. Bunun sebebi ise hava kaynaklarının ulaşabildiği alçak basınçla ilgilidir.

2.2.2 Basınçlı Tesisler

Basınçlı götürücülerde hava yoğunluğu yüksek olduğu için basınç düşümü daha da 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. Basınçlı götürücüler başlıca ağır pudra ve kütleli malzemeleri taşımakta kullanılırlar. Atmosfer basıncının üstündeki basınçta çalışan bir sistemde boruya giriş, bir hücreli besleyici yada özel tasarımı diferansiyel adımlı bir vidalı (helezon) besleyici ve bir hücre tamburu aracılığıyla olur. Basınçlı götürücüler başlıca ağır pudra ve kütleli malzemeleri taşımakta kullanılırlar.

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

Basınçlı 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.

Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi, kompresörün (P) dışarıdan emerek sıkıştırdığı hava, malı sürükleyerek istenilen siklona (A) iletir. Burada genleşme etkisiyle mallar havadan ayrılır ve taşıyıcı hava siklonun üstündeki bacadan dışarıya atılır.



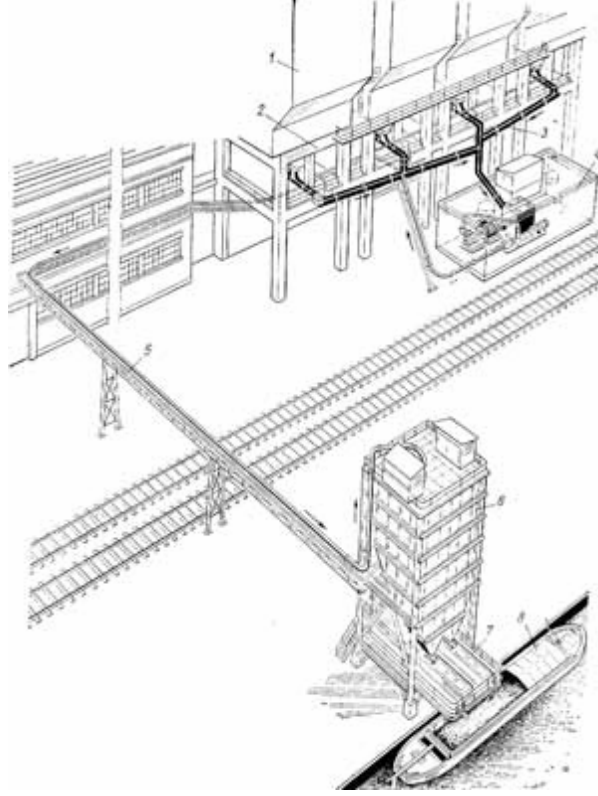
Şekil 2.3 Basınçlı pnömatik sistem

[4]

2.2.3 Hem Vakumlu Hem de Basınçlı Tesisler

Bu tip sistemlerde öncelikle mallar vakum hattı ile belli 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.



Şekil 2.4 Buhar kazanından külün uzaklaştırılması

[4]

Şekil 2.4’de bir buhar kazanından külün uzaklaştırılması için kurulmuş olan vakumlu ve basınçlı sistemle çalışan pnömatik götürücü görülmektedir.

2.3 Pnömatik Götürücülerin Ekipmanları

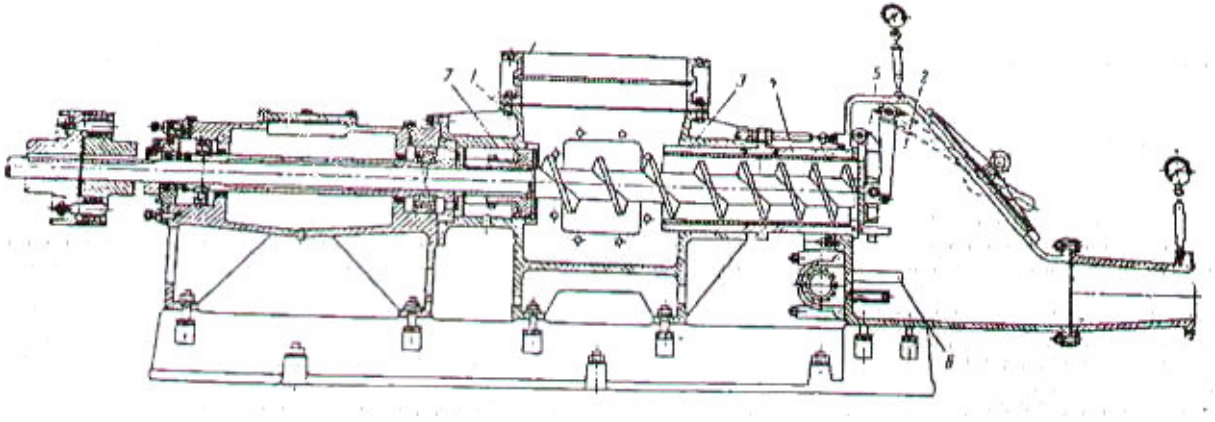
Hava akımıyla mal taşıyan bir pnömatik götürücü; alış birimi, emme ağzı, götürme borusu, yol değiştirme vanası, separator ve toz toplayıcı, kompresör sistemi ve otomatik kontrol sisteminden oluşur.

2.3.1 Alış Birimi

Alış birimi, sisteme malzemenin yüklendiği birimdir. Basınçlı sistemlerde hücreli besleyiciler veya vidalı (helezon) besleyiciler, vakumlu sistemlerde ise giriş ağızları kullanılır.

Çimento ve diğer pudra malzemelerin taşınmasında sabit helezon besleyiciler (Şekil 2.5) yoğun şekilde kullanılırlar. Malzeme besleme haznesinden karıştırma odasına, bir silindirik gövde içerisinde motor tahrikiyle 1000 d/d’ya kadar çıkabilen hızlarda dönen helezon dişli

vasıtasıyla iletilir. Helezon dışlinin vida adımı, ters yönde hava geçişini önlemek ve yükün sıkışmasını sağlamak amacıyla besleme haznesine yaklaştıkça azalır.



Şekil 2.5 Sabit helezon türü havalı besleyici

[5]

Karıştırma odasının alt bölümü iki sıralı boru ağızlarını içerir. Basıncı hava bunlar aracılığıyla karıştırma odasına girer. Hava, oda içinde malzemeyi gevşetir ve onu çıkış ağızına götüren boru içinde taşır.

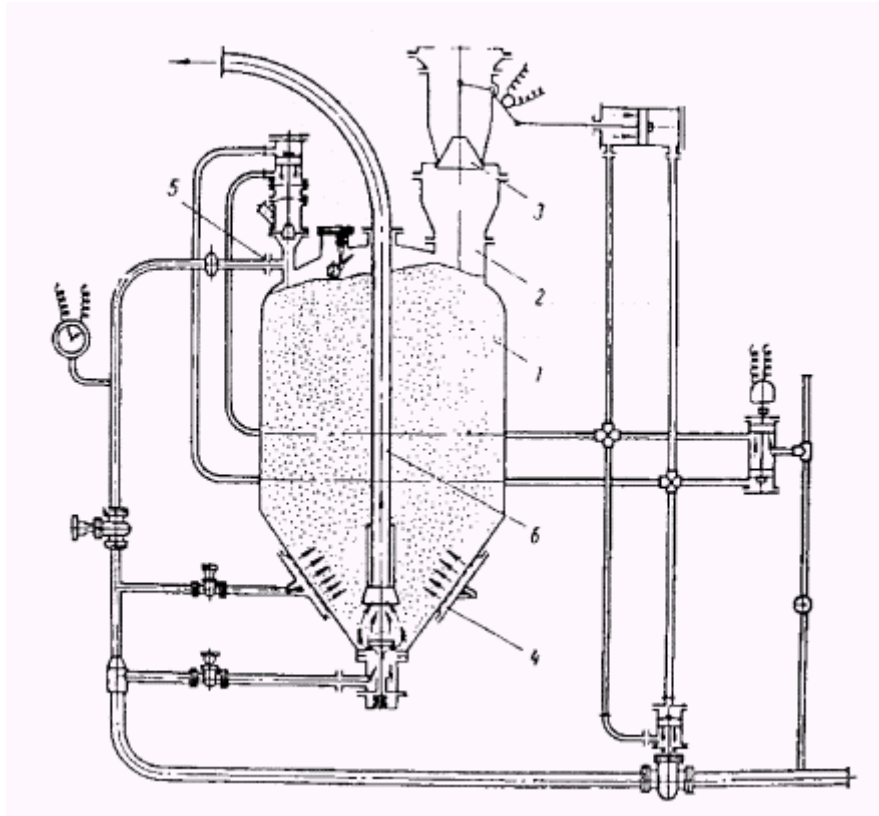
Yataklar, helezonu taşıyan odadan toz girişini önleyen keçelerle korunurlar. Özel salmastra kutuları ya da yağ keçeleri havanın dar bir çevresel yarık boyunca yataklardan helezonlara doğru akmasını sağlar.

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

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

Helezon besleyiciler sürekli beslemeyi sağlarlar ve küçük bir yükseklikleri vardır. Ancak, helezonu döndürmek için önemli ölçüde güç tüketirler. Bir diğer sakınca da helezon ve gömleklerin hızlı aşınmasıdır. Demiryolu vagonları genellikle tekerlekli helezonlu besleyicilerle boşaltılırlar. Palangalardan asılmış besleyiciler ise deniz taşıyıcılarını boşaltmakta kullanılırlar. Hareketli besleyiciler, bakımın karmaşık ve güç tüketiminin yüksek olması nedeniyle, seyrek olarak kullanılırlar.

Hücreli besleyiciler çimento yada hava akımı içinde süspansiyon halindeki diğer pudra malzemelerin bir havalı götürücünün borusuna yüklenmesinde kullanılırlar. Şekil 2.6'da görülen hücreli besleyicide malzeme 2 no'lu delikten beslenir. Delik, konik vana vasıtasıyla tam sızdırmazlık durumuna getirilmiştir. Kap doldurulup atmosferden yalıtıldığı zaman hava kabın alt bölümüne geçer. Daha sonra kabın alt bölümünden verilen basınçlı hava vasıtasıyla malzeme havalandırılıp boşaltma ucuna gitmek üzere boruya girmeye zorlanır. Aynı zamanda, karşı basıncı oluşturmak üzere 5 no'lu vanadan da hava verilir.



Şekil 2.6 Otomatik kumandalı ve tepeden boşaltmalı havalı hücreli besleyici [5]

Hücreli besleyiciler iki gruba ayrılırlar:

- Malzemeyi haznenin dibinden boşaltanlar
- Malzemeyi haznenin tepesinden boşaltanlar

Hücreli besleyicilerin helezon türüne göre belli başlı üstünlükleri şunlardır:

- Güç tüketimi düşüktür.
- Çabuk aşınan parçaları yoktur.
- Aşındırıcı malzemeleri taşımaya elverişlidirler.

- Malzemelerin uzak mesafelere taşındığı ve dolayısıyla basınç düşümünün büyük olduğu durumlarda kullanılırlar. (Çizelge 2.3)

Çizelge 2.3 Havalı hücreli besleyicilerin karakteristikleri (Çimento için)

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

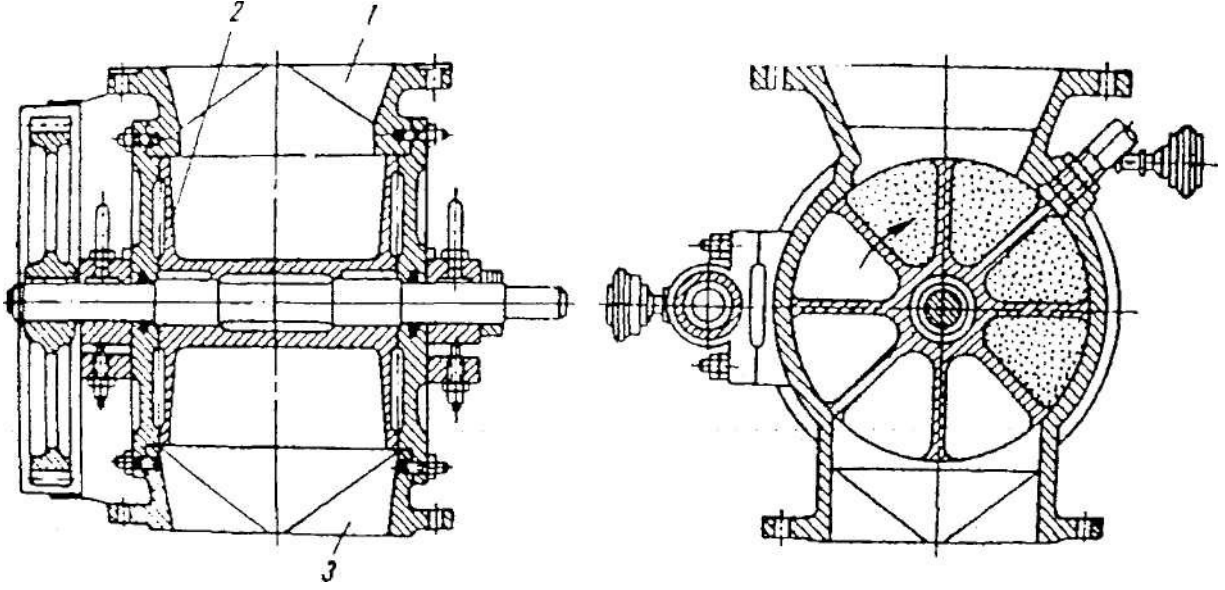
Hücreli besleyicilerin başlıca sakıncaları büyük yükseklikleri ile kesikli çalışmalarıdır. Çift hücreli besleyicilerde, malzemenin sırasıyla almaşık hücrelerden alınması nedeniyle kesikli çalışmaya rastlanmaz.

Emme ağızları, malzemeyi emmeli götürücülerin borusuna yüklemek için kullanılırlar.

Yüksek basınçlı götürücülerde çapları 50-250 mm arasında değişen dikişsiz çelik borular kullanılır. Alçak ve orta basınçlı götürücülerde ise 1-3 mm arasında et kalınlığı olan daha hafif borular kullanılır.

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

Şekil 2.7 bir hücre tekerlekli vanayı göstermektedir. Malzeme, 1 no'lu huniyle döner tekerleğin hücrelerine beslenir ve buradan, ağırlığın etkisi altında basınç borusuna ya da yükleme haznesine düşer. Tekerlek, yuvasına hassas olarak alıştırılmıştır ve bu, havanın sızmasını önler.

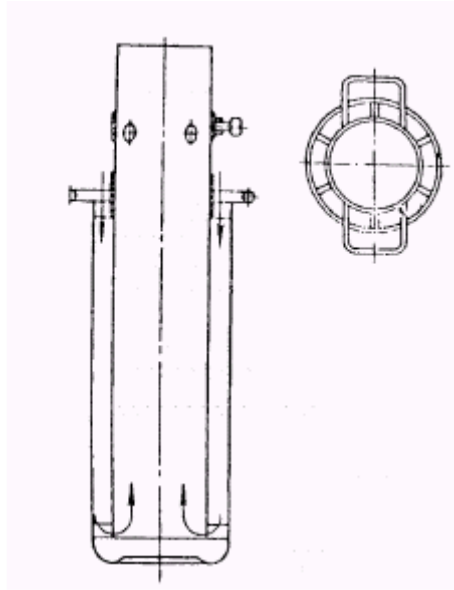


Şekil 2.7 Hücre tekerlekli vana

[8]

2.3.2 Emme Ağzları

Malzemeyi, emmeli götürücülerin borusuna götürmek için kullanılırlar. Bükülebilir hortumla bağlı olan ağız (Şekil 2.8) götürülecek dökme malın içine gömülüdür. Basınç düşümü bir hava akımı yaratır ve bunun bir bölümü malzeme içinden geçer; diğer bölümü ise bir kontrol vanası aracılığıyla ağız içindeki çevresel yarıktan emilir. Malzeme içinden geçen hava onun parçacıklarını kaldırır ve borunun içine sürükler.



Şekil 2.8 Emme ağızı

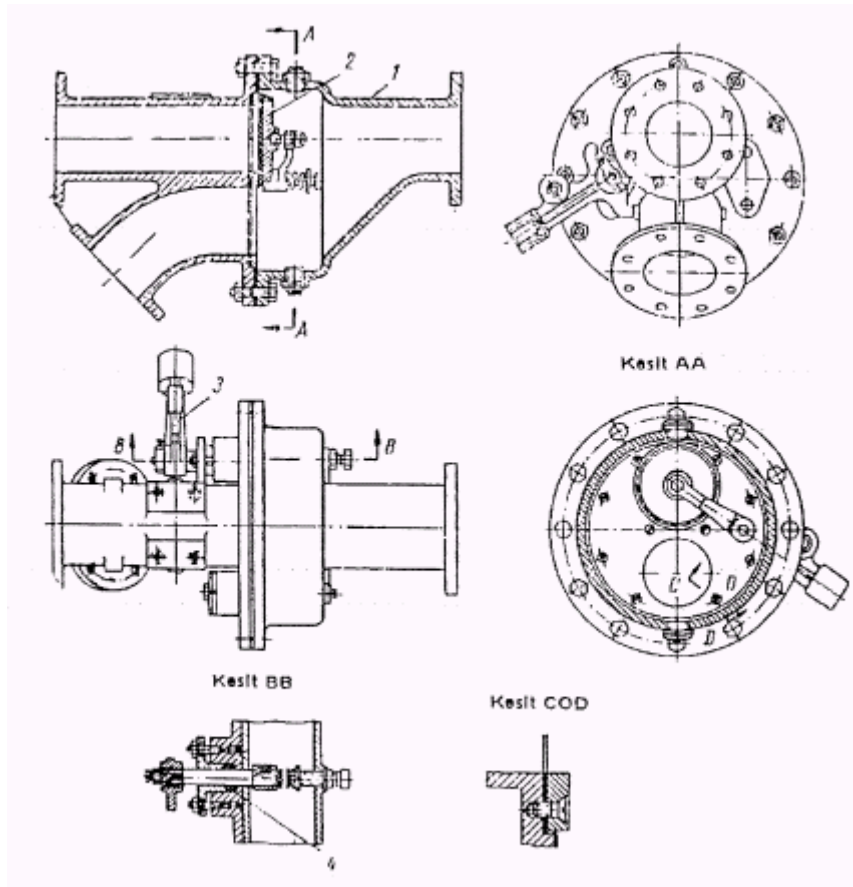
[8]

2.3.3 Götürme Boruları

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

2.3.4 Yol Değiştirme Vanaları

Bir yol değiştirme vanası (Şekil 2.9) pompalama birimini boru kollarından birine bağlamaya yarar. Dökme demirden (1) vana gövdesi (3) koluyla çalıştırılan (2) tablalı vanasını taşır. Tabla (4) salmastra kutusu sökülerek dışarı alınır. Vana el ile ya da uzaktan kumandalı olabilir. Sonuncu türde iş yapan hava akımı, elektro-pnömatik bir süpürmeli vana ile bir hava silindirine (deposuna) basılır ve bu silindirin pistonu vananın durumunu düzenler.



Şekil 2.9 Tablalı ve iki yönlü bir yol değiştirme vanası

[8]

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

2.3.5 Separatörler (Depolar)

Malzemeyi sürükleyen hava separatöre girer. Burada hız kaybı, akım yönünün değişmesi ve santrifüj kuvvet etkisiyle malzeme hava akımından ayrılır. Karışım, separatördeki ani genişleme nedeniyle hız kaybeder. Separatör, genellikle bombeli uçları olan silindirik bir kap olup dipteki bir kapaktan prosesi kesintiye uğratmadan separatörü boşaltmak mümkündür.

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

2.3.6 Toz Toplayıcılar (Filtreler)

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

Bunlar:

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

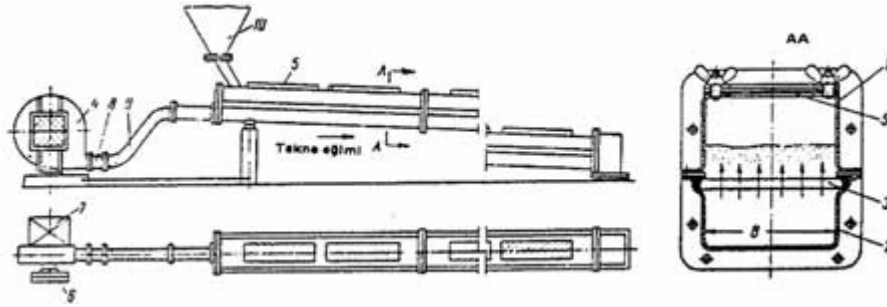
gibi olabilirler.

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

2.4 Hava Kızakları

Hava kızakları kuru ve kolay havalanabilir pudra malzemelerin taşınmasında kullanılır. Basit tasarım, düşük maliyet, hareketli ve aşınan parçaların yokluğu, düşük güç tüketimi, yüksek taşıma kapasitesi, küçük genel ölçüler, basit montaj ve ayarlama, bu tür konveyörlerin başlıca üstünlüklerini oluşturur. Bir çok durumda, hava kızakları helezon yada titreşimli konveyörlere tercih edilirler. Ancak pnömomatik hava kızakları sadece çimento, kül ve kömür tozu gibi kuru iletim malları için uygundur. Nemli, yapışkan, pişen ve toprak oluşturan tebeşir ve alçı gibi malların taşınmasına uygun değildir. Teknenin zorunlu aşağıya eğimi ve taşınan malzemenin yapısından gelen sınırlamalar, bu tip konveyörlerin en önemli sakıncalarıdır.

Pnömomatik hava kızaklarını aşağıya eğimli olarak döşemek gerekmektedir. Eğim derecesi genellikle % 6 ilâ 12 arasında olmaktadır. Kızaklara alttan üflenerek hava miktarı, kızığın eğimine, cinsine ve iletilen maddenin niteliğine bağlıdır.



Şekil 2.10 Hava kızıağı

[4]

3. PNÖMATİK GÖTÜRÜCÜLERİN TASARIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER

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

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

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

3.1 İndirgenmiş L_{md} Götürme Uzunluğunun Belirlenmesi

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

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

$$L_{\text{ing}} = \sum l_{\text{yat}} + \sum l_{\text{düş}} + \sum l_{e_{\text{ş}_d}} + \sum l_{e_{\text{ş}_v}} \quad (3.1)$$

Burada;

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

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

$$\sum l_{e_{\text{ş}_d}} = \text{Dirseklerin toplam eşdeğer uzunluğu}$$

$\sum l_{eşv}$ = Vanaların toplam eşdeğer uzunluğu

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

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

Çizelge 3.1 Dirsekler için eşdeğer uzunluklar (m)

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

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

3.2 Götürme Hava Akımının Hızının Hesabı

Götürme hava akımının v_{hava} hızı yeterli derecede yüksek olduğu zaman malzeme boru boyunca kararlı biçimde hareket eder. Hava hızının izin verilebilir minimum (kritik) hızdan çok fazla yüksek olması gereksiz güç tüketimi anlamına gelir. İşletme koşullarındaki hafif değişimler boruyu tıkayarak dar boğazlar meydana getireceğinden, kritik hız, belli bir sınırın altına da düşmemelidir.

Götürme havası akımının hızı belli ölçüde, kaldırma hızına bağlıdır. Kaldırma hızı (v_k), parçacığın ağırlığını dengelemeye yeterli kaldırma kuvvetini yaratan hava akımı hızı tarafından belirlenir. Separatörlerin ve santrifüj toz toplayıcıların (siklonların) tasarım parametreleri hesaplanırken bu kaldırma hızı dikkate alınmalıdır.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Çizelge 3.2 Yük parçacıklarının boyutlarına göre α katsayısının değerleri

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

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

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

Dökme malzeme taşınan pnömatik taşıma sistemlerde en önemli parametrelerden biri de taşıma hızıdır. Bu çalışmada, optimum taşıma hızını etkileyen parametreler ve literatürde kullanılan eşitlikler gözden geçirilmiş ve tasarım aşamasında optimum taşıma hızının belirlenebilmesi için kullanılacak bir eşitlik tavsiye edilmiştir.

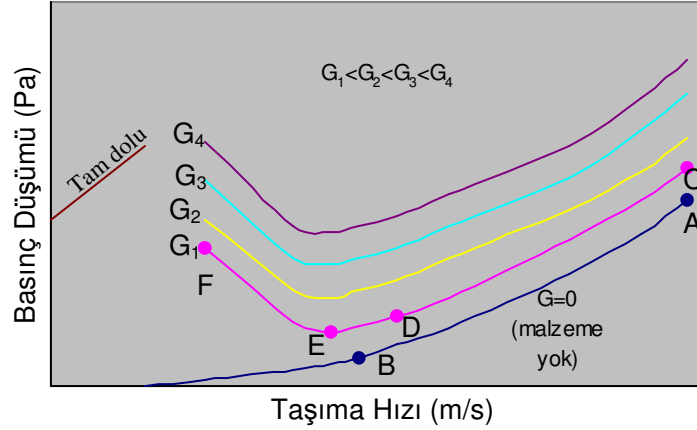
Taşıma hızının düşük olması, enerji kullanımını, boru ve dökme malzeme aşınmalarını azaltmaktadır. Ancak, taşıma hızının çok azaltılması, sistemde taşınan dökme malzemenin boru tabanına toplanarak tabanda kalıcı bir tabaka oluşturmasına, yatay boruda veya kanalda tıkanmalara ve basınç düşümünün artmasına neden olmaktadır.

Taşıma hızının yüksek olması, basınç düşümünü arttırdığı gibi taşıma işlemi esnasında daha fazla enerji kullanılmasına ve parçacıkların yüksek hızda hareket etmeleri nedeniyle boru sisteminin ve parçacıkların aşınmasına da neden olmaktadır. Dolayısıyla pnömatik taşıma sistemlerinde taşıma hızı, optimum taşıma hızı adı verilen bir hızın altına düşürülmemelidir.

Yatay boruda katı-gaz akışının yapısı genel olarak en iyi şekilde, Şekil 3.1'de anlatılır. Bu diyagram, parçacık kütleli debisi (G) bir parametre olmak üzere boru sistemindeki basınç düşümünün taşıma hızına bağlı değişimini gösteren faz diyagramıdır. Şekil 3.1'de AB eğrisi ($G=0$) yatay boruda sadece gaz olması durumunda oluşan basınç düşümünü göstermektedir. Bu durumda; görüldüğü gibi taşıma hızı arttıkça basınç düşümü de artmaktadır. Sistemde gaz ile birlikte parçacık olduğu durumda ise; yüksek taşıma hızlarında (C-D arasında) sistemde türbülans etkisinden dolayı parçacıklar boru içerisinde gaz ile birlikte hareket etmekte ve bu aralıkta boru tabanında parçacık toplanması meydana gelmemektedir. Bu aralıkta taşıma hızının azaltılmasıyla basınç düşümü de azalmaktadır.

Taşıma hızı D noktasındaki değerinden aşağıya düşürüldüğünde yer çekiminin etkisiyle boru tabanında parçacık konsantrasyonu artmaya başlamaktadır. Katı parçacıkların çaplarının aynı olmaması durumunda boru tabanında hareket eden parçacıklar genellikle büyük çapa sahip olan parçacıklardır. Taşıma hızı daha da düşürüldüğünde, boru tabanında hareket eden parçacıklar sürtünmenin ve parçacık-parçacık çarpışmalarının etkisiyle enerjilerini kaybederek boru tabanında durmakta ve birikmeye başlayarak kalıcı tabaka oluşturmaktadır.

Katı parçacıklarının boru tabanında durarak birikmeye başladığı taşıma hızına optimum taşıma hızı denilmektedir. Taşıma hızının optimum taşıma hızının üzerinde tutulması durumunda sistemde boru tabanında parçacık birikmesi meydana gelmemektedir. Yapılan deneysel çalışmalar pnömatik taşıma sisteminde minimum basınç düşümünün optimum taşıma hızı civarında olduğunu göstermektedir. Birim uzunluktaki minimum basınç düşümü E noktasında görülür. Eğer taşıma hızı E' den F' ye doğru azaltılmaya devam edilirse basınç düşümü hızlı bir şekilde artmakta olup bu aralıkta taşıma hızının azaltılmasıyla birlikte boru tabanında biriken parçacıkların oluşturduğu tabakanın kalınlığı artmaktadır. Biriken parçacık tabakasının artmasına paralel olarak gaz-parçacık akışının olduğu kesit alanı da daralmaktadır. F noktasında boru kesiti tamamen parçacık ile kaplı olup boru tıkanmış durumdadır.



Şekil 3.1 Pnömatik taşıma sistemi için faz diyagramı

[8]

Bugüne kadar teorik olarak optimum taşıma hızının hesaplanabileceği genel bir yöntem ve eşitlik geliştirilememiştir. Çünkü pnömatik taşıma sistemlerinde optimum taşıma hızı; parçacık ve boru çapı, gaz ve parçacık yoğunluğu, parçacık şekli, parçacığın kütleli debisi ve parçacık serbest düşme hızı gibi birçok faktöre bağlıdır. Pnömatik taşıma yöntemiyle taşınan dökme malzeme için kabul edilebilir optimum taşıma hızının belirlenmesi genellikle deneysel sonuçlara ve tasarımcının deneyimlerine dayanmaktadır.

Pnömatik taşıma sistemlerinin ekonomik olabilmesi için yatay boru boyunca parçacık çökmesinin oluşmaması gerekmektedir. Birçok araştırmacı, belirli bir malzeme için optimum taşıma hızının ve basınç düşümünün hesaplanması konusunda en iyi yöntemin; taşıma sisteminin bir prototipi üzerinde deney yapılması olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, bu yöntem oldukça zaman alıcı ve uğraş gerektiren bir yoldur. Taşıma hızına etki eden parametreler incelendiğinde, optimum taşıma hızının belirlenebilmesi için birtakım formüller elde edilebilmiştir.

Büyük çapa sahip parçacıkların (0.7 mm' den 6 mm' ye kadar) optimum taşıma hızları U_t için, Rizk, şu eşitliği geliştirmiştir.

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

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

diğerlerinin, optimum taşıma hızının hesaplanması ile ilgili olarak yaptıkları detaylı deneysel çalışmalar sonunda şu eşitlik önerilmiştir:

$$U_t = 13,069.m^{1/3} .(W_{fo} / 10)^{1,75/3} .(\sigma_g / \sigma_\delta)^{1/6} .(g.D)^{1,25/6} \quad (3.5)$$

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

$$U_t = 9,6581.m^{1/3} .(W_{fo})^{2,3/3} .(\sigma_g / \sigma_p)^{0,55/3} .(g.D)^{0,7/6} \quad (3.6)$$

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

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

Burada; d'_p = kritik parçacık çapıdır.

Parçacık çapı $\langle d'_p$ ise, optimum taşıma hızı;

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

Parçacık çapı $\rangle d'_p$ ise, optimum taşıma hızı;

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

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Schade, tarafından yapılmış olan deneysel çalışmalar sonucunda ise optimum taşıma hızı;

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

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

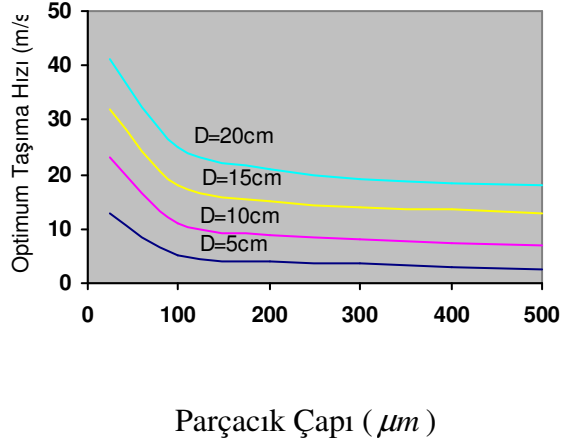
İki fazlı akışta basınç düşümünün en az olduğu noktadaki optimum taşıma hızı ile ilgili olarak Ochi tarafından yapılan deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

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

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

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

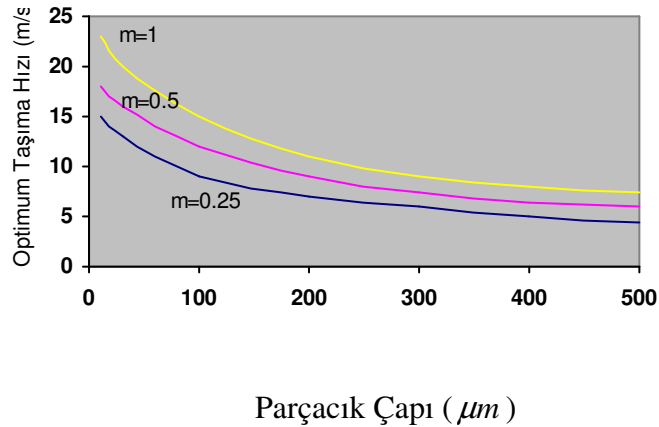
Küçük çapa sahip parçacıklar için taşıma hızının pnömatik sistemde taşınan parçacıkların ortalama çapı ile değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu diyagram Matsumoto'nun çalışmaları sonucunda oluşturulmuştur. Grafikten de görüldüğü gibi küçük çapa sahip parçacıklarda parçacık çapı küçüldükçe parçacıkların boru tabanında birikmemesi için gerekli olan optimum taşıma hızı artmaktadır. Bu davranış, büyüklükleri mikron mertebesinde olan parçacıkların akışın türbülans şiddetini azaltması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Taşıma hızındaki aşırı artış özellikle 100 mm'den daha küçük çapa sahip parçacıklar için dikkat çekmektedir. Bu durum ortalama çapları 100 mm'den küçük parçacıkların pnömatik olarak taşınması esnasında çok fazla enerji harcanması gerektiği anlamına gelmektedir. Aynı grafikte; boru çapının optimum taşıma hızına olan etkisi de görülmektedir. Pnömatik taşıma sisteminde kullanılan boru çapının artması ile gerekli optimum taşıma hızı da artmaktadır.



Şekil 3.2 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi [8]
(küçük çapa sahip parçacıklar için)

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

Pnömatik taşıma sisteminden geçen katı miktarı arttıkça parçacıkları taşımak için sistemden geçen gazın hızının artırılması zorunludur. Aksi takdirde parçacıklar boru tabanında birikmekte ve bu da sistemde enerji kaybına neden olmaktadır.

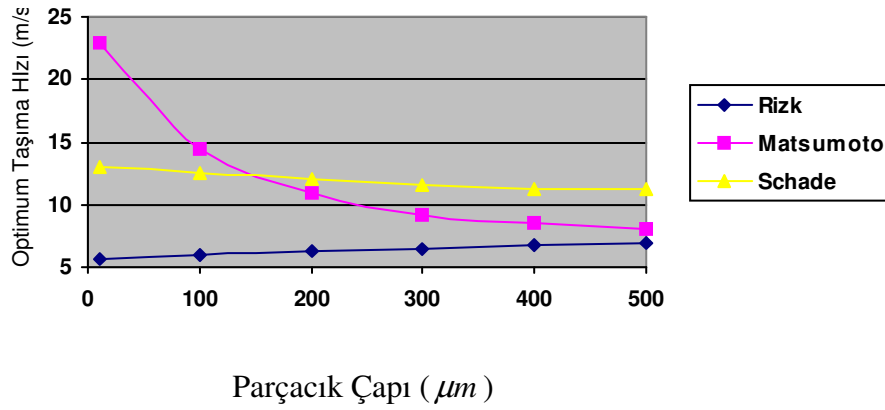


Şekil 3.3 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (küçük çapa sahip parçacıklar için)

Şekil 3.4'de küçük çapa sahip parçacıklar için Matsumoto, Rizk ve Schade'nin çalışmalarından alınan eşitlikler karşılaştırılmıştır. Diyagramdan da anlaşılacağı gibi her bir çalışma diğerinden farklılık göstermektedir. Örneğin pnömatik taşıma sisteminde kullanılan parçacıkların ortalama çapının $50 \mu m$ olduğu durum göz önüne alındığında Matsumoto

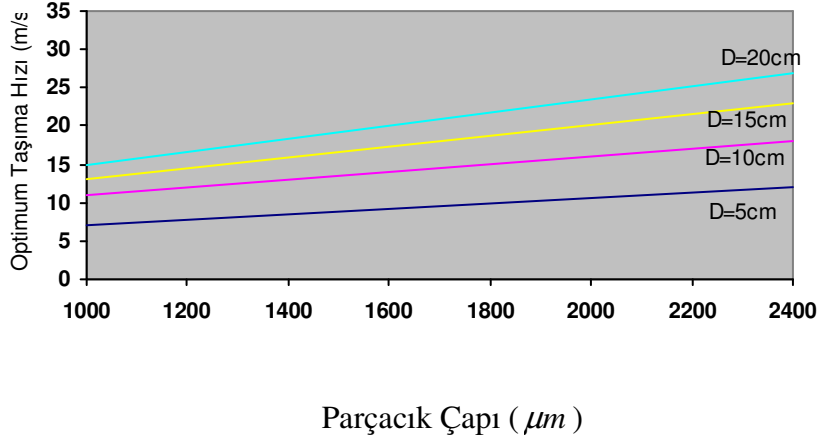
eşitliğinin kullanılması durumunda optimum taşıma hızı 18 m/s, Rizk eşitliği kullanıldığında 6 m/s ve Schade eşitliği kullanıldığında ise 12 m/s olarak hesaplanmaktadır.

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



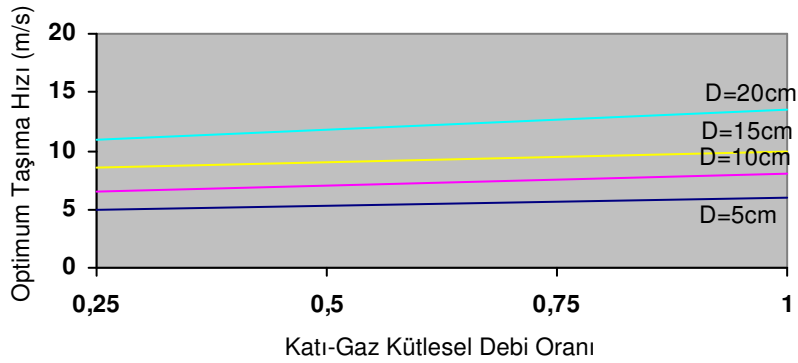
Şekil 3.4 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi ($m=1$ ve $D=10$)

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

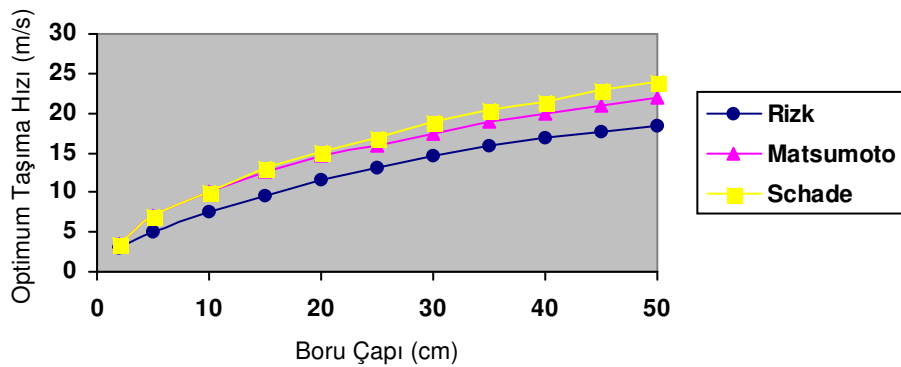


Şekil 3.5 Taşıma hızının parçacık çapı ile değişimi (büyük çapa sahip parçacıklar için)

Şekil 3.6'da katı-gaz kütleli debi oranının optimum taşıma hızına etkisi büyük çapa sahip parçacıklar için ($d_p=1$ mm) gösterilmektedir. Pnömatik taşıma sistemindeki parçacıkların kütleli debisinin artması (sistemde taşınan parçacık miktarının artması) parçacıkların çökme olmadan taşınması için gereken optimum taşıma hızını arttırmaktadır.



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



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

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

Sonuç olarak; tasarımı yapılan bir sistem için optimum taşıma hızının belirlenmesi ile parçacıkları taşımak için fazla enerji harcanması önleneyeceği gibi taşınan parçacıkların ve borunun fazla hızdan dolayı aşınmaları da önlenmiş olacaktır. Optimum taşıma hızına etki eden en önemli parametreler boru ve parçacık çapı, katı-gaz kütleli debi oranı, gaz ve parçacık yoğunluğudur. Literatürde mevcut olan eşitlikler gözden geçirildiğinde, bu eşitlikler içerisinde Matsumoto ve diğerleri tarafından önerilmiş olan eşitliklerin tasarım aşamasındaki pnömatik taşıma sistemlerinde optimum taşıma hızının belirlenmesi amacıyla kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

3.4 Karışımın Ağırlık Yığılmasının Hesabı

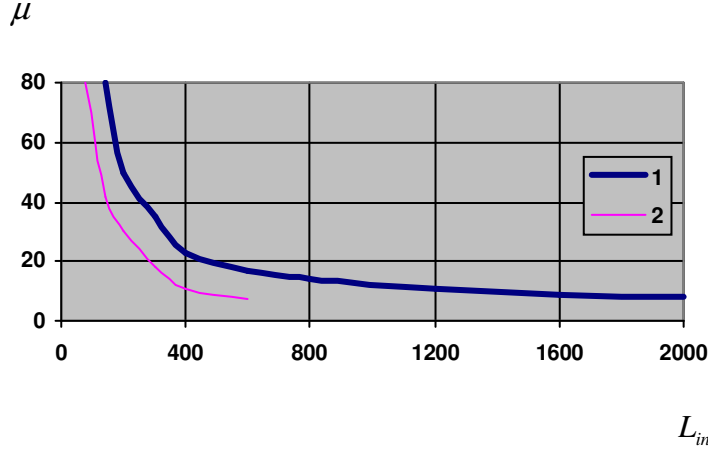
Hava ve malzeme karışımının konsantrasyonu (ağırlık yığılması), μ , donanımın ağırlıkça kapasitesinin, malzemeyi götürmek için gerekli hava miktarına (ağırlıkça) oranıdır. Bunu matematiksel olarak;

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

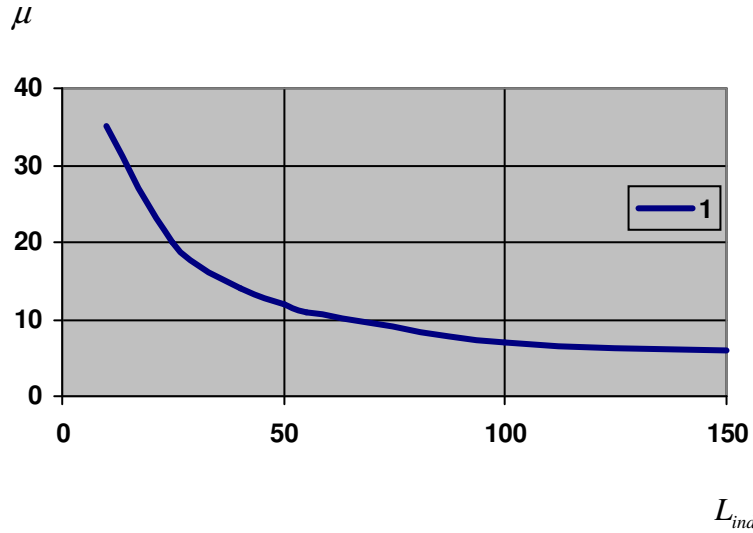
şeklinde ifade ederiz.

Karışımın konsantrasyonu (μ) götürme borusunun çapına (d_b), basıncına (P) ve indirgenmiş götürme boyuna (L_{ind}) bağlıdır.

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



Şekil 3.8 Karışımın ağırlık yığılmasının indirgenmiş götürme uzunluğuna bağlılığını gösteren grafik



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

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

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

3.5 Hava Tüketiminin ve Götürme Borusu İç Çapının Hesabı

Gerekli hava tüketimi şu denklemden hesaplanır:

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

Borunun iç çapı,

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

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

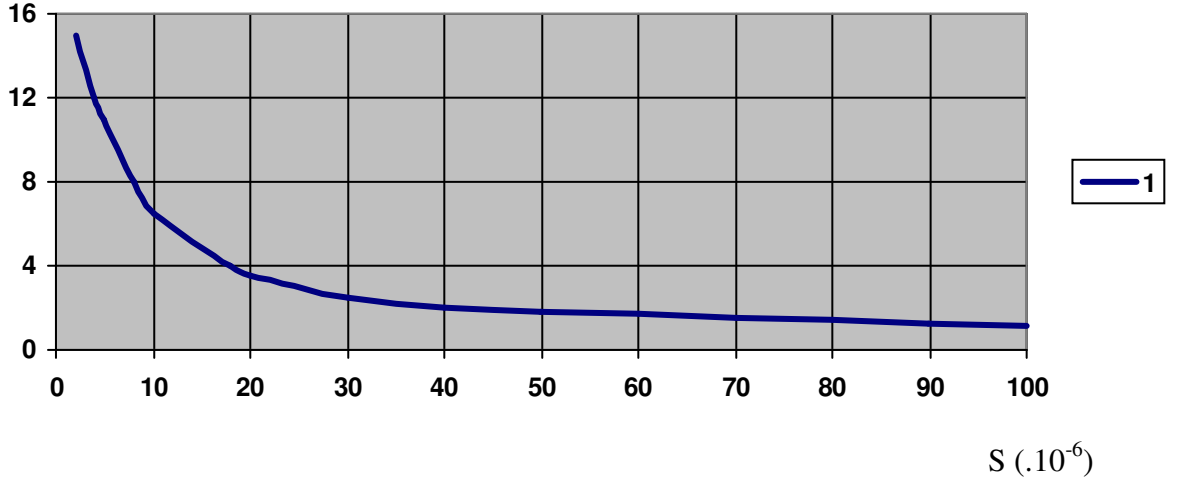
3.6 Boruda Gerekli Hava Basıncının Belirlenmesi

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

Basıncılı götürme düzenleri için,

$$P_g = P_\xi \sqrt{1 + \frac{\lambda L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} \quad \text{ata} \quad (3.15)$$

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

$\beta(.10^{-7})$


$$S = \frac{\mu \cdot v_{hava}^2 \cdot L_{ind}}{d_p}$$

Şekil 3.10 β katsayısının S değerine bağımlılığını gösteren grafik

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

$$\lambda = \beta \cdot \mu . \quad (3.17)$$

burada β 'da S değerine bağlıdır.

$$S = \frac{\mu \cdot v_{hava}^2 \cdot L_{ind}}{d_b} . \quad (3.18)$$

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

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

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

Yani,

$$P_{kes} = \frac{H\gamma'_{hava}\mu}{10^4} \quad (3.19)$$

Burada,

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

Basıncılı götürme düzenlerinde $P_{\zeta} \approx 1$ ata ve emmeli götürme düzenlerinde $P_g \approx 1$ ata olduğundan sonuçta basınçlı götürme düzenleri için,

$$P_g = \sqrt{1 + \frac{\beta \cdot \mu \cdot L_{ind} v_{hava}^2}{d_b}} \pm P_{kes} \quad (\text{ata}) \quad (3.20)$$

ve emmeli götürme düzenleri için,

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

bulunur.

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

3.7 Körük İçin Gerekli Gücün Belirlenmesi

Bu güç aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$N_k = \frac{L_k V_o}{60 \times 102 \eta} \quad (\text{kw}) \quad (3.22)$$

L_k = körüğün izotermik sıkıştırma sırasında emilen 1 m^3 hava başına yaptığı teorik iştir. L_k 'yi bulmak için şu denklem kullanılır.

$$L_k = 23030 \cdot P_0 \cdot \log \frac{P_k}{P_0} \quad (\text{kgm/m}^3) \quad (3.23)$$

P_k = körüklerdeki basınçtır. Değeri;

$$P_k = P_w \cdot \alpha + P_{kayit} \quad (\text{ata}) \quad (3.24)$$

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

Emmeli götürücülerde,

$$P_w = P_0 - P_\zeta$$

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

P_{kayit} = ana hava besleme borusundaki basınç kayıpları, kompresörler için $P_{kayit} \approx 1,3$ (kg/cm²) alınabilir.

P_0 = atmosferik basınç, yaklaşık 1 (ata) olarak alınır.

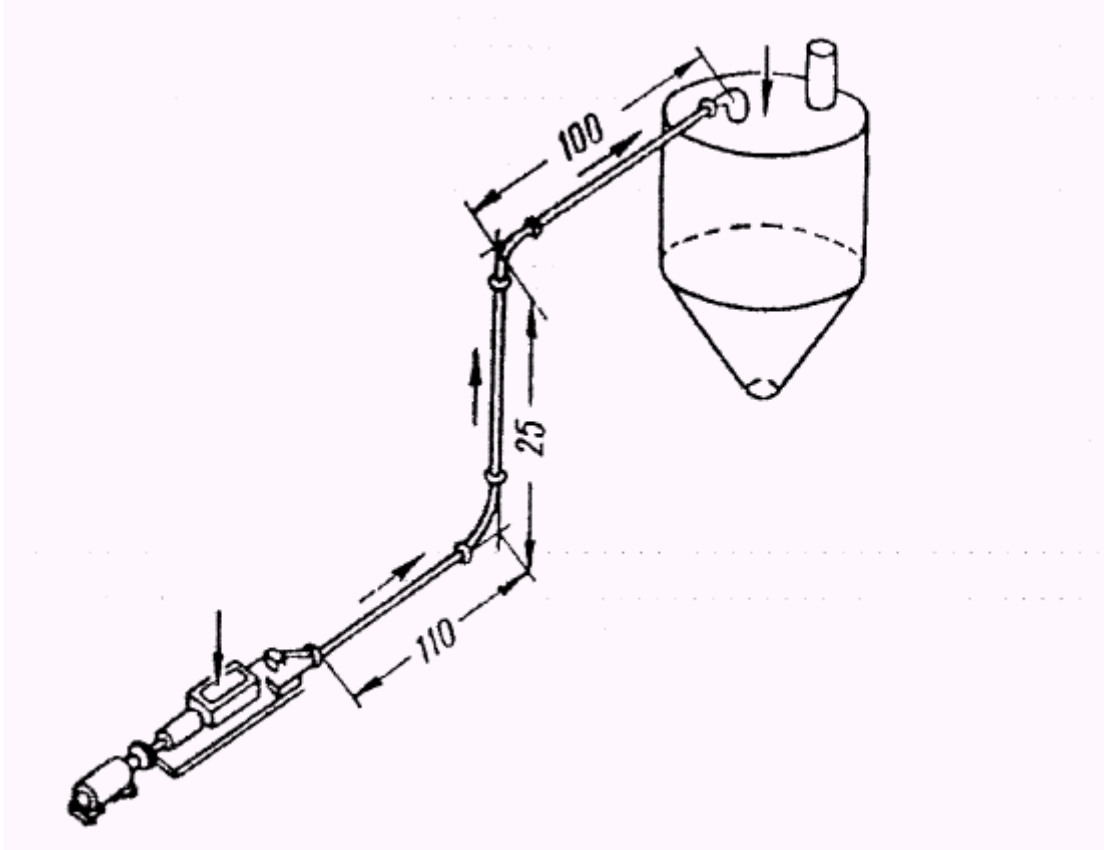
(3.23) denklemindeki η toplam kompresör verimi 0,55-0,75 arasında değişir. 1 m³ havanın sıkıştırılması için gerekli L_k işi P_k nın katsayısı olarak (3.24 denkleminde bakınız) seçilir:

P_k , (ata)	L_k , (kgm/m ³)
0,6	4700
0,7	4100
0,8	3500
0,9	2700

4. ÖRNEK PROBLEMLER

4.1 Basınçlı Bir Hava Götürme Donanımının Hesabı

Özgül ağırlığı $\gamma_y = 3,2$ (t/m^3) olan çimento aşağıda şematik olarak gösterildiği şekilde depodan alınıp beton santraline götürülmektedir. Donanım kapasitesi $Q=50$ (t/sa) olan bu basınçlı götürme donanımının tasarımını yapınız.



Şekil 4.1 Bir havalı çimento donanımının hesap şeması

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

$$L_{ind} = \sum l_{yat} + \sum l_{diş} + \sum l_{eş_d} \cdot d = 210 + 25 + 3 \times 5 = 250 \text{ m}$$

Burada $\sum l_{eş_d} = 5$ metre (R0 / db değeri Çizelge 3.1 e göre alınmıştır)

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

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

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

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

4. Gerekli hava tüketimi (3.13) denkleminde hesaplanır.

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

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

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

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

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

6. Götürme borusunun başlangıçta (girişinde) gerekli hava basıncı (3.18, 3.19, 3.20) denklemlerinde hesaplanır:

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

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

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

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

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

7. Kompresörün ana hava besleme borusunda gerekli hava basıncı (3.24) denkleminde belirlenir.

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

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

8. Gerekli kompresör kapasitesi (3.13) denkleminde belirlenir.

$$V_0 = V_{hava} \alpha' = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot V_{hava} \alpha' \times 60$$

$$V_0 = 3,14 \times 0,136^2 \times 23,5 \times 1,1 \times 60 \approx 22 \quad \text{m}^3/\text{dak}$$

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

9. Gerekli motor gücü (3.22) denkleminde belirlenir.

$$N_k = \frac{L_k \cdot V_0}{60 \times 102 \eta}$$

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

Burada, kompresörün emilen her m^3 hava başına yaptığı teorik iş (3.23) denkleminde hesaplanır.

$$L_k = 23030 \cdot P_0 \cdot \log \frac{P_k}{P_0}$$

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

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

4.2 Emmeli Bir Hava Götürme Donanımının Hesabı

Özgül ağırlığı $\gamma_y = 1,4 \text{ t/m}^3$ olan yük $Q = 25 \text{ t/sa}$ kapasiteyle 15 m yüksekliğe ve 10 m ileriye taşınmak istenmektedir. İstenen sistem emmeli bir götürme donanımıdır. Tasarımın yapılabilmesi için gereken verileri bulunuz.

1. İndirgenmiş götürme uzunluğu:

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

$$\sum l_{yat} = 10 \text{m}$$

$$\sum l_{dış} = H = 15m$$

Çizelge 3.1'e göre $R_0 / d_b = 6$ değeri için $\sum l_{eş,i} = 10m$

Bükülebilir bölümlü dirseklerin hesaplanmış değeri 2,5 dur.

2. Götürme vanasının akımının hızı (Denklem 3.3)

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

3. Şekil 3.9'daki eğriden $\mu = 15$

4. Gerekli hava tüketimi (Denklem 3.13)

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

5. Borunun iç çapı (Denklem 3.14)

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_{hava}}{\pi \cdot v_{hava}}}$$

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

6. Götürme borusunun çıkış noktasında gereken hava basıncı (Denklem 3.18, 3.19, 3.20):

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

bu değere karşılık olarak grafikten $\beta = 1,5 \times 10^{-7}$ bulunur.

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

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

$P_0 \approx 1 \text{ kg/cm}^2$ lik atmosfer basıncında gerekli vakum.

$$P_w = P_0 - P_{\zeta} = 1 - 0,764 = 0,236 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

7. Körük ana hava besleme borusunda gerekli vakum Denklem 3.24'den belirlenir.

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

$$P_k = 0,236 \times 11 + 0,02 = 0,28 \text{ ata}$$

Burada,

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

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

8.Gerekli kompresör kapasitesi (Denklem 3.13)

$$V_0 = V_{hava} \alpha' = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot V_{hava} \alpha' \times 60$$

$$V_0 = \frac{3,14}{4} \times 0,14^2 \times 22 \times 1,1 \times 60 \approx 22,3 \text{ m}^3/\text{dak}$$

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

2. Gerekli motor gücü belirlenir. (Denklem 3.22)

$$N_k = \frac{L_k \cdot V_0}{60 \times 102 \eta}$$

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

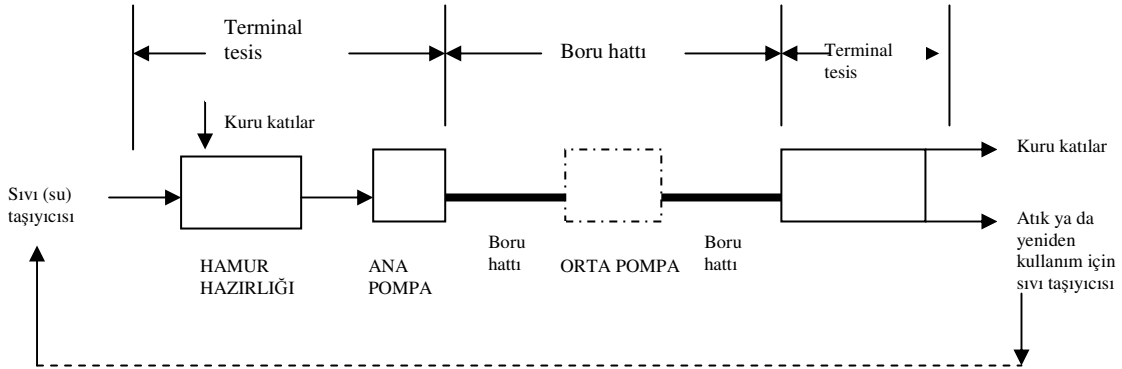
Burada, $L_k = 5000 \text{ kg/m}^3$ dür.

5. HİDROLİK GÖTÜRÜCÜLER

5.1 Genel Tanım

Hidrolik götürme, katı kütlelerin akan sıvı içerisinde taşınmasını içerir. Taşınacak olan malzeme ve taşıyıcı sıvı karışımına hamur adı verilir ve bu karışım borular veya tekneler (kanallar) boyunca taşınır. Basıncılı götürme düzenlerinde hamur, seviyeler arasındaki doğal farkın yarattığı basınçla yada hidrolik düzenekler (örneğin, pompalar yada hidrolik yükselticiler) aracılığıyla; tekneler içinde ise aşağı doğru eğimden doğan ağırlık akımı ile hareket eder.

Genel hidrolik taşıma sistemlerinin temel unsurları Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Başlangıçta katı kütlelerin boyutu, ezme veya öğütme işlemi ile küçültülür. Boru hattına pompalanmadan önce, uygun yoğunluğun sağlanması için, katı kütle taşıyıcı sıvı ile karıştırılır. Boru hatlarında taşıma işlemi tamamlandıktan sonra, katı kütle taşıyıcı sıvıdan ayrıştırılması gerekmektedir.



Şekil 5.1 Hidrolik taşıma sisteminin temel unsurları

[6]

Katı parçacıklarının hidrolik boru hattı ile taşınması konusunda kaydedilen ilk uygulamalardan biri, 1850 yılında Kaliforniya’da altın alaşımli kumun eğimli yüzeyde 10-20 m boyunca içi su dolu kutular vasıtasıyla taşınmasıdır. Yaklaşık 40 yıl sonra, ABD’de kömürün hidrolik yolla taşınması için ilk patent verilmiştir. Kısa mesafeli sistemlerin bir bölümü bundan sonra gelişmeye başlamıştır. 1914 yılında Londra’da, Thames Nehri ile 540 m uzaklıkta bulunan Hammersmith güç santrali arasında kömür taşımak için ilk orta boy hidrolik boru hattı kurulmuştur. 1950’den sonra, hidrolik taşıma, katı kütlelerin uzak mesafelere taşınması konusunda diğer taşıma sistemleriyle rekabet eder hale gelmiştir.

Hidrolik götürme makineleri, endüstrinin birçok dalında kullanılırlar. Elektrik santrallerinde kül ve cürufun kazan dairesinden uzaklaştırılmasında, maden ocaklarında cevherin aynadan koparılması ve taşınmasında ve cevher zenginleştirme tesislerinde cürufun uzaklaştırılmasında sık sık hidrolik götürücüler kullanılırlar. Ayrıca, inşaat sektöründe, büyük binaların yapımında da hidrolik mekanik yöntemler geniş kullanım alanı bulurlar.

Hidrolik götürücülerin avantajları;

- Büyük götürme uzunlukları ve yüksek kapasite
- Düşük işletme maliyetli olmasının yanında oldukça basit donatımının olması
- Taşıma işlemi sırasında istenilen bazı teknolojik süreçlerin uygulanabiliyor olması (örneğin; maden cüruflarının ısıtılması ve tane biçimine getirilmesi, soğutma, yıkama ve yoğunlaştırma)

Hidrolik götürücülerin dezavantajları;

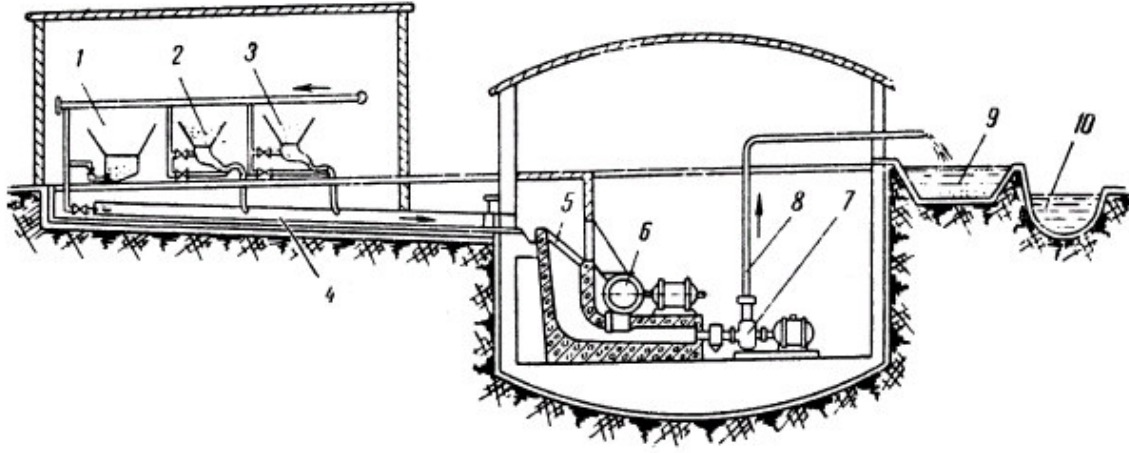
- Su tüketiminin yüksek olması
- Alçak dış sıcaklıklarda suyun donması
- Kapalı işletmelerde çalışırken hava nemliliğinin artması
- Suyla taşınacak malzemelerin sınırlanması

Hamurun su/yük oranındaki değişmelere ve su tüketimi veya hızına bağlı olarak yatay bir boru hattındaki hamur aşağıdaki üç yoldan biriyle taşınır:

- Borunun tabanını kaplayan bir malzeme tabakası üzerinde.
- Tabandaki sert parçacıkların bir bölümünün titreşimi ve süspansiyon halindeki daha küçük parçacıkların sürekli hareketi yardımıyla.
- Süspansiyon halindeki bütün sert parçacıkların, tüm boru kesiti boyunca hareketi yardımıyla.

Bir elektrik santralının kazan dairesinde cüruf ve külün atılmasına yarayan bir hidrolik donanımın şeması Şekil 5.2'de görülmektedir. Cüruf ve kül (1), (2) ve (3) yükleme teknelerinden (4) eğimli taşıma kanalına yüklenmektedir. Buraya akan su bunları alıp (5) madeni ızgarasına getirir. Büyük parçalar (6) cüruf kırıcısına düşerler ve burada

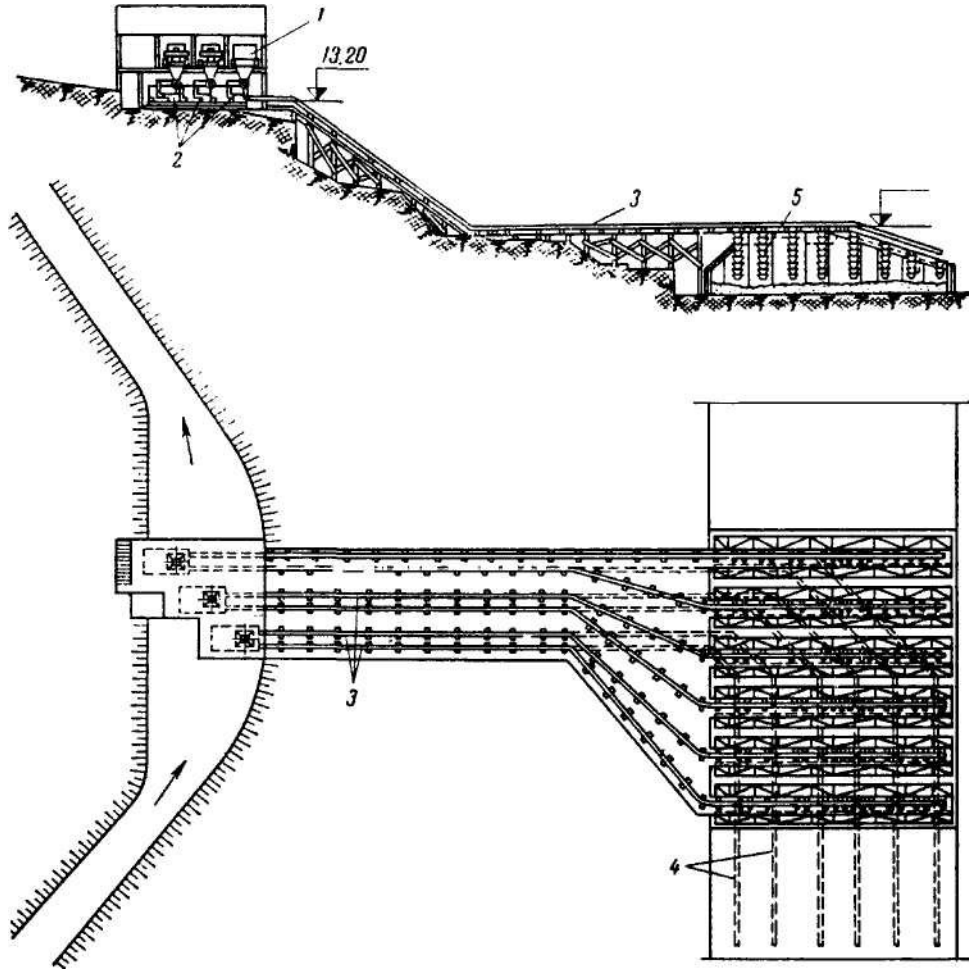
kırılarak hamura karışırlar. (7) pompası bu hamuru (8) boru hattıyla (9) atık yerine basar. Burada kum ve cüruf çökeler, su ise (10) havuzuna akar.



Şekil 5.2 Termik santralin kazan dairesinden cüruf ve kül uzaklaştırılması için kullanılan hidrolik donanımın düzenlenmesi

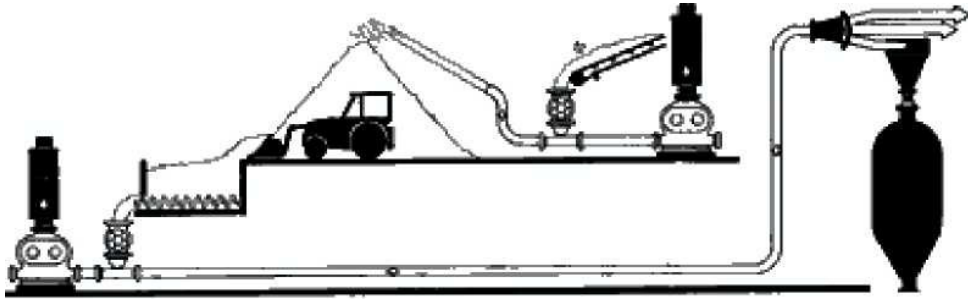
Hidrolik taşımanın tipik bir diğer örneği de su ile kazıdır. Su ile kum, cüruf ve kırılmış cevher karışımı borularla yüzeyden alınarak işleme yerine taşınır.

Regülatör ve baraj yapımında kullanılan hidrolik taşıma uygulamalarından biri de beton pompalama istasyonlarıdır. Beton karışımını merkezi toplama ve dağıtma noktasından inşaat halindeki bütün baraj kapaklarına göndermekte kullanılan bir donanımı Şekil 5.3'de görülmektedir. (1) damperli kamyonları beton karışımını 1 [km] kadar uzaklıktaki beton santralinden taşırlar. Kamyonlar burada kasalarını kaldırarak betonu (2) beton pompalarının üzerinde bulunan yükleme haznelere boşaltırlar. Pompalar karışımı, basınç altında (3) ve (4) eğimli yatay beton borular aracılığıyla asılı durumdaki (5) basma ağızlarına basarlar. Bu ağızlar hazırlanmış donatım kafesinin üzerinde bulunurlar. Bu tür donanımlarda betonun maksimum pompalanma uzaklığı 300 [m] dir.

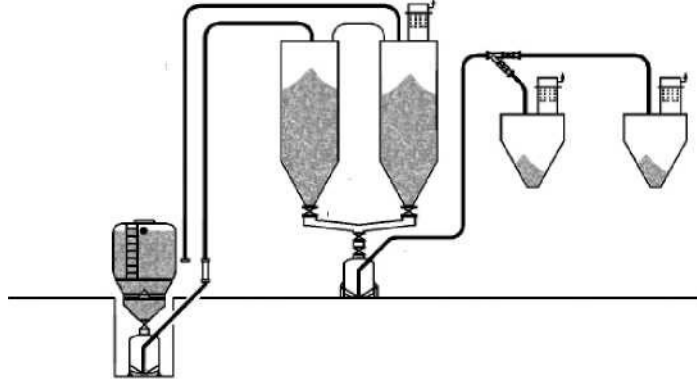


Şekil 5.3 Beton pompalama donanımı

Hidrolik transport makinelerine örnek olarak Şekil 5.4'de bir maden ocağında kullanılan hidrolik götürücü, Şekil 5.5'de bir beton santralinde kullanılan hidrolik götürücü görülmektedir. [4]



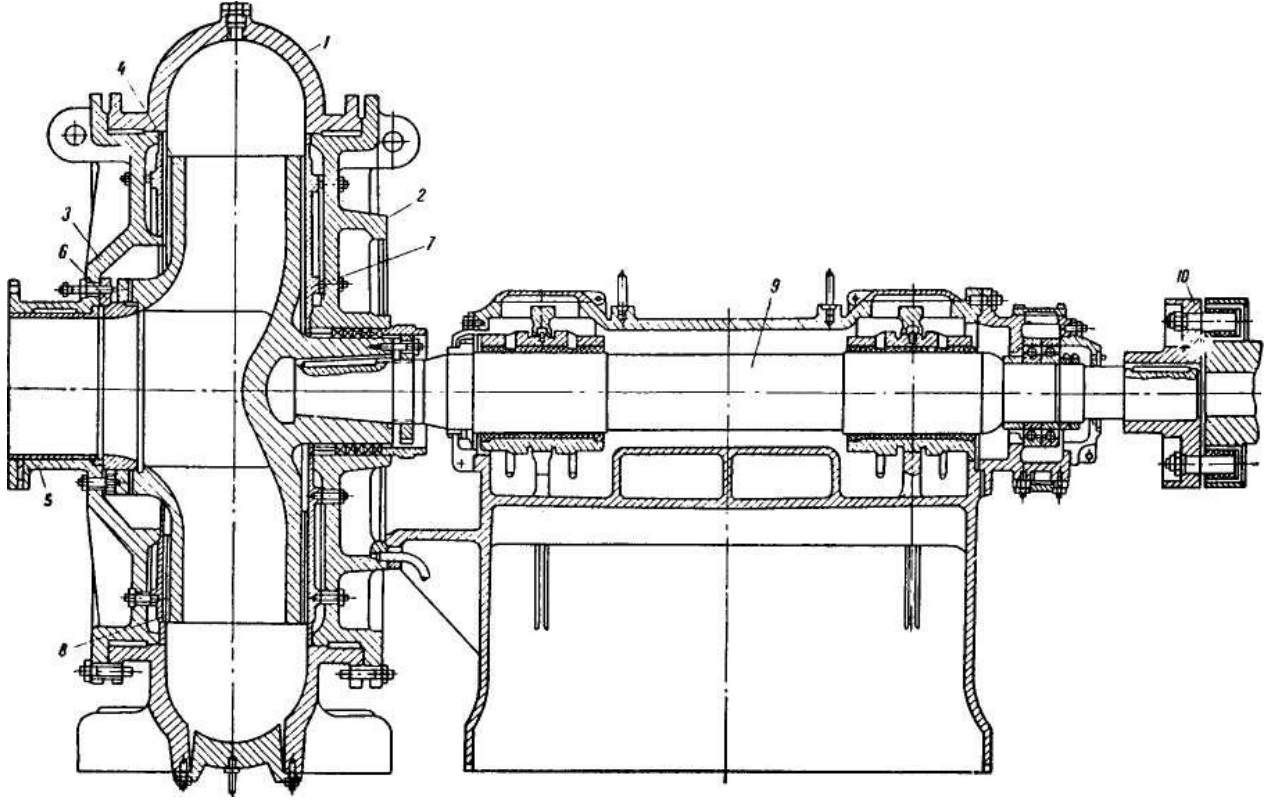
Şekil 5.4 Maden ocağında kullanılan hidrolik götürücü



Şekil 5.5 Beton santralinde kullanılan hidrolik götürücü

5.2 Hidrolik Götürücüler İçin Besleyiciler

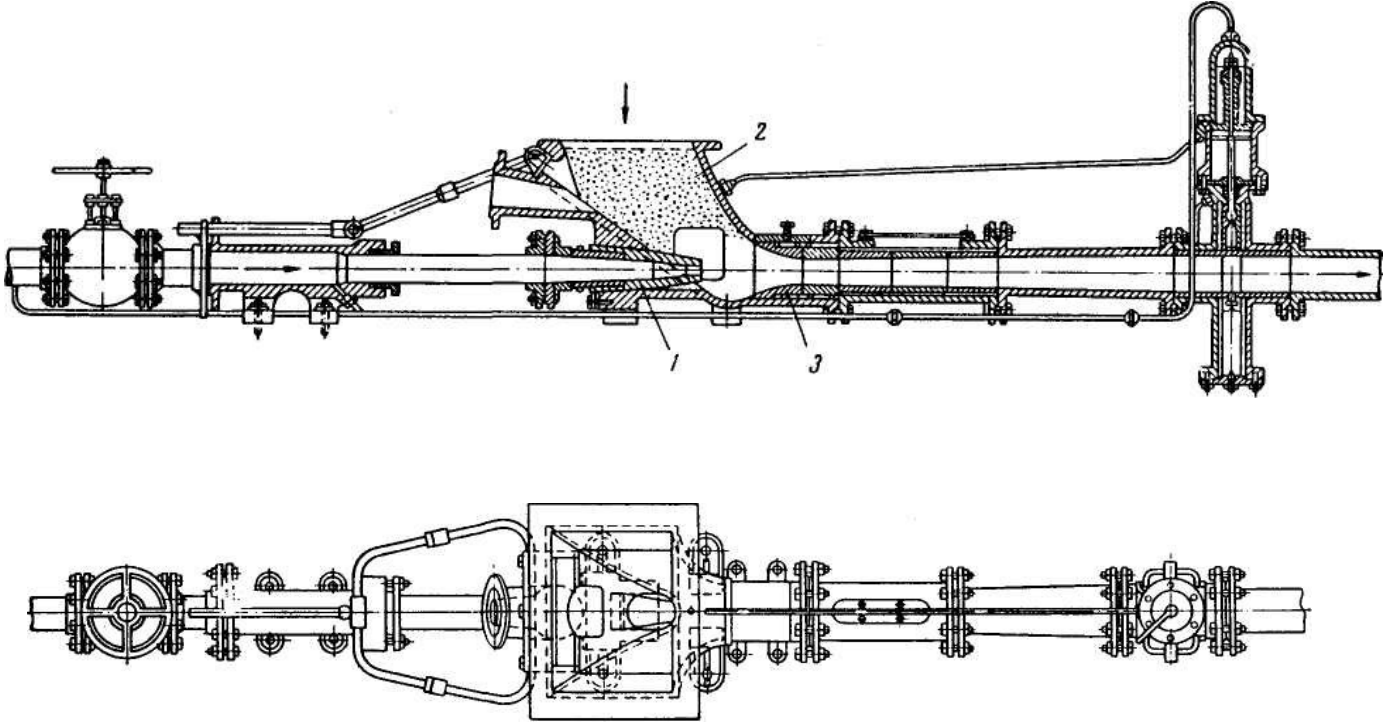
Hidrolik transport makinelerinde, malzemeyi hamur hattına vermek için değişik türde besleyiciler kullanılır. Tipik ve en çok kullanılanları pompalar ve hidrolik yükselticilerdir (elevatörler). Hamuru büyük uzaklıklara taşımak üzere tasarlanmış tek kademeli bir santrifüj pompa Şekil 5.6'da görülmektedir. Pompa, hamuru salyangozdaki aksenal deliklerden çeker ve salyangoza bağlı hamur hattına basar. Şekilde; (1) salyangozu, (2) basınç bölümü kapağını, (3) emme bölümü kapağını, (4) rotoru, (5) koruyucu burcu, (6) ayar bileziğini, (7) ve (8) değiştirilebilir tablaları, (9) pompa milini ve (10) kavramayı göstermektedir.



Şekil 5.6 Tek kademeli santrifüj karışım pompası

Birçok pompa tasarımında, hamuru uzağa pompalamak için direkt emmeye izin verilmez; kalkış su ile yapılır. Pompa pervanesi önemli ölçüde aşınmaya maruzdur. Bunun derecesi taşınan malzemenin aşındırıcılığına, parça boyutuna ve hidrolik basma yüksekliğine bağlıdır. Pervane genellikle yüksek karbonlu veya manganlı çelikten, bazen de dökme demirden yapılır. Dökme demir parçaları ise değiştirilebilirler.

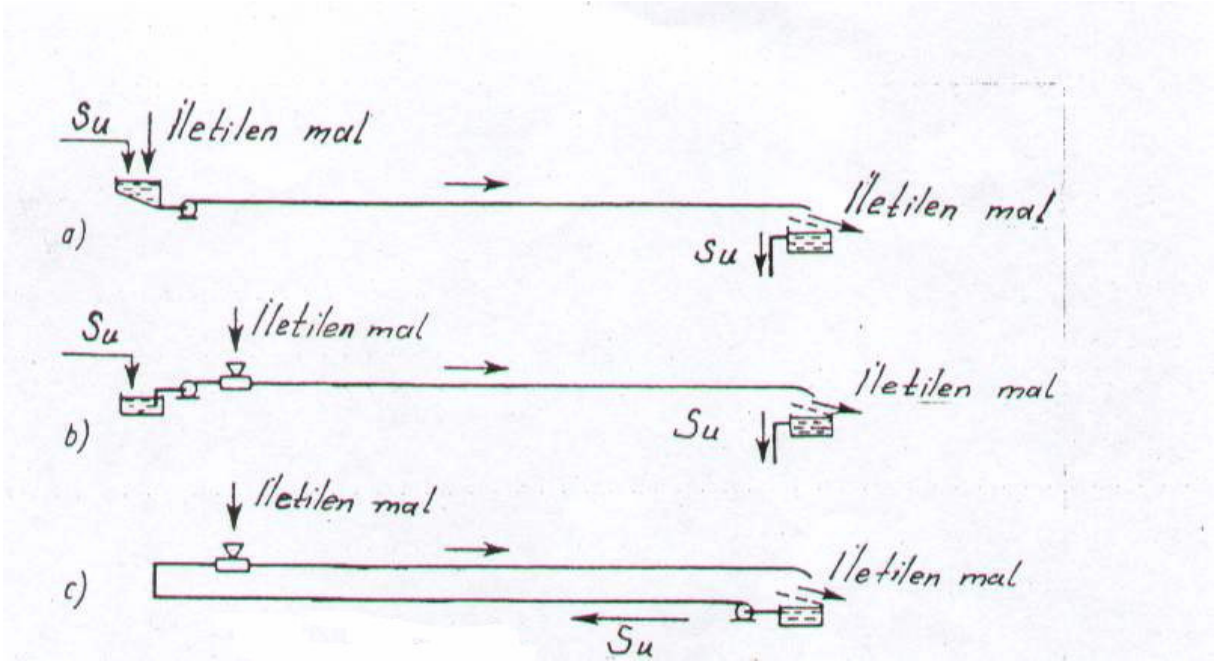
Su jetinin yüksek hızını yüksek basınca dönüştürerek, dökme malzemeyi yüksek basınçlı hamur hattına basmaya yarayan bir hidrolik elevatör Şekil 5.7'de verilmiştir. 25 [atü] basınçtaki su, (1) enjektörü yardımıyla hidrolik elevatöre beslenir. Hız basıncı, statik basınca dönüştürüldükten ve malzeme (2) honisinden alındıktan sonra; (3) yayıcısının arkasındaki basınç 7 [atü] olur. Bu basınç, hamuru pompasız 1 [km] den daha fazla uzaklığa gönderebilir. Bazı durumlarda enjektörü terk eden suyun kuvveti, taşınan külü parçalamaya yeterlidir.



Şekil 5.7 Hidrolik yükseltici

5.3 Hidrolik Götürücülerde İletim Türleri

Hidrolik götürücülerin etki prensipleri ve tesis yapı elemanları, pnömatik götürücülerle benzer tarzdadır. Hidrolik iletme tesisleri, yıkamalı iletme tesisi, basınçlı iletme tesisi veya emmeli-basınçlı iletme tesisi olarak bölümlere ayrılmaktadır. İletilen malın doldurulmasına göre, pompalı iletme ve pompalı setli iletme olarak (şekil 5.8) adlandırılırlar. [1]

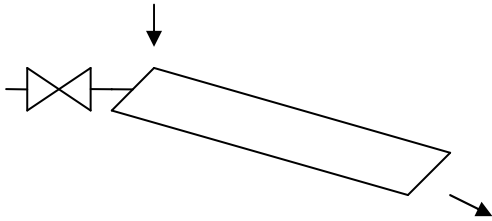


Şekil 5.8 Hidrolik götürücülerin iletme sistemleri

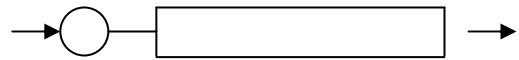
a) Pompalı iletme b) Setli iletme c) Suyu geri dönüşlü setli iletme

5.3.1 Yıkamalı İletme

Açık oluk içindeki yıkamalı (hidrolik oluk şekil 5.9) karışıma bir başlangıç hızı verebilir. Bundan sonra karışım, tek başına eğimin etkisiyle (5° ye kadar) ilerler. Oluk ne kadar pürüzlü, iletilen malın yoğunluğu ve iletme kapasitesi ne kadar büyük ise, bir yığılmayı önleyebilmek için oluğun eğimi o kadar büyük yapılmalıdır. Oluğun sonunda malı taşıyıcı sıvıdan ayıran ayırıcı tertibatlar (elekler, tasfiye havuzu) bulunmaktadır. [1]



Şekil 5.9 Hidrolik oluk (Şematik)



Şekil 5.10 Hidrolik borulu götürücü

Bu tip götürücüler iletme esnasında aynı anda temizlenmesi istenen zirai mahsullerin (Örneğin, patates, şeker pancarı) iletilmesinde kullanılırlar.

5.3.2 Pompalı İletme

Pompalı iletmelerde, karışım, bir boru tesisatı içinde basınç altında nakledilir. (şekil 5.10)

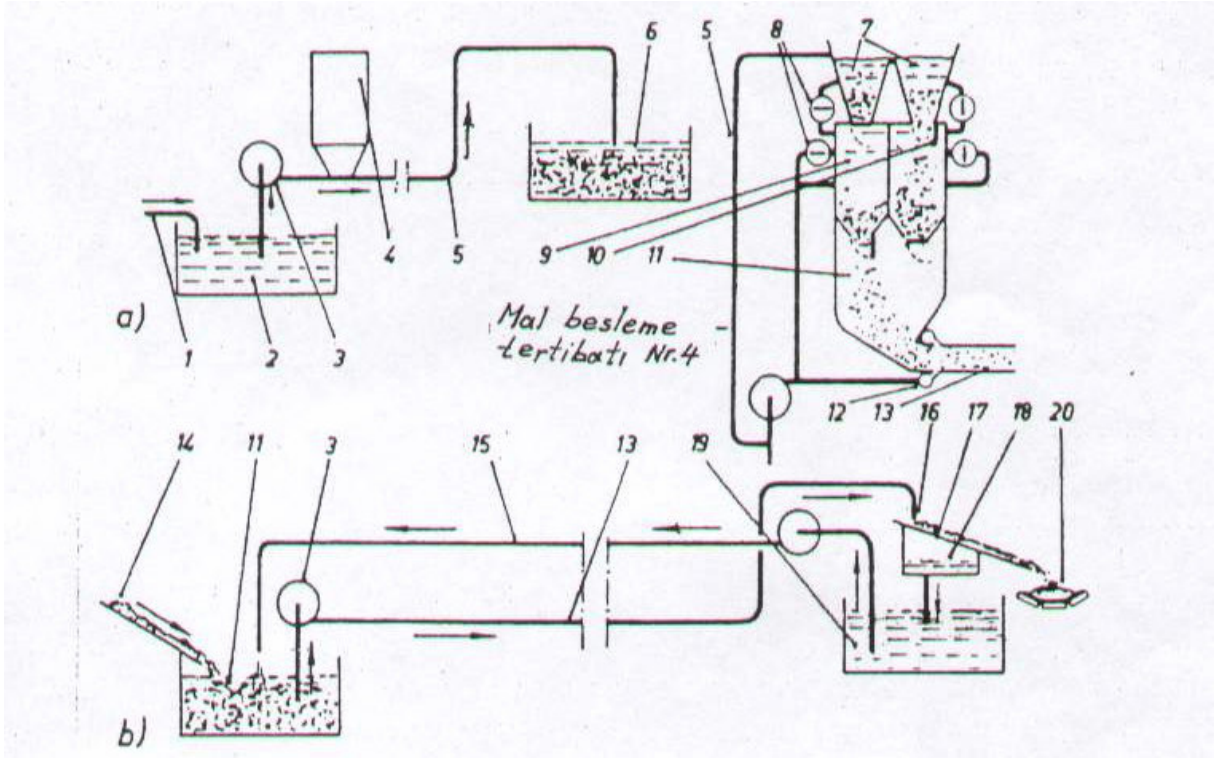
İletilen karışım pompayı akıp geçtiğinden dolayı, santrifüj pompa içinde büyük bir aşınmaya sebep olur. Bu nedenle pompalı iletme için yalnız küçük tanecikli mal uygun düşmektedir.

İmalatın cinsine göre,

- Emmeli iletme tesisleri
 - Basınçlı iletme tesisleri ve
 - Kombine Emme ve Basma iletme tesisleri
- mevcuttur.

5.3.3 Pompalı borulu iletme tesisi

Bir pompalı iletme tesisi (Şekil 5.11), mal doldurma tertibatı, kesici ve armatürler, sudan malın ayrılması ile iletilen malın boşaltılması ve karışım pompasından ibarettir. Emme tesisatında pompa iletme yolunun sonunda bulunmaktadır. Boru tesisatı içinde vakum hüküm sürmektedir. Ayrıca malın kabulü çok basit olmaktadır.



Şekil 5.11 Hidrolik bir iletme tesisinin şeması

a) setli iletme b) Suyu geri dönüşlü pompalı iletme

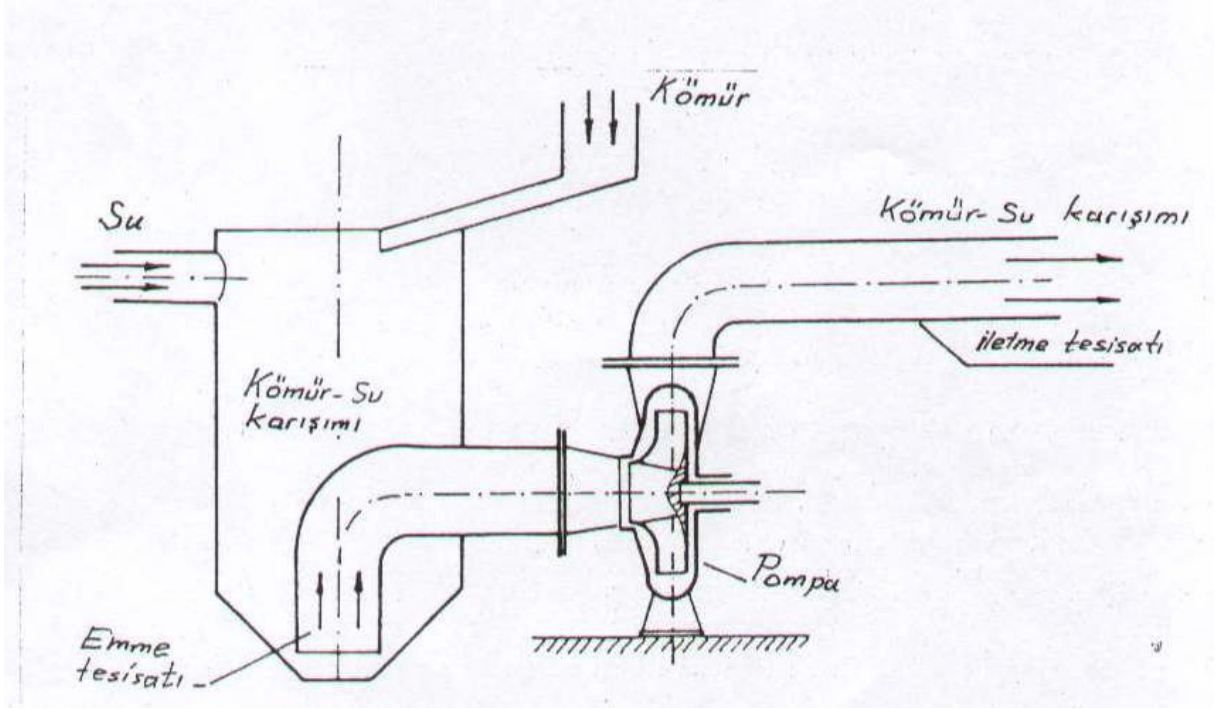
- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| 1)Su girişi | 11)Karıştırma kabı |
| 2)Su tankı | 12)Basınçlı su memeli ring kanal |
| 3)Santrifüj pompa | 13)Karıştırma kabı |
| 4)Mal besleme tertibatı | 14)Mal girişi |
| 5)Boru tesisatı | 15)Suyun geri dönüşü |
| 6)Çökeltme havuzu | 16)İletilen malın boşalması |
| 7)Mal yükleticisi | 17)Elek |
| 8)Ventil | 18)Su kabul kabı |
| 9)Basınçlı galon | 19)Geri dönüşlü su kabı |
| 10)Sürgü klapesi | 20)Mal nakli |

Şüphesiz küçük basınç farkı nedeniyle yalnız kısa iletme yollarına erişilebilir. Basınçlı iletmelerde, pompa, iletme yolunun başlangıcında verilir (setli iletme Şekil 5.11a) veya mal-su karışımı santrifüj pompanın emiş desteği ile pompa vasıtasıyla sürüklenir (pompalı iletme Şekil 5.11b), daha sonra boru tesisatıyla basılır. Elek vasıtasıyla, su toplanır ve suyun geri hareket kabı ile, karıştırma kabına geri gönderilecek suyun maldan ayrılması sağlanır.

5.4 Pompalı iletmelerde doldurma tertibatları

Biraz önce açıklandığı gibi, pompalı götürücülerde mal-su karışımı santrifüj pompa vasıtasıyla emilir, sonra karışım boru tesisatı içinde sevk edilir. Bu tip bir sistem Şekil 5.12 de gösterilmiştir.

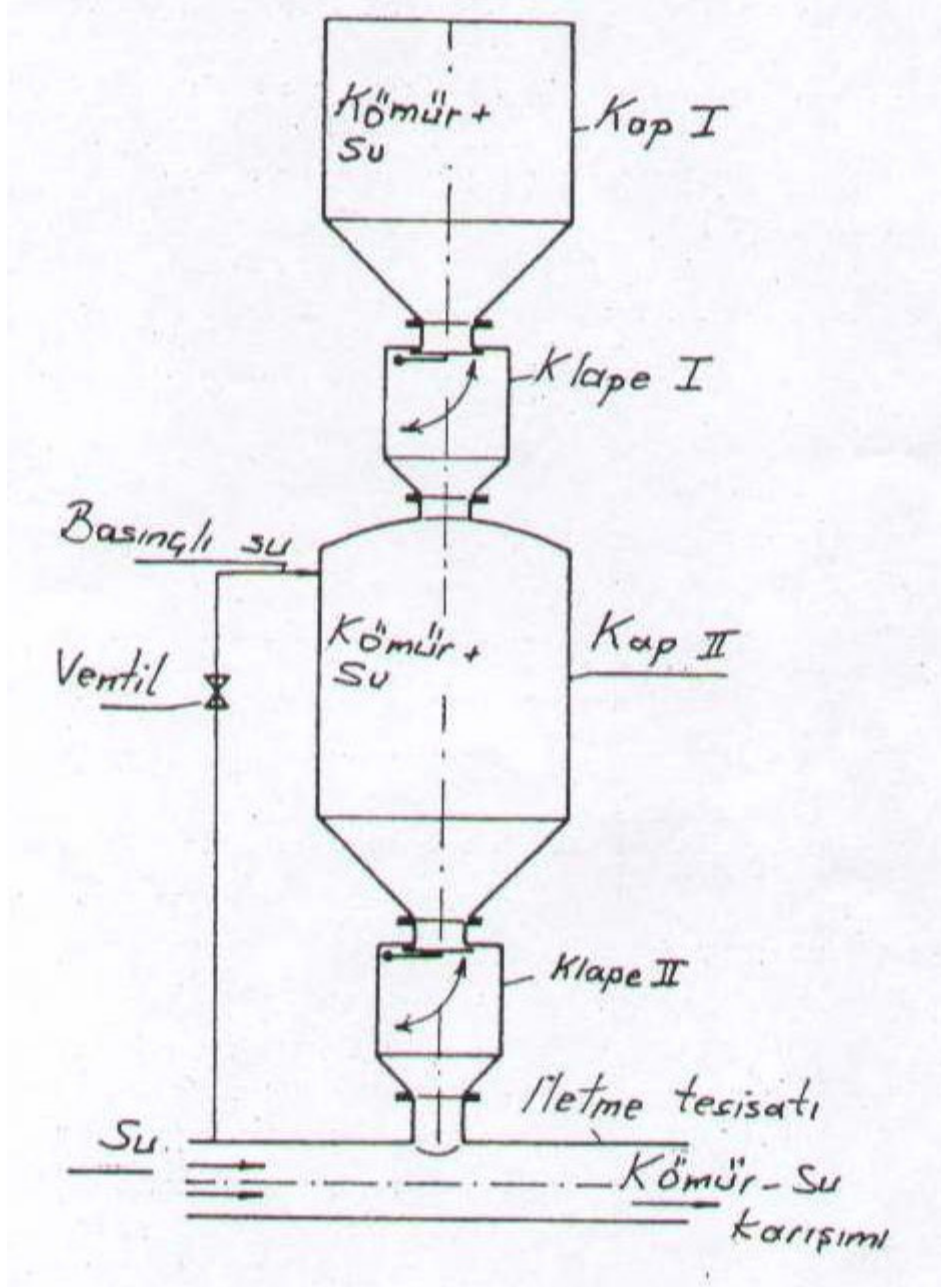
Bu tip iletmelerde, santrifüj pompa içinde büyük aşınmalar meydana geldiği için, pompanın dönen çarkının zamanla değiştirilmesi gerekir. [1]



Şekil 5.12 Pompalı iletmelerde yükleme ve iletme tertibatının şeması

5.5 Setli iletmelerde yükleme tertibatı

Eğer mal pompa arasından verilirse (setli iletme) pompa içindeki yüksek aşınmadan kaçınılmış olunur. Malı, fazla basınca karşı, boru tesisatı içine sokmak gerektiğinden, Şekil 5.13'de kömür- Su karışımı için şematik olarak gösterildiği gibi, bir basınçlı kap doldurma tertibatı göz önüne alınmalıdır. İlk olarak I no'lu kap, I no'lu klapenin kapalı konumunda doldurulur. Doldurma işleminden sonra I no'lu klape açılır ve karışım II no'lu klapenin kapalı olduğu konumda II no'lu kabın içine akar. Sonra II no'lu kap I no'lu klapenin kapalı konumunda basınçlı su vasıtasıyla basınç altında tutulur. II no'lu klapenin açılmasından sonra kömür-su karışımı iletme borusu içine akacaktır.

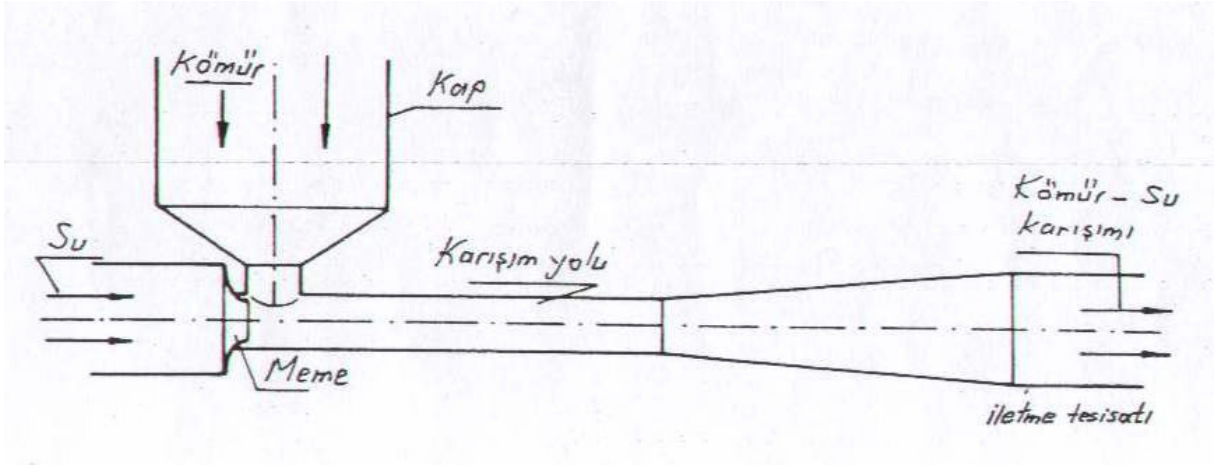


Şekil 5.13 Basınç kaplı bir doldurma tertibatının şeması

5.6 Enjektörlü doldurma tertibatı

Eğer pompa malzeme besleyicisinin önünde düzenlenirse ve Şekil 5.14'e göre enjektör-yükleme tertibatı göz önüne alınırsa, pompanın aşınması da önlenir.

Bir meme vasıtasıyla vakum elde edilebilir. Mal atmosfer basıncı altında emilebilir. Emici iletme tesislerinde (vakum) pompa boru tesisinin nihayetinde düzenlenmelidir. Bu tip emici iletme tesisleri, bu nedenle yalnız kısa iletme yolları için uygun düşmektedirler.



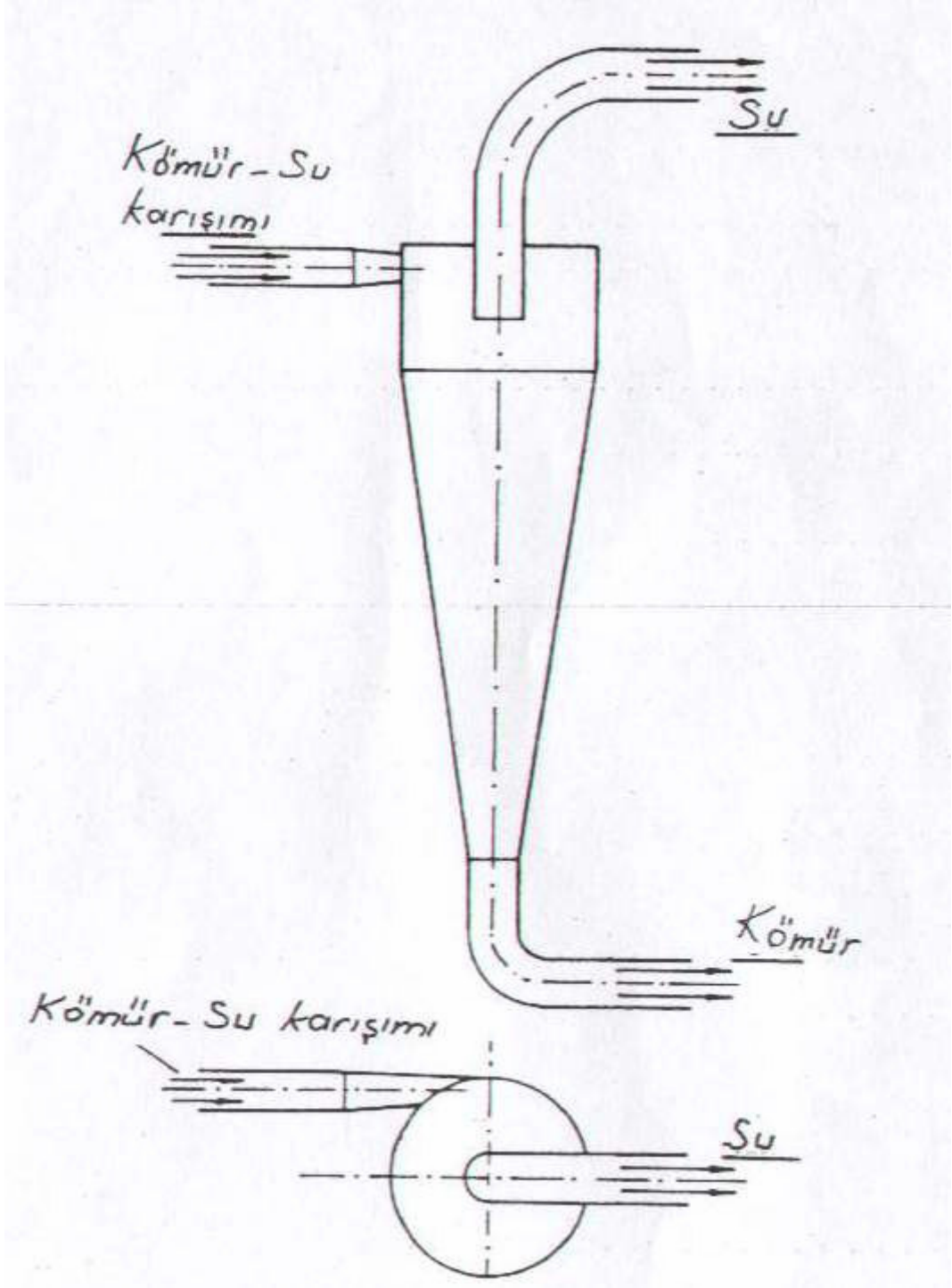
Şekil 5.14 Bir enjektörlü yükleme tertibatının şeması

5.7 Ayırıcı tertibatlar

Boru tesisatının sonunda sert maddeler sudan ayrılmalıdır. Kaba sert maddeler elek vasıtasıyla sudan ayrılabilirler. İnce sert tanecikler için çökeltme tankı göz önüne alınmalıdır. Çökeltme tankında toplanan sert maddeler zaman zaman kabın dışına alınmalıdır. Sürekli bir işletmeyi sağlayabilmek için, birden fazla çökeltme kabı düzenlenmelidir.

Çökeltme kaplarının dışında, merkezkaç ayırıcılar da kullanılabilir (hidrosiklon). Bunun etki tarzı Şekil 5.15'den açık olarak görülmektedir. Kömür-su karışımı yuvarlak bir kap içine teğetsel olarak gönderilir. Ayırıcı içinde dönme akımı ortaya çıkmaktadır. Bu sırada sert maddecikler ağırlık kuvvetinin etkisi altında aşağıya doğru ilerleyeceklerdir ve devreden çıkarılacaklardır. Temizlenmiş olan su, orta kısımda düzenlenmiş olan bir boru vasıtasıyla siklonu terk etmektedir.

Eğer çok ince sert maddeciklerin ayrılması mecburiyeti varsa, daha küçük çaplı birçok ayırıcı yerleştirilmelidir. Daha küçük çaplar ile, aynı giriş hızında ayırma etkisi artmaktadır.



Şekil 5.15 Bir merkezkaç ayırıcının şeması(Hidrosiklon)

5.8 Boru Tesisatları

Boru tesisatı olarak normalde çelik borular kullanılmaktadır (genellikle aşınmaya karşı dayanıklı). Aşınmaya karşı koruma olarak, lastik, plastik, ergimiş bazalt veya asfalt göz önüne alınmalıdır. Sapmalardan mümkün mertebe kaçınılmalıdır (yüksek aşınma). Aşınma yalnız

belirli bir konumda ortaya çıktığı için, boruların döndürülmesiyle ömür yükseltilebilir. Tecrübelerle göre ince taneli kömürün naklinde ömür takriben 8...10 yıl tutarındadır.

Hidrolik transport için boru tesisatı 150...1000 mm kullanılmakta, bu sırada işletme basıncı 140 bar'a kadar olmaktadır. İnce taneli kömür için en büyük iletme tesisi 175 km'lik bir uzunluktadır. Bu tesiste boru çapı 275 mm ve kitlesele iletme kapasitesi 4500 t/gün tutarındadır.

6. HİDROLİK GÖTÜRÜCÜLERİN TASARIMINDA ETKİLİ FAKTÖRLER

6.1 Hacimsel Yükleme

Hidrolik götürücünün karakteristik büyüklüğü hacimsel yükleme olmaktadır.

$$\text{Hacimsel yükleme } \mu_v = \frac{I_{VG}}{I_{VG} + I_{VW}} = \frac{I_{VG}}{I_{Vtop}} \quad (6.1)$$

μ_v Hacimsel yükleme (sert madde konsantrasyonu) = 0,05.....0,4

I_{VG} (m³/s) Malın hacimsel iletme kapasitesi

I_{VW} (m³/s) Taşıyıcı sıvının hacimsel iletme kapasitesi (Su)

I_{Vtop} (m³/s) Toplam hacimsel iletme kapasitesi (Mal-Su karışımının hacimsel iletme kapasitesi)

Tıkanmayı önlemek için hacimsel yükleme değeri 0,5'i aşmamalıdır. Pnömatik götürücülerde μ değerleri 100'e kadar olmaktadır.

6.2 İletme Hızı

Hamurun iletme hızını (v) belirlemek için gerekli ölçütlerden birisi, parçacıkların düzgün olarak su içinde yerleştikleri v_p hızı (hava içindeki kaldırma hızına benzer) yani hidrolikte "hidrolik boyut" olarak tanınan hızdır. Bu hız a parçacık boyutuna, onun γ_y özgül ağırlığına, sıvının viskozitesine ve diğer etkenlere bağlıdır.

Basitlik sağlamak için parçacıkların küresel biçimde olduğunu varsayarsak, denge denkleminde;

$$\frac{\pi a^3 (\gamma_y - 1)}{6} = k \frac{\pi a^2 v^2}{4} \quad (6.2)$$

elde edilir. k katsayısının ampirik değerini yerine koyarsak parçacıkların düzgün yerleşme hızı olarak;

$$v_p = 0,55 \sqrt{a(\gamma_y - 1)} \text{ m/s} \quad (6.3)$$

buluruz. Burada a cm olarak ölçülecektir.

Hamurun iletme hızı genellikle bu hızın 3-4 katı olarak alınır.

$$v \approx (3 - 4)v_p \quad (6.4)$$

Hamurun iletme hızı v için Çizelge 6.3'den de bazı yaklaşık değerler alınabilir. Bu çizelge, toprağın basınçlı hidrolik yöntemle taşınmasına ilişkin verileri içermektedir.

Sovyet bilim adamlarınca yapılan araştırmalar kritik hızdan düşük hızlarda götürme yapıldığında hamur hattı tabanında büyük parçacıklar tarafından ince bir çökelti tabakası oluşturulduğu zaman, özgül güç tüketiminin ve donatım aşınmasının azaldığını göstermiştir.

Kritik hız, malzemenin, hamur hattı tabanında hiçbir çökelti vermeden gidebildiği en düşük hızdır.

6.3 Gerekli Boru Çapı

Toplam hacimsel iletme kapasitesinden I_{vtop} malın gevşeme ve kaymasının ihmal edilmesi halinde (mal, akım içinde kayma ile hareket eder, 2 mm ye kadar sert madde parçalarında kayma ihmal edilebilir derecede az olmaktadır) gerekli boru çapı;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{vtop}}{\pi \cdot v}} \quad (6.5)$$

D (m) Boru içi çapı genellikle : 150.....1000mm

V (m/s) Ortalama iletme hızı(su hızı) ≤ 5 (max.8) m/s.

Boru iç çapı D ve tane büyüklüğü a ne kadar büyük olursa, su hızı V_w o kadar büyük olmalıdır. (bkz. Çizelge 6.3)

6.4 Çökelme ve Yüzme Hızı

Su hızının tayini için, durgun su içinde sert maddeciklerin çökelme hızı veya yükselen su içinde yüzme hızı bir kıstas (kriter) olmaktadır:

$$\text{Çökme veya yüzme hızı } v_s = c \cdot \sqrt{\frac{\gamma_y - \gamma_w}{\gamma_w}} a \quad (6.6)$$

Boru tesisatının tıkanmasını önlemek ve malın ileri hareketini mümkün kılmak için, su hızı, çökme veya yüzme hızından daha büyük olmalıdır. Su hızı aşağıdaki değerler arasında seçilebilir.

$$\text{Su hızı } v_w = (1,5 \dots 4) \cdot v_s$$

v_s (m/s) Deneylelerden elde edilmiş olan çökme veya yüzme hızı

v_w (m/s) Su hızı ≤ 5 (max.8) m/s

γ_y (kg/m³) Çizelge 6.1'e göre iletilen malın yoğunluğu

γ_w (kg/m³) Suyun yoğunluğu=1000 kg/m³ ;

c ($\sqrt{\frac{m}{s}}$) Akıntı faktörü, katsayı, malın şekline, büyüklüğüne ve üst yüzeye bağlı olup, deney yoluyla elde edilmelidir.

a (m) Çizelge 6.1'e göre tane büyüklüğü

Hidrolik ve pnömatik götürücülerin arasındaki önemli farklardan biri de taşıyıcı malzeme olan hava ile suyun yoğunluklarıdır. Suyun yoğunluğu havanın yoğunluğundan yaklaşık olarak 800 kat daha büyüktür ($\gamma_w = 800\gamma_L$).

6.5 Basınç Kaybı

Kayıplar temiz suyun tesisat içinde akışı ile mal-su karışımının akışı ile, yükseklik farkının yenilenmesiyle, malın kanala sokulmasıyla, akışkanın ivmelenmesiyle ve akış esnasında ortaya çıkmaktadır. Kayıplar dirsek ve vanalarda görülür.

$$\text{Toplam basınç kaybı; } \Delta P_{top} = \frac{\lambda_w \cdot I_{red} \cdot \gamma_w \cdot v_w^2}{2 \cdot D} \cdot k \quad (6.7)$$

ΔP_{top} (N/m²) Toplam basınç kaybı

λ_w (-) Direnç sabiti (Boru sürtünme sabiti);

I_{red}	(m)	İndirgenmiş iletme uzunluğu (Ekli uzunluk)
γ_w	(kg/m ³)	Suyun yoğunluğu(Taşıma sıvı)=1000 kg/m ³
v_w	(m/s)	Su hız
D	(m)	Boru içi çapı
k	(-)	Faktör \cong 1,2.....2 (çamur için daha küçük değerler), iç cidarın pürüzlülüğüne ve Reynold sayısına (Re) bağlıdır.

λ_w için değerler, suyun iletilmesinde bilinen sürtünme sabitleri ile aynı olmaktadır. Dolayısıyla literatürden alınabilirler; takribi bir hesap için $\lambda_w = 0,015 \dots 0,02$

6.6 Tahrik Gücü

Pompa tahrik motorunun milindeki gerekli motor gücü:

$$P_M = \frac{I_{vtop} \cdot \Delta P_{top}}{\eta_{top}} \quad (6.8)$$

ile ifade edilir.

$$\text{Toplam verim } \eta_{top} = \eta_p \cdot \eta_{mek} \quad (6.9)$$

P_M	(W)	Gerekli motor gücü
I_{vtop}	(m ³ /s)	Mal-su karışımının hacimsel iletme kapasitesi
ΔP_{top}	(N/m ²)	Basınç kaybı
η_{top}	(-)	Toplam verim
η_p	(-)	Pompa verimi=0,65....0,8
η_{mek}	(-)	Mekanizma verimi=0,8....0,9

Çizelge 6.1 Dökme malzemelerin eğim açıları

Dökme mal	Dökme ağırlık γ_y (t/m ³)	Max eğim açısı $\delta(^{\circ})$	Dökme açısı		İletme direnç katsayısı λ	Tane iriliği a' (mm)
			Hareketsiz	Hareketli		
Kül ve cüruf	0,7	18	50	25	3,00	..80
Linyit	0,7	15...20	50	35	2,15	..80
Demir hematit	3,2	18...20	50	35	2,15	..60
Mineral (Cu-Pb)	2,4	18...20	40	30	2,15	..60
Hafif mineral	2,04	15...18	35	25	2,15	..60
Yulaf, arpa	0,62	14	35	25	1,85	..8
Grafit	2,05	15...18	35	25	1,85	<0,5
Yanmış kireç	1,2	15...20	35	15	2,15	..30
Kuru kireç	0,5	15...18	50	15	1,85	..2
Patates	0,7	12	25	15	1,85	..60
Çakıl	1,47	18...20	45	30	3,00	..30
Kok	0,49	15...18	50	30	3,00	..80
Tuvonan kömürü	0,83	17...20	45	20	2,15	..160
Tasnifli kömür	0,9	15	40	20	1,85	..80
Kil, lül, çamur	1,8	15...20	45	25	1,85	..1
Un	0,91	12...15	55	35	1,85	<0,5
Killi dolomit	2,15	15...18	45	30	2,15	..5
Kireç harcı	1,7	12...15	45	20	3,0	..3
Mısır, çavdar, pirinç	0,735	15	35	15	1,85	..6
Kum	1,8	12...15	45	20	3,00	..2
Testere talaşı (odun)	0,21	20...30	40	0	2,8	..2
Buğday	0,79	15	35	25	1,85	..8
Cimento	1,47	10...12	50	35	1,85	<0,5
Not:						
1) taslak DIN 15262						
2) kötü bakımlı ve sık aşırı doldurulmalı kaba işletmeler için (örneğin düzgün olmayan beslenmelerde) λ 'nın bu değerleri %25 civarında artırılmalıdır.						

Çizelge 6.2 Boru kesici ve 90° dirsek için eşdeğer uzunluklar(yaklaşık değerler)

İletilen malın cinsi	Kesicinin eşdeğer uzunluğu I _s (m)	r/D oranında dirseğin I _k (m) eşdeğer uzunluğu		
		5	10	20
Toz şekli.	5...10	5..10	5...10	8...10
Tanecikli	10...15	8...10	10...15	15...20
Parçalı	-	-	25...50	40...60
NOT : r dirsek yarıçapı, D boru çapı				
Büyük değerler yüksek hava hızı ve kuvvetli aşındırıcı mallarda				

Çizelge 6.3 İletme hızı (Su hızı)

Tane büyüklüğü a (mm)	Boru çapı için iletme hızı v(m/s)			
	200	300	400	500
0,5	1,63	2,00	2,28	2,53
1,0	1,95	2,39	2,73	3,03
5,0	2,34	2,84	3,26	3,62
15,0	2,60	3,15	3,62	4,01

7. ÖRNEK PROBLEM: HİDROLİK İLETME TESİSİNİN HESABI

Bir hidrolik iletme tesisinde malın kitlesel iletme kapasitesi (filtreli toz) 5 t/h, mal yoğunluğu 0,5 t/m³, hacimsel yükleme 0,3, indirgenmiş iletme uzunluğu 2000 m, boru iç çapı 150 mm, pompa verimi 0,7 ve mekanizmanın verimi 0,9'dur. Bu tesis için gerekli iletme hızı ve motor gücü ne olmalıdır?

Malın hacimsel iletme kapasitesi;

$$I_{VG} = \frac{I_{MG}}{\gamma_y} = \frac{5}{0,5} = 10 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00278 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toplam hacimsel iletme kapasitesi;

$$I_{vtop} = \frac{I_{VG}}{\mu_v} = \frac{0,00278}{0,3} = 0,00926 \text{ m}^3/\text{s}$$

İletme hızı;

$$v = \frac{4I_{vtop}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,00926}{\pi \cdot (0,15)^2} = 0,52 \text{ m/s}$$

Toplam verim;

$$\eta_{top} = \eta_p \cdot \eta_{mek} = 0,7 \cdot 0,9 = 0,63$$

Toplam basınç kaybı;

$$\Delta P_{top} = \frac{\lambda_w \cdot I_{red} \cdot \gamma_w \cdot v_w^2}{2 \cdot D} \cdot k = \frac{0,02 \cdot 2000 \cdot 1000 \cdot 0,52^2}{2 \cdot 0,15} \cdot 1,2 = 43264$$

burada $v_w = v$ 'dir.

Motor gücü;

$$P_M = \frac{I_{vtop} \cdot \Delta P_{top}}{\eta_{top}} = \frac{0,00926 \cdot 43264}{0,63} = 634 \text{ Nm/s} = 0,634 \text{ kW}$$

SONUÇLAR

Taşıma endüstrisi içinde hidrolik ve pnömatik götürücüler oldukça geniş bir sektöre hitap etmektedir. Yatırım maliyetlerinin düşüklüğü, sürekli ve sessiz çalışmaları, fazla bakım gerektirmemeleri ve benzer avantajları göz önüne alındığında pnömatik götürücüler tercih edilirken; hidrolik götürücüler de yüksek kapasiteyle uzun mesafelere iletim yapılması istenildiğinde ön plana çıkmaktadır.

Hidrolik ve pnömatik götürücüler etki prensipleri ve tesis yapı elemanları bakımından her ne kadar benzerlik gösterebilirler de hacimsel yükleme (sert madde konsantrasyonu) bakımından büyük farklılıklar doğururlar. Hidrolik götürücülerde tıkanmayı önlemek için hacimsel yükleme değerinin 0,5 den küçük olması beklenirken, pnömatik götürücülerde bu değer 100 e kadar çıkabilmektedir.

Hem hidrolik hem de pnömatik götürücülerin tasarımı sırasında belirlenmesi gereken önemli parametreler vardır. Pnömatik götürücüler için en önemli parametreler hava tüketimi $V_{\text{hava}}(\text{m}^3/\text{s})$ hava basıncı P (kg/cm^2) ve götürme borusunun iç çapı d_b (m) dir.

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

Hidrolik götürücülerde ise en önemli parametreler iletme hızı ve motor gücüdür. Bu verilere ulaşabilmek içinse öncelikle toplam verim, toplam basınç kaybı ve toplam hacimsel iletme kapasitesini tayin etmemiz gerekmektedir.

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

Son yıllarda, özellikle pnömatik götürücülerin piyasada daha fazla yer almaya başladığı göz önüne alınırsa, bu konudaki çalışmaların arttırılması gerekliliği kaçınılmaz bir gerçek olmaktadır.

KAYNAKLAR

Alışverişçi,M, “Hidrolik Götürücüler - Ders Notları”.

Alışverişçi,M, “Pnömatik Götürücüler - Ders Notları”.

A.Spivakovsky, V. Dyachkov, Çeviren: Cerit, A, (1984), Götürücüler.

Gerdeli İsmail, Kesikçi M.Koray, “Pnömatik ve Hidrolik Konveyörlerin Konstrüktif Özellikleri ve Hesap Esasları-I”, İletim Teknolojileri Kongre ve Sergisi Bildirileri, 15-18 Ekim 2003, İstanbul.

Makine Mühendisleri Odası, (1996), Havalı Götürücüler.

Thames, (1987), Bulk Solids Handling.

Stankovich, I.E, (1976), Pneumatic Handling Systems.

Vural, B, (2005), Pnömatik Götürücüler ve Tasarımında Etkili Olan Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 20.01.1978

Doğum yeri İzmir

Lise 1992-1995 İzmir Atatürk Lisesi

Lisans 1996-2002 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mak. Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı

Çalıştığı kurumlar

2004-2005 Dirinler Makina Ltd Şti.
2005-Devam ediyor Siemens A.Ş.