

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**BAZI TARIMSAL ÜRÜNLERİN PNÖMATİK İLETİMİNDE BASINÇ  
DÜŞÜMÜNÜN SAPTANMASI**

**Gökhan DUMAN**

**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2008**

**Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

Doktora Tezi

### BAZI TARIMSAL ÜRÜNLERİN PNÖMATİK İLETİMİNDE BASINÇ DÜŞÜMÜNÜN SAPTANMASI

Gökhan DUMAN

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Metin GÜNER

Pnömatik iletim, tarımsal ürünlerin iletiminde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmanın amacı bazı tarımsal ürünlerin pnömatik iletiminde basınç düşümü, sürtünme kaybı, iletim hızı, hava hızı, güç gereksinimi, materyal ve hava iletim debisi, materyal/hava (karışım) oranı ve zedelenme gibi iletim karakteristiklerinin saptanmasıdır. Bu amaçla araştırmada, gerçek boyutlarda pozitif düşük basınçlı bir pnömatik ileticiden yararlanılmıştır. Materyal olarak buğday, arpa, ve ayçiçeği kullanılmıştır. İletim materyalleri ile hava akımı ve pnömatik iletici arasındaki ilişkiler saptanmıştır.

Araştırmada değişken olarak üç tip materyal, üç farklı boru çapı, beş farklı hava hızı ve üç besleyici devri kullanılmıştır. Yalnız hava iletiminde, her üç boru çapı için de hava hızının artması ile basınç düşümünün, sürtünme kaybının ve güç tüketiminin arttığı, boru çapının büyümesi ile de azaldığı sonucuna varılmıştır. Boru çapının büyümesi basınç düşümünün, güç tüketiminin ve sürtünmenin azalmasını sağlamaktadır. Materyal ile denemelerde hava hızının artması ile hava debisi, basınç düşümü, güç tüketimi artmakta, karışım oranı, sürtünme katsayısı azalmaktadır. En düşük basınç düşümü ve güç tüketimi değerleri ayçiçeği iletiminde elde edilmiştir. Buğday ve arpa iletiminde elde edilen değerler birbirine yakındır. Denemelerde basınç düşümünün, güç tüketiminin ve mekanik zedelenmenin belirlenmesinde en önemli faktörlerin boru çapı ve hava hızı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Nisan 2008, 107 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Pnömatik iletim, materyal- hava oranı, iletici, tarımsal ürün, basınç düşümü, akış tipi

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### DETERMINATION OF PRESSURE DROP IN PNEUMATIC CONVEYING OF SOME AGRICULTURAL MATERIALS

Gökhan DUMAN

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof.Dr. Metin GÜNER

Pneumatic conveyor is one of the ways to transport agricultural materials. This thesis is concerned with the an experimental study of pneumatic conveying and included determination of the conveying characteristics such as pressure drop, head loss, material-conveying speed, air speed, power consumption, material and air flow rate, internal relationships between equipments, mechanical damage of agricultural materials. To determine its performance and conveying characteristics of the seeds of wheat (*Triticum aestivum L.*), barley (*Hordeum distichon*) and sunflower (*Helianthus annuus L.*) a positive low pressure pneumatic conveyor was used.

As variant factors three above mentioned materials, three different diameters of pipes, five varied air velocity and three varied feeder speeds were considered in this research. For every pipe diameters, when air alone was blown, pressure drop, friction losses and power requirements increased with the air velocity. The mentioned factors were affected by the pipe diameters. The biggest pipe diameter provides less pressure drop, friction and power requirements. During material transport air flow, pressure drop, power requirement were increased and solid – air ratio, friction coefficient were decreased with the air velocity. The lowest pressure drop and power requirement were obtained from sunflower conveying. Higher pressure drop and power requirement were obtained from both wheat and barley conveying. Air velocity and pipe diameter are main and most important factors to determine pressure drop, power requirement and mechanical damage level.

**April 2008, 107 pages**

**Key Words:** Pneumatic conveying, solid- air ratio, agricultural materials, pressure drop, flow type

## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanma sürecinde; her zaman yanımda olan aileme, sonsuz destek ve sabrı için danışman hocam Prof.Dr. Metin GÜNER'e, değerli destek ve yönlendirmeleri için Prof.Dr. Bilal GÜRBÜZ ve Prof.Dr. İbrahim ÇİLİNGİR'e, sağlanan imkanlar için Ank. Üniv. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü adına Prof.Dr. Ali İhsan ACAR'a, Araş.Gör. Ahmet KILIÇKAN'a, Yurdun ALIM'a (Mikromak), Mehmet ÇINAR'a (Uğur Makina), Mustafa SEBER'e (Dura Makina), Abdullah BELLEK'e (Dura Makina), Ankara Hidroser'e teşekkür ederim.

Gökhan DUMAN  
Ankara, Nisan 2008

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 İleticiler.....	3
1.1.1 Basınç sınıfı.....	5
1.1.2 Akış tipleri.....	7
1.1.3 Pnömatik ileticilerde iletilen materyal özellikleri.....	9
1.1.4 İletim boyutları.....	9
1.1.5 Hava hızları ve karışım oranları.....	10
1.1.6 Hava hareketlendiricileri.....	10
1.1.6.1 Turbo üfleyici .....	10
1.1.6.2 Vidalı kompresörler.....	12
1.1.6.3 Roots üfleyici .....	12
1.1.7 Besleyiciler.....	16
1.1.7.1 Hücreli besleyiciler.....	16
1.1.7.2 Vidalı besleyiciler.....	18
1.1.7.3 Venturi tip besleyiciler.....	19
1.1.7.4 Akış yastıklı tip besleyiciler.....	19
1.1.7.5 Kolon tip besleyiciler.....	20
1.1.8 İletim hattı.....	20
1.1.9 Siklon.....	22
1.1.10 Hava kilidi.....	22
1.1.11 Aspiratör.....	23
1.1.12 Filtre.....	24
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	25
3. MATERYAL YÖNTEM.....	29

<b>3.1 Materyal.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.1 Pozitif ve düşük basınçlı pnömatik iletim tesisi.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.2 Roots üfleyici.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.3 Besleyici düzenek.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.4 İletim boruları.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.5 Siklon ve hava kilidi.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.6 Aspiratör.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.7 Torbalı filtre.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.8 Kontrol ünitesi.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.9 Basınç sensörü, transmitteri ve dijital göstergesi.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.10 Denemelerde kullanılan tarımsal ürünler.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Yöntem.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.1 Materyallerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.2 Basınç düşümünün belirlenmesi.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.3 İletim hızının belirlenmesi.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.4 Güç tüketiminin belirlenmesi.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.5 İletim kapasitesinin belirlenmesi.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.6 Karışım oranının belirlenmesi.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.7 Sürtünme kaybı.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.8 Sadece havanın iletilmesi.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.9 Zedelenmenin belirlenmesi.....</b>	<b>46</b>
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Materyallerin Fiziksel Özellikleri.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 Sadece Hava İletiminde Deneme Sonuçları.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3 Materyal Debisi.....</b>	<b>49</b>
<b>4.4 Deneme Sonuçları.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 Besleyicinin Basınç Düşümüne Etkisi.....</b>	<b>49</b>
<b>4.6 “U” Dönüşteki Basınç Düşümünün Belirlenmesi.....</b>	<b>50</b>
<b>4.7 Zedelenme Sonuçları.....</b>	<b>54</b>
<b>4.8 İletim Kapasitesinin Güç Tüketimine Etkisi.....</b>	<b>55</b>
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Yalnız Hava İletiminde Faktörler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi.....</b>	<b>57</b>

5.1.1 Hava hızının basınç düşümüne etkisi.....	57
5.1.2 Boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	58
5.1.3 Besleyici ünitesinin basınç düşümüne etkisi.....	60
5.1.4 İletim hattındaki U dönüşün basınç düşümüne etkisi.....	60
5.1.5 Hava hızının sürtünme kaybına etkisi.....	61
5.1.6 Boru çapının sürtünme kaybına etkisi.....	63
5.1.7 Hava hızının güç tüketimine etkisi.....	63
5.1.8 Boru çapının güç tüketimine etkisi.....	65
5.2 Materyal İletiminde Faktörler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi.....	65
5.2.1 İletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	65
5.2.2 Boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	71
5.2.3 Materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	78
5.2.4 Materyal cinsinin basınç düşümüne etkisi.....	84
5.2.5 U dönüşün basınç düşümüne etkisi.....	90
5.2.6 İletim hızının güç tüketimine etkisi.....	90
5.2.7 Boru çapının güç tüketimine etkisi.....	92
5.2.8 İletim kapasitesinin güç tüketimine etkisi.....	94
5.3 Zedelenme.....	94
5.4 Sonuç.....	95
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>98</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>100</b>
<b>EK 1 Denemelerde Buğday İletiminde Elde Edilen Sonuçlar.....</b>	<b>101</b>
<b>EK 2 Denemelerde Arpa İletiminde Elde Edilen Sonuçlar.....</b>	<b>103</b>
<b>EK 3 Denemelerde Ayçiçeği İletiminde Elde Edilen Sonuçlar.....</b>	<b>105</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>107</b>

## SİMGELER DİZİNİ

A	Alan
AC	Alternatif Akım
D	Çap
$f$	Sürtünme Katsayısı
I	Akım
IP	Elektrik Motorlarında Koruma Sınıfı
L	Uzunluk
N	Güç
P	Basınç
Q	Debi
T	Kalınlık
S	Sürtünme Kaybı
$S_d$	Mekanik Zedelenme Oranı
U	Gerilim
V	Hız
W	Genişlik
Ø	Küresellik
$\mu$	Karışım Oranı
$\rho$	Özgül Kütle
$\gamma$	Özgül Ağırlık

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Silodan kamyonu materyalin taşınması.....	3
Şekil 1.2 Helezon ve pnömatik iletici kombinasyonu ile materyalin depodan siloya taşınması.....	3
Şekil 1.3 Zeminden alınan materyalin vakumla siloya taşınması .....	4
Şekil 1.4 Dozajlama yapılarak materyalin mikser taşınması.....	4
Şekil 1.5 Mikser ile karıştırılan malzemenin vakum sistemi ile çuval veya big bag gibi paketlere doldurulması.....	4
Şekil 1.6 Pozitif basınçlı iletim sistemi.....	6
Şekil 1.7 Negatif basınçlı iletim sistemi ve negatif sistemlerde kullanılan pompa ünitesi.....	6
Şekil 1.8 Birleşik basınçlı sistem.....	6
Şekil 1.9 Havalandırılmış akış.....	7
Şekil 1.10 Yoğun akış.....	7
Şekil 1.11 Kayarak akış.....	7
Şekil 1.12 Kesikli akış.....	8
Şekil 1.13 Sürekli akış.....	8
Şekil 1.14 Çeşitli turbo üfleyici yapısı .....	11
Şekil 1.15 Negatif basınçlı ileticilerde kullanılan yan kanallı vakum sistemi.....	11
Şekil 1.16 Vidalı kompresör ve rotor yapısı .....	12
Şekil 1.17 Roots üfleyici yapısı .....	13
Şekil 1.18 Roots üfleyicinin çalışması.....	13
Şekil 1.19 Roots üfleyici örneği .....	14
Şekil 1.20 Hücreli besleyiciler .....	17
Şekil 1.21 Uygulamada kullanılan çark tipleri.....	18
Şekil 1.22 Vidalı besleyici yapısı .....	18
Şekil 1.23 Venturi tip besleyici.....	19
Şekil 1.24 Akış yastıklı tip besleyici yapısı.....	20
Şekil 1.25 Siklon uygulaması .....	22
Şekil 1.26 Hava kilidi uygulaması .....	23
Şekil 1.27 Pnömatik ileticilerde kullanılan aspiratör.....	23
Şekil 1.28 Filtre uygulaması örneği.....	24

Şekil 3.1 Pozitif düşük basınçlı pnömatik iletim tesisinin genel görünüşü.....	30
Şekil 3.2 LT 65 roots üfleyici yapısı.....	32
Şekil 3.3 Denemelerde kullanılan basınç transmitteri ve bağlantı şekli.....	36
Şekil 3.4 Denemelerde kullanılan materyaller.....	36
Şekil 3.5 Materyallerde meydana gelen mekanik zedelenmeler.....	46
Şekil 5.1 Boru çapı 43.1 mm olduğu durumda hava hızının basınç düşümüne etkisi....	57
Şekil 5.2 Boru çapı 54.5 mm olduğu durumda hava hızının basınç düşümüne etkisi....	58
Şekil 5.3 Boru çapı 70.3 mm olduğu durumda hava hızının basınç düşümüne etkisi....	58
Şekil 5.4 Havanın iletiminde boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	59
Şekil 5.5 Besleyici ünitesinin basınç düşümüne etkisi.....	60
Şekil 5.6 Hava hızının sürtünme kaybına etkisi.....	61
Şekil 5.7 43.1 mm çaplı boruda hava hızının sürtünme kaybına etkisi.....	62
Şekil 5.8 54.5 mm çaplı boruda hava hızının sürtünme kaybına etkisi.....	62
Şekil 5.9 70.3 mm çaplı boruda hava hızının sürtünme kaybına etkisi.....	62
Şekil 5.10 Boru çapına bağlı birim boydaki sürtünme kaybı.....	63
Şekil 5.11 43.1 mm çaplı boru için hava hızına bağlı güç tüketimi.....	64
Şekil 5.12 54.5 mm çaplı boru için hava hızına bağlı güç tüketimi.....	64
Şekil 5.13 70.3 mm çaplı boru için hava hızına bağlı güç tüketimi.....	64
Şekil 5.14 Boru çapına bağlı güç tüketimi.....	65
Şekil 5.15 Besleyici devri $10 \text{ min}^{-1}$ iken buğday için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	66
Şekil 5.16 Besleyici devri $13 \text{ min}^{-1}$ iken buğday için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	67
Şekil 5.17 Besleyici devri $16 \text{ min}^{-1}$ iken buğday için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	67
Şekil 5.18 Besleyici devri $10 \text{ min}^{-1}$ iken arpa için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	68
Şekil 5.19 Besleyici devri $13 \text{ min}^{-1}$ iken arpa için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	69
Şekil 5.20 Besleyici devri $16 \text{ min}^{-1}$ iken arpa için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	69
Şekil 5.21 Besleyici devri $10 \text{ min}^{-1}$ iken ayçiçeği için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	70
Şekil 5.22 Besleyici devri $13 \text{ min}^{-1}$ iken ayçiçeği için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	70

Şekil 5.23 Besleyici devri 16 min <sup>-1</sup> iken ayçiçeği için iletim hızının basınç düşümüne etkisi.....	71
Şekil 5.24 Besleyici devri 10 min <sup>-1</sup> iken buğday için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	72
Şekil 5.25 Besleyici devri 13 min <sup>-1</sup> iken buğday için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	73
Şekil 5.26 Besleyici devri 16 min <sup>-1</sup> iken buğday için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	73
Şekil 5.27 Besleyici devri 10 min <sup>-1</sup> iken arpa için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	74
Şekil 5.28 Besleyici devri 13 min <sup>-1</sup> iken arpa için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	75
Şekil 5.29 Besleyici devri 16 min <sup>-1</sup> iken arpa için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	75
Şekil 5.30 Besleyici devri 10 min <sup>-1</sup> iken ayçiçeği için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	76
Şekil 5.31 Besleyici devri 13 min <sup>-1</sup> iken ayçiçeği için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	77
Şekil 5.32 Besleyici devri 16 min <sup>-1</sup> iken ayçiçeği için boru çapının basınç düşümüne etkisi.....	77
Şekil 5.33 Buğdayın 43.1 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	78
Şekil 5.34 Buğdayın 54.5 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	79
Şekil 5.35 Buğdayın 70.3 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	79
Şekil 5.36 Arpanın 43.1 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	80
Şekil 5.37 Arpanın 54.5 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	81
Şekil 5.38 Arpanın 70.3 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	82
Şekil 5.39 Ayçiçeğinin 43.1 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	83
Şekil 5.40 Ayçiçeğinin 54.5 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	83
Şekil 5.41 Ayçiçeğinin 70.3 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi.....	84
Şekil 5.42 Besleyici devri 10 min <sup>-1</sup> iken 43.1 mm çaplı boru için materyallerin	

basınç düşümleri.....	85
Şekil 5.43 Besleyici devri 10 min <sup>-1</sup> iken 54.5 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	85
Şekil 5.44 Besleyici devri 10 min <sup>-1</sup> iken 70.3 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	86
Şekil 5.45 Besleyici devri 13 min <sup>-1</sup> iken 43.1 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	87
Şekil 5.46 Besleyici devri 13 min <sup>-1</sup> iken 54.5 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	88
Şekil 5.47 Besleyici devri 13 min <sup>-1</sup> iken 70.3 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	88
Şekil 5.48 Besleyici devri 16 min <sup>-1</sup> iken 43.1 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	89
Şekil 5.49 Besleyici devri 16 min <sup>-1</sup> iken 54.5 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	90
Şekil 5.50 Besleyici devri 16 min <sup>-1</sup> iken 70.3 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri.....	90
Şekil 5.51 Buğday iletiminde elde edilen güç tüketim değerleri.....	93
Şekil 5.52 Arpa iletiminde elde edilen güç tüketim değerleri.....	94
Şekil 5.53 Ayçiçeği iletiminde elde edilen güç tüketim değerleri.....	94

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 DIN 2448'e göre pnömatik ileticilerde kullanılan dikişsiz boru çapları.....	21
Çizelge 3.1 Denemelerde kullanılan LT 65 tip roots üfleyici kompresörün katalog değerleri.....	31
Çizelge 3.2 Denemelerde kullanılan ileticinin iletim borularının özellikleri.....	33
Çizelge 3.3 Kompresörün devir sayısı, basınç ve debisine bağlı olarak 43.1 mm iç çaplı borudaki hava hızı (m/s).....	40
Çizelge 3.4 Kompresörün devir sayısı, basınç ve debisine bağlı olarak 54.5 mm iç çaplı borudaki hava hızı (m/s).....	41
Çizelge 3.5 Kompresörün devir sayısı, basınç ve debisine bağlı olarak 70.3 mm iç çaplı borudaki hava hızı (m/s).....	42
Çizelge 4.1 Denemelerde kullanılan materyallerin fiziksel özellikleri.....	47
Çizelge 4.2 Yalnız hava iletiminde deneme sonuçları.....	48
Çizelge 4.3 Denemelerde besleyici devrine karşılık gelen materyal debileri.....	49
Çizelge 4.4 Yalnız hava iletiminde besleyicinin basınç düşümüne etkisi.....	50
Çizelge 4.5 Sadece hava iletiminde U boru kısmındaki basınç düşümü.....	51
Çizelge 4.6 Materyal iletiminde kompresör devri $1150 \text{ min}^{-1}$ ve $1450 \text{ min}^{-1}$ iken U dönüşte, öncesinde ve sonrasında oluşan basınç düşümleri.....	52
Çizelge 4.7 Materyal iletiminde kompresör devri $1750 \text{ min}^{-1}$ ve $2250 \text{ min}^{-1}$ iken U dönüşte, öncesinde ve sonrasında oluşan basınç düşümleri.....	53
Çizelge 4.8 Denemelerden alınan materyal numunelerindeki kırık tane sayısı.....	54
Çizelge 4.9 Mekanik zedelenme oranı.....	55
Çizelge 4.10 İletim kapasitesinin güç tüketimine etkisi.....	56
Çizelge 5.1 Buğday iletiminde 3 boru çapı için 5 farklı iletim hızında güç tüketimi.....	92
Çizelge 5.2 Arpa iletiminde 3 boru çapı için 5 farklı iletim hızında güç tüketimi.....	92
Çizelge 5.3 Ayçiçeği iletiminde 3 boru çapı için 5 farklı iletim hızında güç tüketimi.....	93

## 1. GİRİŞ

Konu, iletim materyallerinin pnömatik iletilciyle bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Günümüzde orta büyüklükteki bir tarım işletmesinde yapılan işlerin üçte biri taşıma iletimidir (Tunalıgil ve Eker 1985). Helezon (vidalı), zincirli, salınımlı, titreşimli, bantlı, kovalı konveyör ve elevatörler ile pnömatik iletilciler en fazla kullanılan tiplerdir. Pnömatik iletim, taneli ve/veya toz materyallerin negatif ya da pozitif basınçlı hava akımı yardımıyla bir noktadan başka bir noktaya veya noktalara kapalı borular içerisinde iletimidir. Başta işlenmiş ve işlenmemiş tarımsal ürünler olmak üzere pek çok yığma materyalin iletiminde, çimento, kalsit, kireç, alçı, tuz, soda, cam tozu, mermer tozu, plastik, polietilen, ilaç, metal ve tahta talaşı, döküm (maça kumu) malzemeleri, kömür, kimyasal maddeler ile vagonların, gemilerin veya siloların doldurulmasında ya da boşaltılmasında, değirmenlerde, yem fabrikalarında, termik santrallerde, kül naklinde, asfalt plantlerinde, seramik ve porselen fabrikalarında ve hatta posta işletmelerinde, hastanelerde kullanılabilmektedir.

Pnömatik iletimin tercih edilme nedenleri arasında yığma materyallerin iletiminde mekanik iletilcilere göre daha ekonomik olması (ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderleri düşük, enerji sarfiyatları nispeten fazladır), emniyetli ve esnek olması ve her yöne iletimin doğrusal veya kıvrımlı olarak kolay yapılabilmesi, boyutlarına göre sabit veya seyyar olarak kullanılabilmesi, ayar ve bakımının diğer iletilcilere göre daha az olması, hareketli parçaların oranının az olması ve işletme içinde az yer kaplaması, iletim hattının konstrüksiyon olarak basit ve hafif olması, zedelenme ve aşınmanın az olması, işgücü ihtiyacının az olması, kapalı sistemde materyal kaybının olmaması ve ortama toz yayılmaması, yangın ve patlama tehlikesinin az olması gibi faktörler sayılabilmektedir. Taşıma mesafesinin sınırlı olması, her materyalin taşınmaması, güç tüketiminin fazla olması (1–4 kWh/ton) ([www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf), 2007) ve ortamdaki ses seviyesini yükseltmesi şu an için olumsuz yönlerindedir.

Endüstriyel alanda gelişmiş ülkelerde pnömatik iletilcilerin önemi anlaşılmıştır. Yapılan araştırmalarla sistemler ideal hale getirilmiştir. Pnömatik iletilciler, endüstrinin her dalında otomasyon ağı içerisine adapte edilerek ileri teknoloji desteği ile vazgeçilmez

hale gelmiştir. Ülkemizde pnömatik ileticiler alışlagelmiş helezon, kovalı ve bantlı ileticiler kadar tercih edilmemektedir. Helezon, kovalı ve bantlı ileticiler bazı uygulamalar için verimli ve ekonomik olamamaktadırlar. Pnömatik iletim yönteminin tam olarak tanınmaması ve ülkemizdeki imalatçıların yeterince ilgi göstermemesi nedeniyle bu ekonomik ve avantajlı iletim yöntemi yeterince gelişme kaydedememiştir. Ülkemizdeki mevcut pnömatik ileticiler ya komple yurtdışından gelmiş tesislerde veya çok basit ve verimsiz yapıda imal edilmiş ve tarımsal ürünlerin kısa mesafeli iletiminde kullanılan sistemlerden oluşmaktadırlar. Ayrıca pnömatik iletici ve iletim materyali arasındaki ilişkiler konusunda yapılan çalışmalar da yetersiz kalmaktadır.

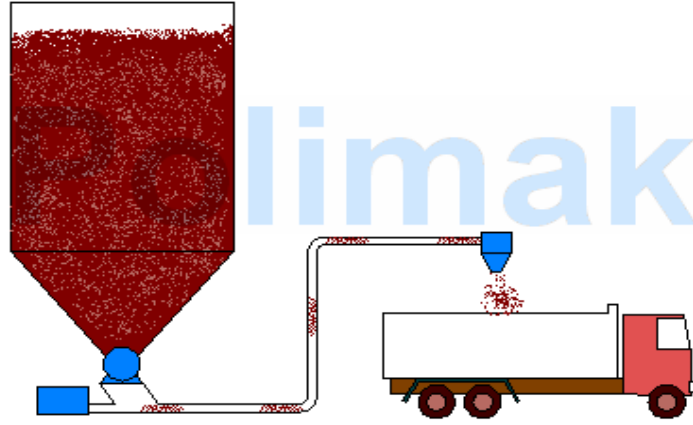
Bu çalışmanın amacı; pnömatik ileticilerin tarımsal ürünlerin iletimine uygunluğunun araştırılması, pnömatik ileticilerin tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve pnömatik ileticilerin verimli kullanımlarına yönelik tespitlerin yapılarak ortaya konulmasıdır.

Çalışma kapsamı; seçilen tarımsal ürünlerin pnömatik iletiminde boru çapı, besleme debisi, iletim hızı gibi değişken faktörlerle basınç düşümü, sürtünme kaybı, hava hızı, iletim hızı, güç gereksinimi, materyal ve hava iletim debisi, materyal/hava (karışım) oranı ve zedelenme gibi iletim karakteristiklerinin belirlenmesidir.

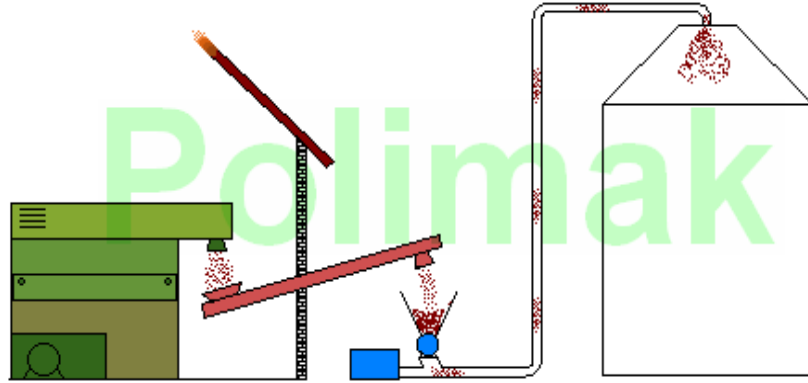
Çalışmada uygulanan yöntem ise özetle; basınç kaybı iki nokta arasındaki basınç farkıdır. Sistemin meydana getirdiği basınç kaybı materyal iletimi olmaksızın yapılan çalışmada elde edilmiştir. Yardımcı donanımların basınç kayıplarının ölçülmesinde donanımdan önce ve sonra yerleştirilen basınçölçerlerden okunan değerlerden yararlanılmıştır. Pnömatik iletim hızı; ölçülen toplam basınç değeri, kompresör devri ve boru çapından yararlanılarak bulunmuştur. Materyalli denemelerde materyal faktörünün etkisi araştırılmıştır. Karışım oranı; iletilecek materyal miktarının iletmek için gerekli hava miktarına oranıdır. Toplam sürtünme kaybı; hava-boru, hava-materyal, materyal-boru, materyal-materyal arasındadır. Güç tüketimi miktarı denemeler esnasındaki akım ve gerilim değerleri ile tespit edilmiştir. Denemeler sırasında materyallerde meydana gelen zedelenmeyi belirlemede gözle muayene yöntemi kullanılmış ve mekanik zedelenme oranı bulunmuştur.

## 1.1 İleticiler

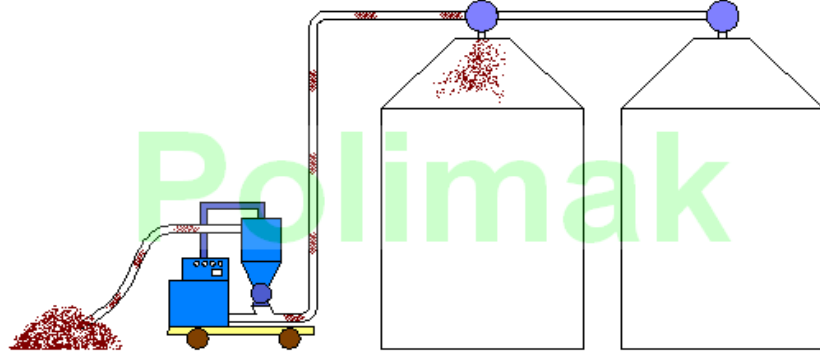
Pnömatik ileticiler tek iletici olarak veya başka ileticilerle birleşim yapılarak uygulanabilmektedir. Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3, Şekil 1.4 ve Şekil 1.5’de pnömatik taşımaya örnek uygulamalar yer almaktadır.



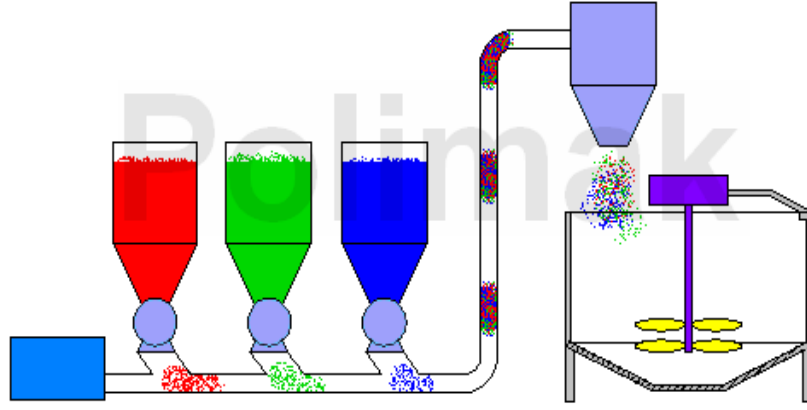
Şekil 1.1 Silodan kamyonu materyalin taşınması  
([www.polimak.com/PolTrPneumatic.html](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html), 2007)



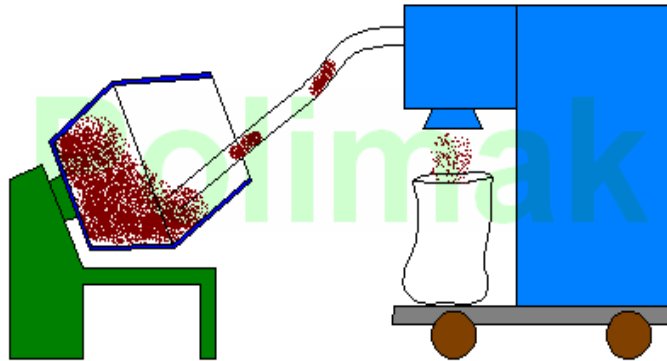
Şekil 1.2 Helezon ve pnömatik iletici birleşimi ile materyalin depodan siloya taşınması ([www.polimak.com/PolTrPneumatic.html](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html), 2007)



Şekil 1.3 Zeminden alınan materyalin vakumla siloya taşınması  
([www.polimak.com/PolTrPneumatic.html](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html), 2007)



Şekil 1.4 Dozajlama yapılarak materyalin miksere taşınması  
([www.polimak.com/PolTrPneumatic.html](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html), 2007)



Şekil 1.5 Mikser ile karıştırılan malzemenin vakum sistemi ile çuval veya big bag gibi paketlere doldurulması ([www.polimak.com/PolTrPneumatic.html](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html), 2007)

### 1.1.1 Basınç sınıfı

Pnömatik iletimde 3 farklı basınç sistemi kullanılmaktadır (Anonymous 1977);

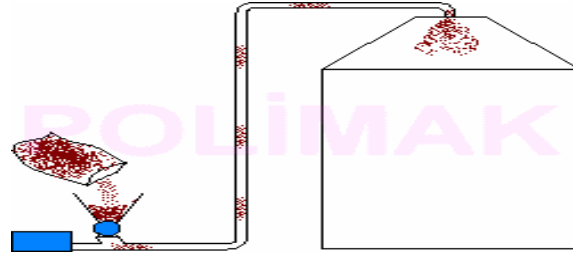
1. Yüksek basınç ( $3 \text{ atm} < P < 7 \text{ atm}$ )
2. Orta basınç ( $1 \text{ atm} < P < 3 \text{ atm}$ )
3. Düşük basınç ( $P < 1 \text{ atm}$ )

Yüksek basınçlı sistemlerde az miktardaki havayla büyük miktarlarda materyal iletimi gerçekleştirilir. Genellikle küçük çaplı borular kullanılır ve iletilen materyalde zedelenme azdır. Hareketlendirici olarak kompresör kullanılır. Orta basınçlı sistemlerde hareketlendirici olarak fan, besleyici olarak vidalı tip tercih edilir.

Düşük basınçlı sistemlerde ise hava debisi yüksektir. Hareketlendirici olarak fan kullanılır. İletilen materyaller aşındırıcı olmayan veya az aşındırıcı özellikte ve kuru olmalıdır. Basıncın küçük olması sebebiyle kısa mesafeler ve küçük materyal debileri için uygundur (Güner 2006).

Düşük basınçlı sistemlerde basınç; pozitif, negatif (vakum) ve birleşimi olarak uygulanabilir. Pozitif basınçlı sistemlerde materyal bir noktadan alınıp bir veya birden çok noktaya iletilebilir (Güner 2006). Basınç kaynağından elde edilen basınçlı hava, iletim hattına verilir ve besleyiciden hatta verilen materyali taşıyarak iletim hattının sonunda bulunan siklonda ayrışır (Şekil 1.6). Hava yoğunluğu daha yüksek ve basınç düşümü fazladır. Akımı yavaş olan materyallerin uzun mesafeli taşınmasında etkilidir ([www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf), 2007).

Negatif basınçlı (vakumlu) sistemlerde, birçok noktadan toplanan materyal vakum kaynağının içinden geçerek siklonda havadan ayrılır veya siklondan sonra vakum ünitesi yerleştirilerek siklonda materyal ayrıştıktan sonra da vakumlama devam eder (Güner 2006). Şekil 1.7'de bir negatif basınçlı sistem örneği ve negatif sistemde kullanılan pompa ünitesi yer almaktadır.

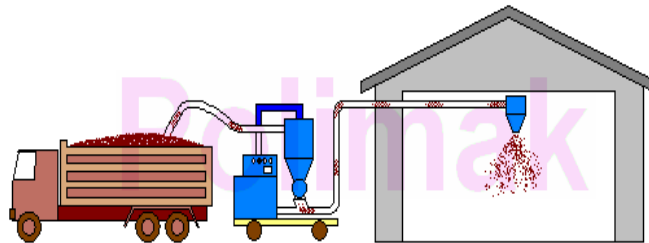


Şekil 1.6 Pozitif basınçlı iletim sistemi  
(<http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html>, 2007)



Şekil 1.7 Negatif basınçlı iletim sistemi ve negatif sistemlerde kullanılan pompa ünitesi  
([www.safmak.com/tr/urunler\\_malzeme\\_yogun.html](http://www.safmak.com/tr/urunler_malzeme_yogun.html), 2007)

Şekil 1.8’de birleşik sistemlerde negatif ve pozitif basınçlı sistemlerin birleşimi görülebilir. Birden fazla noktadan alınan materyal birden fazla noktaya iletilebilir. Bu tip ileticilerin birinci kısmı negatif basınçlı ikinci kısmı pozitif basınçlı olarak tasarımlanır (Güner 2006).

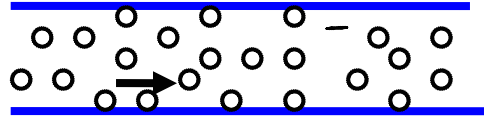


Şekil 1.8 Birleşik basınçlı sistem  
(<http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html>, 2007)

### 1.1.2 Akış tipleri

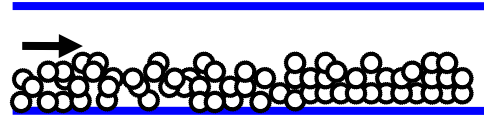
Pnömatik ileticilerde akış iki şekilde gerçekleşebilir:

- 1- Havalandırılmış Akış (Dilute Phase): Materyal hava içinde askıda taşınır (Şekil 1.9). Hız yüksek, basınç düşüktür.



Şekil 1.9 Havalandırılmış akış

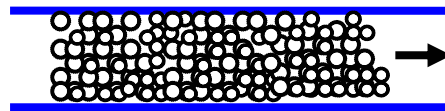
- 2- Yoğun Akış (Dense Phase): Materyal yığın halinde taşınır (Şekil 1.10). Hız düşük, basınç yüksektir. Tarımsal ürünler taşınmasında tercih edilirler.



Şekil 1.10 Yoğun akış

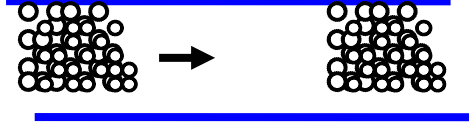
Yoğun akışta yine 3 farklı akıştan söz edilebilir.

- I- Kayarak akış: Borunun tüm kesitinde iletim (Şekil 1.11). Yavaş yavaş kayma halinde hareket.



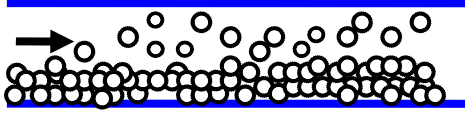
Şekil 1.11 Kayarak akış

II- Kesikli akış: Küme halinde iletim (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 Kesikli akış

III- Sürekli akış: Sabit materyal yatağı üzerindeki materyaller sıçrayarak hareket eder (Şekil 1.13).



Şekil 1.13 Sürekli akış

Yoğun akış iletimin avantajları;

- Daha az enerji gerektirir,
- Daha az g c gerektirir,
- Daha az materyal aşınması olur,
- Daha k cuk separator kullanılabilir,
- Daha k cuk boru çapı kullanılabilir.

Yoğun akış dezavantajları;

- İlk yatırım maliyeti yüksektir,
- Her malzemenin iletimine uygun değildir,
- Basınç düşümü tam olarak hesaplanamaz,
- Tıkanma anında zaman kaybı olur.

Yoğun akış ile taşınabilen malzemeler:

([http://www.safmak.com/tr/urunler\\_malzeme\\_yogun.htm](http://www.safmak.com/tr/urunler_malzeme_yogun.htm), 2007):

- Aşındırıcı
- Kırılgan
- Mikser karışımı
- Yüksek yoğunluk ve
- Higroskopik (su alıcı)

### 1.1.3 Pnömatik ileticilerde iletilen materyal özellikleri

Boyutuna göre materyaller (Güner 2006);

- Çok ince (<150  $\mu$ )
- İnce (<1 mm)
- Granül (<12.5 mm)
- Parçalı ve düzensiz (> 12 mm)

Aşındırıcılık sınıfları (Güner 2006);

- 1. Sınıf: Aşındırıcı olmayan
- 2. Sınıf: Hafif aşındırıcı
- 3. Sınıf: Orta aşındırıcı
- 4. Sınıf: Yüksek aşındırıcı.

Yüksek aşındırıcı sınıfının üzerindeki materyaller pnömatik iletici ile iletemeyecek kadar aşındırıcılardır.

### 1.1.4 İletim boyutları

İletim hattı; borular, hortumlar, kıvrımlı dirsekler ve birleştirici flanşlardan oluşur (Azeloğlu 2006). Pnömatik ileticilerde kapasite geniş sınırlar içinde değişmektedir. Bazı uygulamalarda tek bir boruda 300 t/h'a kadar çıkılabilmektedir ([www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf), 2007). Yüksek hızlar ve iletilen malzemenin özelliği tasarımda düşünülmesi gereken önemli parametrelerdir. İletim hattı boyutları ihtiyaç duyulan güç ile orantılıdır. Pnömatik ileticilerde tek

kademeli boru çapı kullanımı yaygın olmakla birlikte, özellikle uzun iletim hatlı uygulamalarda çok kademeli boru çapı kullanımı tercih edilebilir (Azeloğlu 2006).

### **1.1.5 Hava hızları ve karışım oranları**

Yüksek basınçlı sistemlerde az miktardaki havayla büyük miktarlarda materyal iletimi gerçekleştirilir. Yoğun akımın (dense phase) kullanıldığı bu sistemlerde materyal/hava oranı (karışım oranı) 7 ila 300, hava hızı 1 ila 15 m/s, orta basınçlı sistemlerde materyal/hava oranı 0.1 ila 15, hava hızı 15 ila 30 m/s, düşük basınçlı sistemlerde ise materyal/hava oranı 5 ila 15, hava hızı 15 ila 30 m/s'dir (Güner 2006).

### **1.1.6 Hava hareketlendiricileri**

Hava ileticileri vantilatör (blower) ve kompresörler olarak iki başlık altında incelenebilir (Güner 2006). Vantilatörler düşük basınçta yüksek hava debisi üretebilirler. Kompresörler ise düşük hava debisinde yüksek basınçlar üretebilirler. Patlama riski olan materyallerin iletiminde mutlaka ATEX'e uygun yani patlamaya karşı korumalı olanlar seçilmelidir. Hava hareketlendiricileri aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (Güner 2006):

- a- Turbo blower (üfleyici)  $P2-P1 \leq 0.3$  bar
  - a1) Vantilatör
  - a2) Yan kanallı üfleyici
- b- Kompresör  $P2-P1 > 0.3$  bar
  - b1) Rotorlu kompresör (roots üfleyici)
  - b2) Vidalı kompresör (rotary screw compressor) (Güner 2006)

#### **1.1.6.1 Turbo üfleyici**

Havanın çarkın merkezine doğru emilip santrifuj kuvvetin etkisi ile çarkın dışına yönlendirilmesi prensibine göre çalışırlar (Şekil 1.14). Meydana gelen basınç farkı çarkın dönme hızına ve kademe sayısına, debi ise turbo üfleyicinin büyüklüğüne

bağlıdır. Düşük basınç sistemleri için daha uygundur. Tozlu ve kirli çalışma şartlarına uygundur. Materyal kapasitesinin azaltılması durumunda hava debisinin de azaltılması için düzenleyiciler kullanılmalıdır. Roots üfleyiciye göre aynı kapasiteler için daha fazla güce ihtiyaç vardır. İlk harekete geçmeleri roots üfleyiciye göre daha yavaştır ve enerji tüketimleri fazladır (Anonim 1994, Güner 2006).



Şekil 1.14 Çeşitli turbo üfleyici yapısı ([www.vakummakina.com/index.php?id=10](http://www.vakummakina.com/index.php?id=10), 2007)

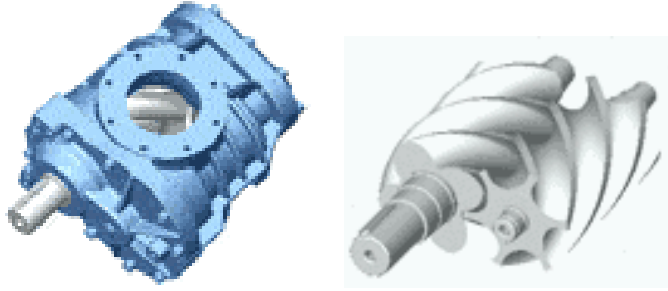
Turbo üfleyiciler sabit basınçta belli debi değerleri arasında çalıştırılabilmektedir. Gelişmiş tasarımlarda debi, dolayısıyla iletim hızı, sabit basınç ve yüksek verimle (%45 ila %100 arasında) değiştirilebilir. Düşük basınç sistemleri için daha uygundur. Güç tüketimleri düşüktür, debi arttıkça güç tüketimi de artmaktadır (Güner 2006).



Şekil 1.15 Negatif basınçlı ileticilerde kullanılan yan kanallı vakum sistemi ([www.zema-aritma.com/blower.htm](http://www.zema-aritma.com/blower.htm), 2007)

### 1.1.6.2 Vidalı kompresörler

Atmosferden emdiği havayı kapalı bir kaba veya sisteme basarak sıkıştıran makinalardır (Şekil 1.16). Hava kompresörleri motordan aldıkları enerjinin ancak %19-27'sini basınç üretmekte kullanırlar.



Şekil 1.16 Vidalı kompresör ve rotor yapısı  
([www.singlix.net/kompresör/indx.html](http://www.singlix.net/kompresör/indx.html), 2007)

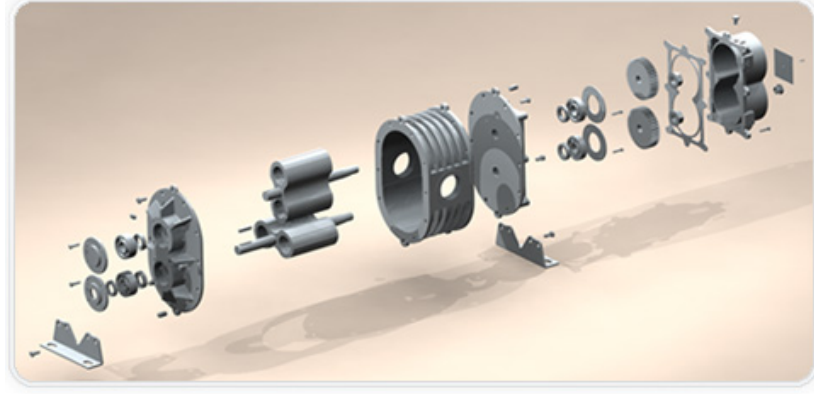
Vidalı kompresörler iç içe geçmiş ve birbirlerine göre ters yönde dönen iki sonsuz vidadan meydana gelir. Vidalar dönerken hava girişinde oluşan negatif basınç havanın emilmesini sağlar. İçeri alınan hava vida ile dış gövde arasında sıkıştırılır, çıkışa doğru yönlendirilir ve hacmin en küçük olduğu çıkış bölümünden sisteme verilir (Güner 2006). Sessiz çalışmaları, dayanıklı olmaları, bakım ihtiyacının az olması ve yüksek verimlerinden dolayı tercih edilirler.

### 1.1.6.3 Roots üfleyici

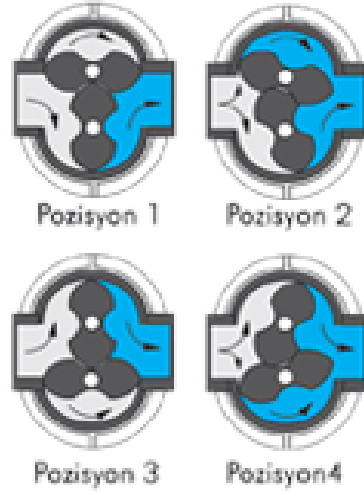
Üfleyici bir gövde içinde iki veya üç adet sekiz şeklinde rotordan oluşmaktadır (Şekil 1.17). Özel biçim verilmiş bir muhafaza içinde birbirinin tersi yönde dönen simetrik rotorlar ile pozitif deplasmanda döner makinalardır.

Rotorların üzerinde iki, üç veya 4 lob bulunur. Dönme sırasında, giriş ağzında negatif basınç oluşturularak yönlendirilen hava rotorlar vasıtasıyla alınır ve basma tarafına iletilir (Şekil 1.18). Rotorların dönüşü esnasında hava hacminde herhangi bir küçülme

veya büyüme olmamakta rotorlar sadece havayı emiş ağzından çıkış ağzına taşımaya yaramaktadır.



Şekil 1.17 Roots üfleyici yapısı ([www.ruutblower.com/blower\\_donanim.htm](http://www.ruutblower.com/blower_donanim.htm), 2007)



Şekil 1.18 Roots üfleyicinin çalışması ([www.ruutblower.com/blower\\_donanim](http://www.ruutblower.com/blower_donanim), 2007)

Rotorların hareketi şaftlar üzerine yerleştirilmiş zamanlama dişlileri vasıtasıyla senkronize edilmiştir, bu sebeple rotorlar arasında ve rotorlarla muhafaza arasında sürtünme yoktur. Bu hareket tahrik milinin her bir devrinde altı defa tekrarlanır. Böylece iletilen hava hacmi dönme hızı ile orantılıdır ve basınç değişimlerinde hemen hemen sabittir. İşletme basıncı, sistemdeki havanın sürtünme kayıplarının oluşturduğu

basınçtır ([www.ruutblower.com/blower\\_donanim.html](http://www.ruutblower.com/blower_donanim.html), 2007). Nominal çalışma devirlerine kısa zamanda ulaşırlar. Kısmi yükte güç tüketimleri daha azdır. Ancak iletim hızı yüksek olduğundan boruda aşınma ve tanede zedelenme yüksek olur. Sabit debide yani sabit iletim hızında değişik basınçlar elde edilebilmektedir. Debinin değiştirilmesi için rotorun büyüklüğünün veya açısal hızının değiştirilmesi gerekmektedir. Güç tüketimleri yüksektir. Aşırı basınca karşı emniyet valfleri kullanılabilir. Rotorlar arasındaki boşluklara (0.2–0.6 mm) yabancı ve aşındırıcı malzemelerin girmemeleri için giriş hattında filtre kullanılmalıdır (Şekil 1.19).



Şekil 1.19 Roots üfleyici örneği ([www.vimpi.com.tr/blower.html](http://www.vimpi.com.tr/blower.html), 2007)

Roots üfleyicinin kullanım alanları:

- Pnömatik taşıma
- Atık su arıtma tesisleri (pis su havalandırma tankları)
- Asfalt Makinaları
- Asfalt Distribütörü
- Kültür balıkçılığı uygulamaları (havalandırma havuzları)
- Hava bıçakları
- Kurutma uygulamaları
- Kağıt, matbaacılık uygulamaları (vakum üretimi)
- Un değirmenleri
- ULV ilaçlama, haşere ile mücadele makinaları

- Vakum uygulamaları
- Biyodizel tesisleri vakum pompası  
([www.vakummakina.com/index.php?id=10](http://www.vakummakina.com/index.php?id=10), 2007)
- Galvaniz banyoları
- Kimyasal proses
- Maya ve bira endüstrisi
- Damıtmada buhar dolaşımı
- Döner filtre temizlenmesi
- Ergitme fırınları hava beslemesi ([www.ruutblower.com/blower\\_donanim.html](http://www.ruutblower.com/blower_donanim.html), 2007)

Turbo üfleyicilerin avantajları:

- Verimleri roots üfleyicilere göre yüksektir.
- Değişik hava hızlarına kolayca geçirilebilir. Aynı sistemle farklı hava gerektiren ürünlerin iletimleri sağlanabilir.
- Kısmi yük altında iletim hızları değişken değildir. İletim hattında aşınma az görülür.
- Emilen havanın içindeki yabancı maddeler fazla zarar vermez. Filtre gereksinimi çok fazla yoktur.
- Yüksek sıcaklıktaki havadan fazla etkilenmez.
- Hava debisi sabittir.
- Gürültü az masrafla azaltılabilir.

Turbo üfleyicilerin dezavantajları (Güner 2006):

- İlk çalışmada nominal devrine daha geç ulaşır.
- Kısmi yük altında güç gereksinimi fazladır.

Roots üfleyicilerin avantajları (Güner 2006):

- İlk çalıştırmada nominal devrine çabuk ulaşır.
- Kısmi yüklenmede güç gereksinimleri düşüktür.
- Geniş basınç aralığında sabit hava debisi elde edilebilir.
- İletim hızı sabittir. Hız devri değiştirilerek ayarlanabilir.

- Küçük çaplı iletim hattında, az hava ile yüksek basınç altında büyük miktarda materyalin iletimi mümkündür.

Roots üfleyicilerin dezavantajları:

- Kısmi yükte iletim hızı yüksektir. İletim hattında aşınmaya ve materyalde zedelenmeye sebebiyet vermektedir.
- Ses seviyesi yüksektir.
- Çalışma basıncının aşılması için basınç kontrol valfi gerekmektedir.
- Emilen havanın iyi filtre edilmesi gerekmektedir.
- Rotorlar arasındaki açıklık zaman içinde büyür ve verimin düşmesine sebep olur.

### **1.1.7 Besleyiciler**

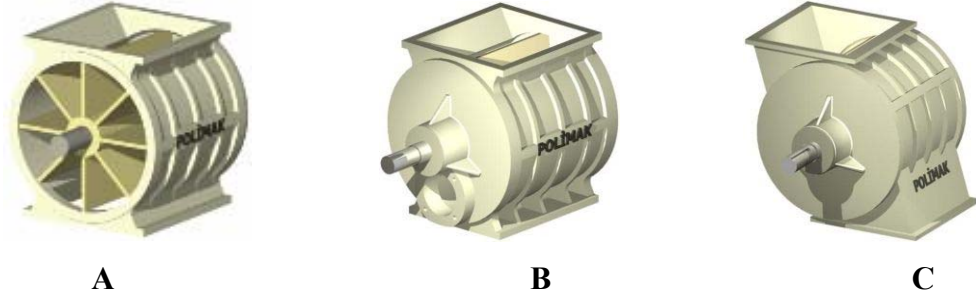
Pnömatik iletim sistemlerinde iletilecek materyali depodan alıp iletim hattına veren ünitelerdir. Aynı zamanda iletim hattında materyal-hava karışım oranını belirlemek için materyalin debisini ayarlarlar. Besleyicinin iletim hattındaki kapalı dolaşımı etkilemeyecek ve basınçlı havanın depoya ulaşmasını engelleyebilir şekilde sızdırmaz olması gerekmektedir. Günümüzde kullanılan besleyici tipleri (Güner 2006):

- a) Hücreli besleyici
- b) Vidalı besleyici
- c) Venturi tipi besleyici
- d) Akış yastıklı besleyici
- e) Kolon besleyici

#### **1.1.7.1 Hücreli besleyici**

Granül, dane veya toz halindeki iletilecek materyalin depodan alınıp iletim hattına kontrollü bir şekilde beslenmesi amacıyla kullanılır. Dış gövde içinde yataklanmış radyal kanatlı bir çarktan oluşur. Aynı zamanda besleme hattındaki yüksek veya düşük basınçlı hava ile depodaki materyal arasında perde görevi görür. Türlerine ve uygulama alanlarına göre yıldız besleyici, hücre tekeri, döner çarklı verici veya eklüs olarak da adlandırılır. Hücreli besleyicinin dönüş hızının kontrolü ile hacimsel (volumetrik)

dozajlama yapılabilir (Güner 2006). Hücreli besleyicilerle aşındırıcı malzemeler taşınabilir. Materyalin uzak mesafelere taşındığı yani basınç düşümünün fazla olduğu uygulamalarda tercih edilir ([www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf), 2007). Şekil 1.20’de endüstride kullanılan hücreli besleyici tiplerinden bazıları görülebilir.

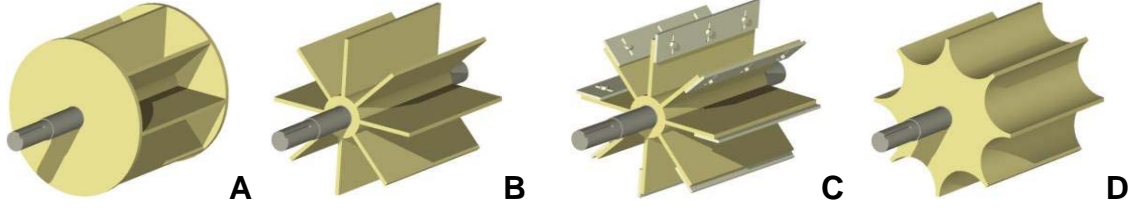


Şekil 1.20 Hücreli besleyiciler ([www.polimak.com/PolTrPneumatic.html](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html), 2007)

A Genel amaçlı bir hücreli besleyici, B Pnömatik taşıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan hücreli besleyici (un, çimento gibi tıkanmaya ve cidarlara yapışmaya eğilimli malzemelerin taşınmasında kullanılır), C Plastik granül, ayçekirdeği, kuruyemiş, fındık, fıstık gibi hassas malzemelerin zarar görmeden aktarılması için kullanılan hücreli besleyici

Hücre tekerinin en önemli parçası üzerinde hücrelerin olduğu çarktır. Materyal çarklar arasındaki hücrelere dolar ve çarkın dönmesiyle hatta boşaltılır. Şekil 1.21’de görüldüğü gibi çarkın kanatları iletilecek materyal cinsine bağlı olarak bronz, vurkulon veya sertleştirilmiş metalden imal edilebilmektedir.

Hücreli besleyiciler boşaltma işlevli ve üfleli tip olarak iki farklı yapıda olabilir. Boşaltma işlevlide besleyici depodan aldığı materyali havanın önüne verir. Materyaller besleyicinin hücrelerine dolar ve çarkın dönmesi ile boşalır. Üfleli tipte ise hava akımı çark kanatları arasında dolaşırken materyal alınır ve iletilir (Güner 2006).



Şekil 1.21 Uygulamada kullanılan çark tipleri  
([www.polimak.com/PolTrPneumatic.html](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.html), 2007)

A kapalı kanatlı çark (hava kaçağının en aza indirildiği tip), B Açık kanatlı çark, C ayarlanabilir bıçaklı çark (aşındırıcı materyallerde kullanılır), D yuvarlatılmış kanatlı çark (malzemenin kanatlara çarpmaması istendiği durumlarda özellikle gıda sektöründe kullanılır)

### 1.1.7.2 Vidalı besleyici

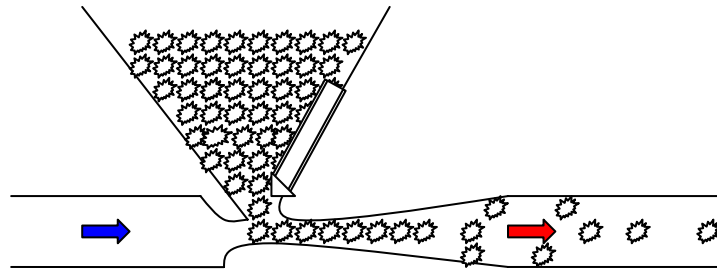
Vidalı besleyiciler materyal, depodan alıp bir helezon yardımıyla iletim hattına verirler (Şekil 1.22). Hücreli besleyicilerden daha hızlı çalışırlar ve dönme hızları 750–1800 devir/dakika'ya kadar çıkabilir. Materyalin hatta verildiği yerde kesit daralması yapılır. Bu şekilde hava hızı arttırılır ve statik basınç azalmış olur. Depoya havanın sızması engellenir ancak güç tüketimi artar. Güç tüketiminin yüksek olması ve aşınmanın fazla olması sorun teşkil etmektedir. Vidalı besleyiciler küçük taneli materyal iletiminde iri taneli ve fazla sürtünme direnci yaratan materyallere göre daha efektiftir (Güner 2006).



Şekil 1.22 Vidalı besleyici yapısı ([www.selis.com.tr/Urunler.aspx?g=3](http://www.selis.com.tr/Urunler.aspx?g=3), 2007)

### 1.1.7.3 Venturi tip besleyiciler

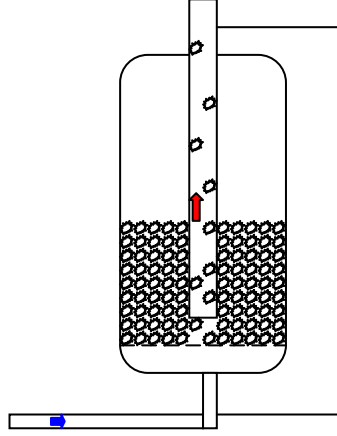
İletim borusunun depo izdüşümüne gelen kısmında kesit daralması vardır (Şekil 1.23). Çapın daraldığı kısımda hızı artacak şekilde hava ivmelenir ve statik basınç azalır. Materyalin beslendiği noktada statik basınç yoktur. Besleme depoya hava gitmeden yapılabilir. Boru hattının sürtünme direncinin az olması durumunda deponun iletim hattına açılan ağzında, statik basınç negatif basınca dönüşmekte ve materyalin iletim borusuna emilmesini sağlamaktadır. Kesitin genişlemesinden sonra hava hızını kaybeder ve statik basınç yükselir. Depo ağzına konulan bir sürgülü klape ile materyal debisi ayarı yapılabilir. İletim mesafesinin düşük ve materyal debisinin az olduğu durumlarda tercih edilebilir. İletim mesafesinin arttırılamaması, güç tüketiminin fazla olması ve veriminin düşük olması olumsuz yönleridir (Güner 2006).



Şekil 1.23 Venturi tip besleyici (Anonymous 1977)

### 1.1.7.4 Akış yastıklı tip besleyiciler

Bu tip besleyicide, Şekil 1.24'de görüldüğü gibi depo içine düşey bir iletim borusu yerleştirilir. Deponun tabanından bulunan ve havayı geçiren delikli taşıyıcıdan hava üflenerek materyal hava ile karıştırılıp akışkan haline getirilir ve depodan yukarıya çıkan boruyla sevk edilir. İletim borusuna bağlı bir by-pas borusu yardımıyla iletilen materyal miktarı ayarlanır. Havanın dışarı kaçmaması için materyalin yüksekliği belli bir değerden küçük olmamalıdır (Arun ve Akkoç 1997).



Şekil 1.24 Akış yastıklı tip besleyici yapısı (Güner 2006)

### 1.1.7.5 Kolon tip besleyiciler

Düsey duran bir boru (kolon) içerisinde karşı denge prensibi ile çalışan düzenek vardır. Materyal düzeneğin üzerinde birikir, karşı ağırlığı yenince iletim hattına verilir. Basınç büyüklüğü oranında fazla materyal iletilir. Materyal debisi alt kısımda bulunan bir klape ile sağlanır. İlk besleyici tasarımlarından biridir. Günümüzde çok az kullanılmaktadır (Güner 2006).

### 1.1.8 İletim hattı

Pnömatik ileticilerde kullanılacak borular ve çapları ISO standardında belirlenmiştir (Çizelge 1.1). Genelde St 37 malzemedden üretilmiş dikişsiz borular kullanılır. İletilecek materyalin yapısına göre paslanmaz çelik (gıda), alüminyum alaşımlı hafif metal (tozsuz plastik malzeme iletimi) veya hortum kullanılabilir. Pnömatik iletimde kullanılacak hortumlar; iletim borusu basıncına ve negatif basınca dayanıklı, kesitte değişmezlik, oynaklık ve hareketlilik, kıvrım yaparken düşük yarıçap oluşturmama ve gereğinden fazla statik elektrik yüklenmeme özelliklerine sahip olmalıdır. Hortumları üç tipe incelemek de mümkündür; çelik spiral hortumlar, plastik spiral hortumlar ve lastik spiral hortumlar (Azeloğlu 2006).

Yüksek basınçlı sistemlerde çapları 50 mm ila 250 mm arasında olan borular tercih edilir. Alçak ve orta basınçlı ileticilerde ise et kalınlığı 1 mm – 3 mm olan daha hafif borular kullanılabilir ([www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf), 2007). Üfleyici çıkışında hava ısısı yüksektir, bu kısımda hortum kullanılamamaktadır. İletim hattı statik elektriklenmeye karşı topraklanmalıdır. Hat üzerinde iletimi yönlendirmek için gerekli görülen yerlere yön değiştirme vanaları konulabilir.

İletim hattının boyutları ihtiyaç duyulan güçle doğrudan ilişkilidir. Pnömatik ileticinin tasarımı sırasında hareketlendirici ve besleyici kadar statik basınç gereksinimine göre belirlenmiş boyutlardaki borulama da önemlidir. Büyük çaplı borular genelde (25 cm’ye kadar) düşük basınçlı sistemlerde kullanılır. Düşük basınçlı sistemlerde 15 cm ila 30 cm çap arasındaki borular tercih edilir. Yüksek basınçlı sistemlerde boru çapı üfleyicinin sağlayabileceği basınca göre belirlenir.

Çizelge 1.1 DIN 2448’e göre pnömatik ileticilerde kullanılan dikişsiz boru çapları (Azeloğlu 2006)

Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	İç Çap (mm)
1.0	2.6	45.8	133.0	4	125.0
57.0	2.9	51.2	139.7	4	131.7
60.3	2.9	54.5	152.4	4.5	143.4
53.5	2.9	57.7	159.0	4.5	150.0
70.0	2.9	64.2	165.1	4.5	156.1
76.1	2.9	70.3	168.3	4.5	159.3
82.5	3.2	76.1	177.8	5	167.8
88.9	3.2	82.5	193.7	5.4	182.9
101.6	3.6	94.4	219.1	5.9	207.3
108.0	3.6	100.8	244.5	6.3	231.9
114.3	3.6	107.1	273.0	6.3	260.4
121.0	4	113.0	298.5	7.1	284.3
127.0	4	119.0	323.9	7.1	309.7

### 1.1.9 Siklon

İletilen materyalin hafif taneciklerinden ve havadan ayrıldığı ünedir (Şekil 1.25). Materyal hava karışımı siklona teğetsel girer. Materyal, merkezkaç kuvvetin ve yer çekiminin etkisi ile silindirik yapı içinde tabana doğru spiral yolu takip eder. Materyal hızını kaybettikten sonra tabanda birikir. Hava ise siklonun üst kısmından dışarı bırakılır. Siklon içinde materyalin havadan ayrılma işleminin iyi olması için merkezkaç kuvvetinin hava direnç kuvvetinden yeterince büyük olması gerekir. Çapı küçük siklonlarda merkezkaç kuvvetinin büyük olduğu bilinmektedir. Siklonlar genellikle 20 m/s'den küçük ortalama 15 m/s hava hızları için tasarlanırlar. Koni yüksekliği siklon çapının 1.6 ila 3 katı büyüklüğünde seçilebilir (Arun ve Akkoç 1997, Güner 2006). Siklonun kesit alanı borunun kesit alanından 50–150 kat büyük olabilir ve siklonun içindeki hava hızı 0.2 – 0.8 m/s arasında değişir ([www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf), 2007).



Şekil 1.25 Siklon uygulaması

([www.gurmakmakina.com.tr/siklon\\_multisiklonlar.html](http://www.gurmakmakina.com.tr/siklon_multisiklonlar.html), 2007)

### 1.1.10 Hava kilidi

Hücreli besleyiciye benzer yapıdadır (Şekil 1.26). Siklonun altına yerleştirilir ve havadan ayrılmış materyalin iletiminin devamını sağlar. Hava kilidinin en büyük

özelliği hava geçişine izin vermemesidir. Çarkın devri, tahrik eden motorun devrinin değiştirilmesi ile kontrol edilebilir (Güner 2006).



Şekil 1.26 Hava kilidi uygulaması ([www.selis.com.tr/Urunler.aspx?g=3](http://www.selis.com.tr/Urunler.aspx?g=3), 2007)

### 1.1.11 Aspiratör

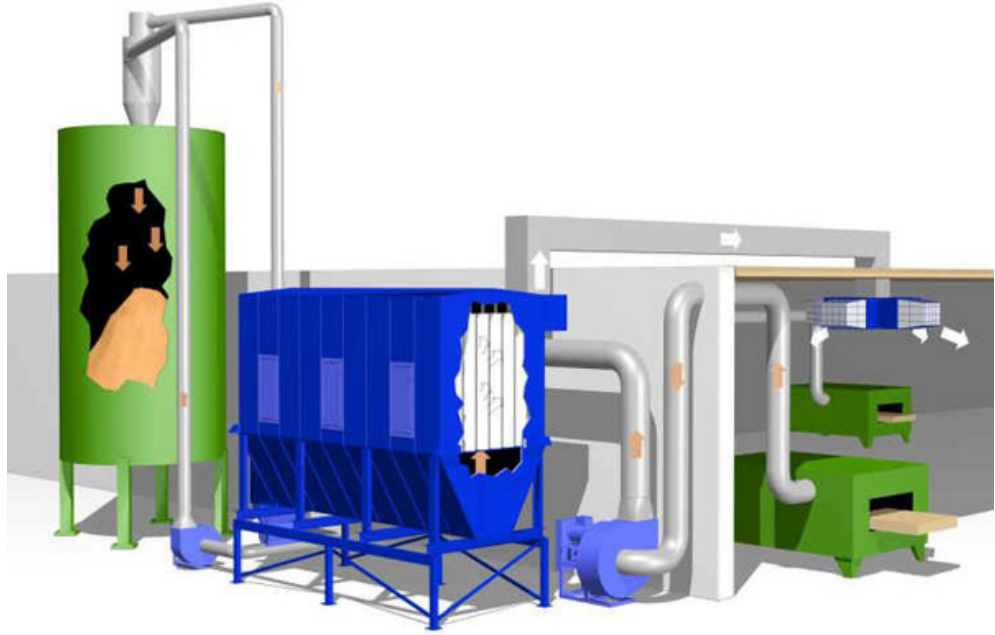
Siklondan ayrılan havanın emilip içindeki toz ve yabancı maddelerden arındırılması için filtreye iletilmesini sağlar (Şekil 1.27).



Şekil 1.27 Pnömatik ileticilerde kullanılan aspiratör  
(<http://www.selis.com.tr/Urunler.aspx?g=3>, 2007)

### 1.1.12 Filtre

Filtre; havanın yabancı malzeme ve tozdan temizlenerek atmosfere verilmesini sağlar (Şekil 1.28). Günümüzde basınçlı hava ile temizlenebilen ve çok kullanımlı torba, paket ve yüzeyi pliseli filtre elemanları kullanılmaktadır (Güner 2006). Filtre geçirgenliği iletilen materyalin özelliklerine göre değişmektedir.



Şekil 1.28 Filtre uygulaması örneği ([www.gurmakmakina.com.tr/jet\\_pulse.htm](http://www.gurmakmakina.com.tr/jet_pulse.htm), 2007)

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Puckett (1960), pnömatik ileticileri akış tiplerine göre; yüksek debili-düşük basınçlı, düşük debili-orta basınçlı ve düşük debili-yüksek basınçlı olmak üzere 3 başlık altında değerlendirmiştir.

Klueter *et al.* (1962), orta basınçta ve düşük hava debili bir pnömatik besleyicinin 3 yıllık denemelerinde elde edilen sonuçları irdelemiştir.

Person and Sorenson (1966), pnömatik ileticilerin, tahılların iletimi esnasında meydana gelen fiziksel hasarların miktarı, özellikle sorgumun neme bağlı kalarak güvenli iletim karakteristiklerinin oluşturulması üzerinde durmuşlardır.

Petersen (1975), pnömatik ileticilerde boru çapı-hava hızı-basınç değerleri arasında bağlantılar kurarak iletim kapasitesine ulaşmaya çalışmıştır.

Anonymous (1977), pnömatik iletim sistemleri düşük, orta ve yüksek basınçlı olarak üçe ayrılmış ve ilgili basınç değerleri vermiştir. Pnömatik ileticilerle iletilecek materyalleri çok ince, ince, taneli ve parçalı-düzensiz biçiminde sınıflandırmıştır.

Anonymous (1984), Amerikan standartları çerçevesinde yanıcı materyalin iletiminde kullanılan pnömatik ileticinin parçalarının sahip olması gereken özellikleri bildirilmiştir.

Spivakovsky and Dyackov (1984), tüm ileticiler ve bu arada pnömatik ileticiler ve tasarım hakkında bilgiler vermişlerdir.

Kano (1985), pnömatik iletimde güç gereksinimi ve diğer iletim sistemleriyle karşılaştırılması üzerinde durmuştur.

Klintworth and Marcus (1985), düşük hızlı pnömatik iletim sistemlerini tanıtmışlardır.

Tunalıgil ve Eker (1985), iletimde kullanılan ileticiler ve tarım arabası konusunda bilgiler vermiştir.

Aydın (1987), bir pnömatik ileticiyi oluşturan bölümleri ve akış tiplerini tek tek ele almıştır ve iletici tasarımında kullanılmak üzere kapasite değerlerinin verilip ileticinin tasarım kriterlerinin elde edilebileceği bir bilgisayar programı üzerinde çalışmıştır.

Doğantan ve Tuncer (1987), vantilatör, hava karışım odası ve depodan oluşan deneme düzeni kullanılarak hava debisi, yığın yüksekliği ve nem değişiminin basınç düşümüne ve dolayısıyla da dirence olan etkisini incelemişlerdir.

Klinzig *et al.* (1987), hava içerisindeki katı materyalin hareket karakteristiklerinin teorik değerlerinin uygulamaya yansımalarını analiz etmişlerdir.

Bölükoğlu vd. (1988), çalışmalarında bir pnömatik ileticinin teknik özelliklerinin ve performans değerlerinin saptaması yapılmak istenmiş ve çalışma sonucunda makinanın taşıma kapasitesi ile iletim mesafesi arasında ilişki kurulmuştur.

Sonsöz ve Özkürkçü (1990), siklonların çalışma ilkesi ve kullanılabilirliğini anlatmışlardır. Verimi etkileyen temel denklemler belirlenerek uygun biçimde birleştirilmiştir. Siklonların verim açısından optimum tasarımı için bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Polat (1991), borular içinde yapılan pnömatik iletim işlemi tanıtılmakta, bilinen sistemler, onların uygulamaları, kısıtlayıcı değerler ve sistemin bazı elemanları tartışılmaktadır.

Güner (1992), farklı kaynaklardan yararlanılarak sürüklenme katsayısı, hava direnci ve limit hız saptama yöntemlerini irdelemiş ve gerekli formülasyonları vermiştir.

Güner (1993), pnömatik iletimdeki hava akım tiplerini incelemiş, yoğun ve havalandırılmış olarak ikiye ayırmış ve bu akım tiplerinin kullanıldığı sistemleri tanıtmıştır.

Saccani (1993), çalışmasında materyal-hava karışımının iletimi için kullanılacak bir pnömatik ileticinin tasarımının bilgisayar ortamında yapılması için gerekli parametrelerin girilmesi ile simülasyonu oluşturacak programın geliştirilmesinden bahsetmektedir.

Güner (1994), derlemede tarımsal ürünlerin ve diğer yığılma materyallerin silolara ve gemilere doldurulup boşaltılmasında, yem sanayinde yemlerin değişik noktalara iletiminde kullanılan götürücülerin tasarımına ilişkin yöntemleri vermiştir. Bu yöntemler özellikle basınç düşümünün saptanmasında yoğunlaşmıştır.

Güner ve Dursun (1994), tarımsal ürünlerin pnömatik iletiminde farklı tasarım yöntemleri kullanılarak bilgisayar yardımıyla pnömatik götürücülerin tasarım parametreleri ve bu parametreler arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Boru çapı arttıkça gerekli güç artmakta, basınç düşümü azalmaktadır.

Raoufat and Clarke (1998), taneli ürünlerin yoğun akımlı pnömatik iletiminde yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlar ve pnömatik iletici tasarımı ve imalatı yaparak denemeler yapmışlardır.

Palial *et al.* (1999), pnömatik iletimin buğday zararlılarına olan etkisini incelemişler, pnömatik iletimin buğdayın çimlenmesine zarar vermeden *T.castaneum* ve *C.ferrugineus* adlı böcek zararlılarına karşı % 14–20 nem düzeyinde çok etkili olduğunu bulmuşlardır.

Keskin ve Güner (2001), akışkanların temel özellikleri, akışkan statığı, akışkan dinamiğı, akışkan kinematiğı, borularda viskoz akım ve açık kanal akımları ana başlık olarak incelemişlerdir.

Azeloğlu (2006), çalışmasında iletim hatlarının taşıması gereken özellikleri ve uygun boru çapının hesaplanmasından bahsedilmektedir.

Güner (2006), TOG TAG 3258 numaralı TÜBİTAK projesiyle pozitif basınçlı bir pnömatik ileticinin tasarım ve imalatını yapmış ve bazı tarımsal ürünlerin iletimindeki basınç düşümleri, güç tüketimi ve pnömatikle ilgili diğer parametreleri ortaya koymuştur.

[www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf) (2007), bir iletim sisteminin hesabında belirlenmesi gereken en önemli parametrelerin hava tüketimi, hava basıncı ve taşıma borusunun i çapı olduğu ikinci derece parametrelerin ise indirgenmiş taşıma uzunluğu, karışımın ağırlık konsantrasyonu, malzeme parçacıklarının kaldırma hızı ve boru içindeki hava akımının hızı olduğu belirtilmiştir.

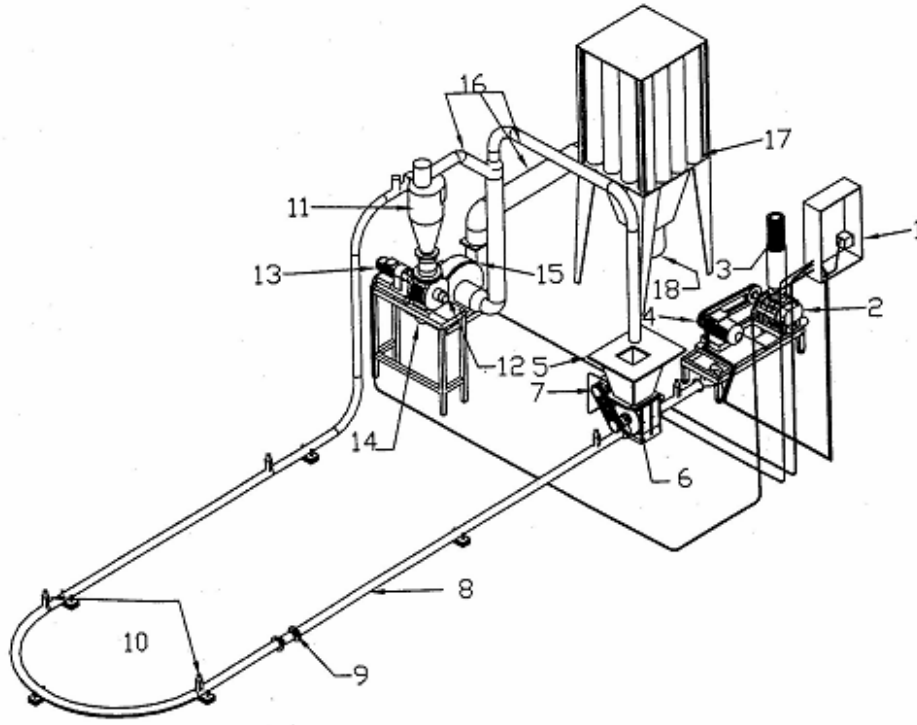
### **3. MATERYAL YÖNTEM**

#### **3.1 Materyal**

Tez çalışması kapsamındaki denemeler, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde Güner (2006) tarafından TOG TAG 3258 numaralı TÜBİTAK projesiyle tasarımı ve imalatı yapılan pnömatik iletim tesisinde yapılmıştır. Materyalin fiziksel özelliklerinin tespitinde de Tarım Makinaları Bölümü'nün imkânları kullanılmıştır.

##### **3.1.1 Pozitif ve düşük basınçlı pnömatik iletim tesisi**

İletim tesisinde basınçlı hava bir roots üfleyici tarafından sağlanmaktadır. Üfleyici, hareketini bir asenkron AC elektrik motorundan alarak üzerine entegre edilmiş emme filtresi üzerinden emilen havaya basınç ve hız kazandırarak hatta vermektedir. Besleyicinin depodan alarak iletim hattına bıraktığı materyal basınçlı hava tarafından taşınmaktadır. İletim hattı boyunca taşınan hava-materyal karışımı hattın sonunda siklona ulaşmaktadır. Siklonda hava ve hafif yabancı maddelerden arınan materyal alt kısımda hava kilidi vasıtasıyla çuvallarda toplanmaktadır. Hafif yabancı maddeler ve içerisinde toz ve küçük tanecikler bulunan hava aspiratör ile emilip ikinci bir hat üzerinden torbalı filtreye iletilmektedir. Hava içerisindeki toz ve küçük taneler filtrede tutularak temiz hava ortama verilmektedir. Üfleyici, hücreli besleyici, aspiratör ve hava kilidi elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Üfleyici ve besleyiciyi tahrik eden elektrik motorunun hızı birer frekans inverter tarafından kontrol edilmektedir. Kompresörün devrini değiştirerek farklı hava debisi, besleyicinin devrini değiştirerek farklı materyal debisi elde edilebilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Pozitif düşük basınçlı pnömatik iletim tesisinin genel görünüşü (Güner 2007)

1. kontrol ünitesi, 2. roots üfleyici tip kompresör, 3. hava giriş filtresi, 4. kompresör motoru, 5. tane deposu, 6. besleyici, 7. besleyici motoru, 8. iletim borusu, 9. saydam gözetleme borusu, 10. basınç sensörleri ve transmitterleri, 11. siklon, 12. hava kilidi, 13. hava kilidi motoru, 14. tane çıkışı, 15. aspiratör, 16. toz boruları, 17. torbalı filtre, 18. taneden hafif yabancı madde çıkışı

### 3.1.2 Roots üfleyici

Sistemde kullanılan kompresör LT-65 tipinde roots üfleyicidir (Şekil 3.2). Hareketini iki adet V kayış ve 1/1 oranlı kasnaklar vasıtasıyla elektrik motorundan almaktadır. Kompresörün devir ve basınca bağlı debi ve güç değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kompresörün kütlesi 120 kg ve GG20 dökümden imal edilmiştir. Kasnakların çapları eşit olup 176 mm’dir. Kasnak eksenleri arası mesafe 575 mm’dir (Güner 2006).

Kompresörü tahrik eden asenkron AC elektrik motorunun özellikleri;

Marka : GAMAK

Tip: AGM 132 M4

Güçü: 7.5 kW

Gerilim: 3x380–415 V ( $\Delta$ )

Devir: 1430 min<sup>-1</sup>

Frekans: 50 Hz

Akım: 15.8 A

İzolasyon Sınıfı: F

Koruma Sınıfı: IP55

Montaj Pozisyonu: B3

Verim Sınıfı: EFF2

Çalışma Sınıfı: S1

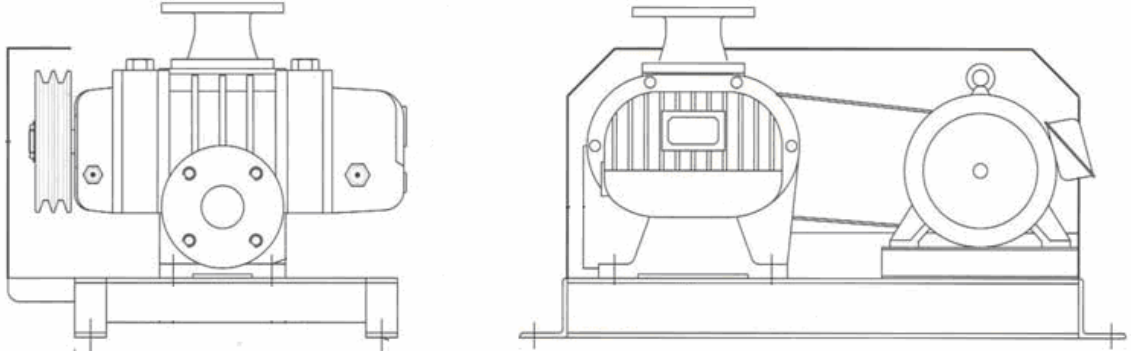
cosφ : 0.80

Çizelge 3.1 Denemelerde kullanılan LT 65 tip roots üfleyici kompresörün katalog değerleri (Güner 2006)

Basınç (mb)	Debi Güç	Devir				
		850	1150	1450	1750	2250
100	Q <sub>k</sub>	2.07	3.10	4.13	5.17	6.89
	N <sub>k</sub>	0.62	0.84	1.06	1.28	1.65
200	Q <sub>k</sub>	1.89	2.93	3.96	5.00	6.72
	N <sub>k</sub>	1.21	1.64	2.06	2.49	3.19
300	Q <sub>k</sub>	1.71	2.74	3.77	4.81	6.53
	N <sub>k</sub>	1.76	2.38	3.01	3.63	4.67
400	Q <sub>k</sub>	1.55	2.58	3.62	4.65	6.37
	N <sub>k</sub>	2.29	3.09	3.90	4.71	6.05
500	Q <sub>k</sub>	1.14	2.45	3.48	4.51	6.23
	N <sub>k</sub>	2.78	3.77	4.75	5.73	7.37
600	Q <sub>k</sub>	1.29	2.33	3.36	4.39	6.11
	N <sub>k</sub>	3.26	4.41	5.56	6.71	8.61
700	Q <sub>k</sub>	1.19	2.22	3.26	4.29	6.01
	N <sub>k</sub>	3.71	5.03	6.34	7.65	9.85
800	Q <sub>k</sub>	1.09	2.12	3.15	4.19	5.91
	N <sub>k</sub>	4.15	5.62	7.08	8.55	11.03

Q<sub>k</sub> =kompresör debisi (m<sup>3</sup>/min)

N<sub>k</sub> =kompresör mil gücü (kW)



Şekil 3.2 LT 65 roots üfleyici yapısı ([www.rootsblower.com.tw/blowers.htm](http://www.rootsblower.com.tw/blowers.htm), 2007)

### 3.1.3 Besleyici düzenek

İletim hattında kompresörden sonra yer alır. Materyalin depodan alınıp kontrollü debi ile basınçlı havanın önüne verilmesini sağlar. Depo, besleyici, besleyiciyi tahrik eden redüktörlü AC elektrik motoru ve motorun hız kontrolünü sağlayan vektör kontrollü frekans inverterden oluşmaktadır. Redüktörlü motordan alınan hareket 1/1 oranlı zincir dişli mekanizması ile besleyicinin miline iletilmektedir. Besleyici 12 adet çark kanadına sahiptir ve 320 mm x 320 mm ölçülerindedir. Fazla sayıda çark kanadına sahip olması depoya hava kaçışını önlemektedir. Beleyici milinin tahrik sisteminin katalog değerleri aşağıdaki gibidir (Güner 2006);

#### Asenkron AC Elektrik Motoru

Marka : GAMAK

Tip: AGM 80 /4b

Gücü: 0.75 kW

Gerilim: 220V( $\Delta$ )/380V(Y)

Devir: 1370 min<sup>-1</sup>

Frekans: 50 Hz

Akım: 2.1 A

İzolasyon Sınıfı: F

Koruma Sınıfı: IP55

Montaj Pozisyonu: B5

Verim Sınıfı: EFF2

Çalışma Sınıfı: S1

cos $\phi$  : 0.74

#### Redüktör

Marka: Yılmaz Redüktör

Tip: MR 13-80/4b

Tahvil: 34

Moment: 180 Nm

Frekans İnverter

Marka: Delta

Tip: VFD-B (Monofaze, vektör kontrollü) Gücü: 0.75 kW

Gerilim: 230 VAC

### 3.1.4 İletim boruları

Materyal iletim için 3 farklı çapta dikişsiz çelik boru ile U-boru, deveboynu, dirsek, toz iletim hattı borusu olarak çeşitli özelliklerde boru kullanılmıştır. Ana iletim hattı üzerinde materyalin hareketini gözlemlemek amacıyla önceden belirlenen 3 yere adaptörler ile yaklaşık 40 cm boyunda şeffaf borular yerleştirilmiştir. İletim hattının her üç çapı için şeffaf borular aynı çaplı olarak değiştirilmiştir. Ana iletim hattı üzerinde aktüel basınç değerlerini alabilmek için gerekli yerlere basınç sensörleri ve transmitterleri monte edilmiştir. Kullanılan boruların özellikleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 Denemelerde kullanılan ileticinin iletim borularının özellikleri  
(Güner 2006)

Çelik Boru	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	İç Çap (mm)
Düz (18 m)	48.3	2.6	43.1
Düz (18 m)	60.3	2.9	54.5
Düz (18 m)	76.1	2.9	70.3
D.B. Dirsek (2 adet)	48.3	2.6	43.1
D.B. Dirsek (2 adet)	60.3	2.9	54.5
D.B. Dirsek (2 adet)	76.1	2.9	70.3
U Dirsek (1 adet)	48.3	2.6	43.1
U Dirsek (1 adet)	60.3	2.9	54.5
U Dirsek (1 adet)	76.1	2.9	70.3
Sac Toz Borusu	104.0	2.0	100.0
Sac Toz Borusu	146.0	2.0	142.0
Sac Toz Borusu	172.0	2.0	168.0

### 3.1.5 Siklon ve hava kilidi

Sistem, siklon, hava kilidi ve redüktörlü motoru ile şasesden oluşmaktadır. Hava materyal karışımı siklonun girişi tarafından siklona alınır. Siklon içinde havadan ayrılan materyal alt kısımda birikir. Hava kilidi biriken materyali, işlemi devam ettirecek olan toplama ünitesine veya paketlenmek üzere doluma verir. Hava, hafif yabancı maddeler ve toz üst kısımda bulanana çıkış kanalından aspiratör yardımıyla emilerek filtreye gönderilir. KHKM-24/22 model hava kilidi, aşağıda katalog bilgileri verilen redüktörlü motora elastik kaplin ile bağlanarak tahrik edilmektedir. Tüm sistem bir şasi üzerinde bulunmaktadır (Güner 2006).

#### Asenkron AC Elektrik Motoru

Marka : GAMAK

Tip: AGM 80 4a

Gücü: 0.55 kW

Gerilim: 220V( $\Delta$ )/380V(Y)

Devir: 1365 min<sup>-1</sup>

Frekans: 50 Hz

Akım: 1.6 A

İzolasyon Sınıfı: F

Koruma Sınıfı: IP55

Montaj Pozisyonu: B5

Verim Sınıfı: EFF2

Çalışma Sınıfı: S1

cos $\phi$  : 0.71

#### Redüktör

Marka: Yılmaz Redüktör

Tip: MR 13-80/40

Tahvil: 40

Moment: 155 Nm

### 3.1.6 Aspiratör

İletim hattı üzerinde 20 m<sup>3</sup>/s debili ve 300 mmSS basıncında, elektrik motoru akupleli, statik ve dinamik balansı yapılmış, lastik takozlu şasi üzerine yerleştirilmiş aspiratör bulunmaktadır. Aspiratörü tahrik eden elektrik motorunun katalog değerleri aşağıdaki gibidir (Güner 2006).

## Asenkron AC Elektrik Motoru

Marka : GAMAK

Tip: AGM 100 L2

Gücü: 3 kW

Gerilim: 220V( $\Delta$ )/380V(Y)

Devir: 2850 min<sup>-1</sup>

Frekans: 50 Hz

Akım: 6.6 A

İzolasyon Sınıfı: F

Koruma Sınıfı: IP55

Montaj Pozisyonu: B5

Verim Sınıfı: EFF2

Çalışma Sınıfı: S1

cos $\phi$  : 0.80

### 3.1.7 Torbalı filtre

Havayı toz ve yabancı maddelerden arındırarak ortama veren filtre 1200 mm uzunluğunda, 150 mm çapında 16 adet torba filtre elemanından oluşmaktadır.

### 3.1.8 Kontrol ünitesi

Sistemde bulunan elektrik motorlarının sigortaları, kontaktörleri ve kontrol butonları ile akım-gerilim göstergeleri IP65 koruma sınıfına sahip bir pano içerisinde muhafaza edilmektedir. Yine kompresör ve besleyici motorlarının frekans inverterleri de pano içine yerleştirilmiştir. Pano kapağında bulunan potansiyometreler ile her iki motorun hızları analog olarak değiştirilebilmektedir.

### 3.1.9 Basınç sensörü, transmitteri ve dijital göstergesi

Hat üzerinde 5 adet kullanılan sensör ve transmittere (Şekil 3.3) ait katalog bilgileri aşağıdaki gibidir ([www.ontrol.com.tr/pdf/diger/db-507dt-e.pdf](http://www.ontrol.com.tr/pdf/diger/db-507dt-e.pdf), 2007).

Marka: Huba Control

Serisi: 507

Response süresi < 5 ms

Statik ve dinamik kullanımlara uygun,

Analog çıkış: 4- 20 Ma

Besleme: 11.0...0.33 VDC

Çalışma basınç aralığı: 0...1.6 bar

Maksimum basınç: 3.2 bar

Hassasiyet:  $\pm$  % 0.015

Her bir transmittere bağlı olan dijital göstergenin katalog bilgileri ise;

Marka: EMKO

Model: ESM-4900

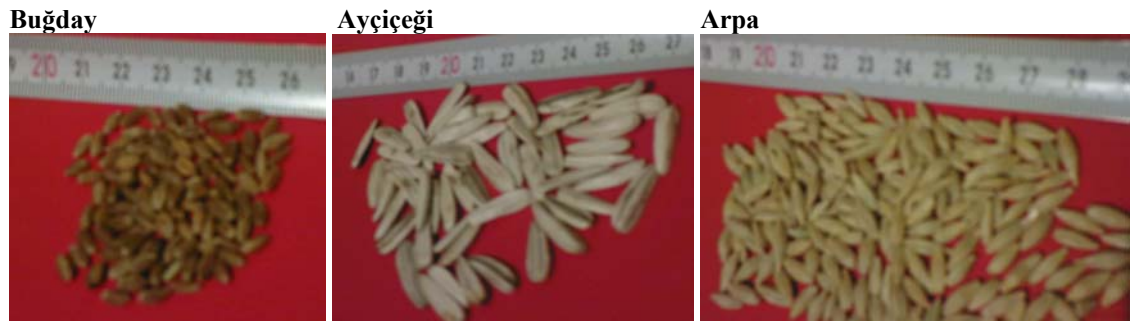
4 dijital proses göstergesi, RTD, TC, mA, V üniversal giriş seçenekleri, analog girişler için 2 veya çok noktalı kalibrasyon özelliği, ModBus veya RS232-RS485 seri haberleşme özelliği (<http://www.emkoelektronik.com.tr/turkish/prsgosterge.php>, 2007)



Şekil 3.3 Denemelerde kullanılan basınç transmitteri ve dijital gösterge (<http://www.emkoelektronik.com.tr/turkish/prsgosterge.php>, 2007)

### 3.1.10 Denemelerde kullanılan tarımsal ürünler

Denemelerde iletim materyali olarak ekmeklik buğday (*Triticum aestivum L.*), iki sıralı arpa (*Hordeum distichon*) ve çerezlik ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) (Şekil 3.4) kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Denemelerde kullanılan materyaller

## 3.2 Yöntem

Pnömatik ileticide meydana gelen basınç kaybı, iki nokta arasındaki basınç farkıdır. İleticide, materyalin ve yardımcı donanımların neden olduğu basınç kayıpları tespit edilecektir. Sistemin meydana getirdiği basınç kaybı, materyal iletimi olmaksızın yapılan çalışmada elde edilmiştir. Yardımcı donanımların basınç kayıplarının ölçülmesinde donanımdan önce ve sonra yerleştirilen basınçölçerlerden okunan değerlerden yararlanılmıştır. Basınç kayıpları ile hava hızı ve materyal debisi arasında ilişki aranacaktır.

### 3.2.1 Materyallerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Fiziksel özelliklerin tespiti için alınan materyal numunesi ön temizleme ile sap, taş ve tozdan arındırılmıştır. Materyal yığının değişik kısımlarından alınan 100'er adetlik tanelerle 10 grup oluşturulmuştur. Her gruptan 10'ar adet tane alınıp uzunluk, genişlik ve kalınlıkları 0.01 mm hassasiyetli mikrometre ile ölçülmüştür (Güner 2006).

Materyal yığınının alınan 1000'er adetlik 3 grup hassasiyeti 0.01 g olan elektronik hassas terazide tartılıp ortalaması alınarak bin tane ağırlığı tespit edilmiştir.

Küresellik, aritmetik ortalama çap ve geometrik ortalama çap değerlerinin belirlenmesinde Mohsenin (1980) ve Sitkei (1998) formüllerinden faydalanılmıştır.

$$\phi = 100 \frac{D_g}{L}$$

$$D_a = \frac{L + W + T}{3}$$

$$D_g = (LWT)^{1/3}$$

Formüllerde;  $D_a$  = Aritmetik ortalama çap (mm);  $D_g$  = Geometrik ortalama çap (mm);  $\phi$  = Küresellik (%);  $L$  = Uzunluk (mm);  $W$  = Genişlik (mm);  $T$  = Kalınlık (mm)'tir.

Hacim ağırlığı dereceli kap ile ölçülmüştür. Dereceli kap sıkıştırılmadan materyalle doldurularak tartılmış ve kütlesi hacme bölünerek  $\text{kg/m}^3$  olarak hacim ağırlığı saptanmıştır. Denemeler 3 tekrarlı yapılmıştır (Güner 2006).

### 3.2.2 Basınç düşümünün belirlenmesi

Denemelerin yapıldığı, düşük basınçlı pozitif iletimli pnömatik iletim tesisi üzerinde 5 farklı konuma yerleştirilmiş basınç transmitterleri (model: HUBA 0-1600 mb) üzerinden basınç düşüm miktarları belirlenmiştir. Transmitterlerden alınan değerler yine her bir transmittere karşılık gelen göstergelerden (model: ESM-4900 48x90 DIN ¼) gözlemlenmiştir. Akış esnasında değişimler video kamera ile kayıt edilmiş ve daha sonra tek tek not edilmiştir.

İletim hattı üzerindeki basınç transmitterlerinin yerleri sırası ile üfleyici çıkışında (besleyiciden önce) (PM1), besleyiciden sonra (PM2), yatay akış - U dönüşten önce (PM3), yatay akış - U dönüşten sonra (PM4), yatay akış - düşey borudan önce (PM5). Hat üzerinde her hangi bir sebepten oluşan anormal durumda (tıkanma, hava kaçağı, vb.) gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra denemeler tekrarlanmıştır. Düşey borunun sonunda siklondan önce hat üzerinde 110 mm çapında açıklık bırakılarak atmosfer basıncının etkili olması sağlanmıştır.

Üç farklı materyalin neden olduğu basınç düşümünün belirlenmesinde her bir materyalde; 3 farklı çapta boru (43.1 mm, 54.5 mm ve 70.3 mm), 5 farklı kompresör devri ( $850 \text{ min}^{-1}$ ,  $1150 \text{ min}^{-1}$ ,  $1450 \text{ min}^{-1}$ ,  $1750 \text{ min}^{-1}$  ve  $2250 \text{ min}^{-1}$ ), 3 farklı materyal debisi kullanılmıştır (besleyici devri  $10 \text{ min}^{-1}$ ,  $13 \text{ min}^{-1}$  ve  $16 \text{ min}^{-1}$ ). Denemeler üç değişkenden ikisi sabit tutularak ve diğer değişkenin değiştirilmesi ile yapılmıştır. Belirlenen hava hızında, materyal debisinde ve boru çapında her ürün için iletim gerçekleştirilmiş ve basınç değerleri not edilmiştir.

Besleyici düzeneğinin basınç düşümüne etkisi araştırılırken hem materyal ile denemelerde hem de yalnız hava iletiminde PM1 ve PM2 basınçölçerlerindeki basınç değerlerinin farkı alınmıştır. U borunun neden olduğu basınç düşümünün tespitinde ise yine materyalli ve yalnız hava iletimindeki PM3 ve PM4'deki basınç farkı alınarak U borudan önceki 10 m'lik düz boru üzerindeki PM2-PM3'deki fark ile ve U boru'dan sonraki 7 m'lik düz boru üzerindeki PM4-PM5'deki fark ile mukayese edilmiştir.

Her bir denemede buğday ve arpa için 10 kg, ayçiçeği için 5 kg ürün besleyici deposuna doldurularak iletim hattı beslenmiştir.

### 3.2.3 İletim hızının belirlenmesi

Mevcut pnömatik iletilci üzerinde hava hızı belirlenirken Longtech marka LT-65 tipli roots üfleyici kompresörden faydalanılmıştır. Basınç ve kompresör devrine göre verilen debi değerleri tespit edilmiştir. Denemelerde St 37 malzemeden imal edilen 43.1 mm, 54.1 mm ve 70.3 mm iç çapa sahip dikişsiz çelik borular iletim hattı olarak kullanılmıştır. Pnömatik iletim hızı; ölçülen toplam basınç değeri, kompresör devri ve boru çapından yararlanılarak bulunmuştur. Çizelge 3.3, 3.4 ve 3.5'de denemelerde kullanılan kompresörün basıncına, devrine ve kullanılan boru çapına bağlı hava debisi ve hız değerleri verilmiştir. Katalog değeri olarak verilen hava debisindeki hava hızı

$$V_h = \frac{4Q_h}{60\pi D^2} \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

Burada;  $V_h$  = Hava hızı (m/s),  $Q_h$  = Hava debisi (m<sup>3</sup>/min),  $D$  = Boru çapı (m)'dir.

Denemenin yapıldığı boru çapında iletim hızı belirlenirken toplam basınca ve kompresör devrine bağlı olarak ilgili boru çapına ait çizelgeden hava hızı bulunmuştur. Eğer basınç değerleri çizelgede verilen değerlerin arasında ise orantı kurularak hız değeri elde edilmiştir (Güner 2006).

İletim hattındaki havanın hızı, hava ve materyal arasındaki sürüklenme kuvvetleri sebebiyle materyal hızından daha yüksektir. Hava ve materyal arasındaki hız farkı iri ve sert tanelerde %20, toz materyallerde %10 civarındadır. Materyal büyüklüğüne göre materyal hızı, hava hızının %70 ila %95'i arasında alınabilir (Agarwal 2005). Çalışmada materyal hızı iletim hızının %80'i kabul edilmiştir (Güner 2006).

Çizelge 3.3 Kompresörün devir sayısı, basınç ve debisine bağlı olarak 43.1 mm iç çaplı borudaki hava hızı (m/s) (Güner 2006)

Basınç (mb)	Debi Hız	Devir (min <sup>-1</sup> )				
		850	1150	1450	1750	2250
100	Q <sub>k</sub>	2.07	3.10	4.13	5.17	6.89
	V <sub>h</sub>	23.65	35.41	47.18	59.06	78.71
200	Q <sub>k</sub>	1.89	2.93	3.96	5.00	6.72
	V <sub>h</sub>	21.59	33.47	45.24	57.18	76.77
300	Q <sub>k</sub>	1.71	2.74	3.77	4.81	6.53
	V <sub>h</sub>	19.53	31.30	43.08	54.95	74.60
400	Q <sub>k</sub>	1.55	2.58	3.62	4.65	6.37
	V <sub>h</sub>	17.71	29.47	41.35	53.12	72.77
500	Q <sub>k</sub>	1.14	2.45	3.48	4.51	6.23
	V <sub>h</sub>	13.02	27.99	39.75	51.52	71.17
600	Q <sub>k</sub>	1.29	2.33	3.36	4.39	6.11
	V <sub>h</sub>	14.74	26.62	38.38	50.15	69.80
700	Q <sub>k</sub>	1.19	2.22	3.26	4.29	6.01
	V <sub>h</sub>	13.59	25.36	37.24	49.01	68.66
800	Q <sub>k</sub>	1.09	2.12	3.15	4.19	5.91
	V <sub>h</sub>	12.45	24.22	35.98	47.86	67.51

Q<sub>k</sub> =kompresör debisi (m<sup>3</sup>/min) V<sub>h</sub> =borudaki hava hızı (m/s)

Çizelge 3.4 Kompresörün devir sayısı, basınç ve debisine bağlı olarak 54.5 mm iç çaplı borudaki hava hızı (m/s) (Güner 2006)

Basınç (mb)	Debi Hız	Devir ( $\text{min}^{-1}$ )				
		850	1150	1450	1750	2250
100	$Q_k$	2.07	3.10	4.13	5.17	6.89
	$V_h$	14.80	22.15	29.51	36.94	49.22
200	$Q_k$	1.89	2.93	3.96	5.00	6.72
	$V_h$	13.50	20.93	28.29	35.72	48.01
300	$Q_k$	1.71	2.74	3.77	4.81	6.53
	$V_h$	12.22	19.58	26.93	34.36	46.65
400	$Q_k$	1.55	2.58	3.62	4.65	6.37
	$V_h$	11.07	18.43	25.86	33.22	45.51
500	$Q_k$	1.14	2.45	3.48	4.51	6.23
	$V_h$	8.14	17.50	24.86	32.22	44.51
600	$Q_k$	1.29	2.33	3.36	4.39	6.11
	$V_h$	9.22	16.65	24.01	31.36	43.65
700	$Q_k$	1.19	2.22	3.26	4.29	6.01
	$V_h$	8.50	15.86	23.29	30.65	42.94
800	$Q_k$	1.09	2.12	3.15	4.19	5.91
	$V_h$	7.80	15.15	22.50	29.94	42.22

$Q_k$  =kompresör debisi ( $\text{m}^3/\text{min}$ )  $V_h$  =borudaki hava hızı (m/s)

Çizelge 3.5 Kompresörün devir sayısı, basınç ve debisine bağlı olarak 70.3 mm iç çaplı borudaki hava hızı (m/s) (Güner 2006)

Basınç (mb)	Debi Hız	Devir (min <sup>-1</sup> )				
		850	1150	1450	1750	2250
100	Q <sub>k</sub>	2.07	3.10	4.13	5.17	6.89
	V <sub>h</sub>	8.89	13.31	17.73	22.20	29.58
200	Q <sub>k</sub>	1.89	2.93	3.96	5.00	6.72
	V <sub>h</sub>	8.12	12.58	17.00	21.47	28.85
300	Q <sub>k</sub>	1.71	2.74	3.77	4.81	6.53
	V <sub>h</sub>	7.34	11.76	16.20	20.65	28.04
400	Q <sub>k</sub>	1.55	2.58	3.62	4.65	6.37
	V <sub>h</sub>	6.66	11.08	15.54	19.97	27.35
500	Q <sub>k</sub>	1.14	2.45	3.48	4.51	6.23
	V <sub>h</sub>	4.90	10.52	14.94	19.37	26.75
600	Q <sub>k</sub>	1.29	2.33	3.36	4.39	6.11
	V <sub>h</sub>	5.54	10.00	14.43	18.85	26.24
700	Q <sub>k</sub>	1.19	2.22	3.26	4.29	6.01
	V <sub>h</sub>	5.12	9.54	14.00	18.42	25.81
800	Q <sub>k</sub>	1.09	2.12	3.15	4.19	5.91
	V <sub>h</sub>	4.68	9.10	13.53	17.99	25.38

Q<sub>k</sub> = kompresör debisi (m<sup>3</sup>/min) V<sub>h</sub> = borudaki hava hızı (m/s)

### 3.2.4 Güç tüketiminin belirlenmesi

Kompresörü tahrik eden elektrik motorunun anlık akımı ve gerilimi kayıt edilerek güç tüketimi aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$N = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

N = Güç (W) , U = Gerilim (V), I = Akım (A),  $\cos \varphi$  = Güç faktörü'dür.

### 3.2.5 İletim kapasitesinin belirlenmesi

Besleyicinin devri değiştirilerek farklı iletim kapasiteleri elde edilmektedir. Kütlesi önceden bilinen deneme materyali besleyicinin deposuna doldurulmuş ve ayarlanan besleyici devrinde iletim borusuna materyalin tamamının boşaltılması esnasında geçen süre tespit edilmiştir. Materyal kütlesinin süreye bölümü ile t/h olarak debi hesaplanmıştır. Zaman ölçümü esnasında, besleyicinin nominal devrine ulaşmış olmasına, beslemenin başlama anında ve besleyici deposunun tamamen boşaldığı anda sürenin tam olarak ölçümüne dikkat edilmiştir. Denenmenin her bir koşulu için 3 tekrar yapılarak aritmetik ortalama debi değerleri elde edilmiştir.

### 3.2.6 Karışım oranının belirlenmesi

Birim materyalin birim zamanda iletilmesi için gerekli hava miktarına oranı karışım oranını verir. Aşağıdaki formülle hesaplanır (Güner 2006);

$$\mu = \frac{Q_m}{Q_h}$$

$\mu$  = karışım oranı,  $Q_m$  = Materyal Debisi (kg/s),  $Q_h$  = Hava debisi (kg/s)'dir.

Hava debisi ise aşağıdaki formülle bulunur (Güner 2006);

$$Q_h = AV_h \rho_h = \frac{\pi D^2}{4} V_h \rho_h$$

$A$  = Borunun kesit alanı (m<sup>2</sup>),  $D$  = İletim borusunun çapı (m),  $V_h$  = Borudaki hava hızı (m/s),  $\rho_h$  = Havanın özgül kütlesi (kg/m<sup>3</sup>, = 1.223 kg/m<sup>3</sup>)

### 3.2.7 Sürtünme kaybı

İletim hattında materyalin neden olduğu birim borudaki sürtünme kaybı aşağıdaki formül ile bulunur (Güner 2006).

$$S = \frac{h_L}{L} = \frac{\Delta P}{\gamma_h L}$$

$S$  = Birim boru boyu için sürtünme kaybı (m/m),  $h_L$  = Toplam sürtünme kaybı (m),  
 $\Delta P$  = Borudaki toplam basınç düşümü (Pa),  $\gamma_h$  = Havanın özgül ağırlığı (=12 N/m<sup>3</sup>),  
 $L$  = Toplam boru uzunluğudur (= 23 m).

$$f = \frac{2 \times \Delta P \times D}{\rho \times L \times V^2}$$

$$f = f_{hd} + f_{hm} + f_{md} + f_{mm}$$

$f$  = Toplam sürtünme katsayısı,  $f_{hd}$  = hava-boru sürtünme katsayısı,  $f_{hm}$  = hava-materyal sürtünme katsayısı,  $f_{md}$  = materyal-boru sürtünme katsayısı,  $f_{mm}$  = materyal-materyal sürtünme katsayısı.

### 3.2.8 Sadece havanın iletilmesi

Hava hızının etkisinin incelenmesinde 5 farklı kompresör hızında 10 tekerrür yapılarak aritmetik ortalama değerleri elde edilmiştir. Farklı kompresör hızları, tahrik eden motorun hızının vektör kontrollü frekans inverter üzerinden değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Üç farklı boru çapında denemeler aynı yöntemle yapılmıştır. İletim hattı üzerinde 5 farklı noktada basınç düşümü, sürtünme değerleri ve tüketilen güç tespit edilmiştir. Hava hızının ölçümü, kompresörün hava emiş tarafındaki 70.3 mm çapındaki

borunun ortasına Lutron AM–4204 marka anemometrenin 12 mm çapındaki probunun yerleştirildiği düzenek ile yapılmıştır (Güner 2006).

Emiş ağzındaki 70.3 mm iç çaplı borudan farklı kompresör devirlerinde elde edilen hızlardan belirtilen çap için debi hesaplanmıştır. Hesaplanan debi kullanılarak iletim hattındaki 3 farklı borunun hat başındaki hava hızı değerleri bulunmuştur.

Örnek: 2250 min<sup>-1</sup> kompresör devrinde elde edilen hız değeri 32.54 m/s'dir. 70.3 mm boru için hız, test düzeneğindeki boru iç çapı ile aynı olduğu için aynen alınmıştır. Elde edilen hızda sisteme alınan havanın debisi ise;

$$Q_h = A.V = \frac{\pi D^2}{4} V$$

$$Q_h = \frac{\pi D^2}{4} V = \frac{\pi(0.0703)^2 \times 32.54}{4} = 0.12630 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Düzenekte giren hava debisi çıkışta da aynı olacaktır. Çapı 54.5 mm olan iletim borusunun başlangıcındaki hava hızı;

$$V_h = \frac{4.Q}{\pi D^2} = \frac{4(0.12630)}{\pi(0.0545)^2} = 54.14 \text{ m/s}$$

Çapı 43.1 mm olan iletim borusunun başlangıcındaki hava hızı;

$$V_h = \frac{4.Q}{\pi D^2} = \frac{4(0.12630)}{\pi(0.0431)^2} = 86.57 \text{ m/s}$$

### 3.2.9 Zedelenmenin belirlenmesi

Denemelerden önce 3 farklı materyalden numune alınmıştır. Denemeler esnasında ise besleyici devrinin  $10 \text{ min}^{-1}$  olduğu durumda 5 farklı iletim hızında ve besleyici devrinin  $13$  ve  $16 \text{ min}^{-1}$  olduğu durumda ise en düşük iletim hızında her üç materyal için numuneler alınmıştır ve numaralandırılmıştır. Her birim materyal tek iletimde kullanılmıştır. Denemeler sırasında materyallerde meydana gelen zedelenmeyi belirlemede gözle muayene yöntemi kullanılmış ve mekanik zedelenme oranı bulunmuştur. Gözle muayenede, üç ürün için denemelerden önce alınan numunelerden 100'er adetlik 10 grup oluşturulmuştur. Her 100 adet içindeki kırık adedi tespit edilmiştir. Denemeler esnasında alınan numunelerden (Şekil 3.5) yine aynı şekilde gruplar oluşturulmuş ve kırık adetleri tespit edilerek ortalamaları alınmıştır. Mekanik zedelenme oranının tespitinde aşağıdaki formülden faydalanılmıştır. Denemelerde alınan numuneler içerisinde pnömatik iletimden sonraki zedelenen adetteki tanelerin kütlesi, pnömatik iletimden önceki 100 adet tanenin kütlesine bölünerek mekanik zedelenme oranı tespit edilmiştir (Yalçın 1999).

$$S_d = 100 \frac{M_d}{M_{ud}}$$

Burada:  $S_d$  = Mekanik zedelenme oranı (%),  $M_d$  = İletimden sonraki zedelenen tanelerin kütlesi (g),  $M_{ud}$  = İletimden önceki tanelerin kütlesi (g)'dir.



Şekil 3.5 Materyallerde meydana gelen mekanik zedelenmeler

## 4. BULGULAR

### 4.1 Materyallerin Fiziksel Özellikleri

Denemelerde kullanılan materyallerin fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Denemelerde kullanılan materyallerin fiziksel özellikleri

Özellik	Materyal					
	Buğday		Arpa		Ayçiçeği	
Uzunluk (mm)	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.
	6.510	6.220	10.020	9.880	23.650	15.490
	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma
	6.3582	0.00725	9.9405	0.00301	19.825	0.167
Genişlik (mm)	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.
	3.240	2.710	3.490	3.370	7.120	4.980
	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma
	2.9662	0.0148	3.440	0.00332	6.0805	0.0462
Kalınlık (mm)	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.
	2.6900	2.4800	2.510	2.390	3.620	2.990
	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma
	2.6149	0.00416	2.4526	0.00304	3.344	0.0106
Bin Tane Ağırlığı (g)	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.	Maks. D.	Min. D.
	38.220	38.190	42.860	42.820	79.630	79.550
	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma	Ortalama	St.Sapma
	38.207	0.00882	42.837	0.0120	79.590	0.0231
Aritmetik Ortalama Çap (mm)	3.9798		5.2777		9.7498	
Geometrik Ortalama Çap (mm)	3.6672		4.3772		7.3871	
Küresellik (%)	57.68		44.034		37.262	
Hacim (mm <sup>3</sup> /adet)	23.38		39.18		129.31	
Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	918		667		389	

Maks. D.: Maksimum Değer, Min. D.: Minimum Değer, St.Sapma : Standart Sapma

## 4.2 Sadece Hava İletiminde Deneme Sonuçları

Beş farklı kompresör devrinde elde edilen hava hızlarının aritmetik ortalama değerleri ve havanın iletimi sırasında oluşan basınç düşümü, güç tüketimi, sürtünme ve debi değerleri Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Yalnız hava iletiminde deneme sonuçları

Boru Çapı (mm)	Kompresör Devri (min <sup>-1</sup> )	Hava Hızı (m/s)	Hava Debisi (kg/s)	Basınç Düşümü (Pa/m)	Sürtünme Kaybı (m/m)	Sürtünme Katsayısı	Güç (kW)
43.1	850	33.79	0.0493	147.82	12.32	0.0091	1.23
	1150	44.43	0.0648	247.83	20.65	0.0089	1.39
	1450	55.60	0.0811	369.57	30.80	0.0084	1.65
	1750	67.34	0.0983	517.39	43.12	0.0080	2.13
	2250	86.57	0.01263	773.91	64.49	0.0073	4.21
54.1	850	21.13	0.0486	43.48	3.62	0.0086	1.17
	1150	27.79	0.0639	78.26	6.52	0.0090	1.23
	1450	34.77	0.0799	130.44	10.87	0.0096	1.33
	1750	42.11	0.0968	186.96	15.58	0.0093	1.49
	2250	54.14	0.1245	295.65	24.64	0.0089	2.35
70.3	850	12.70	0.0493	4.35	0.36	0.0031	1.12
	1150	16.70	0.0648	17.39	1.45	0.0072	1.17
	1450	20.90	0.0811	34.78	2.90	0.0092	1.23
	1750	25.31	0.0982	52.17	4.35	0.0094	1.23
	2250	32.54	0.1263	91.3	7.61	0.0099	1.71

### 4.3 Materyal Debisi

Denemeler besleyici devrinin 10, 13 ve 16 min<sup>-1</sup> hızlarında yapılmıştır. Her üç materyal için belirtilen besleyici devirlerindeki karşılık gelen debileri t/h biriminde Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3 Denemelerde besleyici devrine karşılık gelen materyal debileri

Materyal	Materyal Debisi		
	Besleyici Devri		
	10 min <sup>-1</sup>	13 min <sup>-1</sup>	16 min <sup>-1</sup>
Buğday	3.6 t/h	4.4 t/h	5.1 t/h
Arpa	2.9 t/h	3.7 t/h	3.9 t/h
Ayçiçeği	0.63 t/h	0.65 t/h	0.68 t/h

### 4.4 Deneme Sonuçları

Buğday, arpa ve ayçiçeği ile yapılan denemelere ilişkin basınç düşümü, iletim ve materyal hızı, hava debisi, karışım oranı, sürtünme kaybı ve katsayısı ile güç tüketimi değerleri toplu olarak EK 1, EK 2 ve EK 3’de yer almaktadır.

### 4.5 Besleyicinin Basınç Düşümüne Etkisi

Sadece hava iletiminde, hat üzerindeki besleyici ünitesinin varlığının basınç düşümüne etkisinin olup olmadığını anlamak için besleyiciden önceki ve besleyiciden sonraki basınç değerleri kaydedilmiştir. İki değer arasındaki fark, basınç düşümünü göstermektedir ve Çizelge 4.4’de verilmektedir.

Çizelge 4.4 Yalnız hava iletiminde besleyicinin basınç düşümüne etkisi

Boru Çapı (mm)	Basınç Düşümü (Pa)				
	Kompresör Devri 850 min <sup>-1</sup>	Kompresör Devri 1150 min <sup>-1</sup>	Kompresör Devri 1450 min <sup>-1</sup>	Kompresör Devri 1750 min <sup>-1</sup>	Kompresör Devri 2250 min <sup>-1</sup>
43.1	600	900	1100	1500	2200
54.5	200	300	400	600	900
70.3	100	200	200	300	300

#### 4.6 “U” Dönüşteki Basınç Düşümünün Belirlenmesi

İletim hattı üzerindeki U boruda sadece havanın iletiminde oluşan basınç düşümü değerleri Çizelge 4.5’de yer almaktadır. Çizelgede, U borudan önceki 10 m’lik düz hattın başında ve sonunda bulunan iki basınç sensöründen okunan değer farkı “U’dan önce”, U borudan sonraki 7 m’lik düz hattın başındaki ve sonundaki iki basınç sensöründen okunan değer farkı “U’dan sonra” olarak tanımlanmıştır. Her iki değer ile 2 m uzunluğundaki U boru değerleri birim metre uzunluğa karşılık gelen değerlerdir.

Çizelge 4.5 Sadece hava iletiminde U boru kısmındaki basınç düşümü değeri

Kompresör Devri		Basınç Düşümü (Pa/m)		
		Boru Çapı		
		43.1 mm	54.5 mm	70.3 mm
850 min <sup>-1</sup>	U'dan Önce	100	20	- 30
	U'da	550	350	250
	U'dan Sonra	100	- 14	- 29
1150 min <sup>-1</sup>	U'dan Önce	210	60	- 20
	U'da	700	450	300
	U'dan Sonra	186	0	- 29
1450 min <sup>-1</sup>	U'dan Önce	330	120	0
	U'da	950	500	350
	U'dan Sonra	314	57	- 14
1750 min <sup>-1</sup>	U'dan Önce	480	170	10
	U'da	1200	600	450
	U'dan Sonra	457	114	- 14
2250 min <sup>-1</sup>	U'dan Önce	720	280	60
	U'da	1700	800	500
	U'dan Sonra	714	214	29

Materyal iletimi esnasında U boruda oluşan basınç kayıpları Çizelge 4.6 ve 4.7'de verilmektedir.

Çizelge 4.6 Materyal iletiminde kompresör devri 1150 min<sup>-1</sup> ve 1450 min<sup>-1</sup> iken U dönüşte, öncesinde ve sonrasında oluşan basınç düşümleri

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	Basınç Düşümü (Pa/m) Kompresör Devri 1150 min <sup>-1</sup>			Basınç Düşümü (Pa/m) Kompresör Devri 1450 min <sup>-1</sup>			
		U'dan Önce	U'da	U'dan Sonra	U'dan Önce	U'da	U'dan Sonra	
Buğday	10	43.1	590	2600	1514	990	2100	1900
		54.5	380	1250	529	550	1300	743
		70.3	410	800	86	240	1550	214
	13	43.1	90	1200	2357	800	2750	2028
		54.5	300	1550	586	520	1450	886
		70.3	970	7150	571	250	1650	271
	16	43.1	740	1300	1829	790	3650	1786
		54.5	250	1950	729	390	1950	929
		70.3	630	600	129	200	1700	257
Arpa	10	43.1	530	1800	1429	900	2200	1786
		54.5	390	1050	486	580	1100	643
		70.3	250	1200	200	210	900	229
	13	43.1	480	2750	1429	890	2450	2114
		54.5	390	1300	614	650	1250	900
		70.3	140	1300	214	250	1050	357
	16	43.1	510	2200	1314	720	2750	2114
		54.5	400	1300	614	530	1300	971
		70.3	150	1150	120	260	1100	343
Ayçiçeği	10	43.1	370	1050	400	540	1550	614
		54.5	170	700	171	260	800	214
		70.3	- 10	400	0	40	400	14
	13	43.1	370	1350	443	530	1350	586
		54.5	170	600	143	270	850	229
		70.3	10	400	- 29	40	450	0
	16	43.1	340	1100	429	520	1300	571
		54.5	150	700	143	250	800	214
		70.3	10	500	- 14	70	500	29

Çizelge 4.7 Materyal iletiminde kompresör devri 1750 min<sup>-1</sup> ve 2250 min<sup>-1</sup> iken U dönüşte, öncesinde ve sonrasında oluşan basınç düşümleri

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	Basınç Düşümü (Pa/m) Kompresör Devri 1750 min <sup>-1</sup>			Basınç Düşümü (Pa/m) Kompresör Devri 2250 min <sup>-1</sup>			
		U'dan Önce	U'da	U'dan Sonra	U'dan Önce	U'da	U'dan Sonra	
Buğday	10	43.1	1120	2400	2071	630	2000	1714
		54.5	760	1350	957	990	1650	1157
		70.3	270	1050	371	380	900	457
	13	43.1	1040	2450	2371	160	1600	1657
		54.5	740	1400	1200	1000	1700	1357
		70.3	300	1200	500	420	1150	571
	16	43.1	670	3200	2000	90	1450	193
		54.5	860	1900	1414	930	1450	1385
		70.3	290	1300	543	320	1450	643
Arpa	10	43.1	1240	2400	2014	750	2050	1686
		54.5	750	1300	800	970	1700	1029
		70.3	240	900	243	350	850	357
	13	43.1	1110	3100	2243	500	2450	1700
		54.5	870	1500	1071	1030	1550	1071
		70.3	290	1050	357	400	1000	457
	16	43.1	900	2750	2443	430	2500	1729
		54.5	870	1300	1286	970	1400	1129
		70.3	280	1100	400	420	1100	543
Ayçiçeği	10	43.1	740	1700	857	870	2350	929
		54.5	350	950	286	490	1350	429
		70.3	70	550	43	130	650	100
	13	43.1	680	2150	771	880	2050	957
		54.5	310	1000	257	570	1500	571
		70.3	90	500	71	130	550	86
	16	43.1	730	2150	843	920	2000	1014
		54.5	310	950	300	500	1500	486
		70.3	90	500	43	160	650	100

#### 4.7 Zedelenme Sonuçları

Gözle yapılan muayene sonucunda denemelerden alınan numunelerdeki kırık tane sayısı Çizelge 4.8’de görülmektedir. Denenmemiş materyal numunesinde tespit edilen kırık tane oranları; buğdayda %2.1, arpada %1.2, ayçiçeğinde %1.4’dür.

Çizelge 4.8 Denemelerden alınan materyal numunelerindeki kırık tane oranı

Materyal	Besleyici Devri (min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı	Kırık Tane Oranı (%)				
			Kompresör Devri (min <sup>-1</sup> )				
			850	1150	1450	1750	2250
Buğday	10	43.1 mm	5.3	6.2	8.3	4.2	5.0
	13		5.8	-	-	-	-
	16		6.0	-	-	-	-
	10	54.5 mm	3.8	4.1	6.0	3.9	3.1
	13		3.9	-	-	-	-
	16		5.1	-	-	-	-
	10	70.3 mm	2.0	3.9	5.0	3.0	2.0
	13		3.1	-	-	-	-
	16		2.9	-	-	-	-
Arpa	10	43.1 mm	6.9	5.2	4.0	3.2	3.2
	13		6.0	-	-	-	-
	16		7.1	-	-	-	-
	10	54.5 mm	4.9	4.0	4.0	3.0	3.1
	13		4.1	-	-	-	-
	16		4.9	-	-	-	-
	10	70.3 mm	3.0	3.1	3.0	2.1	2.0
	13		5.0	-	-	-	-
	16		3.1	-	-	-	-
Ayçiçeği	10	43.1 mm	10.4	6.1	7.1	6.9	8.1
	13		7.0	-	-	-	-
	16		6.9	-	-	-	-
	10	54.5 mm	11.1	7.8	9.0	9.2	10.2
	13		9.2	-	-	-	-
	16		5.9	-	-	-	-
	10	70.3 mm	10.9	7.0	8.0	7.9	9.1
	13		8.0	-	-	-	-
	16		4.9	-	-	-	-

Denemeler sırasında materyallerde oluşan zedelenmenin boyutunu gösteren mekanik zedelenme oranları Çizelge 4.9’da yer almaktadır.

Çizelge 4.9 Mekanik zedelenme oranları

Boru Çapı	Besleyici Devri (min <sup>-1</sup> )	Materyal	Mekanik Zedelenme Oranı (%)				
			Kompresör Devri (min <sup>-1</sup> )				
			850	1150	1450	1750	2250
Buğday	10	43.1 mm	3.36	3.94	5.29	2.67	3.17
	13		3.68	-	-	-	-
	16		3.81	-	-	-	-
	10	54.5 mm	2.41	2.60	3.81	2.48	1.97
	13		2.48	-	-	-	-
	16		3.24	-	-	-	-
	10	70.3 mm	1.27	2.48	3.17	1.90	1.27
	13		1.97	-	-	-	-
	16		1.84	-	-	-	-
Arpa	10	43.1 mm	4.33	3.26	2.51	2.01	2.01
	13		3.76	-	-	-	-
	16		4.45	-	-	-	-
	10	54.5 mm	3.07	2.51	2.51	1.88	1.95
	13		2.57	-	-	-	-
	16		3.01	-	-	-	-
	10	70.3 mm	1.88	1.95	1.88	1.32	1.26
	13		3.14	-	-	-	-
	16		1.95	-	-	-	-
Ayçiçeği	10	43.1 mm	10.82	6.35	7.39	7.18	8.43
	13		7.28	-	-	-	-
	16		7.18	-	-	-	-
	10	54.5 mm	11.55	8.11	9.36	9.57	10.61
	13		9.57	-	-	-	-
	16		6.14	-	-	-	-
	10	70.3 mm	11.34	7.28	8.32	8.22	9.47
	13		8.32	-	-	-	-
	16		5.10	-	-	-	-

#### 4.8 İletim Kapasitesinin Güç Tüketimine Etkisi

İletim kapasitesine göre her üç ürünün iletimi sırasında elde edilen güç tüketimi değerleri Çizelge 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.10 İletim kapasitesinin güç tüketimine etkisi

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	Tüketilen Güç (kW) Buğday	Tüketilen Güç (kW) Arpa	Tüketilen Güç (kW) Ayçiçeği
10	43.1	3.475	3.528	1.422
		3.212	3.739	1.685
		3.844	3.949	2.159
		6.161	6.266	3.159
		11.321	11.215	8.372
	54.5	2.212	1.843	1.211
		1.896	2.159	1.369
		2.054	2.264	1.527
		2.738	2.896	1.790
		5.897	5.845	3.212
	70.3	2.370	1.421	1.158
		1.685	1.632	1.211
		1.685	1.790	1.316
		1.948	2.054	1.422
		3.107	3.212	2.106
13	43.1	3.949	3.212	1.422
		3.739	4.792	1.632
		4.476	4.581	2.001
		7.214	8.004	3.159
		11.689	12.532	6.898
	54.5	2.264	2.264	1.211
		2.159	2.317	1.264
		2.317	2.527	1.527
		3.265	3.212	1.738
		8.846	7.372	3.581
	70.3	2.580	2.370	1.158
		1.685	3.212	1.211
		1.843	1.896	1.264
		2.106	2.370	1.369
		3.475	3.791	2.001
16	43.1	2.896	3.159	1.369
		3.528	5.160	1.632
		4.423	4.950	2.001
		7.846	8.267	3.265
		11.742	12.374	8.477
	54.5	1.790	1.843	1.211
		2.264	2.422	1.369
		2.527	2.791	1.527
		3.475	3.791	1.843
		9.794	9.846	3.370
	70.3	1.474	2.422	1.158
		1.632	3.317	1.211
		1.896	1.896	1.264
		2.212	2.475	1.316
		3.791	4.160	2.106

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

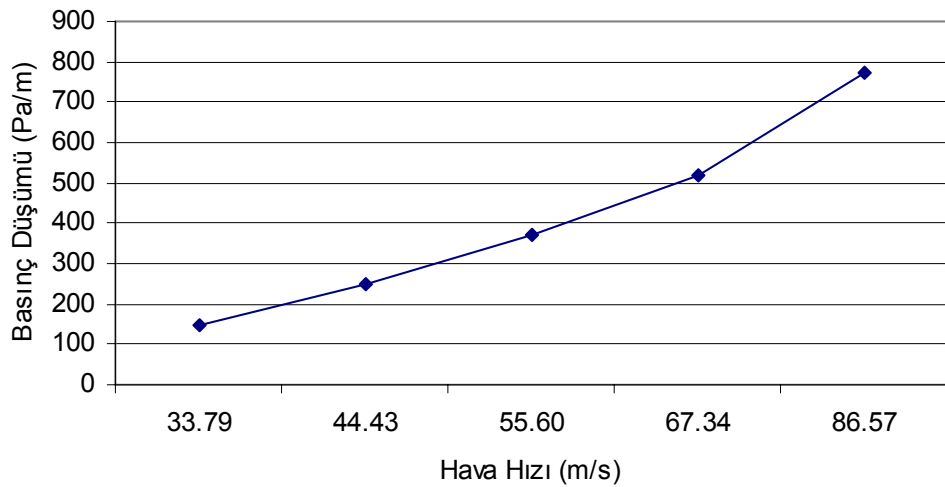
### 5.1 Yalnız Hava İletiminde Faktörler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Materyal ile denemelerden önce sadece havanın iletilmesi sırasında elde edilen değerler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

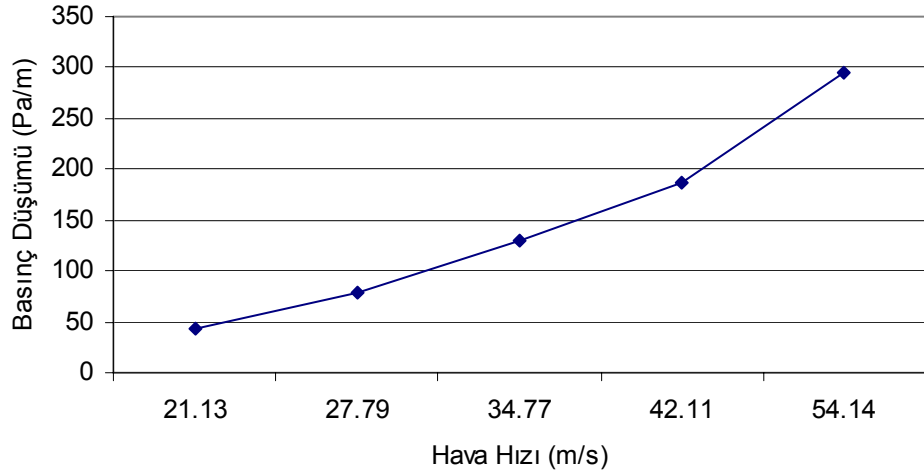
#### 5.1.1 Hava hızının basınç düşümüne etkisi

Yalnız hava iletiminde kompresörün 5 farklı devri ile oluşan hava hızlarında, 43.1 mm, 54.5 mm ve 70.3 mm boru çapları için elde edilen basınç düşümü değerleri Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’de verilmiştir. Her üç boru çapı için de hava hızı arttıkça basınç düşümü artmaktadır. Yalnız hava iletiminde, hava hızı ile basınç düşümü arasında doğrusal bir ilişkiden söz etmek mümkündür.

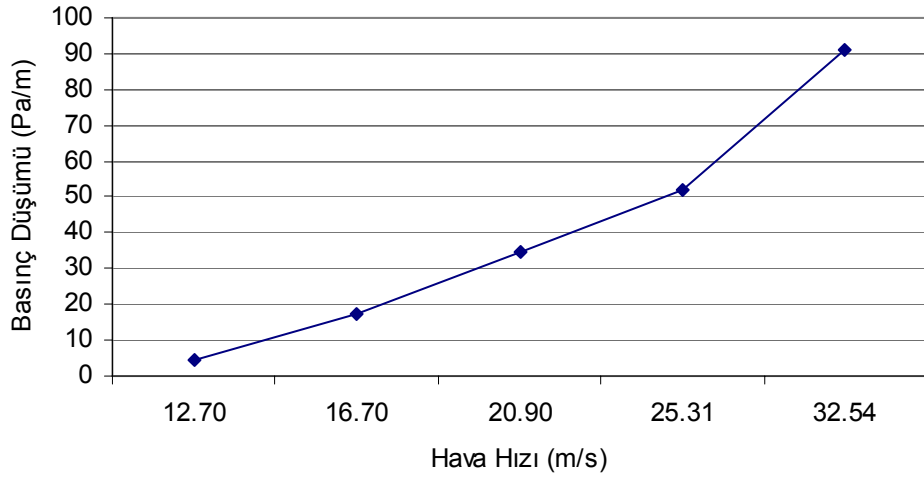
Güner (2006), çalışmasında aynı boru çapında hava hızının artması ile basınç düşümünün arttığı sonucuna ulaşmıştır. Rautiainen *et al.* (1999), hava hızının artmasıyla basınç düşümünün arttığını bulmuşlardır.



Şekil 5.1 Boru çapı 43.1 mm olduğu durumda hava hızının basınç düşümüne etkisi



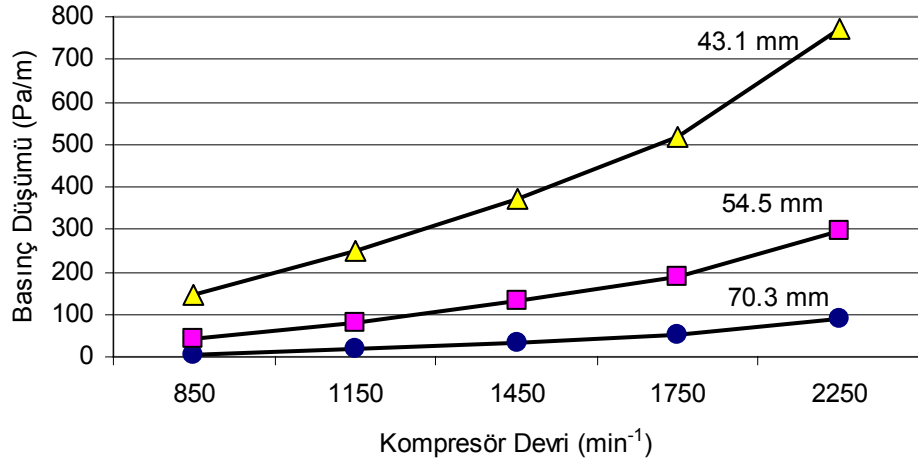
Şekil 5.2 Boru çapı 54.5 mm olduğu durumda hava hızının basınç düşümüne etkisi



Şekil 5.3 Boru çapı 70.3 mm olduğu durumda hava hızının basınç düşümüne etkisi

### 5.1.2 Boru çapının basınç düşümüne etkisi

Aynı kompresör devrinde 3 farklı boru çapından elde edilen değerlere bakıldığında Şekil 5.4'de görüldüğü gibi boru çapı büyüdükçe basınç düşümü azalmaktadır.



Şekil 5.4 Havanın iletiminde boru çapının basınç düşümüne etkisi

Şekillerde de görüldüğü gibi her bir boru çapı için elde edilen hava hızları ve bağlı olarak basınç düşümleri farklı değer aralıklarındadır. Kompresör devrinin 1450 min<sup>-1</sup> olduğu durumda 43.1 mm çaplı boru için hava hızı 55.6 m/s iken 54.5 mm çaplı boruda 34.77 m/s, 70.3 mm çaplı boruda ise 20.90 m/s'dir. Basınç düşümü değerleri ise sırasıyla 370 Pa/m, 130 Pa/m ve 35 Pa/m'dir. Sonuç olarak aynı kompresör devri için boru çapının büyümesi hava hızının azalmasına ve daha az sürtünme kaybına bağlı olarak basınç kaybının da düşmesine neden olmaktadır.

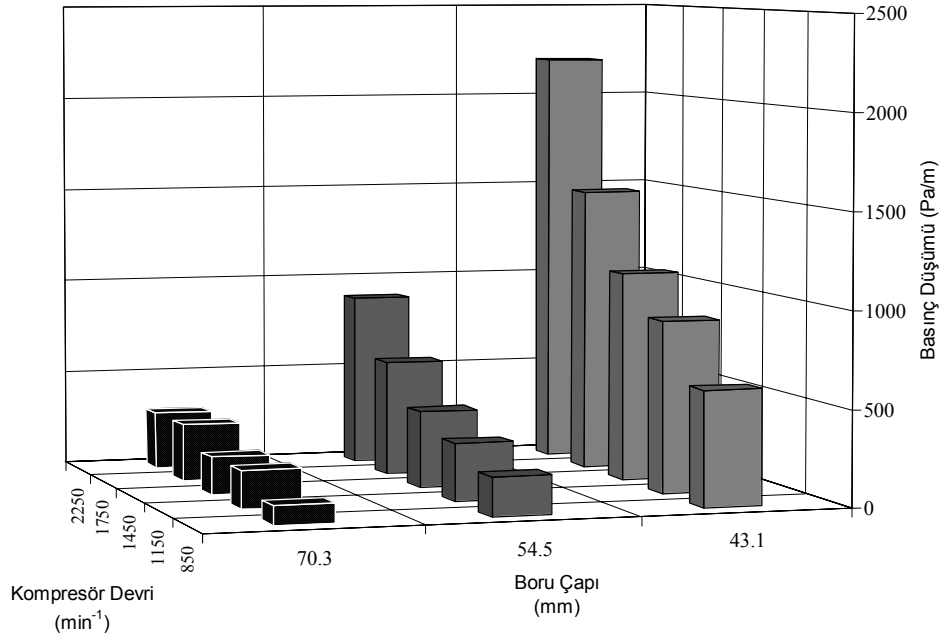
Segler (1951) yaptığı çalışmada çapı küçük borulardaki hava iletiminde basınç düşümünün çapı geniş borulardaki basınç düşümüne göre daha büyük olduğunu ve hava hızı arttıkça basınç düşümünün arttığını bildirmiştir.

Raheman and Jindal (2001) yaptıkları çalışmada hava hızı arttıkça ve boru çapı küçüldükçe basınç düşümünün arttığını ve türbülans akımda basınç düşümünün hava hızının karesiyle orantılı olarak arttığını saptamışlardır.

Güner (2006) çalışmasında aynı hava hızında boru çapı küçüldükçe basınç düşümünün arttığı sonucuna ulaşmıştır.

### 5.1.3 Besleyici ünitesinin basınç düşümüne etkisi

İletim hattında besleyicinin varlığı basınç düşümüne neden olmaktadır. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi boru çapının artması ile basınç düşümü azalmaktadır. 70.3 mm ve 54.5 mm çaplı borular arasındaki azalış oranı 1.5- 2 iken 70.3 mm ile 43.1 mm arasındaki azalış oranı 5-7’ye çıkmaktadır. Sadece hava iletiminde besleyicinin varlığı yüksek hızlarda daha fazla hissedilmektedir. Ünitenin oluşturduğu basınç düşümü hava hızının artışı ile beraber artmaktadır. Yüksek hava hızlarında ünite içindeki sızdırmazlık yetersiz kalabilmekte ve basınç düşümüne direk etkide bulunmaktadır.

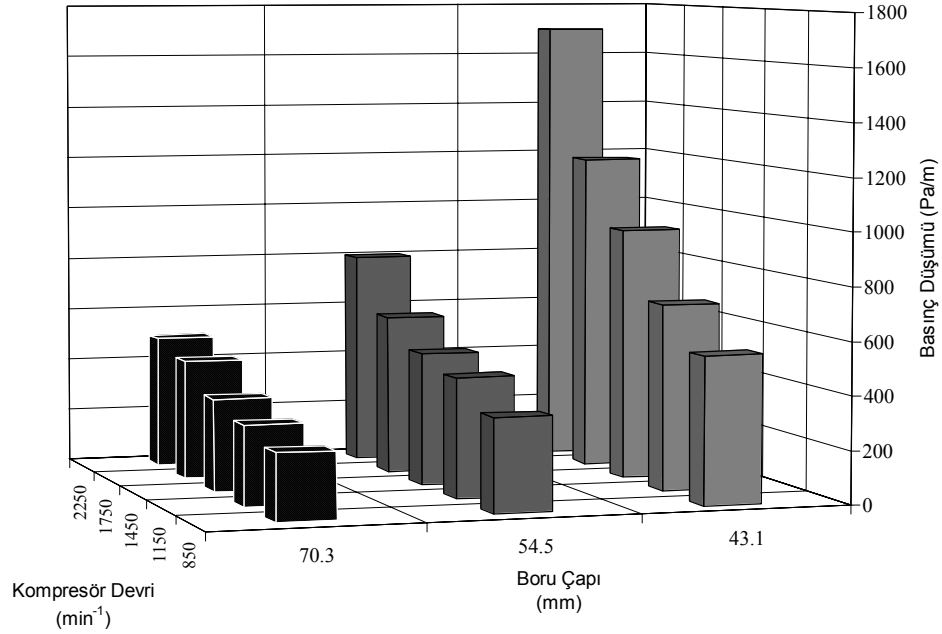


Şekil 5.5 Besleyici ünitesinin basınç düşümüne etkisi

### 5.1.4 İletim hattındaki U dönüşün basınç düşümüne etkisi

Hat üzerinde “U” dönüşün bulunması basınç düşümü oluşturmaktadır. U borudan önce ve sonraki düz borularda 1 m uzunlukta oluşan ortalama basınç düşümü ile U borudaki 1 m’ye düşen ortalama basınç düşümü değerlendirilmiştir. Her üç boru çapında ve tüm

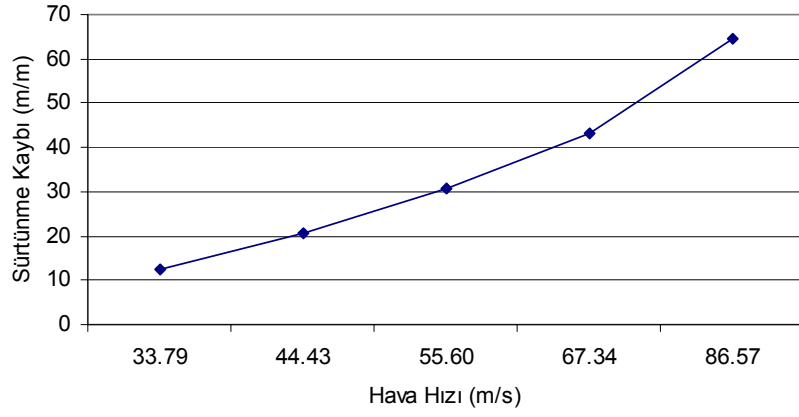
hız kademelerinde U boruda dikkate değer basınç düşümü görülmektedir. Birim boydaki basınç düşümü büyüklüğü boru çapının küçülmesi ile artmaktadır. Hava hızı da basınç düşümünün değişiminde önemli bir etkidir. Hava hızının artması ile aynı boru çapı için U borudaki basınç düşümü de artmaktadır (Şekil 5.6).



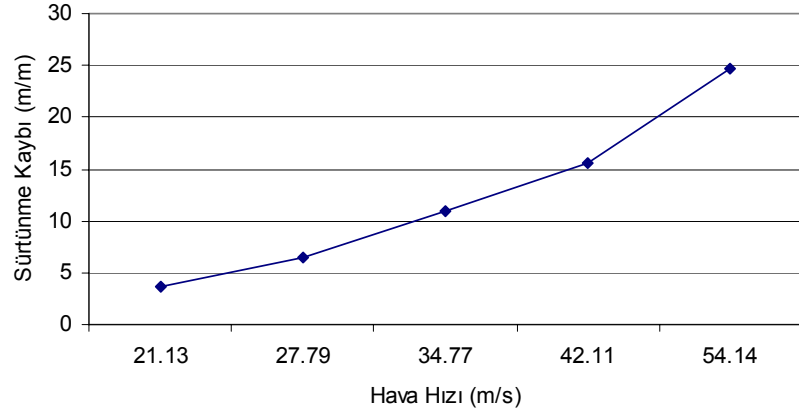
Şekil 5.6 U dönüşün basınç düşümüne etkisi

### 5.1.5 Hava hızının sürtünme kaybına etkisi

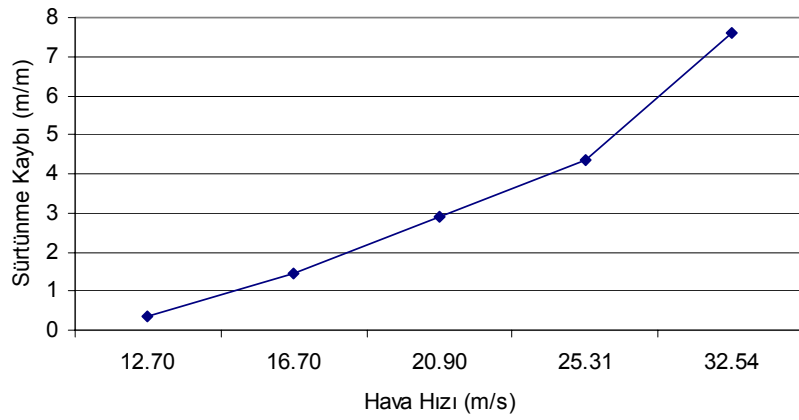
Sırası ile 3 farklı boru çapı için hava hızı ve birim boydaki sürtünme kaybı arasındaki ilişki Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9’da verilmektedir. Her üç boru çapı için de hava hızının artması ile sürtünme kaybı da artmaktadır.



Şekil 5.7 43.1 mm çaplı boruda hava hızının sürtünme kaybına etkisi



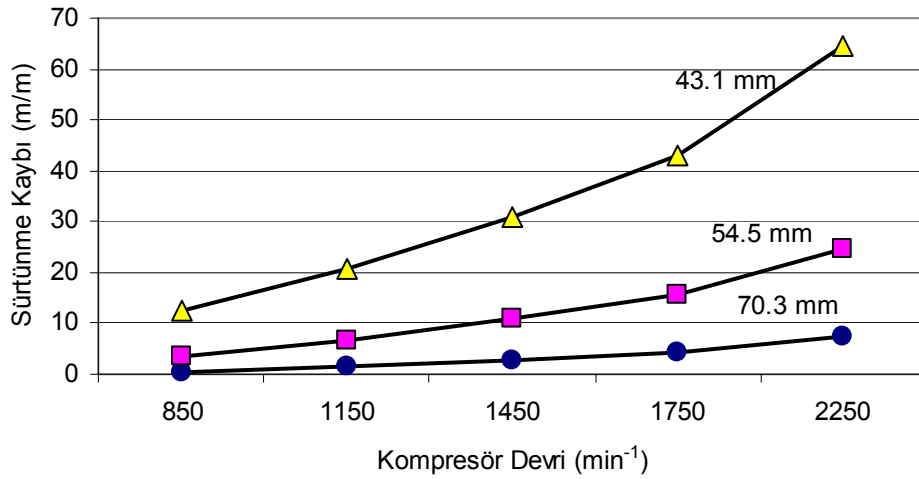
Şekil 5.8 54.5 mm çaplı boruda hava hızının sürtünme kaybına etkisi



Şekil 5.9 70.3 mm çaplı boruda hava hızının sürtünme kaybına etkisi

### 5.1.6 Boru çapının sürtünme kaybına etkisi

Basınç düşümünün oluşmasında en önemli faktör olan hava ile boru iç yüzeyi arasındaki sürtünme ile oluşan kayıp Şekil 5.10'da görüldüğü gibi boru çapının büyümesi ile azalmaktadır.

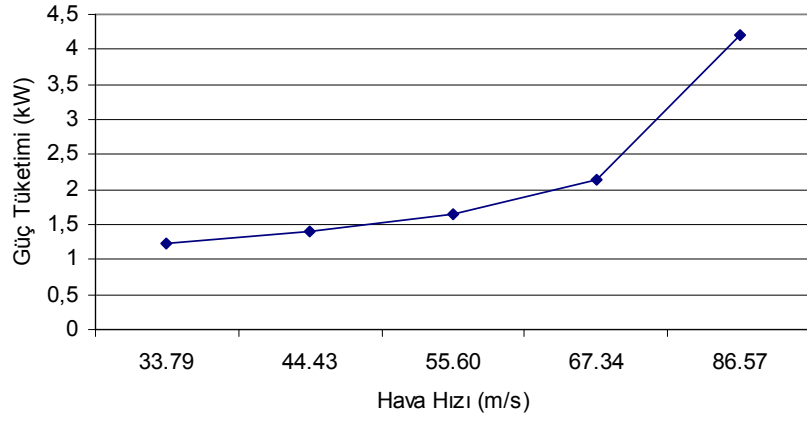


Şekil 5.10 Boru çapına bağlı birim boydaki sürtünme kaybı

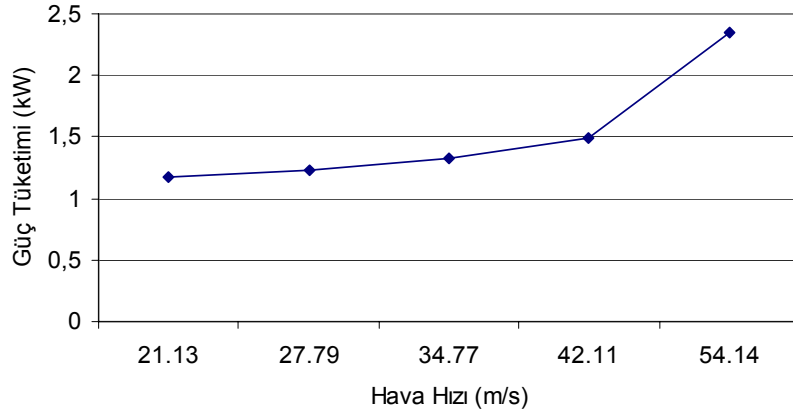
### 5.1.7 Hava hızının güç tüketimine etkisi

Her üç boru çapında yapılan denemelerde hava hızının güç tüketimine etkisi Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13'de verilmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere hava hızının artması ile güç tüketimi de artmaktadır. Dikkati çeken diğer husus 33.79 m/s ile 67.34 m/s hızlar arasında her kademedede güç tüketimi yaklaşık %5-%18 oranında artarken 67.34 m/s ile 86.57 m/s aralığında oran %40 - %90'a çıkmaktadır.

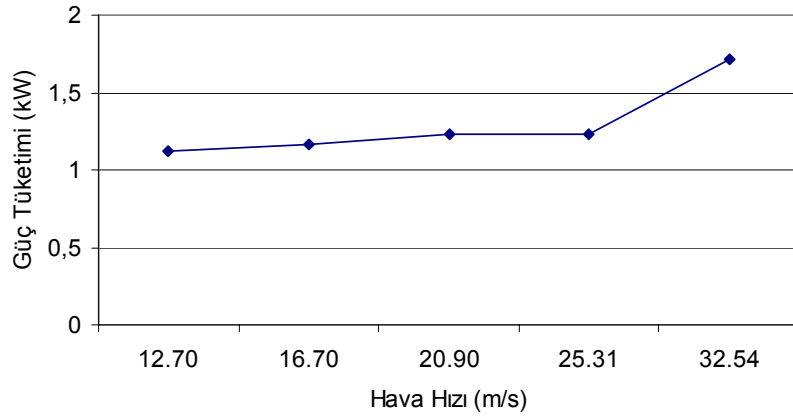
Segler (1951) hava hızının artmasıyla güç tüketiminin arttığını ve hatta bu artışın yalnızca hava iletiminde küpüyle orantılı olduğunu bildirmiştir.



Şekil 5.11 43.1 mm çaplı boru için hava hızına bağlı güç tüketimi



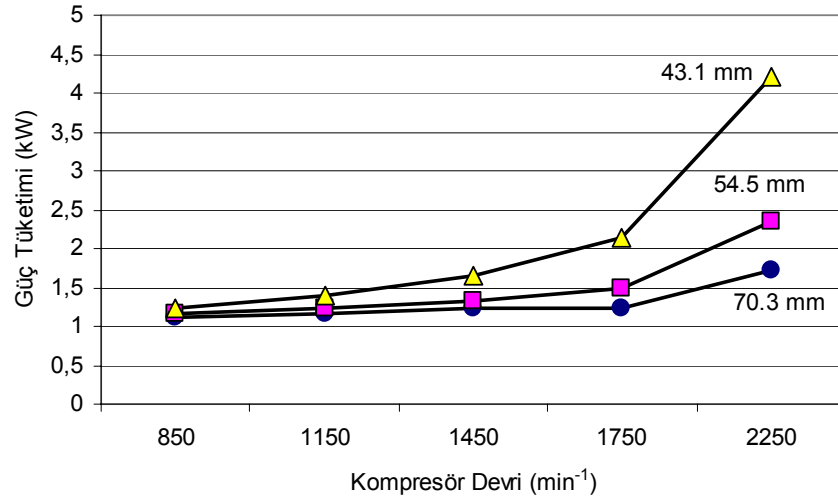
Şekil 5.12 54.5 mm çaplı boru için hava hızına bağlı güç tüketimi



Şekil 5.13 70.3 mm çaplı boru için hava hızına bağlı güç tüketimi

### 5.1.8 Boru çapının güç tüketimine etkisi

Boru çapının güç tüketimine etkisi Şekil 5.14'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere yalnız hava iletiminde aynı hava hızında boru çapı küçüldükçe güç tüketimi artmaktadır.



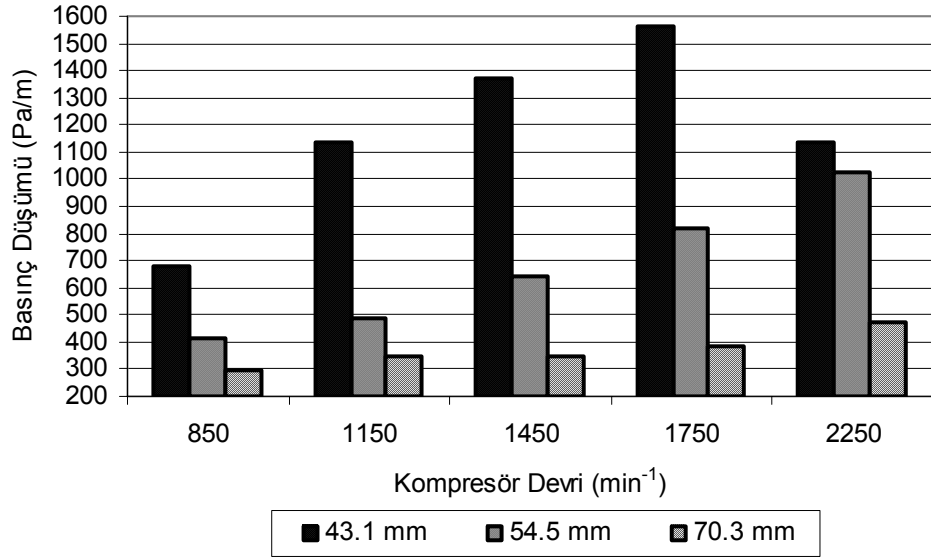
Şekil 5.14 Boru çapına bağlı güç tüketimi

## 5.2 Materyal İletiminde Faktörler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

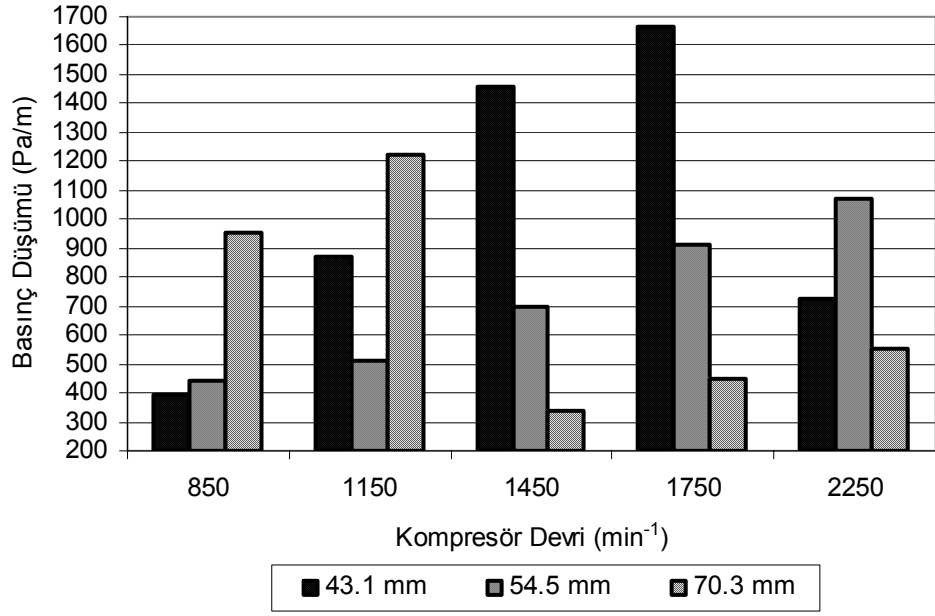
### 5.2.1 İletim hızının basınç düşümüne etkisi

Materyal ile yapılan denemelerde iletim hızının basınç düşümüne etkisi her bir ürün için besleme debilerine göre ayrı ayrı değerlendirilerek incelenmiştir. Besleyici devrinin (materyal debisi) 10, 13 ve 16 min<sup>-1</sup> olarak sabit alınması şartında iletim hızının artması ile havanın debisi artmakta, hava-materyal karışım oranı ve sürtünme katsayısı azalmaktadır. Buğday için elde edilen değerler Şekil 5.15, 5.16 ve 5.17'deki grafiklerde irdelenmektedir. Grafiklerde de görüldüğü üzere besleyici devrinin 10, 13 ve 16 min<sup>-1</sup> olduğu her üç durumda da 43.1 mm çaplı boruda iletim hızı arttıkça ilk dört hız kademesinde paralel olarak basınç düşümü de artmaktadır. Ancak 2250 min<sup>-1</sup> kompresör

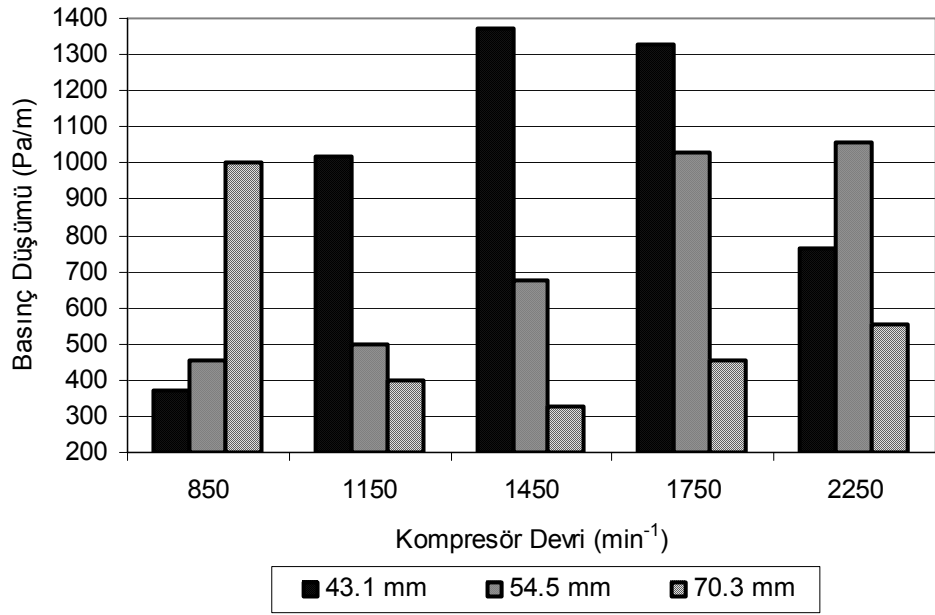
devrinde elde edilen 75.43 m/s'lik iletim hızında basınç düşümünün azaldığı görülmektedir. Boru çapı 54.5 mm iken bütün iletim hızı kademelerinde hız ile paralel olarak basınç düşümü artmaktadır. 70.3 mm çaplı boruda ise besleyici devrinin 10 min<sup>-1</sup> olduğu durumda diğer boru çaplarına nispeten basınç düşümleri çok küçük değerlerde olup yine iletim hızına paralel küçük artışlar göstermektedir. Besleyici devrinin 13 ve 16 min<sup>-1</sup> olduğu şartlarda ise düşük hızlarda basınç düşümleri diğer boru çaplarına nispeten fazladır. Bu durumun açıklaması olarak, uygulamada da fark edildiği üzere besleyicinin ani olarak fazla materyali hatta vermesi ve hava hızının en düşük seviyede olması ile besleyici izdüşümünde anlık materyal birikmesi oluşmaktadır. Basınç düşümünün kısa süreli artıp biriken materyalin iletilmesinin ardından normale döndüğü gözlemlenmiştir. Ancak iletim hızı arttıkça basınç düşümleri daha küçük değerlere düşerek kademeli olarak artmaktadır.



Şekil 5.15 Besleyici devri 10 min<sup>-1</sup> iken buğday için iletim hızının basınç düşümüne etkisi



Şekil 5.16 Besleyici devri 13 min<sup>-1</sup> iken buğday için iletim hızının basınç düşümüne etkisi

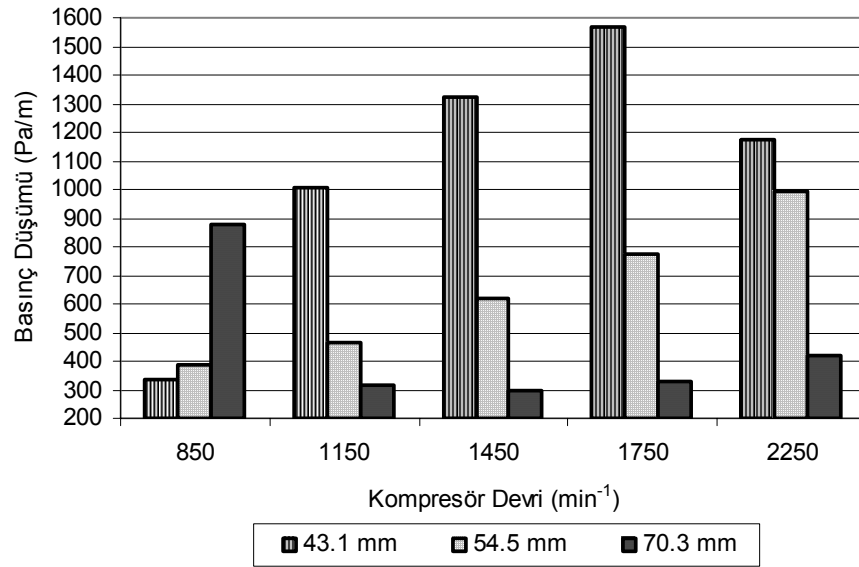


Şekil 5.17 Besleyici devri 16 min<sup>-1</sup> iken buğday için iletim hızının basınç düşümüne etkisi

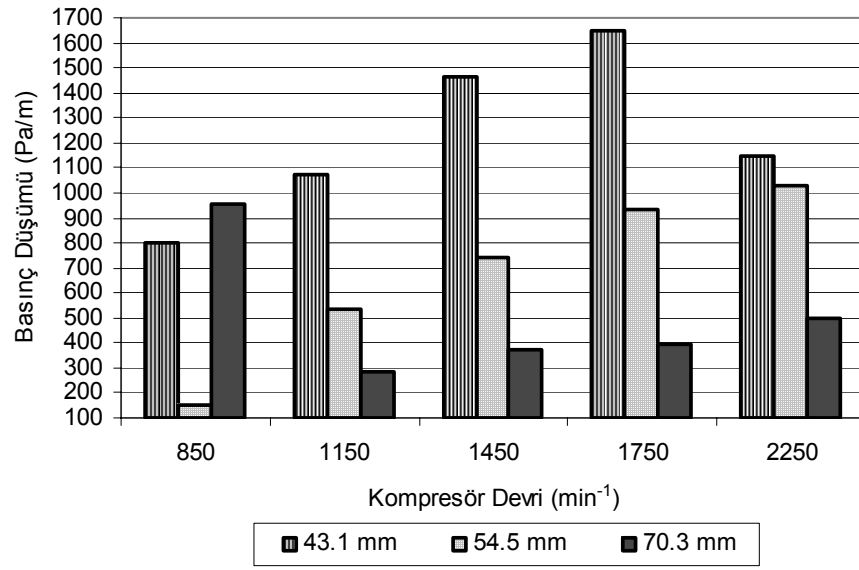
Arpa için deneme sonuçları Şekil 5.18, 5.19 ve 5.20'deki grafiklerde verilmektedir. Besleyici devrinin 10, 13 ve 16 min<sup>-1</sup> olduğu her üç durumda da 54.5 mm çaplı boruda

iletim hızı arttıkça basınç düşümü de paralel ve kademeli olarak artmaktadır. En küçük basınç düşümü değerleri her üç besleyici devrinde de 70.3 mm çaplı boruda elde edilmiştir. 70.3 mm çaplı boru ile yapılan denemelerde hava hızının en düşük olduğu durumda her üç besleyici debisinde de hatta materyalin beslendiği noktada yüksek basınç düşümleri oluşmaktadır. Bu hızda hava, hatta verilen materyalin ileri doğru itilmesinde yeterince etkili olamamaktadır. Hava hızı arttırıldığında bu durum ortadan kalkmaktadır. Düşük hızlarda nispeten yüksek olan basınç düşümü hız arttıkça daha küçük değerlerde kademeli olarak artmaktadır. En yüksek basınç düşümleri 43.1 mm çaplı boruda görülmektedir. İletim hızının artması ile basınç düşümü de artmaktadır.

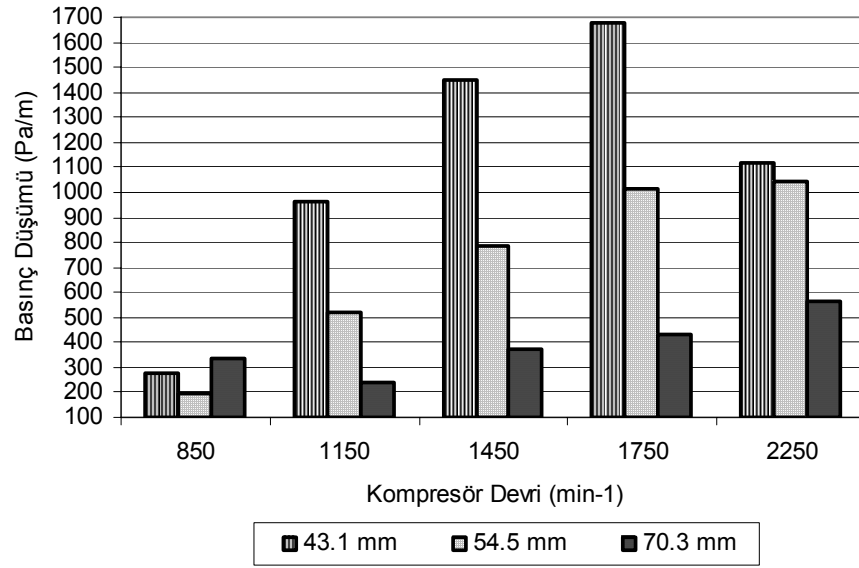
Ayçiçeği denemeleri sonuç değerlendirmeleri Şekil 5.21, 5.22 ve 5.23'deki grafiklerde verilmektedir. Tüm boru çaplarında her üç besleyici devrinde de iletim hızına paralel basınç düşümü artışı gözlemlenmektedir. En küçük basınç düşümü değerleri 70.3 mm çaplı boruda elde edilmiştir. Yaklaşık iki katı artışla 54.5 mm çaplı borudaki basınç düşümü değerleri daha sonra gelmektedir. En yüksek basınç düşümü ise 43.1 mm çaplı boruda görülmektedir.



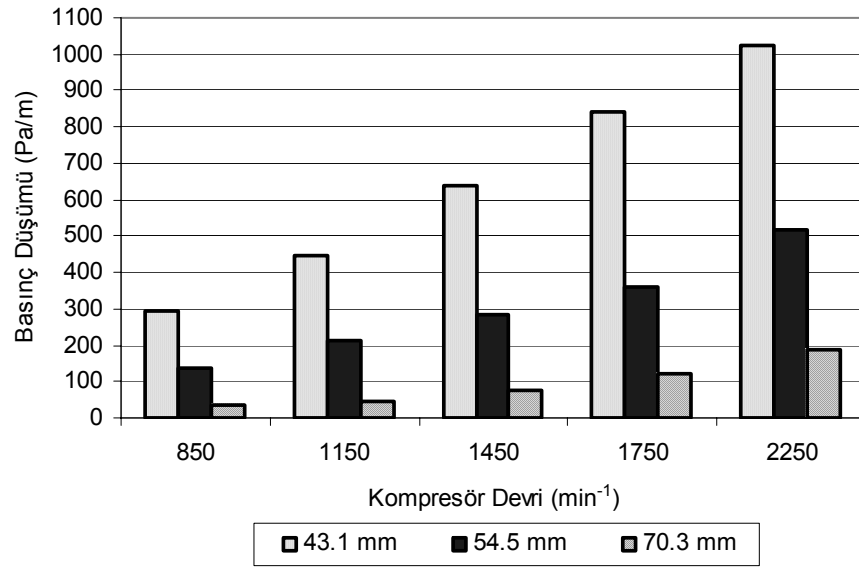
Şekil 5.18 Besleyici devri 10 min<sup>-1</sup> iken arpa için iletim hızının basınç düşümüne etkisi



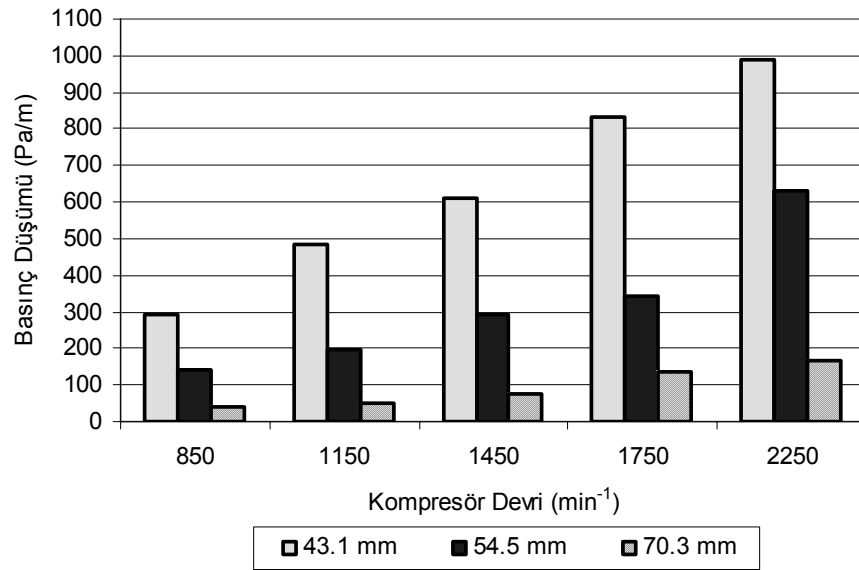
Şekil 5.19 Besleyici devri 13 min<sup>-1</sup> iken arpa için iletim hızının basınç düşümüne etkisi



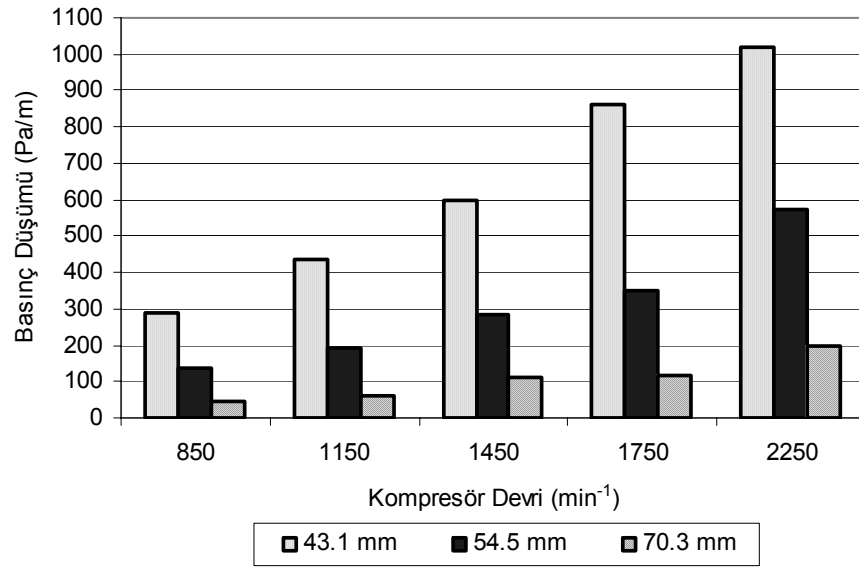
Şekil 5.20 Besleyici devri 16 min<sup>-1</sup> iken arpa için iletim hızının basınç düşümüne etkisi



Şekil 5.21 Besleyici devri 10 min<sup>-1</sup> iken ayçiçeği için iletim hızının basınç düşümüne etkisi



Şekil 5.22 Besleyici devri 13 min<sup>-1</sup> iken ayçiçeği için iletim hızının basınç düşümüne etkisi



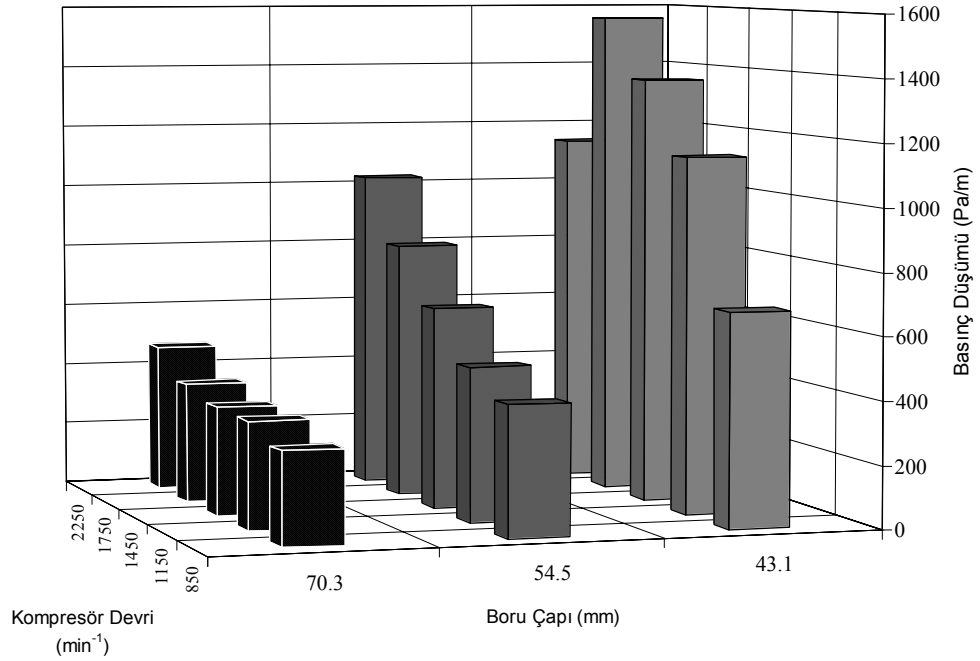
Şekil 5.23 Besleyici devri 16 min<sup>-1</sup> iken ayçiçeği için iletim hızının basınç düşümüne etkisi

### 5.2.2 Boru çapının basınç düşümüne etkisi

Materyal ile yapılan denemelerde boru çapının basınç düşümüne etkisi her bir ürün için besleme debilerine göre ayrı ayrı değerlendirilerek incelenmiştir.

Besleyici (materyal debisi) devrinin 10, 13 ve 16 min<sup>-1</sup> olarak sabit alınması şartında boru çapının büyümesi ile sürtünme kaybı ve güç tüketimi azalmaktadır, sürtünme katsayısı artmaktadır.

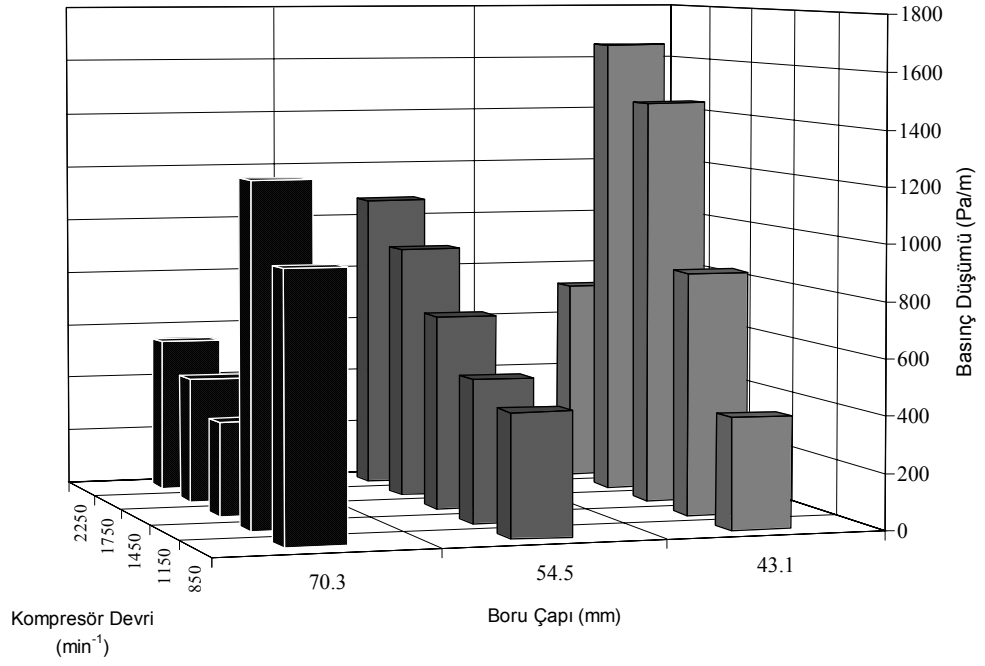
Buğday ile yapılan denemelerde elde edilen değerler Şekil 5.24, 5.25 ve 5.26'daki grafiklerde görülmektedir. Buğdayın besleyici devri 10 min<sup>-1</sup> olduğu durumda en düşük basınç düşümü değerleri 70.3 mm çaplı boruda elde edilmiştir. En yüksek basınç düşümü değerleri ise 43.1 mm çaplı boruda edilmiştir. Her üç boru çapında da iletim hızının artması ile orantılı olarak basınç düşümleri de artmaktadır.



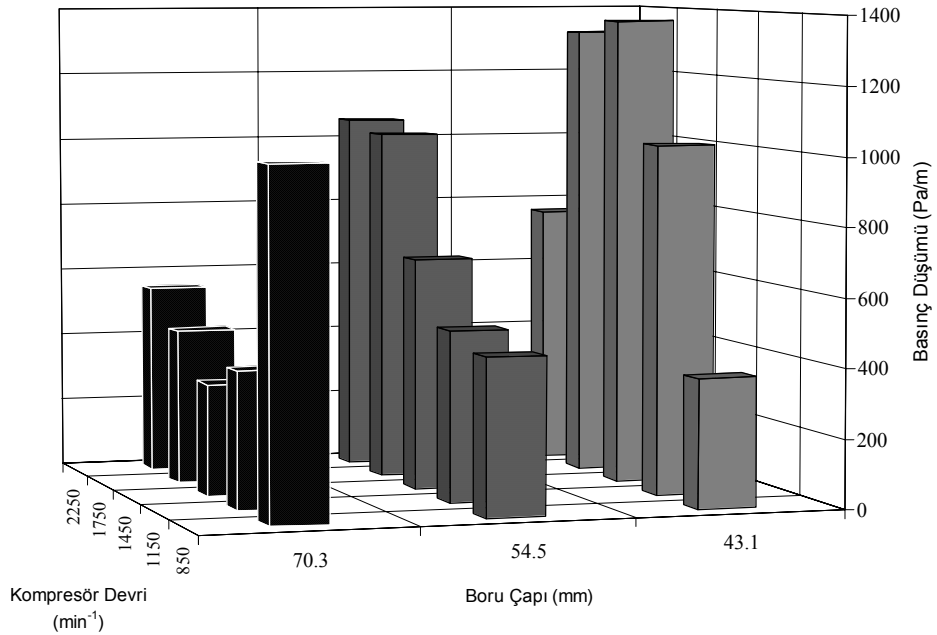
Şekil 5.24 Besleyici devri  $10 \text{ min}^{-1}$  iken buğday için boru çapının basınç düşümüne etkisi

Buğdayın, besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken iletilmesinde elde edilen değerler Şekil 5.25’de grafikte görülmektedir. Boru çapı  $54.5 \text{ mm}$  olduğu durumda iletim hızına paralel basınç düşümü de artmaktadır.  $43.1 \text{ mm}$  ve  $70.3 \text{ mm}$  boru çaplarında ise basınç düşümü boru çapının yanı sıra iletim hızına göre de farklılıklar göstermektedir.  $43.1 \text{ mm}$  boru çapında ortalama basınç düşüm değerleri en yüksek olduğu çaptır. İletim hızına bağlı olarak büyük artış göstermektedir. İletim hızının en yüksek olduğu durumda ise basınç düşümü azalmaktadır.  $70.3 \text{ mm}$  çaplı boruda ise düşük hızlarda basınç düşümü yüksek, yüksek iletim hızlarında ise nispeten daha düşük değerlerdedir. Ortalama basınç düşümü artışı en düşük  $70.3 \text{ mm}$  çaplı boruda olduğu söylenebilir.

Besleyici devrinin  $13 \text{ min}^{-1}$  olduğu durumda yapılan değerlendirme  $16 \text{ min}^{-1}$  besleyici devrinde buğday iletimi için de söylenebilir.

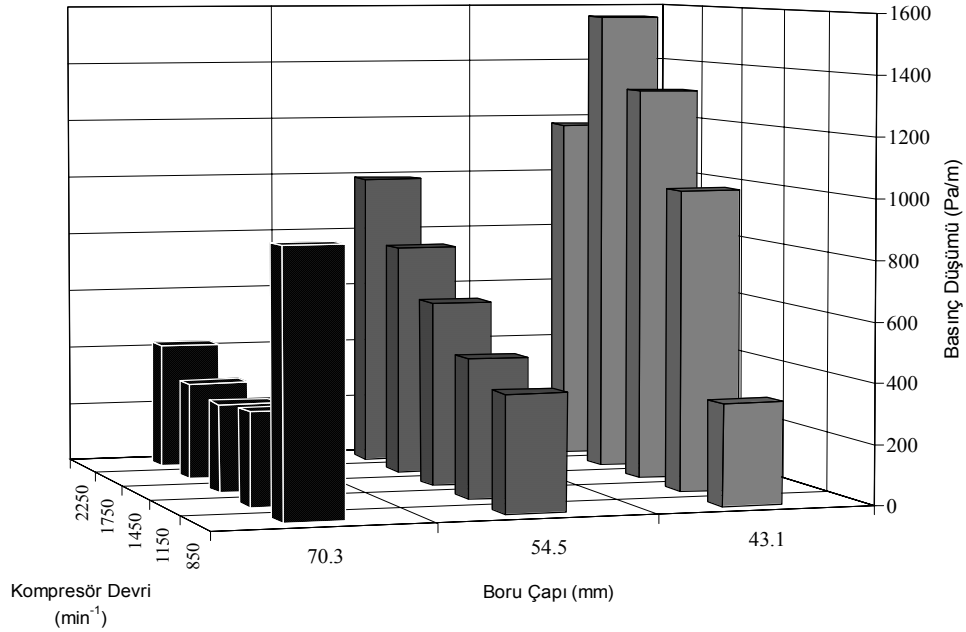


Şekil 5.25 Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken buğday için boru çapının basınç düşümüne etkisi

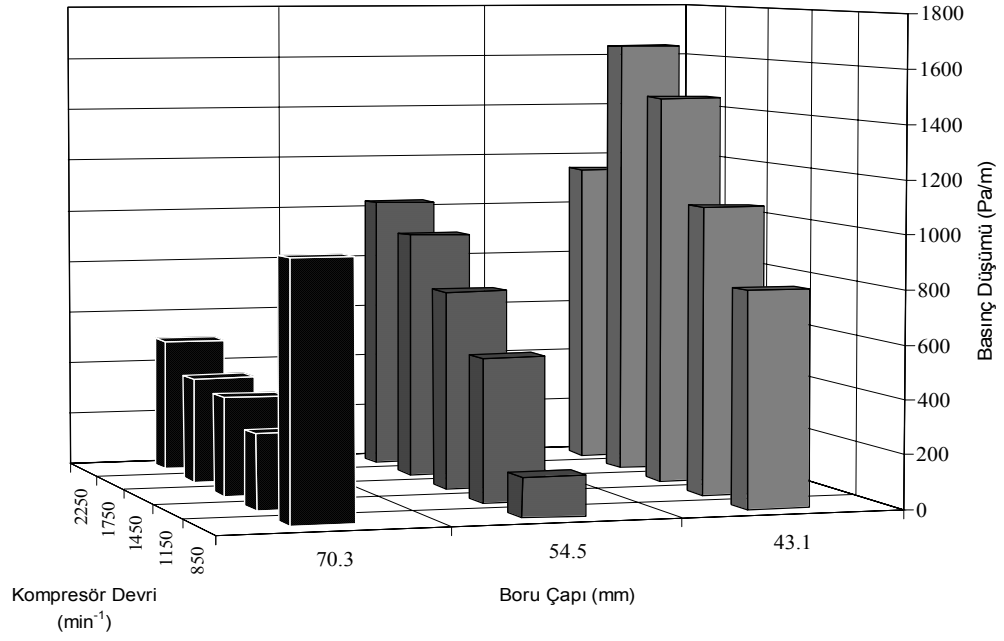


Şekil 5.26 Besleyici devri  $16 \text{ min}^{-1}$  iken buğday için boru çapının basınç düşümüne etkisi

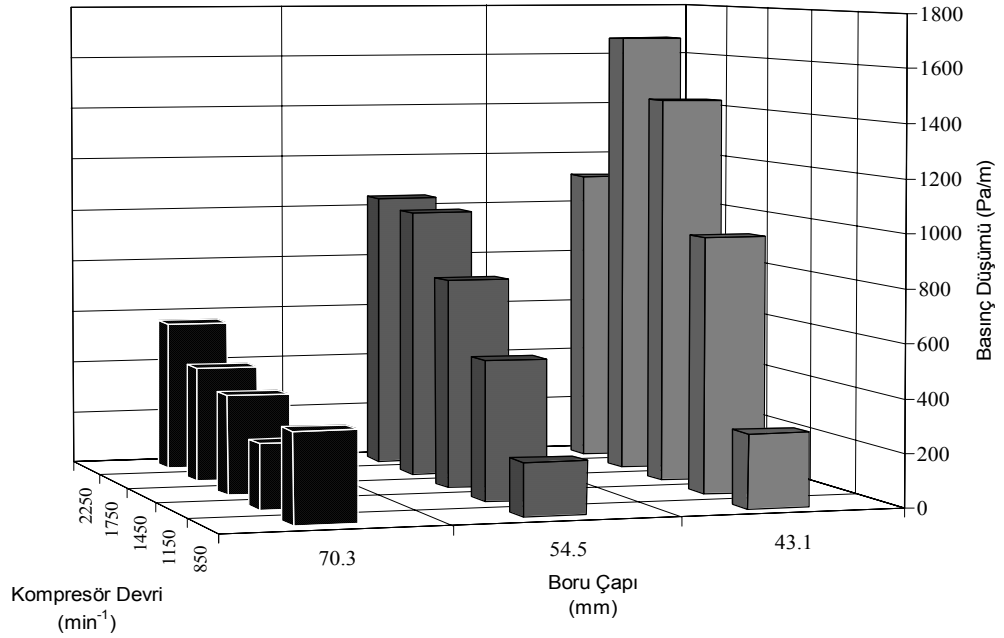
Arpa ile yapılan deneme sonuçları grafikleri Şekil 5.27, 5.28 ve 5.29'da yer almaktadır. Besleyici devri  $10 \text{ min}^{-1}$  olduğu durumda (Şekil 5.27) en düşük basınç düşümü değerleri 70.3 mm çaplı boruda elde edilmiştir. En yüksek basınç düşümü değerleri ise 43.1 mm çaplı boruda edilmiştir. Her üç boru çapında da iletim hızının artması ile orantılı olarak basınç düşümleri de artmaktadır. 70.3 mm çaplı boruda en düşük iletim hızında basınç düşümü yüksektir. Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken arpa iletiminden elde edilen değerler Şekil 5.28'deki grafikte görülmektedir. Boru çapı 54.5 mm olduğu durumda iletim hızına paralel basınç düşümü de artmaktadır. 43.1 mm ve 70.3 mm boru çaplarında ise basınç düşümü boru çapının yanı sıra iletim hızına göre de farklılıklar göstermektedir. Ortalama basınç düşüm değerleri en yüksek olduğu çap 43.1 mm'dir. İletim hızına bağlı olarak büyük artış göstermektedir. İletim hızının en yüksek olduğu durumda ise basınç düşümü azalmaktadır. 70.3 mm çaplı boruda ise en düşük hızda basınç düşümü yüksek, yüksek iletim hızlarında ise nispeten daha düşük değerlerdedir. Ortalama basınç düşümü artışı en düşük 70.3 mm çaplı boruda olduğu söylenebilir. Besleyici devrinin  $13 \text{ min}^{-1}$  olduğu durumda yapılan değerlendirme  $16 \text{ min}^{-1}$  devirdeki arpa iletiminden elde edilen sonuçlar (Şekil 5.29) için de yapılabilir.



Şekil 5.27 Besleyici devri  $10 \text{ min}^{-1}$  iken arpa için boru çapının basınç düşümüne etkisi



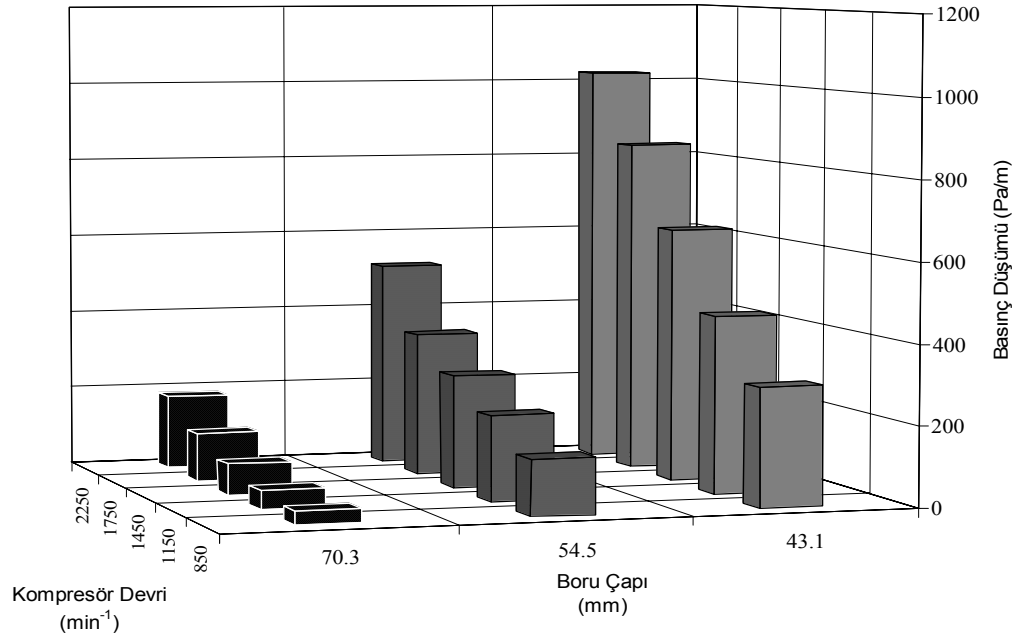
Şekil 5.28 Besleyici devri 13 min<sup>-1</sup> iken arpa için boru çapının basınç düşümüne etkisi



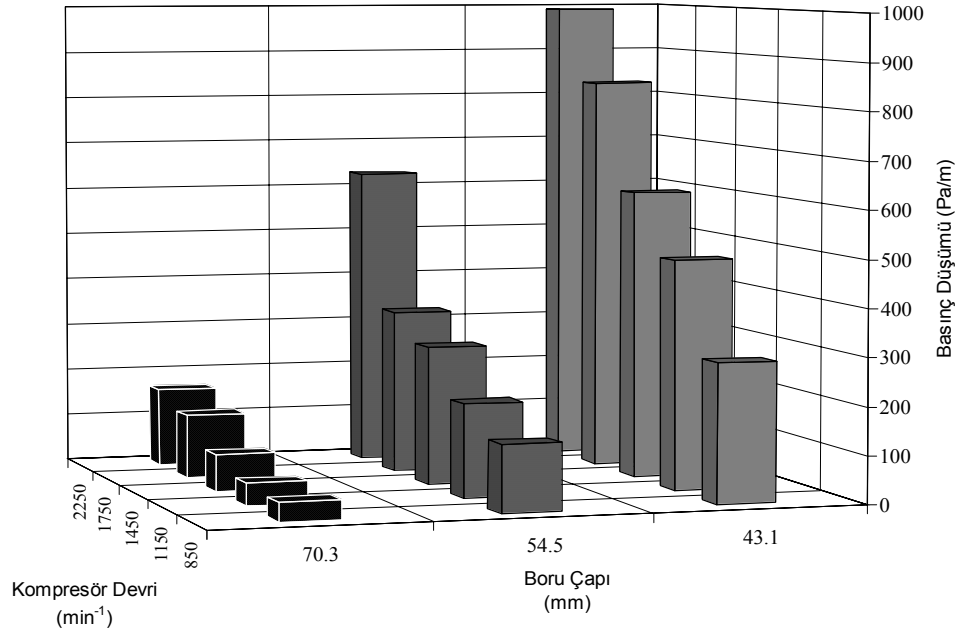
Şekil 5.29 Besleyici devri 16 min<sup>-1</sup> iken arpa için boru çapının basınç düşümüne etkisi

Buğday ve arpa ile yapılan denemelerde 70.3 mm çaplı boruda en düşük hava hızı ile iletimde besleyicinin izdüşümünde materyal birikimi oluşmakta ve iletimin başlangıcında basınç düşümlerinde büyük artışlar oluşmaktadır. Hava hızının arttırılması ile bu durumdan kaynaklanan basınç düşümü değerleri olağan değişim eğilimi göstermektedir.

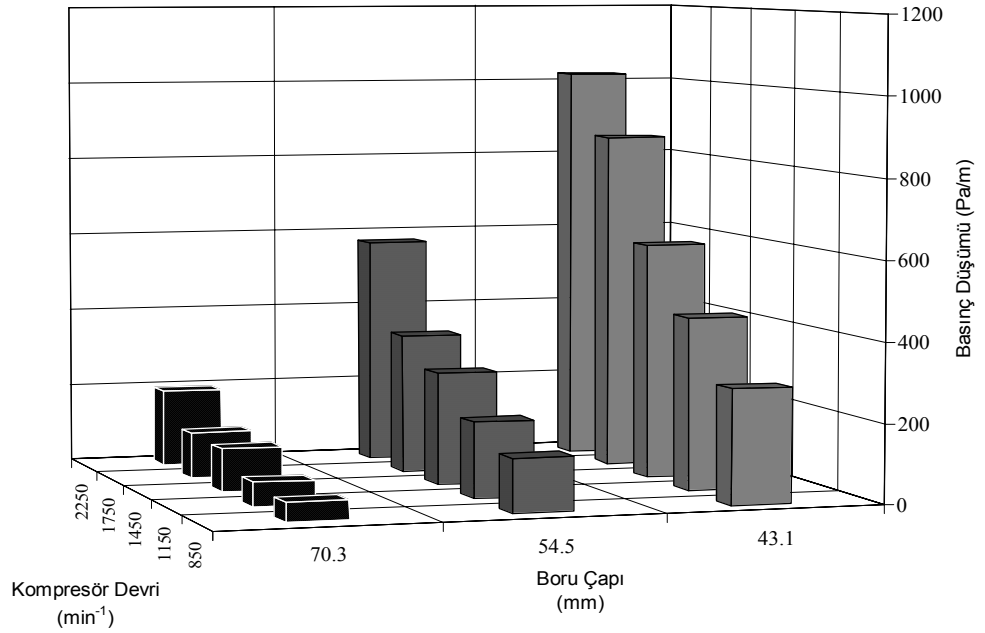
Ayçiçeği iletiminde boru çapının basınç düşümüne etkisi Şekil 5.30, 5.31 ve 5.32’de görülmektedir. Her üç besleyici devri için en düşük basınç düşümü ortalaması 70.3 mm çaplı boruda ve en yüksek basınç düşümü ortalaması ise 43.1 mm çaplı boruda görülmektedir. Üç boru çapında da iletim hızının artması ile basınç düşümü de artmaktadır.



Şekil 5.30 Besleyici devri 10 min<sup>-1</sup> iken ayçiçeği için boru çapının basınç düşümüne etkisi



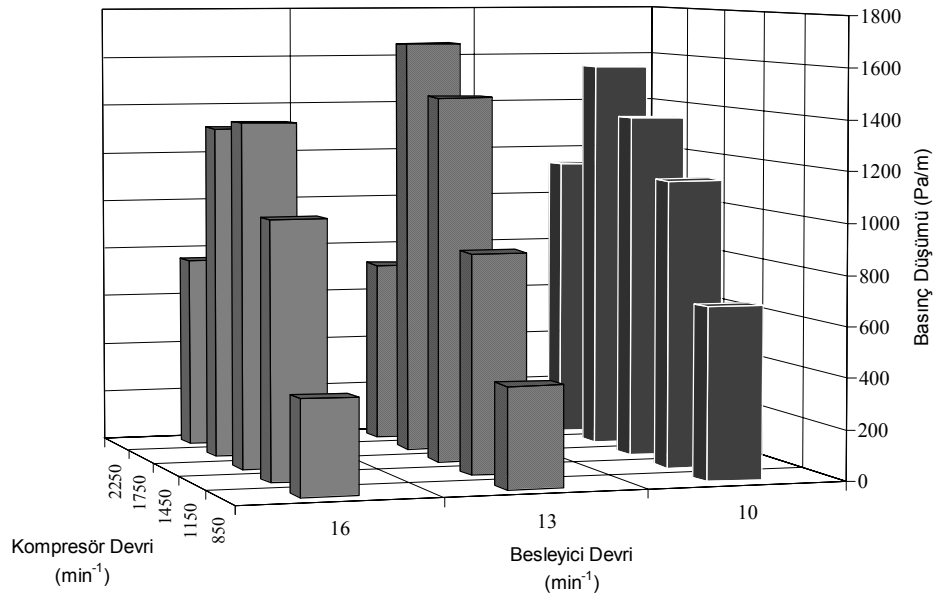
Şekil 5.31 Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken ayçiçeği için boru çapının basınç düşümüne etkisi



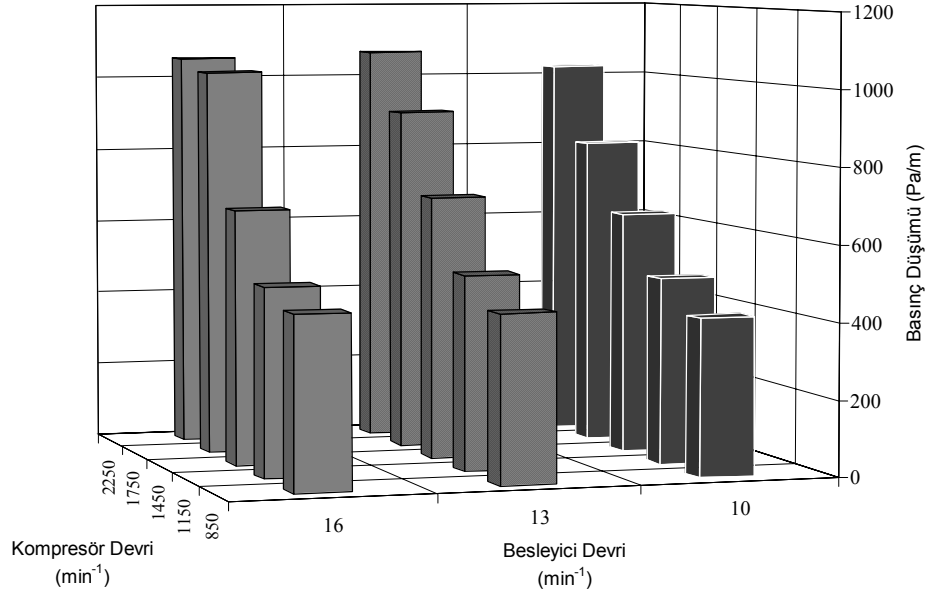
Şekil 5.32 Besleyici devri  $16 \text{ min}^{-1}$  iken ayçiçeği için boru çapının basınç düşümüne etkisi

### 5.2.3 Materyal debisinin basınç düşümüne etkisi

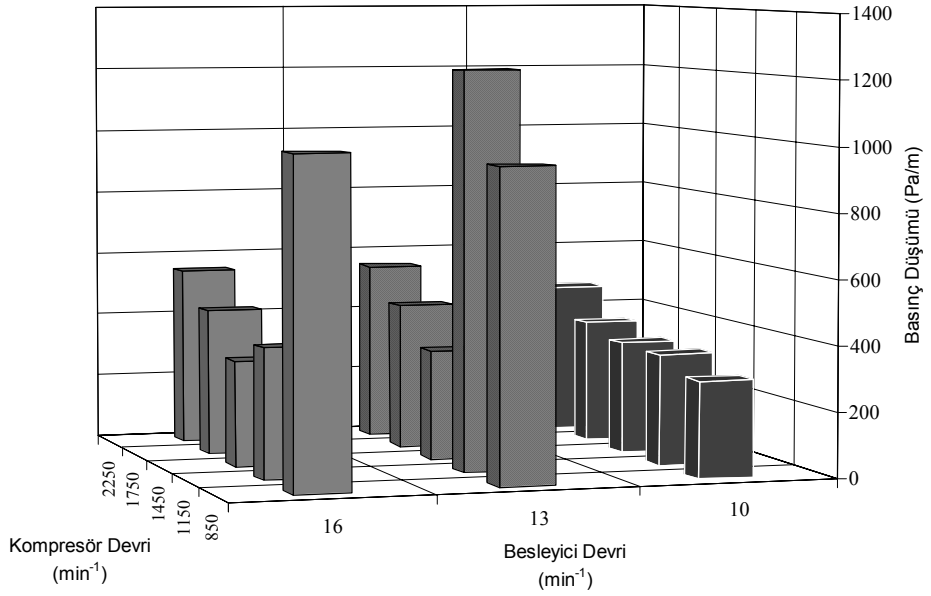
Buğday iletiminde, besleyicinin 10, 13 ve 16  $\text{min}^{-1}$  devirlerinde ve 43.1 mm, 54.5 mm ve 70.3 mm çaplı borularla yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar Şekil 5.33, 5.34 ve 5.35'de görülmektedir. 43.1 mm çaplı boru ile buğday iletiminde her üç debide de aynı iletim hızlarında birbirine yakın basınç düşüm değerleri elde edilmiştir. Basınç düşümleri iletim hızı arttıkça artmaktadır. Her üç debi için de en yüksek iletim hızında basınç düşüm değerlerinde azalma görülmektedir. 54.5 mm çaplı boru ile iletimde ise her üç debide de aynı iletim hızlarında birbirine yakın basınç düşüm değerleri elde edilmiştir. Basınç düşümleri, iletim hızına paralel olarak artmaktadır. 70.3 mm çaplı boru ile iletim denemelerinde besleyici devrinin 10  $\text{min}^{-1}$  olduğu durumda basınç düşümleri oldukça düşüktür ve iletim hızı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Besleyicinin 13 ve 16  $\text{min}^{-1}$  devirlerinde ise düşük iletim hızında basınç düşümleri oldukça fazladır. Besleyiciden hatta verilen materyal hava hızının düşük olduğu durumda ilk etapta hareketlenememekte ve birikme oluşmaktadır. Bu durum anlık basınç düşümü değerlerini yükseltmektedir. İletim hızı arttıkça birikme olmamakta ve basınç düşüm değerleri nispeten azalmaktadır.



Şekil 5.33 Buğdayın 43.1 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi



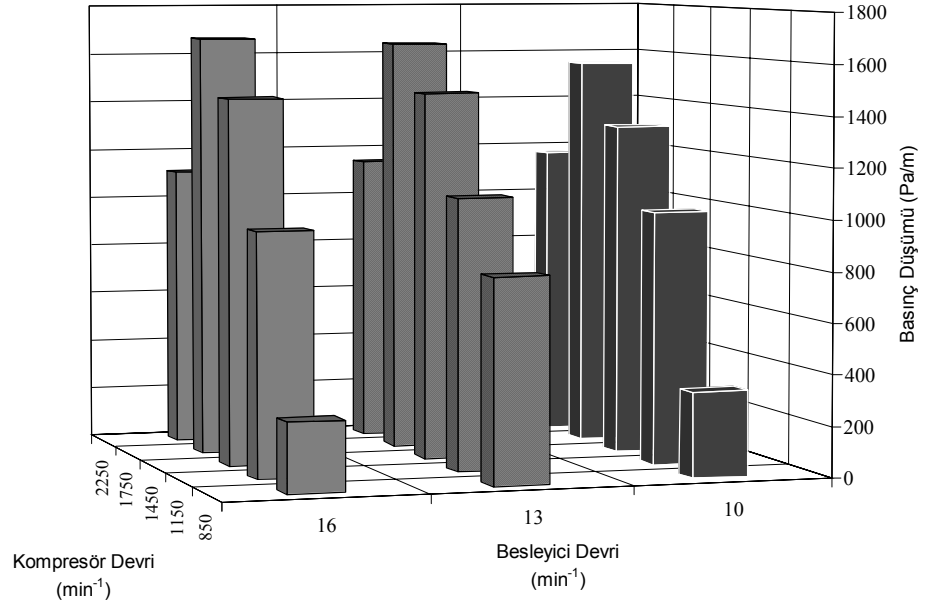
Şekil 5.34 Buğdayın 54.5 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi



Şekil 5.35 Buğdayın 70.3 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi

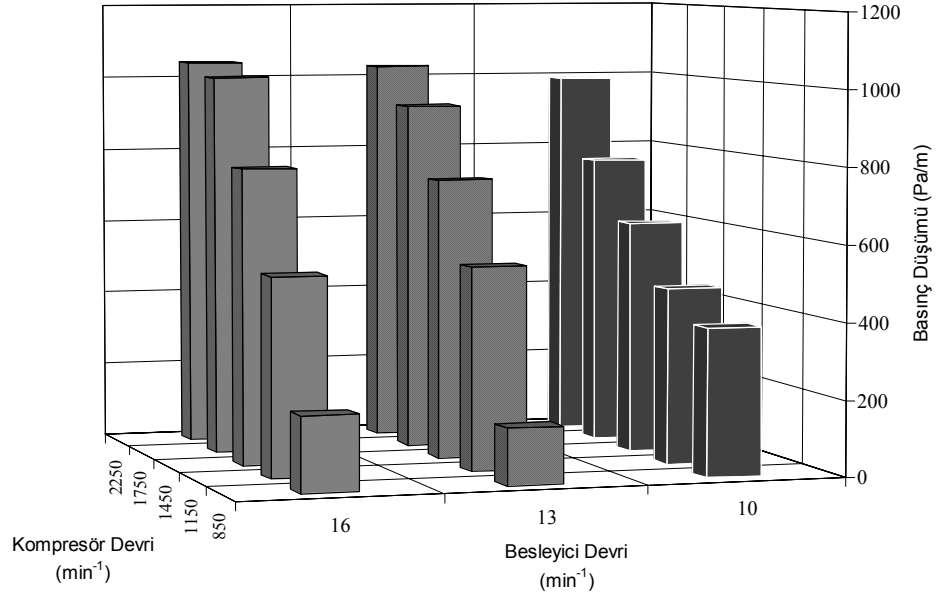
Arpa iletiminde besleyicinin 10, 13 ve 16 min<sup>-1</sup> devirlerinde sırasıyla 43.1 mm, 54.5 mm ve 70.3 mm çaplı borularla yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar Şekil 5.36, 5.37 ve 5.38’de görülmektedir.

43.1 mm çaplı boru ile arpa iletiminde her üç debide de aynı iletim hızlarında birbirine yakın basınç düşüm değerleri elde edilmiştir. Denemelerde en küçük basınç düşüm değerleri beleyici devrinin 10 ve 13 min<sup>-1</sup> olduğu durumda ve en düşük iletim hızında elde edilmiştir. Basınç düşümleri iletim hızı arttıkça artmaktadır. Her üç debi için de en yüksek iletim hızında basınç düşüm değerlerinde azalma görülmektedir.



Şekil 5.36 Arpanın 43.1 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi

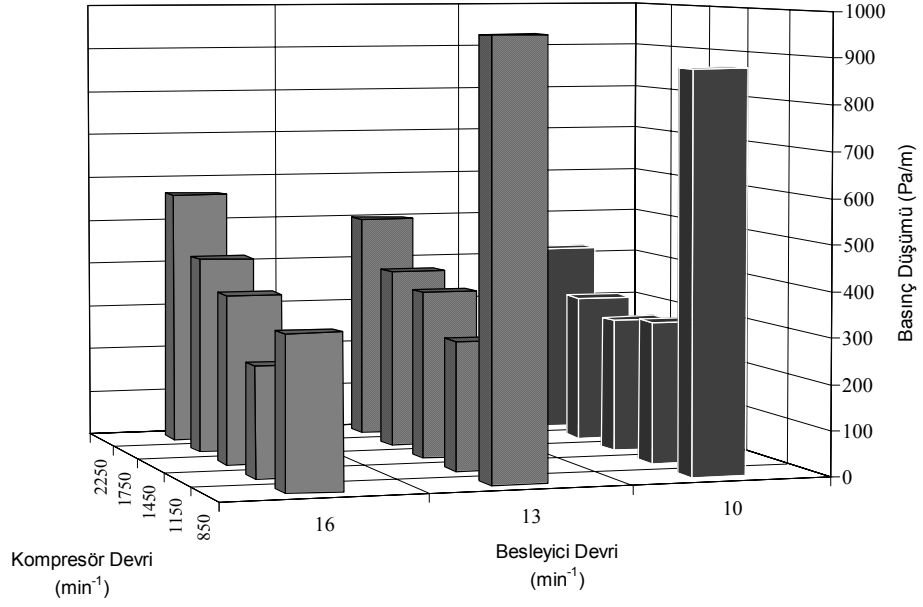
54.5 mm çaplı boru ile iletimde ise her üç debide de aynı iletim hızlarında birbirine yakın basınç düşüm değerleri elde edilmiştir. Denemelerde en küçük basınç düşüm değerleri besleyicinin 13 ve 16 min<sup>-1</sup> devirlerinde ve en düşük iletim hızında elde edilmiştir. Basınç düşümleri iletim hızına paralel olarak artmaktadır.



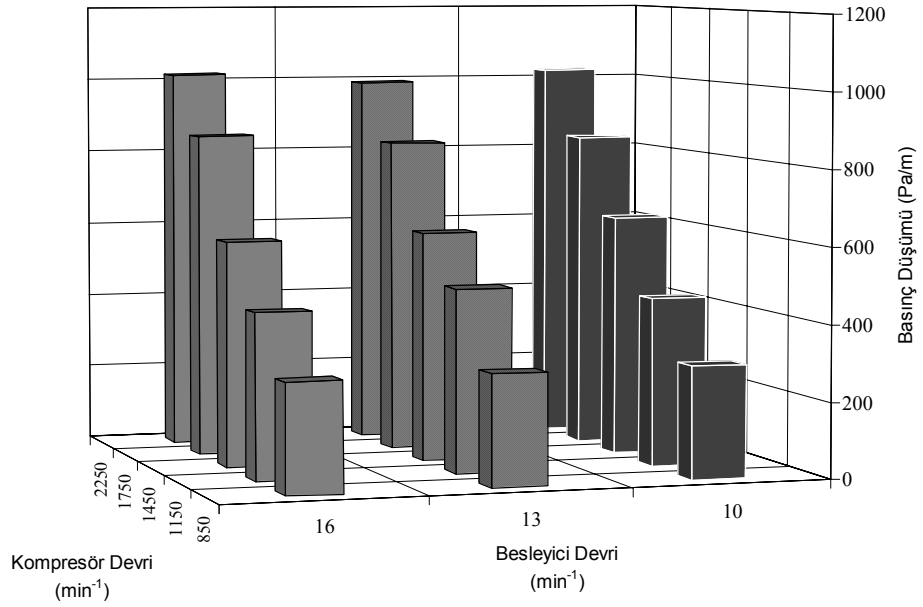
Şekil 5.37 Arpanın 54.5 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi

70.3 mm çaplı boru ile iletim denemelerinde her üç debide de düşük iletim hızında basınç düşümleri oldukça fazladır. Bu boru çapı için buğdayda karşılaşılan durum arpa için de söz konusudur. Hava hızının en düşük olduğu durumda besleyicinin iletim hattına ani olarak materyali bırakması ile taneler ileri doğru hareketlenememekte ve yer çekimi kuvveti etkisi ile düştüğü noktada birikmektedir. Depodaki materyalin akışının bitmesi ile birikimin üst kısmındaki tanelerden başlayarak materyal iletilebilmektedir. İletim süresi daha uzun sürmektedir. Hava hızının artırılması ile bu durum ortadan kalmaktadır.

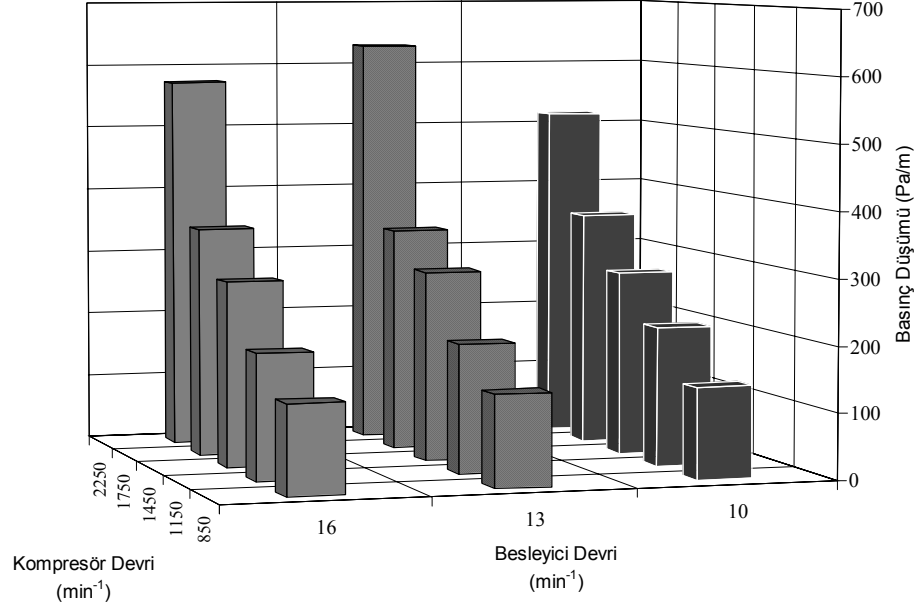
Ayçiçeği iletiminde besleyici devrinin basınç düşümüne etkisi Şekil 5.39, Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de görülebilir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere borunun her üç çapında da besleyici debisinin basınç düşümüne belirgin etkisi yoktur.



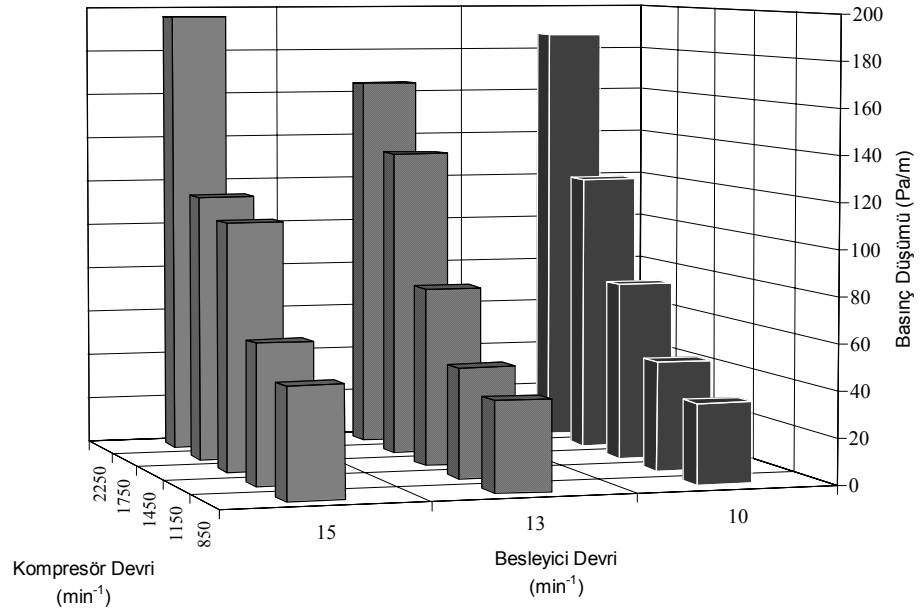
Şekil 5.38 Arpanın 70.3 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi



Şekil 5.39 Ayçiçeğinin 43.1 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi



Şekil 5.40 Ayçiçeğinin 54.5 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi

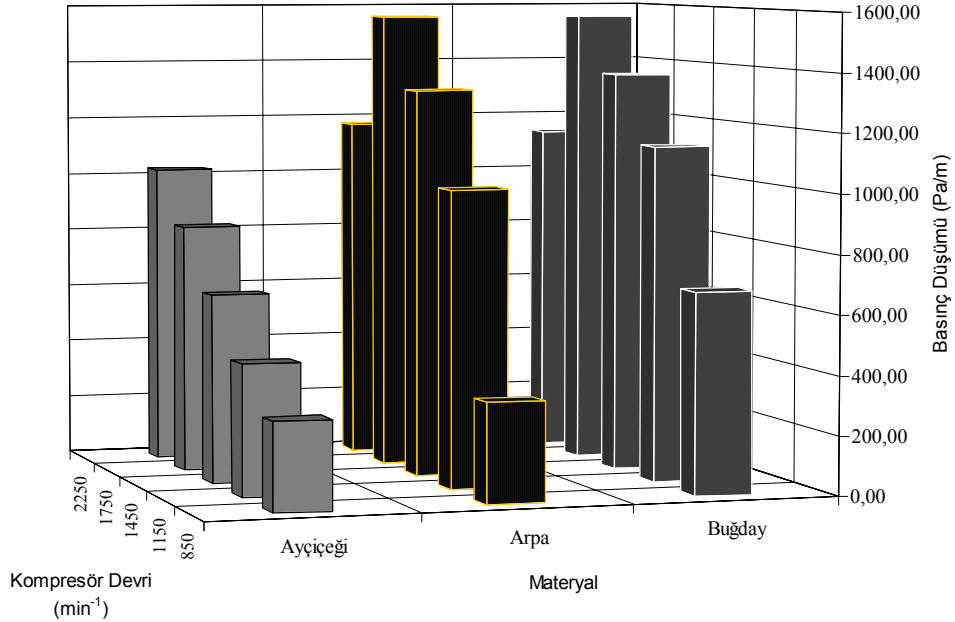


Şekil 5.41 Ayçiçeğinin 70.3 mm çaplı boru ile iletiminde materyal debisinin basınç düşümüne etkisi

## 5.2.4 Materyal cinsinin basınç düşümüne etkisi

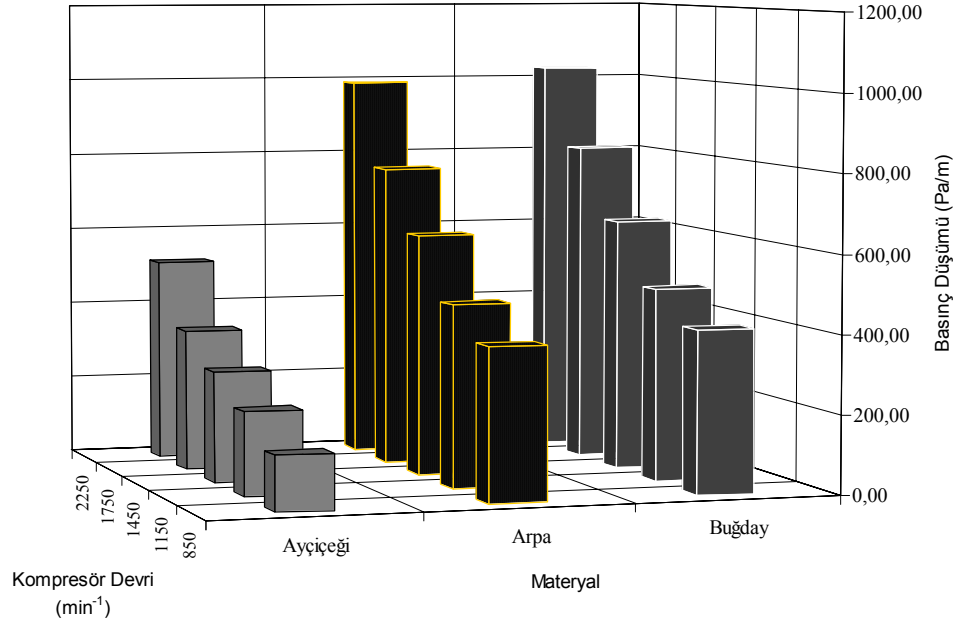
Materyal cinsinin basınç düşümüne etkilerinin irdelendiği bölümdeki değerler EK 1, EK 2 ve EK 3'ten alınmıştır.

43.1 mm çaplı boru ile iletimde besleyici devrinin  $10 \text{ min}^{-1}$  olduğu durumda en düşük basınç düşümü ayçiçeğinde elde edilmiştir (Şekil 5.42). Ayçiçeğinde hava hızı arttıkça basınç düşümü de artmaktadır. Arpa ve buğdayda basınç düşümleri birbirine yakındır. Her ikisinde de en yüksek hava hızının elde edildiği  $2250 \text{ min}^{-1}$  kompresör devrinde basınç düşümü azalmaktadır. En yüksek basınç düşümü  $1750 \text{ min}^{-1}$  kompresör devrindeki hava hızında elde edilmiştir. Boru çapı 54.5 mm, besleyici devri  $10 \text{ min}^{-1}$  iken her üç üründe de hava hızının artması ile basınç düşümü değerleri artmaktadır (Şekil 5.43). Buğday ve arpanın iletimindeki basınç düşümü değerleri birbirine yakın olup en düşük basınç düşümü değerleri ayçiçeğinde elde edilmiştir.



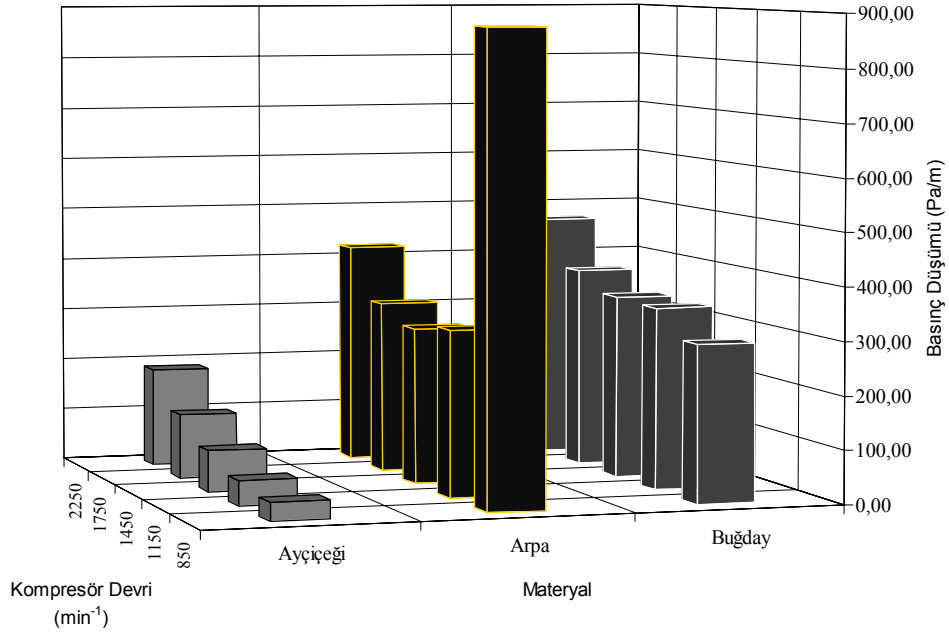
Şekil 5.42 Besleyici devri  $10 \text{ min}^{-1}$  iken 43.1 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri

Boru çapı 70.3 mm iken besleyici devrinin  $10 \text{ min}^{-1}$ 'da en düşük basınç düşümü değeri ayçiçeğinde görülmektedir. Arpa ve buğdayın değerleri birbirine yakın olup her üç üründe hava hızına paralel basınç düşümü artmaktadır. Arpa iletiminde kompresörün  $850 \text{ min}^{-1}$  devrinde hatta birikme olmuş ve büyük boru çapında ilk etapta hava debisi tanelerin hareketlenmesini sağlayamamıştır. Bu denemede yüksek basınç düşümü gözlemlenmiştir (Şekil 5.44).

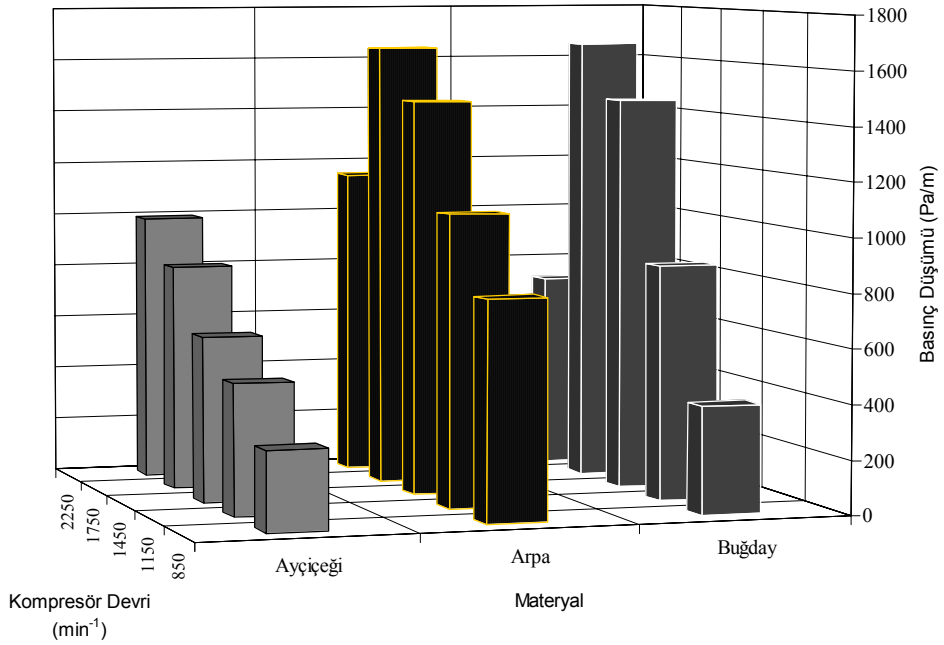


Şekil 5.43 Besleyici devri  $10 \text{ min}^{-1}$  iken 54.5 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri

Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken 43.1 mm çaplı boru ile iletimde arpa ve buğdayda hava hızının  $1750 \text{ min}^{-1}$  kompresör devrindeki hızına kadar basınç düşümünde kademeli olarak artış gösterdiği, bu hızda en yüksek seviyeye ulaştığı ve  $2250 \text{ min}^{-1}$  ise düşme eğilimine girdiği gözlemlenmektedir (Şekil 5.45). Ayçiçeğinde ise hava hızına paralel basınç düşümünde artış olduğu tespit edilmiştir.

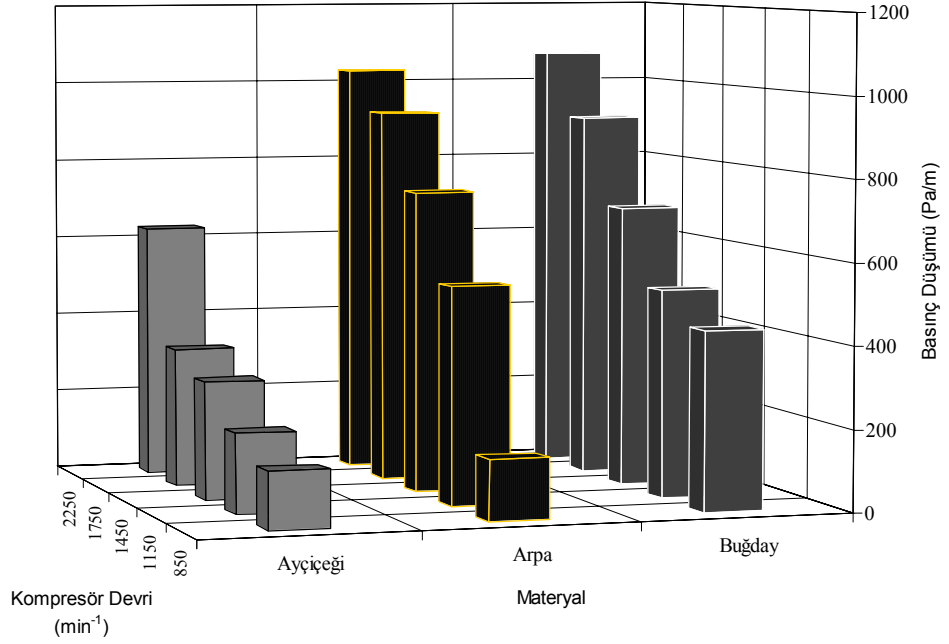


Şekil 5.44 Besleyici devri 10 min<sup>-1</sup> iken 70.3 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri



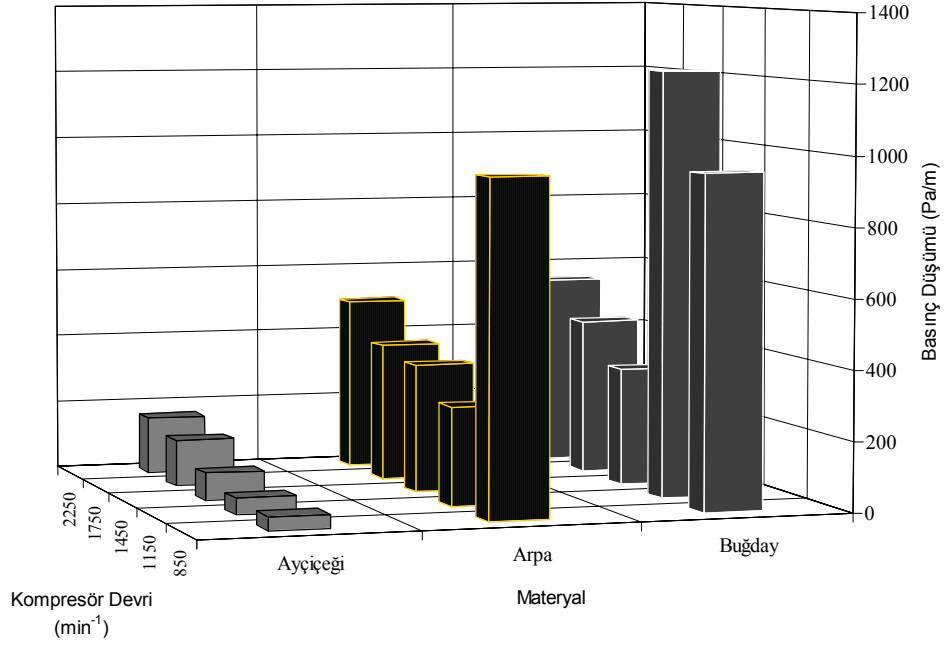
Şekil 5.45 Besleyici devri 13 min<sup>-1</sup> iken 43.1 mm çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri

Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken  $54.5 \text{ mm}$  çaplı boru ile iletimde en düşük basınç düşümü değerleri ayçiçeği ile yapılan denemelerde elde edilmiştir. Buğday ve arpada değerler birbirine yakındır. Her üç üründe de hava hızına paralel olarak basınç düşümü değerleri de artmaktadır (Şekil 5.46).

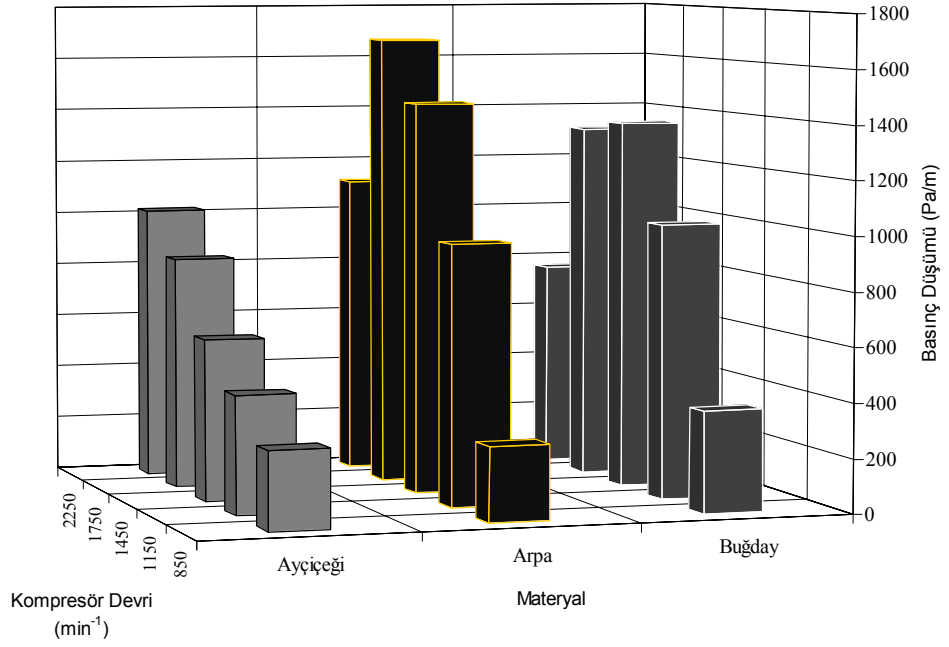


Şekil 5.46 Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken  $54.5 \text{ mm}$  çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri

Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken  $70.3 \text{ mm}$  çaplı boru ile iletimde en düşük basınç düşümü değerleri ayçiçeği için elde edilmiştir. Ayçiçeğinde hava hızına paralel olarak basınç düşümünde de artış gözlemlenmektedir. Buğday ve arpada ise hava hızının düşük olduğu değerlerde basınç düşümü fazla olmaktadır.  $70.3 \text{ mm}$  çaplı boruda materyalin hatta ilk verildiği anda hava debisi yeterli olmamakta ve besleyicinin beslemeye devam etmesi ile birikme oluşmaktadır. Bu durum basınç düşümüne neden olmaktadır (Şekil 5.47). Besleyici devri  $16 \text{ min}^{-1}$  iken  $43.1 \text{ mm}$  çaplı boru ile iletimde arpa ve buğdayda hava hızının  $1750 \text{ min}^{-1}$  kompresör devrindeki hızına kadar basınç düşümünde kademeli olarak artış gösterdiği, bu hızda en yüksek seviyeye ulaştığı ve  $2250 \text{ min}^{-1}$  ise düşme eğilimine girdiği gözlemlenmektedir (Şekil 5.48). Ayçiçeğinde ise hava hızına paralel basınç düşümünde artış olduğu tespit edilmiştir.

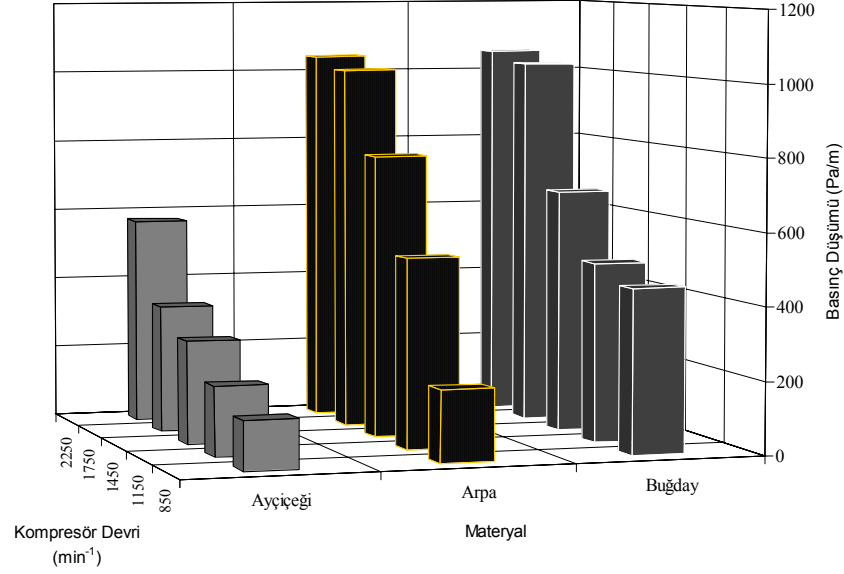


Şekil 5.47 Besleyici devri  $13 \text{ min}^{-1}$  iken  $70.3 \text{ mm}$  çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri



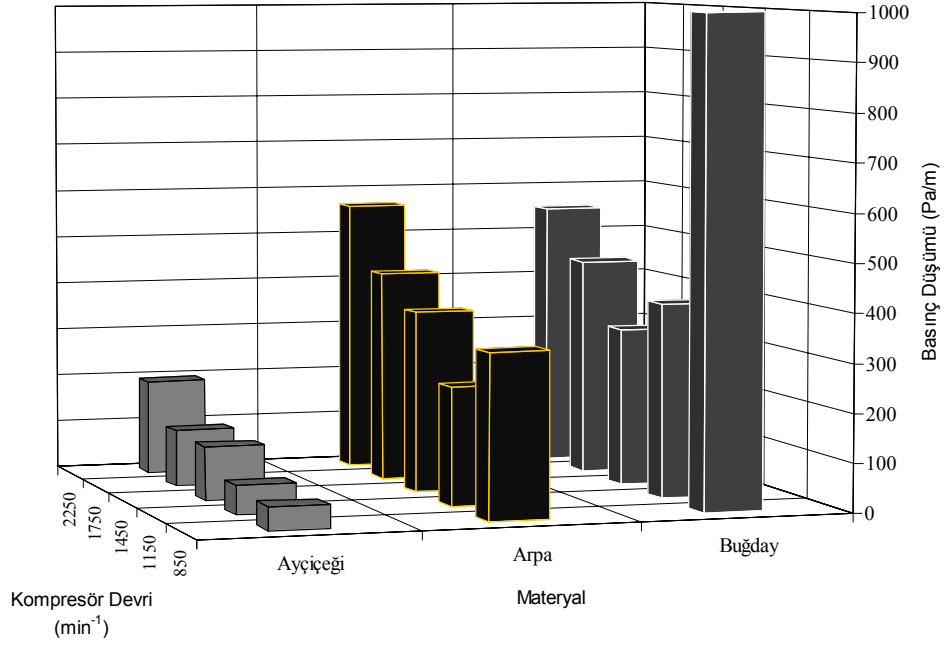
Şekil 5.48 Besleyici devri  $16 \text{ min}^{-1}$  iken  $43.1 \text{ mm}$  çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri

Şekil 5.49'daki grafikte besleyici devri  $16 \text{ min}^{-1}$  ve boru çapının  $54.5 \text{ mm}$  olduğu iletim değerleri görülebilir. Sırasıyla ayçiçeği, arpa ve buğdayda en düşük basınç düşümü değerleri elde edilmiştir. Hava hızının artması ile basınç düşümü değerleri de artmaktadır.



Şekil 5.49 Besleyici devri  $16 \text{ min}^{-1}$  iken  $54.5 \text{ mm}$  çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri

Şekil 5.50'de besleyici devrinin  $16 \text{ min}^{-1}$  olduğu durumda  $70.3 \text{ mm}$  çaplı boru ile iletimde elde edilen değerler yer almaktadır. En düşük basınç düşüm değerleri ayçiçeğinde elde edilmiştir. Ayçiçeğinde hava hızı arttıkça basınç düşümü de artmaktadır. Buğdayda düşük hızlarda yüksek basınç düşümü oluşmaktadır. Büyük boru çapı ve düşük iletim hızlarında buğday iletiminde boru tabanında birikmeler oluşmaktadır. Hava hızı arttıkça bu durum ortadan kalkmaktadır. Nitekim buğday iletiminde en düşük basınç düşümü kompresör devrinin  $1450 \text{ min}^{-1}$  olduğu hava hızında elde edilmiştir. Bu noktadan sonra hava hızı arttıkça basınç düşümü artmaktadır. Arpada da en düşük hava hızında benzer durum gözlemlenmektedir. Arpada en düşük basınç düşümü değeri kompresör devrinin  $1150 \text{ min}^{-1}$  olduğu hava hızında elde edilmiştir. Hava hızı arttıkça arpa için basınç düşümü değerleri de artmaktadır.



Şekil 5.50 Besleyici devri  $16 \text{ min}^{-1}$  iken  $70.3 \text{ mm}$  çaplı boru için materyallerin basınç düşümleri

### 5.2.5 U dönüşün basınç düşümüne etkisi

İletim hattı üzerindeki U dönüşün basınç düşümüne etkisi fazladır. U dönüşte birim boydaki basınç düşümü değerleri önceki ve sonraki kısımlara göre oldukça yüksektir. U borudaki basınç düşümü boru çapı büyüdükçe azalmaktadır.

### 5.2.6 İletim hızının güç tüketimine etkisi

Buğday iletimi denemelerinde 3 farklı boru çapında elde edilen güç tüketimi değerleri, Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere, iletim hızının artması ile doğru orantılı olarak artmaktadır.  $850$ ,  $1150$ ,  $1450$  ve  $1750 \text{ min}^{-1}$  hızlarındaki güç tüketimi artışına nispeten daha yüksek olan  $2250 \text{ min}^{-1}$  hızındaki güç tüketimi dikkat çekicidir.

Çizelge 5.1 Buğday iletiminde 3 boru çapı için 5 farklı iletim hızında güç tüketimi

Buğday	Tüketilen Güç (kW)				
Boru Çapı (mm)	Kompresör Devri ( $\text{min}^{-1}$ )				
	850	1150	1450	1750	2250
43.1	3.528	3.739	3.949	6.266	11.215
54.5	1.843	2.159	2.264	2.896	5.845
70.3	1.421	1.632	1.790	2.054	3.212

Arpa iletiminde elde edilen güç tüketim değerleri buğdaydan farklılık göstermektedir. Her üç boru çapı için de  $850 \text{ min}^{-1}$  hızda yüksek güç tüketmekte,  $1150 \text{ min}^{-1}$ 'da nispeten düşmekte ve yine doğrusal olarak artış eğilimi göstermektedir.  $2250 \text{ min}^{-1}$  iletim hızında artış oranı nispeten fazladır. Çizelge 5.2'de arpa denmelerindeki güç tüketimi değerleri yer almaktadır.

Çizelge 5.2 Arpa iletiminde 3 boru çapı için 5 farklı iletim hızında güç tüketimi

Arpa	Tüketilen Güç (kW)				
Boru Çapı (mm)	Kompresör Devri ( $\text{min}^{-1}$ )				
	850	1150	1450	1750	2250
43.1	3.475	3.212	3.844	6.161	11.321
54.5	2.212	1.896	2.054	2.738	5.897
70.3	2.370	1.685	1.685	1.948	3.107

Ayçiçeği iletiminde Çizelge 5.3'de görüldüğü üzere, iletim hızının artması ile güç tüketimi de artmaktadır.

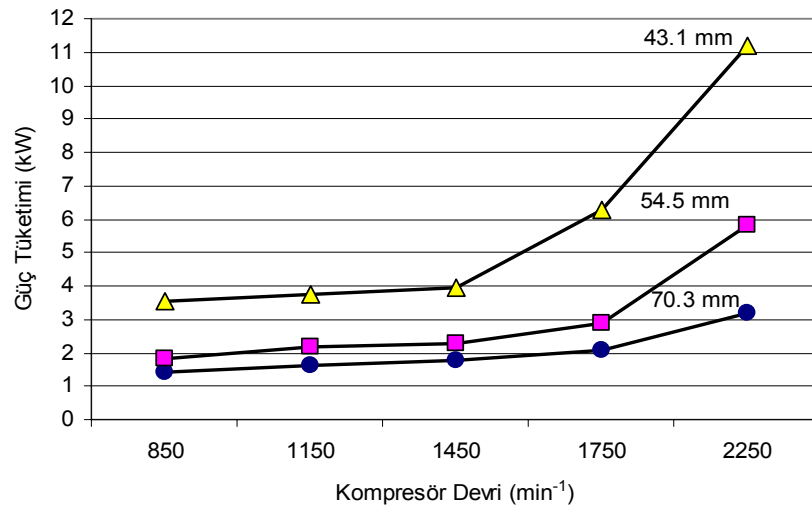
Her üç materyal iletimi için de 43.1 mm çaplı boruda  $2250 \text{ min}^{-1}$  iletim hızında maksimum güç tüketim değeri elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 Ayçiçeği iletiminde 3 boru çapı için 5 farklı iletim hızında güç tüketimi

Ayçiçeği	Tüketilen Güç (kW)				
	Kompresör Devri ( $\text{min}^{-1}$ )				
Boru Çapı (mm)	850	1150	1450	1750	2250
43.1	1.422	1.685	2.159	3.159	8.372
54.5	1.211	1.369	1.527	1.790	3.212
70.3	1.158	1.211	1.316	1.422	2.106

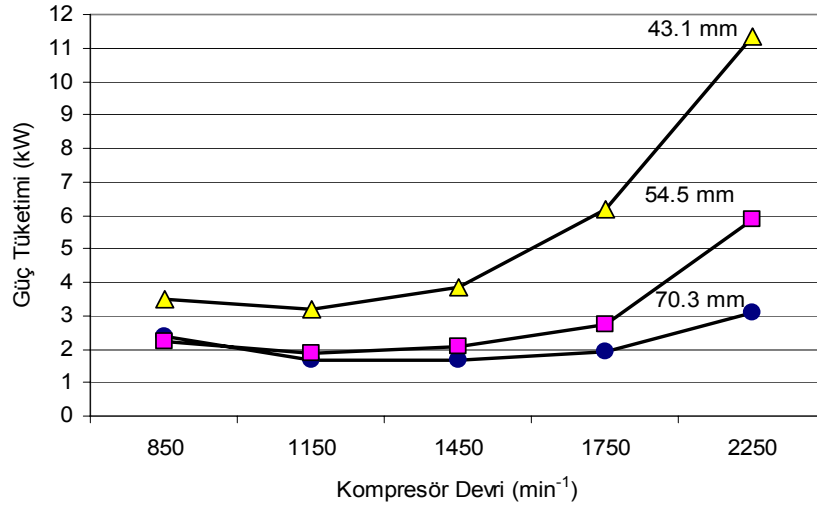
### 5.2.7 Boru çapının güç tüketimine etkisi

Buğdayın üç farklı çaptaki boru ile iletimi esnasında tüketilen güç değerleri Şekil 5.51'deki grafikte görülmektedir. 70.3 mm çaplı boru ile iletimde en küçük güç tüketimi elde edilmiştir. 54.5 mm çaplı boruda iletim denemeleri esnasında tüketilen güç değerleri 70.3 mm çaplı boruya yakındır. En yüksek güç tüketimi ise 43.1 mm çaplı boruda elde edilmiştir. Her üç çapta da iletim hızının artması ile güç tüketimi de artmaktadır.



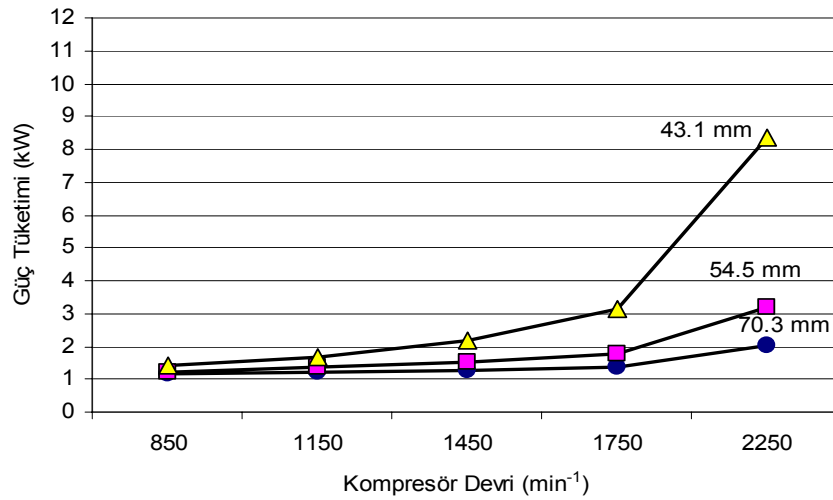
Şekil 5.51 Buğday iletiminde elde edilen güç tüketim değerleri

Şekil 5.52'deki grafikte arpa iletiminde güç değerleri görülmektedir. Düşük iletim hızlarında 70.3 mm ve 54.5 mm çaplı borularda birbirlerine yakın güç tüketim değerleri elde edilmiştir. İletim hızının artması ile güç tüketimi de artmaktadır. 43.1 mm çaplı boruda ise en yüksek güç tüketim değerleri elde edilmiştir. Yine iletim hızına paralel güç tüketim değerleri de artmaktadır.



Şekil 5.52 Arpa iletiminde elde edilen güç tüketim değerleri

Ayçiçeği iletiminde güç tüketim değerleri Şekil 5.53'deki grafikte yer almaktadır. İletim hızının 1450 min<sup>-1</sup>'a ulaşmasına kadar her üç boru çapında değerler birbirine yakındır.



Şekil 5.53 Ayçiçeği iletiminde elde edilen güç tüketim değerleri

1750 min<sup>-1</sup> iletim hızında ise 70.3 mm ve 54.5 mm çaplı borularda birbirlerine yakın, 43.1 mm çaplı boruda ise dikkate değer artış göstermektedir. En yüksek güç tüketim değeri 43.1 mm çaplı boru ile iletimde 2250 min<sup>-1</sup> iletim hızında elde edilmiştir. Genel olarak iletim hızına paralel güç tüketim değerleri de artmaktadır.

### 5.2.8 İletim kapasitesinin güç tüketimine etkisi

Buğday için yapılan denemelerde 43.1 mm çaplı boru için besleyici devri 10 min<sup>-1</sup>'da en az güç tüketiminin olduğunu 13 ve 16 min<sup>-1</sup>'lık besleyici devirlerinde ise nispeten fazla ancak birbirine yakın güç tüketimlerinin gerçekleştiği görülmektedir. 10 ve 13 min<sup>-1</sup> besleyici devrinde en düşük iletim hızında bir miktar ( $\approx$  %5) yüksek güç tükettiği dikkate alınmalıdır. Boru çapı 54.5 mm iken iletim hızının düşük olduğu durumda her üç besleyici debisinde birbirine yakın güç tüketim değerleri görülmektedir. İletim hızı arttıkça besleyici debisinin artışına paralel güç tüketimi artmaktadır. Boru çapı 70.3 mm iken ise düşük iletim hızında besleyici devrinin yüksek olduğu çalışma şartında daha düşük güç tüketimi, iletim hızının artması ile 10 ve 13 min<sup>-1</sup> besleyici devirlerinde birbirine yakın ve daha düşük güç tüketim değerleri elde edilmektedir. Arpanın 43.1 mm çaplı boru ile iletiminde düşük iletim hızlarında her üç besleyici devrinde kararsız güç tüketimi dağılımı izlenmektedir. İletim hızı arttıkça besleyicinin devrinin artışına paralel güç tüketimi de artmaktadır. Boru çapı 54.5 mm ve 70.3 mm iken besleyici devrinin artışına paralel güç tüketim değerleri de artmaktadır. Ayçiçeği iletiminde her üç besleyici devrinde elde edilen debiler birbirine çok yakın olması sebebiyle güç tüketim değerleri de benzer büyüklüktedir.

### 5.3 Zedelenme

Denemelerde alınan numunelerde gözle yapılan muayenede her üç ürün grubu için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Buğday denemelerinde en yüksek tane kırığı hava hızı 1450 min<sup>-1</sup>'da tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük hızlarda mekanik zedelenme oranı hemen hemen aynıdır. Boru

çapının etkisi belirgin olarak hissedilmektedir. Boru çapının artması ile zedelenme miktarı azalmaktadır. Besleyici debisinin zedelenmeye etkisi tüm devirlerde bir birine yakındır.

Arpada iletim hızının artmasına oranla zedelenmede düşüş tespit edilmiştir. Besleyici devrinin etkisi azdır. Boru çapının etkisi ise düşük hızlarda daha belirgindir. Boru çapının büyümesi ile mekanik zedelenme oranı azalmaktadır.

Ayçiçeğinde ise zedelenmeyi arttıran en büyük faktörün besleyici debisi olduğu görülmektedir. Besleyici devri 10 ve 13  $\text{min}^{-1}$  iken besleyici kanatlarının tanelere zarar verdiği tespit edilmiştir. Özellikle düşük hava hızlarında zedelenme hissedilir oranda artmaktadır. Besleyici devrinin artması ile akış rahatlamakta ve mekanik zedelenme oranı azalmaktadır.

#### 5.4 Sonuç

“Bazı Tarımsal Ürünlerin Pnömatik İletiminde Basınç Düşümünün Saptanması” adlı çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Denemelerde düşük basınçlı pozitif iletimli bir pnömatik iletici kullanılmıştır. Pnömatik iletim sisteminde kompresör (roots üfleyici) ve tahrik eden elektrik motoru, hücreli çarklı besleyici (üflelemeli tip) ve tahrik eden elektrik motoru, toplam 23 m uzunluğunda ve 3 farklı çapta boru (iç çapı: 43.1 mm, 54.5 mm ve 70.3 mm), siklon, hava kilidi ve elektrik motoru, aspiratör ve torbalı toz filtre bulunmaktadır. Hat üzerinde 5 farklı noktaya basınç sensörü, transmitteri ve göstergesi yerleştirilmiştir.

2. Tarımsal ürün olarak buğday, arpa ve ayçiçeğinin iletim karakteristikleri belirlenmiştir. Materyal denemelerinde 43.1 mm, 54.5 mm ve 70.3 mm çaplı borular kullanılmıştır. Besleyici devri 10  $\text{mm}^{-1}$ , 13  $\text{mm}^{-1}$  ve 16  $\text{mm}^{-1}$  iken materyal debileri baz alınmış ve iletim kapasiteleri belirlenmiştir. 5 farklı hava hızı 850  $\text{mm}^{-1}$ , 1150  $\text{mm}^{-1}$ , 1450  $\text{mm}^{-1}$ , 1750  $\text{mm}^{-1}$  ve 2250  $\text{mm}^{-1}$  kompresör devrinde elde edilmiştir.

3. Tarımsal ürün olarak buğday, arpa ve ayçiçeğinin fiziksel özellikleri içerisinde boyutları, aritmetik ve geometrik ortalama çap değerleri, küresellik, hacim ve bin tane ağırlığı bulunmuştur.

4. Aritmetik ve geometrik ortalama çap değerleri buğday, arpa ve ayçiçeği için sırasıyla 3.98 – 3.67 mm, 5.28 – 4.38 mm, 9.95 – 7.39 mm olarak tespit edilmiştir. Küresellik değeri en yüksek buğdayda (%57.68), arpada (%44.03) ve en düşük ayçiçeğindedir (%37.26). Tek tane hacmi buğdayda 23.38 mm<sup>3</sup>, arpada 39.18 mm<sup>3</sup> ve ayçiçeğinde 129.31 mm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir.

5. Yalnız hava iletiminde her üç boru çapı için de geçerli olmak üzere hava hızı arttıkça basınç düşümü, sürtünme kaybı ve güç tüketimi artmaktadır. Boru çapının büyümesi ile basınç düşümü, sürtünme kaybı ve güç tüketimi azalmaktadır.

6. İletim hattı üzerinde bulunan besleyici basınç düşümü oluşturmaktadır. Sadece havanın iletiminde hava hızı arttıkça besleyiciden kaynaklanan basınç düşümü artmaktadır.

7. Hat üzerinde bulunan U boru basınç düşümü oluşturmaktadır. Birim boydaki basınç düşümü boru çapının büyümesi ile azalmaktadır. U borudan kaynaklanan basınç düşümü hava hızının artması ile artmaktadır.

8. Materyal ile yapılan denemelerde, aynı boru çapı ve materyal debisinde, iletim hızının artması ile hava debisi, basınç düşümü, güç tüketimi artmakta, karışım oranı ve sürtünme katsayısı azalmaktadır. Boru çapı büyüdükçe sürtünme kaybı, güç tüketimi, aynı kompresör devrinde iletim hızı ve basınç düşümü azalmaktadır.

9. En düşük basınç düşümü değerleri ayçiçeği iletiminde elde edilmiştir. Arpa ve buğdayda benzer değerler elde edilmiştir. 43.1 mm çaplı boruda buğday ve arpa için en yüksek basınç düşümü değerleri 1750 min<sup>-1</sup> hızda elde edilmektedir. 2250 kompresör devrinde basınç düşümü azalmaktadır. 54.5 mm çaplı boru ile iletimde her üç ürünün

basınç düşümü değerleri de hava hızına paralel artış göstermektedir. 70.3 mm çaplı boruda ise buğday ve arpa iletiminde en düşük iletim hızlarında tıkanma oluşmuştur. Bu durumda yüksek basınç düşümü değerleri elde edilmiştir.

10. Gözle yapılan tespit, alınan numunelerde kırık tane sayısı buğday ve arpada boru çapı büyüdükçe azalmaktadır. Besleyici debisinin etkisi tüm devirlerde aynıdır. Ayçiçeğinde ise mevcut besleyicinin oluşturduğu zararlar ön plana çıkmaktadır. Besleyici debisi arttıkça akış rahatlamakta ve zedelenme azalmaktadır. Yine düşük iletim hızlarında ayçiçeğindeki zedelenme oranı fazladır.

11. Pnömatik iletimde basınç düşümünün, güç tüketiminin, zedelenmenin ve tıkanmanın belirlenmesinde hava hızı ve boru çapı en önemli faktörlerdir. Tarımsal ürünlerin iletiminde hızlar tıkanmaya sebep olmamak kaydıyla düşük olmalıdır.

12. Genel anlamda, pnömatik iletilen kullanılabilecek güç tüketimi, materyaldeki zedelenme, aşırı basınç düşümü vb. faktörleri arttırmamak için aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi tavsiye edilir:

- a- İletilecek ürün pnömatik iletilen ile iletmeye uygun olmalı,
- b- Besleyici zedelenmeyi ve tıkanmayı arttırmayacak şekilde uygun tipte seçilmeli,
- c- Besleyiciyi tahrik eden motorun gücü yeterince büyük olmalı,
- d- Enerji tasarrufu için debisi ve basıncı istenen iletim kapasitesine uygun kompresör seçilmeli,
- e- Kompresörün ve besleyicinin devri kademesiz olarak ayarlanabilir olmalı,
- f- İletim hızı materyalin kritik veya limit hızı ölçülerek uygun değerde seçilmeli,
- g- İletim esnasında tıkanma olup olmadığı kontrol edilmeli,
- h- İletim hattında kullanılan boru ölçüleri ve cinsi materyal ve debiye uygun seçilmeli,
- i- İletim hattında zorunlu kalınmadıkça keskin dirsek ve U dönüş kullanılmamalı,
- j- Ortamın toz olmaması ve iletimin sağlıklı sürdürülmesi için uygun kapasitede aspiratör ve filtre grubu kullanılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Agarwal, A.T. 2005. Theory and Design of Dilute Phase Pneumatic Conveying Systems. Powder Handling&Processing, 17(1); 18-23.
- Anonim. 1994. Temel Pnömatik. MEB Yayınları:2707, 182 s, Ankara.
- Anonim. 2007. Web sitesi: [www.polimak.com/PolTrPneumatic.htm](http://www.polimak.com/PolTrPneumatic.htm), Erişim Tarihi: 30.09.2007
- Anonim. 2007. [www.zema-aritma.com/blower.htm](http://www.zema-aritma.com/blower.htm), Erişim Tarihi: 06.06.2007
- Anonim. 2007. [www.vimpi.com.tr/blower.html](http://www.vimpi.com.tr/blower.html), Erişim Tarihi:09.06.2007
- Anonim. 2007. [www.vakummakina.com/index.php?id=10](http://www.vakummakina.com/index.php?id=10), Erişim Tarihi:05.06.2007
- Anonim. 2007. [www.ruutblower.com/blower\\_donanim.html](http://www.ruutblower.com/blower_donanim.html), Erişim Tarihi:03.06.2007
- Anonymous. 1977. Design Criteria for Pneumatic Conveying Systems. Indian Standard, IS:8647, New Delhi.
- Anonymous. 1984. NFPA 650 Pneumatic Conveying Systems for Handling Combustible Materials. An American Standart, December 8.1983.
- Arun, N. ve Akkoç, H. 1997. Pnömatik İletim Temel Bilgileri. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No: 205, 210 s, Ankara.
- Aydın, N. 1987. Pnömatik Konveyörlerin Bilgisayarla Tasarım ve Analizi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Master Tezi, 114 s, Ankara.
- Azeloğlu, O. 2006. Pnömatik İletim Sistemlerinin Tasarımında Çok Kademeli Boru Çapı Uygulamasının Enerji Harcamına Etkisi. [http://www.umtik2008.org/eski\\_kongreler/2006/71-UMTIK06-007.html](http://www.umtik2008.org/eski_kongreler/2006/71-UMTIK06-007.html), Erişim Tarihi: 05.12.2007
- Bölükoğlu, H., Darga, A., Işık, E. ve Mert, D. 1988. Taneli Ürünlerin Pnömatik (Havalı) Götürücülerle İletilmesi Üzerine Bir Araştırma. 1.Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, 26-27 Nisan 1988, Uludağ Üniversitesi Yayınları No:5-002-0164, Uludağ Üniversitesi Basımevi, 26-27, Balıkesir.
- Doğantan, Z.S. ve Tuncer, İ.K. 1987. Farklı Nem İçerikli Kahramanmaraş Kırmızı Biber Yığınlarının Hava Akımına Karşı Gösterdiği Direnç Değişimi Üzerine Bir Araştırma.3.Uluslar arası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu, 26-29 Eylül, 119-130, İzmir.
- Güner, M. 1992. Sürüklenme Katsayısı Hava Direnci ve Limit Hız Saptama Yöntemleri. Tarım Makinaları Bilimi ve Tekniği Dergisi, 2(2); 76-86, Ankara.
- Güner, M. 1993. Flow Types and Dense Phase Conveying Systems in Pneumatic Transport. 5th International Congress on Mechanisation and Energy in Agriculture. October 12-14, 494-502, Kuşadası, Aydın, Turkey.
- Güner, M. 1994. Pnömatik Götürücülerin Tasarım Yöntemleri. Tarım Makinaları Bilimi ve Tekniği Dergisi, 3(1); 21-24, Ankara.
- Güner, M. ve Dursun, E. 1994. Pnömatik Götürücülerin Bilgisayar Destekli Tasarımı. Tarımsal Mekanizasyon 15. Ulusal Kongresi, 20-22 Eylül 1994, 503-512, Antalya.
- Güner, M. 2006. Bazı Tarımsal Ürünlerin Pnömatik İletim Karakteristiklerinin Belirlenmesi. TOGTAG 3258,190 s, Ankara.
- Güner, M. 2007. Pneumatic Conveying Characteristics of Some Agricultural Seeds. Journal of Food Engineering, 80(33); 904-913.

- İmrak ve Gerdemeli. 2007. [www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf](http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-13.pdf),  
Erişim Tarihi: 06.12.2007
- Kano, T. 1985. Reduction of Power Consumption in Pneumatic Conveying of Granular Materials. *Bulk Solid Handling*, 5(3); 663–669.
- Keskin, R. ve Güner, M. 2001. Akışkanlar Mekaniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:1523, Ders Kitabı:476, 243 s, Ankara.
- Klintworth, J. and Marcus, R.D. 1985. A Review of Low-Velocity Pneumatic Conveying Systems. *Bulk Solids Handling*, 5(4); 747–753.
- Klinzığ, G.E., Rohatgı, N.D., Zaltash, A. and Myler, C.A. 1987. Pneumatic Transport a Review. *Powder Technology* 51, 135–149.
- Klueter, H.H., Pucket, H.B., Beaty, H.H. and Olver, E.F. 1962. Medium Pressure Pneumatic Feed Conveying *Agricultural Engineering*, October, 572–575.
- Mohsenin, N.N. 1980. *Physical Properties of Plant and Animal Materials* (Third Printing). Gordon and Breach Science Publishers Inc, Pp:742, New York.
- Palial, J., Jayas, D.S., White, N.D.G. and Muir, W.E. 1999. Effect of Pneumatic Conveying Of Wheat on Mortality of Insects. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(1); 65–68
- Person, N.K. and Sorenson, J.W. 1966. Pneumatic Handling of Sorghum Grain. *Transaction of The ASAE*, 238–241.
- Petersen , H. 1975. Wahl des Rahrdurchmessers für Pneumatische Flugfurderanlagen im Druckbetrieb. *Grundl. Landtechnik Bd. 25, Nr:1*, 11–25.
- Polat, M. 1991. Pnömatik Konveyör. *Mühendis ve Makina*, Cilt:31, Sayı:381, 28–35
- Puckett, H.B. 1960. Performance of a Pneumatic Feed Conveying System. *Agricultural Engineering*, December, 808–812.
- Raheman, H., and Jindal, V.K. 2001. Pressure Drop Gradient and Solid Friction Factor in Horizontal Pneumatic Conveying of Agricultural Grains. *Applied Society in Agriculture*, 17(5); 649–656.
- Raoufat, M.H. and Clarke, B. 1998. Design and Development of a Packed Bed Continious Pneumatic Conveyor. *Journal of Agricultural Engineering Research*,71,363–371.
- Rautiainen, A., Stewart, G., Poikolainen, V. and Sarkomaa, P. 1999. An Experimental Study of Pneumatic Conveying, *Powder Technology*, 104, 139–150.
- Saccani, C. 1993. A New Simulation Program For Designing Pneumatic Conveying Plants. *Bulk Solids Handling*. 13(1); 11–122.
- Segler, G. 1951. *Pneumatic Grain Conveying With Special Reference to Agricultural Application*. Published by Prof.Dr. Ing. G. Segler. Braunscheig, Germany.
- Sitkei, G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Budapest: Academia Kiado.
- Sonsöz, A. ve Özkürkçü, Y. 1990. Siklonların Verim Açısından Optimum Tasarımı. *Mühendis ve Makina*, Cilt:31, Sayı:364, 30–36.
- Spivakovsky, A. ve Dyackov, V. 1984. Götürücüler (Konveyörler) ve İlgili Donatımı. Çeviren: A. Münir Cerit, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını: 105, 295–319, Ankara.
- Tunalıgil, B.G. ve Eker, B. 1985. Taşıma İletim Tekniği, Ank. Ün. Zir. Fak. Yayınları: 1962, 1 Pozitif Düşük Basıncılı Pnömatik İletim Tesisi
- Yalçın, İ. 1999. Değişik Toprak İşleme ve Pamuk Ekim Tekniklerini Aydın Yöresi Koşullarına Uygulama Olanakları. E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 205 s, İzmir.

## **EKLER**

EK 1 Denemelerde buğday iletiminde elde edilen sonuçlar.....	101
EK 2 Denemelerde arpa iletiminde elde edilen sonuçlar.....	103
EK 3 Denemelerde ayçiçeği iletiminde elde edilen sonuçlar.....	105

**EK 1** Denemelerde Buğday İletiminde Elde Edilen Sonuçlar

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	İletim Hızı (m/s)	Materyal Hızı (m/s)	Hava Debisi (kg/s)	Karışım Oranı	Basınç Düşümü (Pa/m)	Sürtünme Kaybı (m/m)	Sürtünme Katsayısı	Tüketilen Güç (kW)	
Buğday	10	43.1	22.50	18.00	0.040	25.00	678	56.50	0.078	3.528
			32.13	25.70	0.057	17.54	1139	94.92	0.078	3.739
			42.82	34.26	0.076	13.16	1370	114.17	0.053	3.949
			53.85	43.08	0.096	10.42	1565	130.42	0.038	6.266
			75.43	60.34	0.135	7.41	1139	94.92	0.014	11.215
		54.5	14.06	11.25	0.040	25.00	413	34.42	0.186	1.843
			21.99	17.59	0.063	15.87	491	40.92	0.090	2.159
			28.92	23.14	0.083	12.05	644	53.67	0.069	2.264
			35.85	28.68	0.102	9.80	822	68.50	0.057	2.896
			47.52	38.02	0.136	7.35	1026	85.50	0.040	5.845
	70.3	6.05	4.84	0.029	34.48	296	24.67	0.930	1.421	
		10.53	8.43	0.050	20.00	344	28.67	0.357	1.632	
		14.19	11.35	0.067	14.93	348	29.00	0.199	1.790	
		19.56	15.65	0.093	10.75	383	31.92	0.115	2.054	
		29.52	23.62	0.140	7.14	470	39.17	0.062	3.212	
	13	43.1	21.54	17.23	0.038	32.11	396	33.00	0.060	3.212
			33.47	26.78	0.060	20.33	870	72.50	0.055	4.792
			42.46	33.97	0.076	16.05	1461	121.75	0.057	4.581
			53.43	42.75	0.095	12.84	1665	138.75	0.041	8.004
			77.41	61.93	0.138	8.84	726	60.50	0.009	12.532
54.5		14.79	11.83	0.042	29.05	439	36.58	0.179	2.264	
		21.93	17.54	0.063	19.37	513	42.75	0.095	2.317	

**EK 1** Denemelerde Buğday İletiminde Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	İletim Hızı (m/s)	Materyal Hızı (m/s)	Hava Debisi (kg/s)	Karışım Oranı	Basınç Düşümü (Pa/m)	Sürtünme Kaybı (m/m)	Sürtünme Katsayısı	Tüketilen Güç (kW)	
Buğday	13	54.5	28.77	23.02	0.082	14.88	697	58.08	0.075	2.527
			35.58	28.47	0.102	11.96	913	76.08	0.064	3.212
			47.38	37.91	0.135	9.05	1070	89.17	0.042	7.372
		70.3	7.97	6.38	0.038	32.11	952	79.33	1.724	2.370
			11.91	9.53	0.057	21.40	1226	102.17	0.994	3.212
			13.82	11.06	0.066	18.49	339	28.25	0.204	1.896
	22.17		17.74	0.105	11.62	452	37.67	0.106	2.370	
	29.38		23.51	0.140	8.71	552	46.00	0.074	3.791	
	16		43.1	20.34	16.28	0.036	39.44	374	31.17	0.064
		32.73		26.19	0.058	24.48	1017	84.75	0.067	5.160
		42.82		34.26	0.076	18.68	1370	114.17	0.053	4.950
		54.84		43.87	0.098	14.49	1330	110.83	0.031	8.267
		77.24		61.79	0.138	10.29	765	63.75	0.009	12.374
		54.5	14.75	11.80	0.042	33.81	452	37.67	0.185	1.843
			21.98	17.58	0.063	22.54	496	41.33	0.091	2.422
			28.84	23.07	0.082	17.32	674	56.17	0.072	2.791
			35.23	28.18	0.101	14.06	1027	85.58	0.074	3.791
			47.43	37.94	0.135	10.52	1056	88.00	0.042	9.846
		70.3	7.89	6.31	0.038	37.37	1000	83.33	1.847	2.422
			12.25	9.80	0.058	24.48	400	33.33	0.307	3.317
			13.29	10.64	0.063	22.54	326	27.17	0.212	1.896
			22.17	17.74	0.105	13.52	452	37.67	0.106	2.475
			29.38	23.51	0.140	10.14	552	46.00	0.074	4.160

**EK 2** Denemelerde Arpa İletiminde Elde Edilen Sonuçlar

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	İletim Hızı (m/s)	Materyal Hızı (m/s)	Hava Debisi (kg/s)	Karışım Oranı	Basınç Düşümü (Pa/m)	Sürtünme Kaybı (m/m)	Sürtünme Katsayısı	Tüketilen Güç (kW)	
Arpa	10	43.1	18.22	14.58	0.033	24.55	335	27.92	0.071	3.475
			32.80	26.24	0.059	13.73	1004	83.67	0.066	3.212
			43.01	34.41	0.077	10.52	1322	110.17	0.050	3.844
			53.85	43.08	0.096	8.44	1565	130.42	0.038	6.161
			75.25	60.2	0.134	6.05	1174	97.83	0.015	11.321
		54.5	13.17	10.54	0.038	21.32	387	32.25	0.199	2.212
			22.07	17.65	0.063	12.86	465	38.75	0.085	1.896
			29.00	23.20	0.083	9.76	617	51.42	0.065	2.054
			35.99	28.79	0.103	7.86	774	64.50	0.053	2.738
			47.63	38.10	0.136	5.96	991	82.58	0.039	5.897
	70.3	8.11	6.48	0.039	20.77	878	73.17	1.535	2.370	
		9.58	7.67	0.046	17.61	313	26.08	0.392	1.685	
		12.07	9.66	0.057	14.21	296	24.67	0.234	1.685	
		16.65	13.32	0.079	10.25	326	27.17	0.135	1.948	
		28.71	22.97	0.136	5.96	422	35.17	0.059	3.107	
	13	43.1	21.92	17.54	0.039	26.36	800	66.67	0.117	3.949
			32.45	25.96	0.058	17.72	1074	89.50	0.072	3.739
			42.44	33.95	0.076	13.53	1465	122.08	0.057	4.476
			53.49	42.79	0.095	10.82	1652	137.67	0.041	7.214
			75.38	60.30	0.135	7.61	1148	95.67	0.014	11.689
54.5		5.04	4.03	0.014	73.43	148	12.33	0.519	2.264	
		21.87	17.50	0.062	16.58	535	44.58	0.100	2.159	

**EK 2 Denemelerde Arpa İletiminde Elde Edilen Sonuçlar (Devam)**

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	İletim Hızı (m/s)	Materyal Hızı (m/s)	Hava Debisi (kg/s)	Karışım Oranı	Basınç Düşümü (Pa/m)	Sürtünme Kaybı (m/m)	Sürtünme Katsayısı	Tüketilen Güç (kW)	
Arpa	13	54.5	28.64	22.91	0.082	12.54	744	62.00	0.081	2.317
			35.53	28.43	0.101	10.18	930	77.50	0.066	3.265
			47.51	38.01	0.136	7.56	1030	85.83	0.041	8.846
		70.3	7.97	6.38	0.038	27.05	952	79.33	1.724	2.580
			8.66	6.93	0.041	25.07	283	23.58	0.434	1.685
			15.09	12.07	0.072	14.28	370	30.83	0.187	1.843
	20.27		16.22	0.096	10.71	397	33.08	0.111	2.106	
	29.47		23.58	0.140	7.34	500	41.67	0.066	3.475	
	16	43.1	14.90	11.92	0.027	39.91	274	22.83	0.087	2.896
			33.01	26.41	0.059	18.26	961	80.08	0.062	3.528
			42.49	33.99	0.076	14.18	1452	121.00	0.057	4.423
			53.38	42.70	0.095	11.34	1678	139.83	0.042	7.846
			75.54	60.43	0.135	7.98	1117	93.08	0.014	11.742
		54.5	6.67	5.34	0.019	56.72	196	16.33	0.392	1.790
			21.91	17.53	0.063	17.11	522	43.50	0.097	2.264
			28.53	22.83	0.081	13.30	783	65.25	0.086	2.527
			35.27	28.22	0.101	10.67	1013	84.42	0.072	3.475
			47.46	37.97	0.135	7.98	1044	87.00	0.041	9.794
		70.3	6.85	5.48	0.033	32.65	335	27.92	0.821	1.474
			7.44	5.95	0.035	30.79	243	20.25	0.505	1.632
			15.25	12.20	0.072	14.97	374	31.17	0.185	1.896
			22.20	17.76	0.105	10.26	435	36.25	0.102	2.212
			29.36	23.49	0.139	7.75	565	47.08	0.075	3.791

**EK 3** Denemelerde Ayçiçeği İletiminde Elde Edilen Sonuçlar

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	İletim Hızı (m/s)	Materyal Hızı (m/s)	Hava Debisi (kg/s)	Karışım Oranı	Basınç Düşümü (Pa/m)	Sürtünme Kaybı (m/m)	Sürtünme Katsayısı	Tüketilen Güç (kW)	
Ayçiçeği	10	43.1	16.10	12.88	0.029	5.99	296	24.67	0.081	1.422
			35.37	28.30	0.063	2.76	444	37.00	0.025	1.685
			46.27	37.02	0.083	2.09	639	53.25	0.021	2.159
			57.29	45.83	0.102	1.70	844	70.33	0.018	3.159
			76.01	60.81	0.136	1.28	1022	85.17	0.013	8.372
		54.5	4.73	3.79	0.014	12.40	139	11.58	0.553	1.211
			10.85	8.68	0.031	5.60	213	17.75	0.161	1.369
			19.21	15.37	0.055	3.16	283	23.58	0.068	1.527
			30.67	24.54	0.088	1.97	361	30.08	0.034	1.790
			48.99	39.19	0.140	1.24	517	43.08	0.019	3.212
	70.3	0.72	0.57	0.003	57.87	35	2.92	7.764	1.158	
		1.47	1.18	0.007	24.80	48	4.00	2.555	1.211	
		3.18	2.55	0.015	11.57	78	6.50	0.887	1.316	
		6.23	4.98	0.030	5.79	122	10.17	0.362	1.422	
		12.72	10.18	0.060	2.89	187	15.58	0.133	2.106	
	13	43.1	15.83	12.66	0.028	6.38	291	24.25	0.082	1.422
			35.20	28.16	0.063	2.83	483	40.25	0.028	1.632
			46.40	37.12	0.083	2.15	609	50.75	0.020	2.001
			57.33	45.86	0.102	1.75	835	69.58	0.018	3.159
			76.16	60.93	0.136	1.31	991	82.58	0.012	6.898
54.5		4.73	3.79	0.014	12.76	139	11.58	0.553	1.211	
		9.99	7.99	0.029	6.16	196	16.33	0.175	1.264	

**EK 3** Denemelerde Ayçiçeği İletiminde Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

Materyal Debisi (Besleyici Devri min <sup>-1</sup> )	Boru Çapı (mm)	İletim Hızı (m/s)	Materyal Hızı (m/s)	Hava Debisi (kg/s)	Karışım Oranı	Basınç Düşümü (Pa/m)	Sürtünme Kaybı (m/m)	Sürtünme Katsayısı	Tüketilen Güç (kW)	
Ayçiçeği	13	54.5	19.75	15.80	0.056	3.19	291	24.25	0.066	1.527
			29.23	23.38	0.083	2.15	344	28.67	0.036	1.738
			48.68	38.94	0.139	1.29	630	52.50	0.024	3.581
		70.3	0.80	0.64	0.004	44.64	39	3.25	7.008	1.158
			1.47	1.18	0.007	25.51	48	4.00	2.555	1.211
			3.18	2.55	0.015	11.91	78	6.50	0.887	1.264
	6.89		5.52	0.033	5.41	135	11.25	0.327	1.369	
	11.23		8.98	0.053	3.37	165	13.75	0.151	2.001	
	15.61		12.49	0.028	6.74	287	23.92	0.083	1.369	
	16	43.1	35.41	28.33	0.063	2.00	435	36.25	0.025	1.632
			46.46	37.17	0.083	2.27	596	49.67	0.020	2.001
			57.22	45.77	0.102	1.85	861	71.75	0.019	3.265
			76.03	60.83	0.136	1.39	1017	84.75	0.012	8.477
			4.60	3.68	0.013	14.51	135	11.25	0.568	1.211
		54.5	9.73	7.78	0.028	6.74	191	15.92	0.180	1.369
			19.21	15.37	0.055	3.43	283	23.58	0.068	1.527
			29.91	23.93	0.085	2.22	352	29.33	0.035	1.843
			48.83	39.07	0.139	1.36	574	47.83	0.021	3.370
			0.98	0.79	0.005	37.74	48	4.00	5.748	1.158
		70.3	1.87	1.49	0.009	20.96	61	5.08	2.006	1.211
			4.45	3.56	0.021	8.99	109	9.08	0.633	1.264
			5.97	4.78	0.028	6.74	117	9.75	0.378	1.316
			13.34	10.67	0.063	3.00	196	16.33	0.127	2.106

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan DUMAN  
Doğum Yeri : Sivas  
Doğum Tarihi : 19.05.1974  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce

### **Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

Lise : Ankara Kalaba Lisesi (1988-1991)  
Lisans : Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü  
1992 - 1996  
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları  
Anabilim Dalı (1997 – 2000)

### **Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl**

Ultio Uluslararası Ticaret Ltd. Şti. 1998-2002  
Sew-Eurodrive GmbH 2002-2007  
Hidroser A.Ş. 2007

### **Yayımları (SCI ve diğer)**

Güner, M. ve G. Duman. 2001. Paketleme Makinasında Selefon Kaynak Yapma Mekanizmasının Pnomatik Kontrolü. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 7(4), 23-31, Ankara.