BÖLÜM 3

HAVALANDIRMA KANALLARININ TASARIMI

AMAÇ

Havalandırma kanallarını tasarlayabilme ve fan seçimine esas olacak basınç kaybı ve debi değerlerini hesaplayabilme.

3. HAVALANDIRMA KANALLARININ TASARIMI

3.1. Standart Kanallar ve Elemanları

Yuvarlak kanal sistemlerinin elemanları standartlaştırılmıştır. Böylece kolayca standart seri üretim yapmak, üretimi stoklamak ve kısa zamanda müşteriye teslim edebilmek mümkün olmuştur. Buna karşılık dikdörtgen kesitli kanallar ve bağlantı parçaları için böyle bir standart boyut söz konusu değildir. Dikdörtgen kesitli kanallar ve fittingsi müşterinin istediği boyutlarda ve çoğu zaman şantiyede yerinde üretilir. İdeal bir hava kanalı,

1. Gerekli bölgeye yeterli havayı taşımalı,
2. İlk kuruluş ve işletme masrafları ekonomik olmalı ,
3. Fazla gürültü ve titreşim yapmamalıdır.

3.2. Havalandırma Sistemlerinde Dış Hava Miktarı Tayini

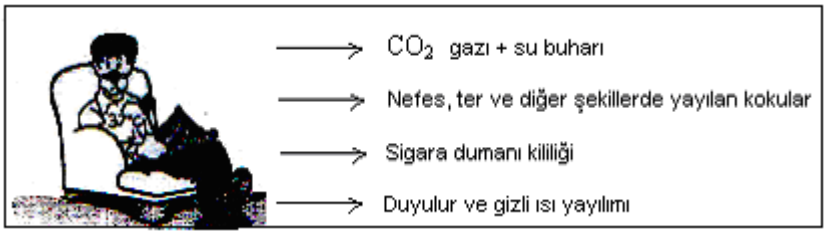
Yalnız havalandırma yapılan mahallerde havanın tamamı dışarıdan alınmakta ve hava üzerinde hiçbir termodinamik işlem yapmadan mahale verilmektedir. Dışarıdan taze hava mahale gelirken, mahalin bayatlamış havası da dışarı atılmaktadır. Bu işlemler genellikle, hava fanları yardımı ile cebri olarak yapıldıklarından, fanın gücünün belirlenmesinde mahal hava debisinin bilinmesi gerekmektedir.Mahal hava debisinin belirlenmesinde;

1. Mahal havasını kirlilik durumu
2. Dış havanın fiziki durumu
3. Mahal havasının sıcaklığı
4. Mahal havasının nemliliği
5. Mahalin kullanım amacı
6. Mahalden mahal havasına yapılan gaz katkıları
7. Mahalde bulunmak durumunda olanların özellikleri

gibi hususların göz önünde bulundurulması gerekir.Mahal dış hava miktarının belirlenmesinde, bu hususlar göz önünde bulundurularak hazırlanan metotlardan en uygun olan bir ya da birkaçı uygulanabilir.

3.2.1. Mahaldeki İnsan Sayısına Göre Dış Hava Miktarı Tayini

Mahal havalandırılmalarında, mahalin kullanım amacı ve mahalde bulunan insanların havayı kirletme durumlarını da göz önünde bulundurmak gerekir (Şekil 2.1). Mahalin ortalama taze hava ihtiyacını kişi sayısına göre belirlenmesinde kesin sayısal bir değer vermek imkanı yoktur. Bunun için mahalin kullanım amacına göre fert başına tecrübe edilen yaklaşık değerler alınmaktadır. Çizelge 2.1'de mahal kullanım amacı ve o mahalde bulunan insanların taze dış hava ihtiyaçlarına göre fert başına ihtiyaç duyulan taze hava miktarları verilmiştir. Ancak, lüzumu halinde bu değerlerin 10-15 m^3/h altında ve üstünde almak mümkündür. Bu çizelgeden faydalanarak toplam dış hava ihtiyacını bulmak için;



Şekil 2.1. Mahal Havasına İnsanlar Tarafından Yapılan Katkılar

$$Q = n.\dot{V}_{kişi}$$

Q : Toplam dış hava debisi (m^3/h)

$\dot{V}_{kişi}$: İnsanlar tarafından ihtiyaç duyulan temiz hava miktarı (m^3/h, kişi) (Çizelge 2.1)

n : Mahalde bulunan insan sayısı

eşitliği kullanılır.

Çizelge 2.1. Mahal Kullanım Amacına Göre Fert Başına Saatlik Taze Hava İhtiyacı

Hava kullanım yeri	**Hava miktarı m^3/h, kişi**	**Hava kullanım yeri**	**Hava miktarı m^3/h, kişi**
Tiyatro	20	Özel büro	30
Konser salonu	20	Dinlenme odaları	30
Sinema	20	Kantin	30
Okuma salonu	20	Konferans salonu	30
Fuar alanı	20	Sınıflar	30
Satış mağazası	20	Teneffüs odaları	30
Müzeler	20	Lokantalar	40
Spor salonları	20	Büyük bürolar	50

Örnek: Sigara içilmesinin serbest olduğu bir kantinde ortalama 25 kişinin bulunduğu kabul edilmektedir. Bu kantine dış hava sağlamak amacıyla bağlanan fanın hava debisi ne olmalıdır?

Çözüm: ***Toplam dış hava debisi:***

$\dot{V}_{kişi}$ = 30 + 20 (sigara içilme farkı) = 50 m^3/h, kişi

$$Q = n.\dot{V}_{kişi}$$

Q = 25 kişi . 50 m^3/h, kişi = 1250 m^3/h

3.2.2. Saatlik Hava Değişim Sayısına Göre Dış Hava Miktarı

Hava değişim sayısı, mahalin hacmi kadar dış havanın mahalde bulunan hava ile değiştirilerek, mahal havasının yenilenmesidir. Saatteki yenilenme miktarı da ***saatlik hava değişim sayısı*** olarak ifade edilmektedir. Mahal havasının değiştirilme ihtiyacı sıklığı, (bilhassa atölyelerde) mahal havasının kirlenme süresine bağlıdır. Özellikle işletme mahallerinde oluşan zararlı maddelerin etkilerine göre, hava değişim sayıları belirlenmektedir. Çizelge 2.2'de mahallerin kullanım amaç ve cinsine göre, tecrübeye dayalı saatlik hava değişim sayıları verilmiştir.

Bir hacme gönderilecek hava ihtiyacı hava değişim sayısına göre belirlenebilir. Buna göre hava ihtiyacı;

$$Q = H_d.V_m$$

Q : Mahale üflenen hava debisi (m^3/h)

H_d : Hava değişim sayısı (defa/saat= 1/h= h^{-1}) (Çizelge 2.2)

V_m : Mahalin toplam hacmi (m^3)

Örnek: Yüksekliği 3,5 m, eni 10 m ve boyu 20 m olan bir konferans salonu havalandırılacaktır. Buna göre konferans salonunun dış hava ihtiyacını belirleyiniz.

Çözüm: ***Konferans salonunun hacmi:***

a = 10 m, b = 20 m ve h = 3,5 m

V_m = a.b.h = 10.20.3,5 = 700 m^3

Konferans salonunun hava değişim sayısı:

H_d = 5-10 defa/h (Çizelge 2.2'den sigara içme yasağı olduğu için en düşük değer 5 defa/h alınmıştır)

Buna göre hava ihtiyacı:

$$Q = H_d . V_m$$

Q = 5 defa/h . 700 m^3

Q = 3500 m^3/h

Çizelge 2.2. Çeşitli Mahallerin Saatlik Hava Değişim Sayıları

Mahal Adı	**Hava Değişim Sayısı (defa/saat)**	**Mahal Adı**	**Hava Değişim Sayısı (defa/saat)**
Oturma odası	6-8	Laboratuar	8-15
Büro	3-8	Dükkan	6-8
Mutfak	15-30	Ameliyathane	15-20
Banyo	5-8	Ütühane	8-10
Helalar:		Okullar:	
Genel WC	10-15	Fizik ve biyo. Lab.	4-5
Fabrika WC	8-10	Okul helaları	5-8
Büro WC	5-8	Yüzme havuzları	3-4
Konut WC	4-5	Kasa odaları	3-6
Kütüphaneler	3-5	Soyunma odaları	8-10
Boyahane	20-50	Konferans Salonları	5-10
Garaj	4-5		10-15
Gardırop	3-6	Çamaşırhaneler	4-6
Misafirhane	5-10	Ambarlar	
Dinleme salonu	8-10	Sinema, tiyatro:	4-6
	6-8	Sigara yasak	5-8
Kantin	4-6	Sigara serbest	6-12
Alış-veriş merkezi		Atölyeler	

3.3. Kanal Hesapları

Sistemde kullanılan fan, motor, ısıtıcı, soğutucu gibi makine ve teçhizatların güçlerinin belirlenmesinde, hava kanallarının fiziki yapı ve temel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Havalandırma kanallarındaki basınç kayıplarının oluşmasında kanal cidarlarındaki sürtünme, ara bağlantı parçalarındaki pürüzler, yön değiştirmeler ve çap daralmaları etkili olmaktadır. Kanallardaki basınç kayıplarının hesabı; kanal yapımında kullanılan malzemenin, kanaldaki hava hızının ve kanal boyunun bilinmesi durumunda, kanal ağının toplam basınç kaybının bulunması ile mümkün olur.

3.3.1. Kanalardaki Hava Hızları

Kanallardaki hava hızı; kanalın kullanım yeri yapının cinsi ile ses durumuna bağlıdır. Havanın kullanım amacına göre uygun hızı seçmek gerekmektedir. Lüzumundan fazla hız seçilmesinde, kanallarda gürültü ve istenmeyen sesler oluşur. Ayrıca; hava hızı sistem fanının gücü ile ilgili olduğu için; hız artınca fanın debisi ve yükünü de artırmak gerekir. Havas hızının gereğinden düşük seçilmesinde de yeterli hava debisine ulaşılmadığından, istenilen şartlardaki havalandırma ya da iklimlendirme yapılamaz. Çizelge 2.3'de Alman literatürüne göre tavsiye edilen kanallardaki hava hızları verilmiştir. Çizelge 2.4'de ise Carrier tarafından tavsiye edilen hız değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Tavsiye Edilen Kanallardaki Hava Hızları

Düşük Basınçlı Sistemlerde	**Konfor Uygulaması**	**Endüstriyel Uygulama**
Besleme menfezleri	1,5 - 3	3 – 4 m/s
Emiş ve egzoz menfezleri	2 – 3	4 – 8 m/s
Dış hava panjurları	3 – 4	4 – 6 m/s
Ana kanallar	3,5 – 7	7 – 12 m/s
Tali kanallar, bağlantılar	3 – 8	5 – 8 m/s
Yüksek basınçlı kanallarda, Bağlantı hatları 8-12 m/s	Ana kanallarda 15 – 20 m/s	Tali kanallarda 12 – 18 m/s

Çizelge 2.4. Carrier Tarafından Tavsiye Edilen Hızlar

Uygulama	**Ses Kriteri**	**Ekonomik Kriter**			
		Ana Kanal		**Tali Kanal**	
		Besleme	Dönüş	Besleme	Dönüş
Konutlar	3 m/s	5	4	3	3
Apart Otel, Hastane, Yatak Odası	5 m/s	7,5	6,5	6	5
Özel ofis, Kütüphane, Yönetici Odası	6 m/s	10	7,5	8	6
Tiyatro, Konser Salonu	4 m/s	6,5	5,5	5	4
Genel Ofis, Lokantalar,	7,5 m/s	10	7,5	8	6

Alışveriş, Bankalar					
Ortalama Dükkan ve Kafeteryalar	9 m/s	10	7,5	8	6
Endüstri	12,5 m/s	15	9	11	7,5

3.3.2. Kanal Kesit Alanının Tayini

Havalandırma ve iklimlendirme kanal çaplarının tayini; sistemin toplam hava debisinden hareketle bulunur. Hava debisi, havalandırmada toplam hava ihtiyacından ve iklimlendirme sistemlerinde de toplam ısı kazancı ya da ısı kaybı bulunarak tespit edilir.Hava debisi bilinen bir kanalın kesit alanını bulmak için;

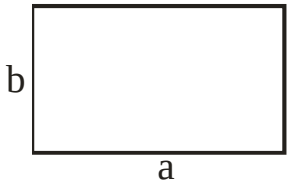
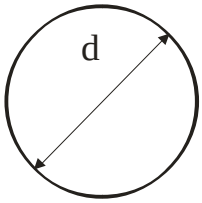
$$Q = V.A$$

Q : Kanaldan geçen havanın debisi (m^3/s)

V : Kanaldan geçen havanın hızı (m/s)

A : Kanalın kesit alanı (m^2)

eşitliğinden faydalanılır. Kanalı boyutlandırmak için dikdörtgen veya silindirik olmasına göre Şekil 2.2'de gösterilen eşitliklerden faydalanılır. Burada *a* ve *b* kanalın kenar uzunlukları (m) ve *d* ise kanalın çapıdır (m).

Kanal Kesiti	Kanal Kesit Şekli	Kanal Kesit Alanı
Dikdörtgen		$A = a.b$ $Ç = 2(a+b)$
Daire		$A = \frac{\pi d^2}{4}$ $Ç = \pi .d$

Şekil 2.2. Dikdörtgen ve Silindirik Kanalların Kesit Alanları

<u>Örnek:</u> Kanaldaki hava hızının 5 m/s olması durumunda, hacimsel debisi 10.000 m^3/h olan silindirik hava kanalının kesit alanı ve çapı nedir?

<u>Çözüm:</u> V= 5m/s, Q= 10.000 m^3/h

$$Q = 10000\,\frac{m^3}{h} = 10000.\frac{m^3}{3600\,s} = 2,77\,\frac{m^3}{s}$$

$$Q = V.A \;\Rightarrow\; A = \frac{Q}{V} = \frac{2,77\,\frac{m^3}{s}}{5\,\frac{m}{s}} = 0,554\,m^2$$

$$A = \frac{\pi . d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{A}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,554}{0,785}} = 0,84\,m$$

3.3.3. Kanal Kenar Oranları

Kanallar boyutlandırılırken, kat yüksekliklerinin dikkate alınması gerekir. Ancak normal şartlarda, eğer kat yüksekliğinden dolayı bir problem yok ise, kanal oranlarının 2/3 olarak alınması en uygun olanıdır.

Örnek: Hava debisi 750 m^3/h ve hava hızı da 3 m/s olan bir yan kanalın boyutlarını 2/3 oranına göre belirleyiniz.

Çözüm: V= 3m/s, Q= 700 m^3/h = 0,194 m/s

$Q = V.A \Rightarrow$ ise

Kesit alanı;

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,208\,m^3/s}{3\,m/s} = 0,0694\,m^2$$

Kanal boyutları;

$A = a.b$ ve kenar oranları $\frac{b}{a} = \frac{2}{3}$

$b = \frac{2}{3}a$ olduğu için

$$A = a.b = a.\frac{2}{3}a = \frac{2a^2}{3}$$

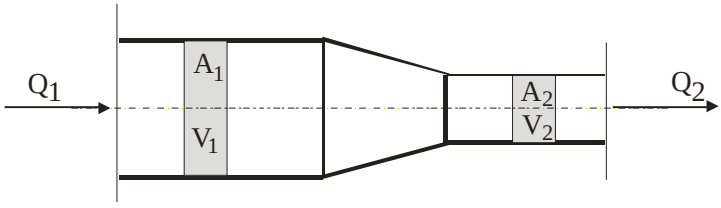
$$0,0694 = \frac{2a^2}{3} \Rightarrow 2a^2 = 0,2082$$

$$a = \sqrt{0,1041} \Rightarrow a = 0,3226 \text{ m}$$

$$b = \frac{2}{3}a = \frac{2.0,3226}{3} \Rightarrow b = 0,2150 \text{ m}$$

3.3.4. Benzerlik Kanunu

Aynı hacimsel debideki havanın değişik kesit alanlarındaki kütlesel debisi de aynıdır. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, kanallardaki değişken kesit alanlarında hava sabit hacimsel debide aktığı zaman akan akışkanın hızı V_1'den V_2'ye çıkar.



Şekil 2.3. Kanallarda Değişken Kesit Alanları

Benzerlik kanununa göre yazılan;

$$Q_1 = Q_2$$

eşitliğinden,

$$V_1.A_1 = V_2.A_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

eşitliğini yazmak mümkündür.

Örnek: Kesit alanı 0,5 m^2 ve hava hızı da 4 m/s olan bir kanal daraltılarak kesit alanı 0,3 m^2 düşürüldüğüne göre kanaldan akan havanın hızı ve debisi ne olur?

Çözüm: A_1= 0,5 m^2, V_1= 4 m/s ve A_2= 0,3 m^2

Kanaldan akan havanın hızı,

$$V_1.A_1 = V_2.A_2$$

$$4 \,.\, 0{,}5 = V_2 \,.\, 0{,}3$$

$$V_2 = 6{,}7 \text{ m/s}$$

Kanaldan akan havanın debisi,

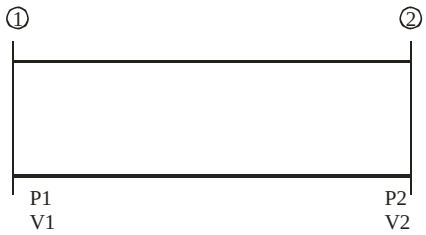
$$Q = V.A$$

$$Q = 4.0{,}5$$

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3.5. Bernoulli Denklemi

Bir kanaldaki hava akışı teorik olarak Bernoulli Denklemi ile ifade edilebilir. Kanal içindeki akış için yükselti farkı ihmal edilirse, 1 ve 2 noktaları arasında Bernoulli denklemi;



Şekil 2.4. 1 ve 2 noktaları arsındaki kanal

$$\Delta P = \left(P_{s1} + \frac{\rho.V_1^2}{2} \right) - \left(P_{s2} + \frac{\rho.V_2^2}{2} \right)$$

olarak yazılabilir. Burada,

ΔP : Sürtünmeye ve dinamik kayıplara bağlı 1 ve 2 noktaları arasındaki toplam basınç kaybı (Pa)

P_{s1} ve P_{s2} : Söz konusu noktalardaki statik basınçlar (Pa)

V_1 ve V_2 : Söz konusu noktalardaki hava hızı (m/s)

ρ : Kanal içindeki havanın yoğunluğu (kg/m^3)

Bu ifadedeki V^2/2 terimi dinamik basınç olarak isimlendirilir ve

$$P_d = \rho \frac{V^2}{2}$$

şeklinde gösterilir. Standart şartlardaki hava için hız basıncı,

$$P_d = 0,602.V^2$$

olarak bulunur. V burada m/s olarak hava hızıdır. Buna göre akışkanın herhangi bir noktasındaki toplam basınç,

$$P_t = P_s + P_d$$

olarak statik ve dinamik basınçların toplamı şeklinde ifade edilir.

3.4. Kanallarda Toplam Basınç Kaybı

Kanallardaki toplam basınç; kanal cidarlarına sürtünme ile kanal bağlantı parçalarının, kullanılan cihazların (ısıtıcı, soğutucu, damla tutucu gibi) ve diğer yan bağlantı elemanlarının gösterdiği dirençlerden oluştuğundan, toplam basınç kaybı için;

$$\Delta P_t = \underbrace{\Delta P_s + \Delta P_d}_{\text{Fan tarafından üretilen basınç}} = \underbrace{\sum \left(l.R + Z \right) + P_E}_{\text{Sistemde kullanılan basınç}}$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte;

$l.R$: Kanallardaki sürtünme basınç kaybı (Pa)

l : Kanal uzunluğu (m)

R : Birim basınç kaybı (Pa/m)

Z : Kanal bağlantı parçalarının basınç kaybı (Pa)

P_E : Sistemde kullanılan cihazların (filtreler, ısıtıcılar, susturucular, kapaklar, ölçüm aletleri, yön değiştiriciler gibi) toplam basınç kayıpları (Pa)

olarak verilmiştir.

3.4.1. Kanalardaki Sürtünme Basınç Kayıpları

Akışkanın viskositesine bağlı olarak gerek kanal cidarları ile ve gerekse akışkanın kendi molekülleri arasındaki sürtünmeler dolayısı ile oluşan kayba sürtünme kaybı denir. Sürtünme kaybı,

$$\Delta P = R.l = \lambda.\frac{l}{d}.\rho.\frac{V^2}{2}$$

ΔP : Uçlar arasındaki basınç farkı (Pa=N/m^2)

l : Kanal boyu (m)

R : Birim basınç kaybı (Pa/m) (Şekil 2.5)

λ : Kanal (boru) direnç katsayısı

d : Kanal çapı (m)

ρ : Havanın yoğunluğu (1,2 kg/m^3)

V : Havanın hızı (m/s)

eşitliği ile bulunmaktadır. Bu ifadedeki boyutsuz sürtünme katsayısı, cidarın pürüzlülüğüne, akışkan cinsine, kanal çapına ve akışın Re sayısına bağlıdır. Sürtünme kaybının bulunabilmesi için standart sürtünme diyagramları hazırlanmıştır. Yuvarlak galvanizlenmiş çelik kanallarda akan standart hava için hazırlanan sürtünme diyagramı Şekil 2.5'de verilmiştir. Bu diyagram yardımı ile standart kanallardaki hava debisi ve kanal çapı biliniyorsa, kanaldaki hava hızını ve kanalın birim uzunluğu başına özgül sürtünme kaybını bulmak mümkündür. Eğer dikdörtgen kanallar söz konusu ise Çizelge 2.5 ve 6 yardımı ile eşdeğer kanal çapı bulunabilir.

Örnek: Özel bir durum için 15 m uzunluğunda galvanizlenmiş çelik saçtan yapılmış havalandırma kanalının çapı 150 mm ve bu kanaldaki hava hızı 12 m/s'dir. Bu verilere göre, kanalın iki ucu arasındaki basınç farkı ve kanalın debisi ne olur? (ε =0,09)

Çözüm: ε =0,09 , l=15 m, V=12 m/s, d=150 mm= 0,15 m

Birim basınç kaybı,

R=10,3 Pa/m (150 mm çap ve 12 m/s hız için Şekil 2.5'den)

Toplam basınç farkı,

$$\Delta P = R.l = 10,3\frac{Pa}{m}\,.\,15\,m = 154,5\,Pa$$

Kanalın Debisi,

Bu verilere göre yine Şekil 2.5'den hava debisi Q= 211 litre/s = 0,211 m^3/s = 760 m^3/h olarak okunur. Bu debi değerini hesap yolu ile bulmak istersek,

$$Q = V.A$$

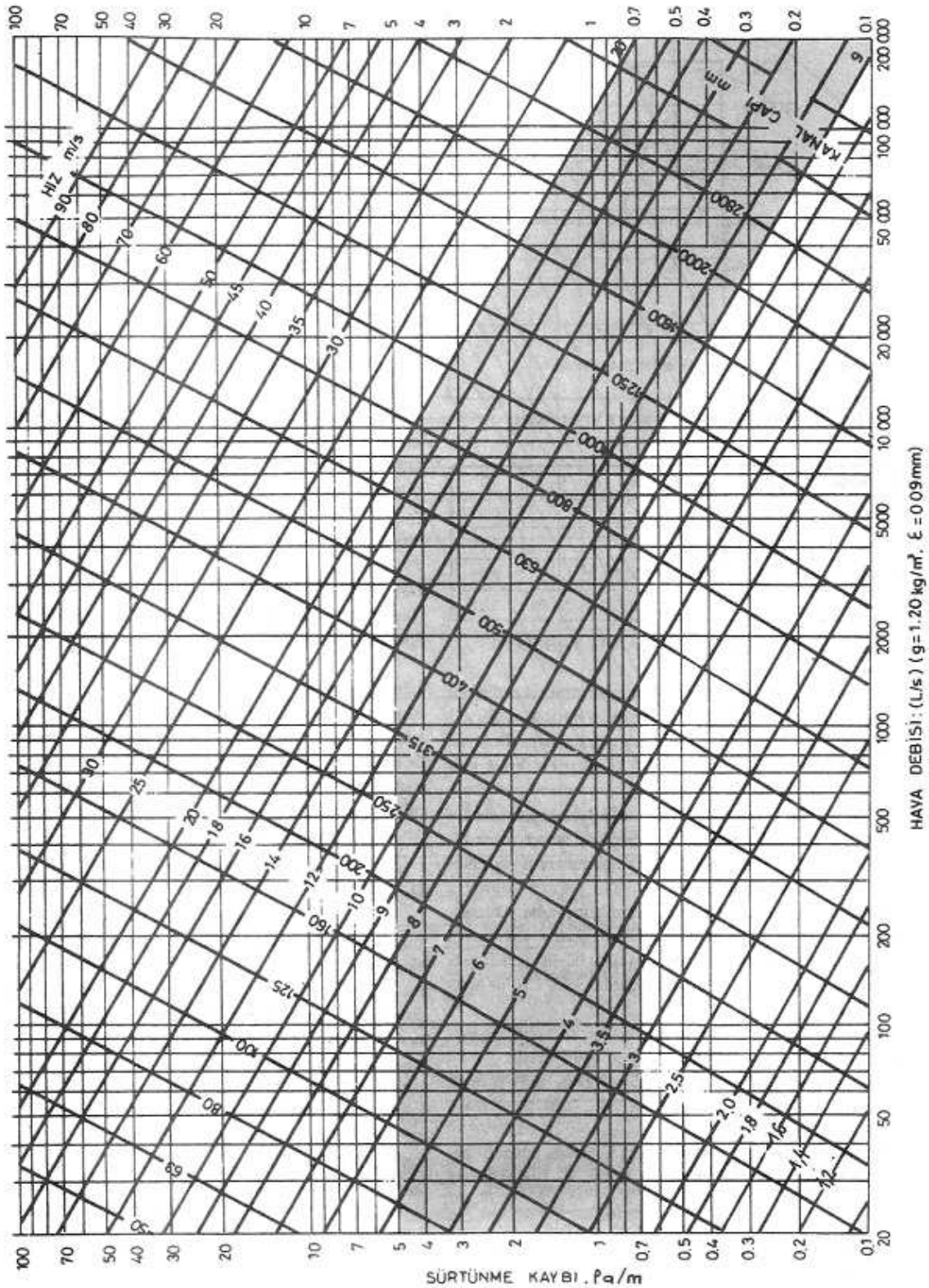
$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14.0,15^2}{4} = 0,0176\,m^2$$

$$Q = V.A = 12\frac{m}{s}.0,0176\,m^2 = 0,211\frac{m^3}{s}$$ elde edilmiş olur.

Örnek: Çapı 125 mm olan bir saç kanalda hava hızı 5 m/s ve hava sıcaklığı 20 ^{0}C olduğuna göre 10 m uzunluğundaki bir kanal parçasının iki ucu arasındaki basınç farkı ne olur? (λ =0,027 olarak alınacak ve ρ =1,2 kg/m^3)

Çözüm: l=10 m, V=5 m/s, d=125 mm= 0,125 m

$$\Delta P = \lambda.\frac{l}{d}.\rho.\frac{V^2}{2} = 0,027.\frac{10\,m}{0,125\,m}.1,2\,kg/m^3.\frac{5^2\,(m/s)^2}{2} = 32,4\,N/m^2\,(Pa)$$



Şekil 2.5. Sürtünme Diyagramı

Çizelge 2.5. Eşdeğer Sürtünme ve Kapasite İçin, Dikdörtgen Kesitli Kanallara Eşdeğer Yuvarlak Kanallar (Ölçüler mm cinsindendir)

Dikdörtgen Kanal Kenarı	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	Dikdörtgen Kanal Kenarı
100	109																				100
125	122	137																			125
150	133	150	164																		150
175	143	161	177	191																	175
200	152	172	189	204	219																200
225	161	181	200	216	232	246															225
250	169	190	210	228	244	259	273														250
275	176	199	220	238	256	272	287	301													275
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328												300
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383											350
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437										400
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492									450
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547								500
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601							550
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656						600
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711					650
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765				700
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820			750
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875		800
900	289	330	367	402	435	465	494	552	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984	900
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037	1000
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086	1100
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133	1200
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177	1300
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220	1400
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260	1500
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298	1600
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335	1700
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371	1800
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405	1900
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438	2000
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470	2100
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501	2200
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532	2300
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561	2400
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589	2500
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617	2600
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644	2700
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670	2800
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696	2900
Dikdörtgen Kanal Kenarı	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	Dikdörtgen Kanal Kenarı

Çizelge 2.6. Eşdeğer Sürtünme ve Kapasite İçin, Dikdörtgen Kesitli Kanallara Eşdeğer Yuvarlak Kanallar (Ölçüler mm cinsindendir)

Dikdörtgen Kanal Kenarı	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	Dikdörtgen Kanal Kenarı
1000	1093																				1000
1100	1146	1202																			1100
1200	1198	1256	1312																		1200
1300	1244	1306	1365	1421																	1300
1400	1289	1354	1416	1475	1530																1400
1500	1332	1400	1464	1526	1584	1640															1500
1600	1373	1444	1511	1574	1635	1693	1749														1600
1700	1413	1486	1556	1621	1684	1745	1803	1858													1700
1800	1451	1527	1598	1667	1732	1794	1854	1912	1968												1800
1900	1488	1566	1640	1710	1778	1842	1904	1964	2021	2077											1900
2000	1523	1604	1680	1753	1822	1889	1952	2014	2073	2131	2186										2000
2100	1558	1640	1719	1793	1865	1933	1999	2063	2124	2183	2240	2296									2100
2200	1591	1676	1756	1833	1906	1977	2044	2110	2173	2233	2292	2350	2405								2200
2300	1623	1710	1793	1871	1947	2019	2088	2155	2220	2283	2343	2402	2459	2514							2300
2400	1655	1744	1828	1908	1986	2060	2131	2200	2266	2330	2393	2453	2511	2568	2624						2400
2500	1685	1776	1862	1945	2024	2100	2173	2243	2311	2377	2441	2502	2562	2621	2678	2733					2500
2600	1715	1808	1896	1980	2061	2139	2213	2285	2355	2422	2487	2551	2612	2672	2730	2787	2842				2600
2700	1744	1839	1929	2015	2097	2177	2253	2327	2398	2466	2533	2598	2661	2722	2782	2840	2896	2952			2700
2800	1772	1869	1961	2048	2133	2214	2292	2367	2439	2510	2579	2644	2708	2771	2832	2891	2949	3006	3061		2800
2900	1800	1898	1992	2081	2167	2250	2329	2406	2480	2552	2621	2689	2755	2819	2881	2941	3001	3058	3115	3170	2900
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	
Dikdörtgen Kanal Kenarı																					Dikdörtgen Kanal Kenarı

Eşdeğer yuvarlak kanal formülü:
$D_e = 1.30 \, [(a.b)^{0.625} / (a+b)^{0.250}]$

3.4.2. Kanalardaki Dinamik Basınç Kayıpları (Yerel Kayıplar)

Dinamik kayıplar (yerel kayıplar) çeşitli bağlantı elemanlarında akışın yön veya kesit değiştirmesi gibi rahatsızlıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu bağlantı elemanları arasında giriş ve çıkış ağızları, kesit değiştiriciler (redüktörler) birleşme ve ayrılmalar ve dirsekler sayılabilir. Özel dirençlerdeki dinamik basınç kayıpları (Z), havalandırma ve iklimlendirme tesisatları kanal hesaplarında önem kazanmaktadır. Dinamik basınç kayıpları,

$$\Delta P = Z = k.\rho.\frac{V^2}{2}$$

Z : Özel dirençlerdeki dinamik basınç kayıpları (Pa)

k : Dinamik basınç kayıp katsayısı (Şekil 2.6)

eşitliği ile bulunur.

3.4.3. Santral İçi Cihazlarının Basınç Kaybı

Santral içine yerleştirilen kapaklar, susturucular, ısıtıcı ve soğutucular, hava filtreleri, nemlendiriciler, damla tutucular, nem tutucular ve ısı geri kazanım cihazları gibi kısımlar da önemli ölçüde basınç kaybına sebep olmaktadırlar. Aşağıda verilen çizelgede santral içi cihazların sebep oldukları basınç kayıpları verilmiştir.

Çizelge 2.7. Santral İçi Bağlantı Cihazları Basınç Kayıpları

Bağlantı Cihazı	**Pa**	**Bağlantı Cihazı**	**Pa**
Kalın Filtreler	60-120	Hava Menfezi	15-40
İnce Filtreler	120-160	Susturucu	20-50
Isıtıcılar	20-100	Panjur Kapak (Açık)	10-30
Soğutucular	30-120	Dış Koruma Kafesi	30-60
Buharlaştırıcı	80-150	Yangın Koruma Kapağı	5-30

3.4.4. Kanal Sistemi Bölümlerindeki Kayıplar

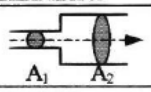
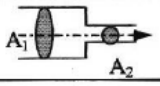
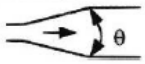
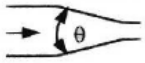
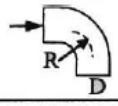
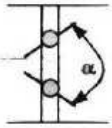
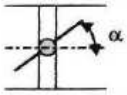
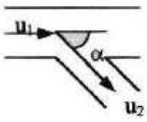
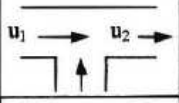
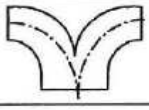
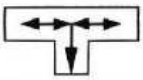
Kanal sisteminin herhangi bir bölümündeki toplam basınç kaybı, söz konusu bölümdeki sürtünme kayıpları ile dinamik kayıpların toplamına eşittir. Dolayısı ile iki ifadeyi birleştirerek bir kanal bölümündeki toplam kaybı,

$$\Delta P_{toplam} = \Delta P_{sürtünme} + \Delta P_{dinamik}$$

$$\Delta P_{toplam} = \lambda.\frac{l}{d}.\rho.\frac{V^2}{2} + k.\rho.\frac{V^2}{2}$$

$$\Delta P_{toplam} = \left(\lambda.\frac{l}{d} + \sum k\right).\rho.\frac{V^2}{2}$$

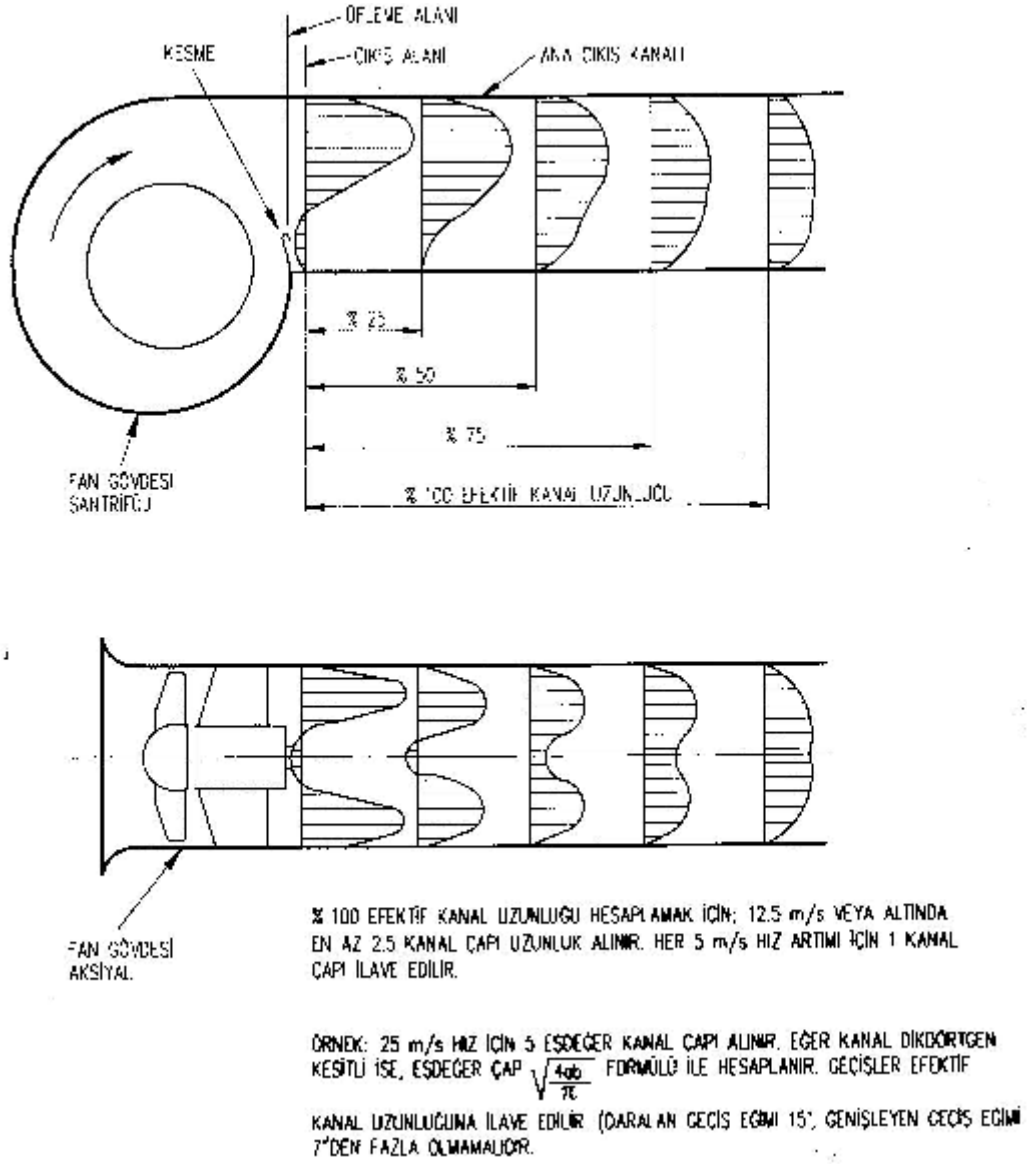
şeklinde ifade etmek mümkündür.

Hazarlayan H. BULGURCU	KANAL BAĞLANTI ELEMANLARININ KAYIP KATSAYILARI									
BAĞLANTI ELEMANI		**KAYIP KATSAYISI (K)**								
Ani genişleme		A_1/A_2=0,1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
		K= 0.81	0.64	0.49	0.36	0.25	0.16	0.09	0.04	0.01
Ani daralma		A_1/A_2=10	5	3.33	2.5	2	1.66	1.42	1.25	1.11
		K= 0.366	0.34	0.31	0.27	0.221	0.16	0.103	0.05	0.01
Yavaş genişleme		θ= 5^0	7^0	10^0	20^0	30^0	40^0			
		K=0.17	0.22	0.28	0.45	0.59	0.73			
Konik daralma		θ= 30^0	45^0	60^0	90^0					
		K= 0.02	0.04	0.07	0.12					
Yuvarlak dirsek		R/D=0.5	0.73	1.0	1.5	2.0				
		K= 0.90	0.45	0.33	0.24	0.19				
Dikdörtgen dirsek			B/H= 0.25	0.5	1	2	4			
		R/H=10	K= 1.1	0.95	0.8	0.7	0.55			
		R/H=5	0.85	0.75	0.6	0.53	0.43			
		R/H=2.5	0.60	0.50	0.35	0.30	0.25			
		R/H=1.6	0.42	0.35	0.25	0.20	0.17			
Keskin dirsek		45^0	90^0							
		K=0.2	0.5							
Ters yaprakli damper		α= 20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0			
		K=1	5	10	50	150	800			
Kanal damperi		α=0^0	15^0	30^0	45^0	60^0				
		K=0.17	0.80	3.7	40	100				
Kol ayrılma α=45^0		u_1/u_2=0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	2	4
		K=3.5	2	1.4	0.9	0.67	0.55	0.45	0.4	0.5
α=60^0		u_1/u_2=0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	2	4
		K=5	3	2.2	1.7	1.4	0.95	0.8	0.5	0.6
α=90^0		u_1/u_2=0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	
		K= 7	4.3	3	2.5	2	1.7	1.5	0.5	
Kol birleşme		$K=1-(u_1/u_2)^2$								
Pantolon parçası		K=0.15								
T parçası		K=1.4								

Şekil 2.6. Kanal Bağlantı Elemanlarının Kayıp Katsayıları

3.5. Fan Sistem Etkileşimi

Fan performans verileri, uygulamada ölçülenlerden farklı olmaktadır. Fan testleri sırasında giriş serbesttir ve çıkışta ise çıkışla aynı kesitte ve yeteri kadar uzunlukta düz kanal bulunur. Bu fan performansı açısından en uygun durumdur. Halbuki uygulamada fan giriş ve çıkışında uygun olmayan bağlantılar söz konusudur. Bu durumda hesaplanan sistem hava debisi ve basınç kaybına göre seçilecek fanın yetersiz kalmasına neden olacaktır. Bunun önlenmesi için fan-sistem etkileşimini dikkate alan ilave basınç kaybı göz önüne alınmalıdır. Burada sözü edilen fan-sistem etkileşimi tesisin tamamlanmasından sonra test ve ayar işlemi sırasında ölçülemez. Bu nedenle tasarım sırasında projeci tarafından sistem etkisi hesaplanıp fan seçimi buna göre yapılmalıdır. Fan-sistem etkileşiminde "üfleme alanı/çıkış ağzı alanı oranı" ve "etkin kanal uzunluğu yüzdesi" değerleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kontrollü Difüzyon ve Düz Çıkış Kanalında Düzgün Hız Profili Teşkili

3.6. Kanal Boyutlandırılması ve Hesap Yöntemleri

Kanal sistem tasarımında öncelikle hava üfleme ve emme menfezlerinin yerleri ve her bir menfezin kapasitesi (debisi), tipi ve büyüklüğü belirlenmelidir. Bu hava verme ve emme menfezlerinin standart tipte ve biçimde olmasına ve bilinen bir firma ürünü olmasına dikkat edilmelidir. Daha sonraki adım, kanal sisteminin şematik olarak çizilmesidir. Bu şematik ön çizimde hesaplanan hava miktarları, çıkış yerleri ve en ekonomik ve uygun kanal güzergahı gösterilir. Bundan sonra kanallar boyutlandırılarak çeşitli elemanlardaki basınç kayıpları hesaplanır. Bulunan değerler şematik çizimlere işlenir. Kanal hesaplarında bulunan boyutlar yuvarlak kanallar içindir. Eğer dikdörtgen kanallar kullanılacak ise eşdeğer kanal çapından, dikdörtgen kanal boyutların geçilir. Kanal boyutlandırılmasında kullanılan yöntemler şunlardır;

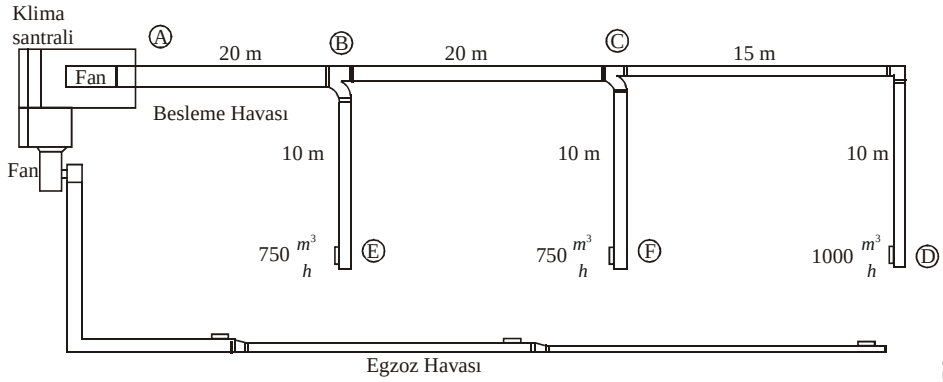
1. Eş sürtünme yöntemi
2. Statik geri kazanma yöntemi
3. Uzatılmış plenumlar
4. T- yöntemi
5. Hız yöntemi
6. Sabit hız yöntemi
7. Toplam basınç yöntemi

3.6.1. Eş Sürtünme Yöntemi

Bu yöntemde öncelikle birim kanal uzunluğu başına olan statik basınç kaybı yani özgül sürtünme kayıp değeri seçilir. Seçilen bu değer bütün kanal uzunluğu boyunca sabit tutulacak şekilde kanal boyutlandırılması yapılır. Bu yöntem kullanılarak hava kanalarının boyutlandırılması aşağıdaki aşamalar ile gerçekleştirilir.

1. Kanal sisteminin bütün parçalarını gösteren bir taslak hazırlanır.
2. Taslaktaki her kanal parçası numaralanır ve üzerine hava debisi yazılır.
3. Şekil 2.5'deki diyagramdan bir sürtünme katsayısı seçilir.
4. Birim sürtünme katsayısı seçilirken, gerek fan çıkışındaki, gerekse kanalların diğer kısımlarındaki hava hızlarının, tavsiye edilen hızlar mertebesinde kalmasına dikkat edilir. Alçak hızlı kanal sistemlerinde genellikle, yaklaşık 0,6-1,6 Pa/m değerinde seçilmesi iyi sonuç verir.
5. Kanal taslağındaki her parçanın hava debisine göre ve seçilen birim sürtünme katsayısına göre, o parçanın kanal çapı ve hava hızı diyagramdan bulunarak taslaktaki kanal parçalarının üzerine yazılır.
6. Eğer kanal sistemi yuvarlak kanlardan oluşuyorsa boyutlar belirlenmiştir. Dikdörtgen kanallar kullanılıyorsa, bulunan çap yardımı ile Çizelge 2.5 ve 6'dan eşdeğer dikdörtgen kanal kesiti belirlenir.
7. Kanal sistemi boyutlandırıldıktan sonra her bir bölümdeki sürtünme ve dinamik basınç kayıplar hesaplanır.
8. Bölümdeki kayıplar toplanarak gerekli fan basıncı bulunur.

<u>Örnek:</u> Aşağıdaki şekilde hava kanalı şebekesinin kanal ölçülerini ve toplam basınç kaybını bulunuz. Vantilatör çıkışındaki hava hızını 8 m/s alınız. (k=1,4 ve ρ =1,2 kg/m^3 olarak alınacak)



Şekil 2.8. Bir Havalandırma Kanalı Şebekesi

<u>Çözüm:</u> Kritik devre AD bölümüdür. Besleme havası bölümü için her bir kısım ayrı ayrı incelenirse,

AB Bölümü İçin,

$$V = 8\,m/s$$

$$Q = 750 + 750 + 1000 = 2500\frac{m^3}{h}$$

$$Q = 2500\frac{m^3}{h} = 2500.\frac{1000\,l}{3600\,s} = 694,44\frac{l}{s}$$

Şekil 2,5'den 8 m/s hız ve 694,44 l/s debi değeri çakıştırıldığında bulunan bu noktaya göre, birim sürtünme kaybı ve eşdeğer çap değerleri,

$$R = 2,2\frac{Pa}{m} \quad \text{ve} \quad d_{eş} = 334\,mm$$

olarak bulunur. Kanalı silindirik değil de dikdörtgensel olarak düşündüğümüzde ise, bu eşdeğer çapa karşılık gelen kanal boyutları Çizelge 2.5'den,

350 x 275 mm

olarak bulunur. Ayrıca kanalın çapını sürtünme diyagramından değil de hesap yolu ile bulmak istenilirse;

$$Q = V.A \quad \Rightarrow \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,694\,m^3/s}{8\,m/s} = 0,08675\,m^2$$

$$\frac{\pi.d^2}{4} = 0,08675 \quad \Rightarrow \quad d^2 = \frac{0,08675.4}{\pi}$$

$$d^2 = 0,1105 \quad \Rightarrow \quad d = 0,332\,m = 332\,mm$$

olarak bulunur. Kanalda meydana gelen sürtünme ve dinamik basınç kayıpları ise,

$$\Delta P_s = R.l = 2,2\frac{Pa}{m}.20\,m = 44\,Pa$$

$$\Delta P_d = k.\rho.\frac{V^2}{2} = 1,4.1,2\frac{kg}{m^3}.\frac{8^2\,(m/s)^2}{2} = 53,76\,Pa$$

olarak bulunur.

BC Bölümü İçin,

Birim sürtünme kaybı değeri her bölümde aynıdır ve değeri,

$$R = 2,2\frac{Pa}{m}$$

olarak alınır. BC bölümünden geçen havanın debisi,

$$Q = 750 + 1000 = 1750\frac{m^3}{h} = 486,11\frac{l}{s}$$

olur. Bu iki değere göre, Şekil 2.5'den

$$V = 7,2\,m/s \text{ ve } d_{eş} = 285\,mm$$

olarak bulunur. Kanalı silindirik değil de dikdörtgensel olarak düşündüğümüzde ise, bu eşdeğer çapa karşılık gelen kanal boyutları Çizelge 2.5'den,

300 x 225 mm

olarak bulunur. Ayrıca kanalın çapını sürtünme diyagramından değil de hesap yolu ile bulmak istenilirse;

$$Q = V.A \quad \Rightarrow \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,486\,m^3/s}{7,2\,m/s} = 0,0675\,m^2$$

$$\frac{\pi.d^2}{4} = 0,0675 \quad \Rightarrow \quad d^2 = \frac{0,0675.4}{\pi}$$

$$d^2 = 0,0859 \quad \Rightarrow \quad d = 0,293\,m = 293\,mm$$

olarak bulunur. Kanalda meydana gelen sürtünme ve dinamik basınç kayıpları ise,

$$\Delta P_s = R.l = 2,2\frac{Pa}{m}.20\,m = 44\,Pa$$

$$\Delta P_d = k.\rho.\frac{V^2}{2} = 1,4.1,2\frac{kg}{m^3}.\frac{7,2^2\,(m/s)^2}{2} = 43,54\,Pa$$

olarak bulunur.

CD Bölümü İçin,

Birim sürtünme kaybı değeri her bölümde aynıdır ve değeri,

$$R = 2,2\frac{Pa}{m}$$

olarak alınır. CD bölümünden geçen havanın debisi,

$$Q = 1000\frac{m^3}{h} = 277,7\frac{l}{s}$$

olur. Bu iki değere göre, Şekil 2.5'den

$$V = 6,3\,m/s \text{ ve } d_{eş} = 235\,mm$$

olarak bulunur. Kanalı silindirik değil de dikdörtgensel olarak düşündüğümüzde ise, bu eşdeğer çapa karşılık gelen kanal boyutları Çizelge 2.5'den,

275 x 175 mm

olarak bulunur. Ayrıca kanalın çapını sürtünme diyagramından değil de hesap yolu ile bulmak istenilirse;

$$Q = V.A \quad \Rightarrow \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,277\,m^3/s}{6,3\,m/s} = 0,0439\,m^2$$

$$\frac{\pi.d^2}{4} = 0,0439 \quad \Rightarrow \quad d^2 = \frac{0,0439.4}{\pi}$$

$$d^2 = 0,0559 \quad \Rightarrow \quad d = 0,236\,m = 236\,mm$$

olarak bulunur. Kanalda meydana gelen sürtünme ve dinamik basınç kayıpları ise,

$$\Delta P_s = R.l = 2,2\frac{Pa}{m}.25\,m = 55\,Pa$$

$$\Delta P_d = k.\rho.\frac{V^2}{2} = 1,4.1,2\frac{kg}{m^3}.\frac{6,3^2\,(m/s)^2}{2} = 33,33\,Pa$$

olarak bulunur.

BE ve CF Bölümleri İçin,

Birim sürtünme kaybı değeri her bölümde aynıdır ve değeri,

$$R = 2,2\frac{Pa}{m}$$

olarak alınır. BE ve CF bölümleri aynıdır. Buna göre bu bölümlerden geçen havanın debisi,

$$Q = 750\frac{m^3}{h} = 208,33\frac{l}{s}$$

olur. Bu iki değere göre, Şekil 2.5'den

$$V = 5,9\,m/s \text{ ve } d_{eş} = 210\,mm$$

olarak bulunur. Kanalı silindirik değil de dikdörtgensel olarak düşündüğümüzde ise, bu eşdeğer çapa karşılık gelen kanal boyutları Çizelge 2.5'den,

225 x 175 mm

olarak bulunur. Ayrıca kanalın çapını sürtünme diyagramından değil de hesap yolu ile bulmak istenilirse;

$$Q = V.A \quad \Rightarrow \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,208\,m^3/s}{5,9\,m/s} = 0,0352\,m^2$$

$$\frac{\pi.d^2}{4} = 0,0352 \quad \Rightarrow \quad d^2 = \frac{0,0352.4}{\pi}$$

$$d^2 = 0,0449 \quad \Rightarrow \quad d = 0,211m = 211mm$$

olarak bulunur. Kanalda meydana gelen sürtünme kayıbı ise,

$$\Delta P_s = R.l = 2,2\frac{Pa}{m}.10\,m = 22\,Pa$$

olarak bulunur. Her bölüm için ayrı ayrı yapılan bu hesaplamalar bir çizelgede belirtilir ve bu şekilde havalandırma sistemindeki kritik devre için toplam basınç kaybı bulunur. Çizelge 2.8'de görüldüğü gibi bu havalandırma sistemi için seçilecek olan fanın debi ve basıncı,

$$Q = 2500\frac{m^3}{h} \qquad \Delta P_{Toplam} = 273,63\,Pa$$

değerinde olması gerekir.

Çizelge 2.8. Kanal Ölçülendirilmesi ve Basınç Kayıplarının Bulunması

Kısım	Hava Kanal Hesabı				Sürtünme Kayıpları			Dinamik Kayıplar		
	Debi	Hız	Eşdeğer Çap	Kanal Ölçüsü	Boy	Öz.Sürt. Kay.	Sür. Kay.	Kayıp Kat.	Din. Kay.	Cinsi
	Q	V	$d_{eş}$	a x b	l	R	ΔP_s	k	ΔP_d	-
	m^3/s	m/s	mm	mm x mm	m	Pa/m	Pa	-	Pa	-
AB	2500	8	334	350 x 275	20	2,2	44	1,4	53,76	Ayrılma
BC	1750	7,2	285	300 x 225	20	2,2	44	1,4	43,54	Ayrılma
CD	1000	6,3	235	275 x 175	25	2,2	55	1,4	33,33	Dirsek
							+		+	
						Toplam	143	+	130,63	=273,63
BE	750	5,9	210	225 x 175	10	2,2	22	-	-	-
CF	750	5,9	210	225 x 175	10	2,2	22	-	-	-

Çizelge 2.9. Kanal Ölçülendirilmesi ve Basınç Kayıplarının Bulunması (Örnek Çizelge)

Kısım	Hava Kanal Hesabı				Sürtünme Kayıpları			Dinamik Kayıplar		
	Debi	Hız	Eşdeğer Çap	Kanal Ölçüsü	Boy	Öz.Sürt. Kay.	Sür. Kay.	Kayıp Kat.	Din. Kay.	Cinsi
	Q	V	$d_{eş}$	a x b	l	R	ΔP_s	k	ΔP_d	-
	m^3/s	m/s	mm	mm x mm	m	Pa/m	Pa	-	Pa	-

Örnek: Aşağıdaki şekilde hava kanalı şebekesinin AB ve BC bölümleri için kanal ölçülerini ve basınç kayıplarını bulunuz.

Ana kanal: 8 m/s

Üfleme hızı: 2 m/s

Filtreler: 120 Pa

Isıtıcılar: 50 Pa

Soğutucular: 60 Pa

Susturucular: 30 Pa

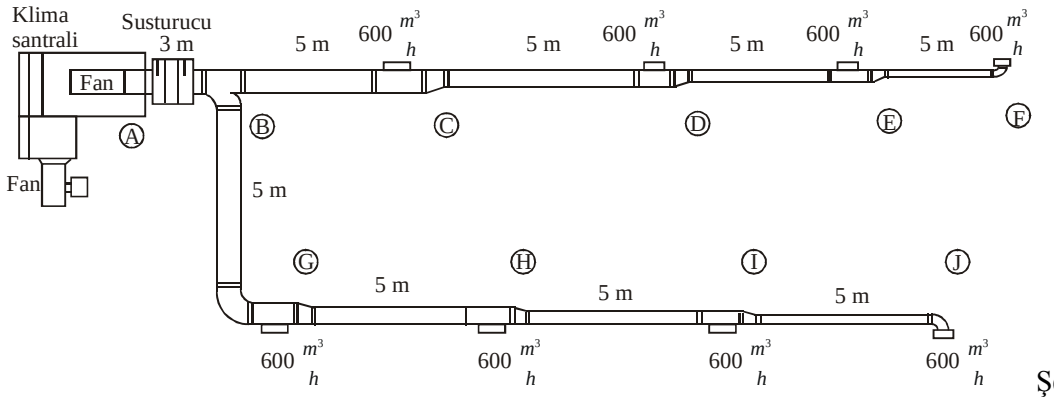
Dış hava giriş parmaklığı: 20 Pa

Yangın koruma kapağı: 15 Pa

Dirsekler için k: 0,33

Çatallar için k: 0,80

Daraltmalar için k: 0,1



Şekil 2.9. Bir Havalandırma Kanalı Şebekesi

Çözüm: Kritik devre AJ bölümüdür. Besleme havası bölümü için her bir kısım ayrı ayrı incelenirse,

AB Bölümü İçin,

$$V = 8\,m/s$$

$$Q = 8.600 = 4800\frac{m^3}{h} = 1333,33\frac{l}{s}$$

Şekil 2,5'den 8 m/s hız ve 1333,33 l/s debi değeri çakıştırıldığında bulunan bu noktaya göre, birim sürtünme kaybı ve eşdeğer çap değerleri,

$$R = 1,7\frac{Pa}{m} \quad \text{ve} \quad d_{eş} = 450\,mm$$

olarak bulunur. Kanalı silindirik değil de dikdörtgensel olarak düşündüğümüzde ise, bu eşdeğer çapa karşılık gelen kanal boyutları Çizelge 2.5'den,

400 x 400 mm

olarak bulunur. Ayrıca kanalın çapını sürtünme diyagramından değil de hesap yolu ile bulmak istenilirse;

$$Q = V.A \quad \Rightarrow \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{1,333\,m^3/s}{8\,m/s} = 0,166\,m^2$$

$$\frac{\pi.d^2}{4} = 0,166 \quad \Rightarrow \quad d^2 = \frac{0,166.4}{\pi}$$

$$d^2 = 0,2121 \quad \Rightarrow \quad d = 0,460\,m = 460\,mm$$

olarak bulunur. Kanalda meydana gelen sürtünme ve dinamik basınç kayıpları ise,

$$\Delta P_s = R.l = 2,2\frac{Pa}{m}.20\,m = 44\,Pa$$

$$\Delta P_d = k.\rho.\frac{V^2}{2} = 1,4.1,2\frac{kg}{m^3}.\frac{8^2\,(m/s)^2}{2} = 53,76\,Pa$$

olarak bulunur.

BC Bölümü İçin,

Birim sürtünme kaybı değeri her bölümde aynıdır ve değeri,

$$R = 2,2\frac{Pa}{m}$$

olarak alınır. BC bölümünden geçen havanın debisi,

$$Q = 750 + 1000 = 1750\frac{m^3}{h} = 486,11\frac{l}{s}$$

olur. Bu iki değere göre, Şekil 2.7'den

$$V = 7,2\,m/s \quad \text{ve} \quad d_{eş} = 285\,mm$$

olarak bulunur. Kanalı silindirik değil de dikdörtgensel olarak düşündüğümüzde ise, bu eşdeğer çapa karşılık gelen kanal boyutları Çizelge 2.5'den,

300 x 225 mm

olarak bulunur. Ayrıca kanalın çapını sürtünme diyagramından değil de hesap yolu ile bulmak istenilirse;

$$Q = V.A \quad \Rightarrow \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,486\,m^3/s}{7,2\,m/s} = 0,0675\,m^2$$

$$\frac{\pi.d^2}{4} = 0,0675 \quad \Rightarrow \quad d^2 = \frac{0,0675.4}{\pi}$$

$$d^2 = 0,0859 \quad \Rightarrow \quad d = 0,293\,m = 293\,mm$$

olarak bulunur. Kanalda meydana gelen sürtünme ve dinamik basınç kayıpları ise,

$$\Delta P_s = R.l = 2,2\frac{Pa}{m}.20\,m = 44\,Pa$$

$$\Delta P_d = k.\rho.\frac{V^2}{2} = 1,4.1,2\frac{kg}{m^3}.\frac{7,2^2\,(m/s)^2}{2} = 43,54\,Pa$$

olarak bulunur.

3.6.2. Statik Geri Kazanma Yöntemi

Bu yöntem her basınç ve hızdaki besleme kanalları için uygulanabilir. Ancak normal olarak dönüş ve egzoz kanalları için kullanılamaz. Hesap olarak eş sürtünme yöntemine göre daha karmaşık olmasına karşın, teorik olarak bütün kollarda ve çıkışlarda üniform basınç düşümü yaratması açısından daha güvenilir bir yöntemdir. Kanaldaki hızlar sistematik olarak azaltılır. Her bir kanal parçasının önünde hız düşürülerek, dinamik basınç statik basınca dönüştürülür ve bu parçadaki kaybının karşılanmasında kullanılır. Ortalama kanal sistemlerinde bu statik geri kazanma %75 oranındadır. İdeal şartlarda bu oran %90'a kadar yükselebilir.

Bu sistemin avantajı kanal sisteminin dengede (ayarlanan şekilde) kalmasıdır. Çünkü kayıp ve kazançlar hızla orantılıdır. Yüke bağlı olarak debilerin azalması sistemdeki balansı bozmaz. Statik geri kazanma yönteminin dezavantajı uzun kolların sonlarında, özellikle bu kanal kolu diğerlerine göre çok uzun ise, aşırı büyük kanal boyutları vermesidir. Ayrıca bu bölgelerde hızlar da çok düştüğünden kanalın ısı kayıp ve kazançlarına karşı izolesi gerekir.

3.7. Kanal Sisteminde Ekonomi

Bir kanal sisteminde maliyetleri, diğer sistemlerde olduğu gibi ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti olarak ikiye ayırmak mümkündür. Her iki maliyeti aynı baza getirip, optimum çözümü elde edebilmek için sistemin toplam yıllık maliyeti tarif edilir. Bu toplam yıllık maliyeti oluşturan kalemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

A. Yıllık Yatırım Maliyeti

1. İlk yatırım Maliyetlerinin amortisman süresi ve enflasyon oranlarına göre belirlenen yıllık eşdeğer maliyeti
2. Faiz Maliyeti
3. Vergiler

B. Yıllık İşletme Maliyeti

1. Yıllık enerji maliyeti
2. Yıllık bakım maliyeti
3. Yıllık işletme maliyeti

Türkiye şartlarında ilk yatırım maliyeti en önemli kalemdir. Bunun yanında ikinci önemli kalem yıllık enerji maliyetidir. Bu durumda yatırımın optimizasyon çalışmaları göreceli olarak basittir. Sadece kanal sisteminin ilk toplam yatırım maliyeti ile sistemin yıllık enerji maliyetinin toplamını minimize etmek yeterlidir.

3.7.1. Optimizasyon

Prensip olarak kanal sisteminin kesiti ne kadar küçük tutulursa kanal yatırım maliyeti azalır. Buna karşılık yıllık enerji tüketimi artar, fan yatırım maliyeti artar. Bunlar ters yönde işleyen temel

parametrelerdir. Kanal dizaynında klasik yöntemler yerine, T-yöntemi gibi optimizasyona dayalı yöntemlere gidilmesinde büyük yarar bulunmaktadır. Türkiye'nin değişen ekonomik koşulları karşısında, kanal tasarımında ilk yatırım maliyetini azaltıcı yönde hareket edilmelidir. Ses limitlerini aşmayacak şekilde mümkün olduğu kadar yüksek hızlara çıkmak ve yuvarlak kanallar kullanmak temel öneriler olmaktadır.

3.7.2. İlk Yatırım Maliyetine Etki Eden Faktörler

Yatırım maliyetini azaltmak için uygulamada denenmiş pratik öneriler aşağıdaki gibi sayılabilir:

1. Mümkün olduğu kadar az sayıda fittings kullanın
2. Hava kaçaklarının önleyin. Bu amaçla hazır kanallar kullanmayı tercih edin
3. Yuvarlak kanallar kullanın
4. Dikdörtgen kanal kullanıyorsanız, kenar oranını 1'e yakın tutmaya çalışın

Bu yaklaşımla, yatırım maliyetine etki eden önemli parametreler aşağıda sıra ile incelenecektir.

3.7.2.1. Kanal Kenar Oranı

Kanalların yuvarlak veya dikdörtgen olması ve dikdörtgen kanallarda bir kenar uzunluğunun diğerine oranı olan kenar oranı değerinin değişmesi gerek ilk yatırım maliyetlerini, gerekse enerji maliyetlerini önemli ölçüde artırır. Çizelge 2.9'da farklı kenar oranlarına sahip dikdörtgen ve yuvarlak düz kanal için hesaplanan ağırlık değerleri verilmiştir. Bu karşılaştırmada söz konusu farklı boyuttaki kanalların aynı debiyi aynı sürtünme kaybı ile taşıması esas alınmıştır. Buradan açıkça görülmektedir ki artan kenar oranları birim kanal uzunluğundaki ağırlığı önemli ölçüde artırmaktadır. Hiç kuşkusuz artan kanal ağırlığı ile birlikte kanalın yatırım maliyeti ve işçilik maliyeti de artacaktır.

Çizelge 2.9. Kenar Oranı Etkisi (Aynı debi ve sürtünme kaybı için)

Kanal Boyutu mm	Kanal Alanı m^2	Kenar Oranı -	Saç Et Kalınlığı mm	Ağırlık kg/m
∅ 600	0,28	-	0,55	8,35
550 x 550	0,30	1/1	0,55	9,73
750 x 400	0,30	1,9/1	0,55	10,71
1100 x 300	0,33	3,7/1	0,85	19,21
1500 x 250	0,38	6/1	1,00	28,28
2000 x 200	0,40	10/1	1,31	46,29

3.7.2.2. Basınç Sınıflandırılması

Bazı yayınlarda kanal tasarımcısının kanalda geçerli basınç değerlerini vermesi gerektiği vurgulanır. Kanal sistemi üzerinde geçerli çalışma basınç grubu verilmelidir. Böylece et kalınlıklarını bu basınca göre belirlemek mümkün olacaktır. Bununla kanal maliyetleri azaltılabilir.

3.7.2.3. Fittings Maliyetleri

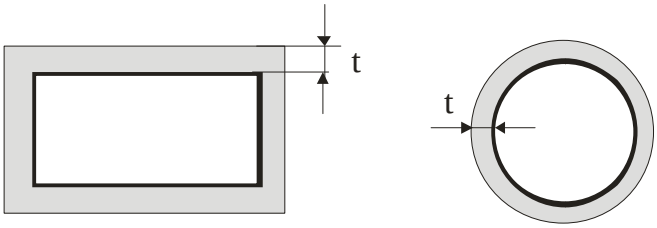
İlgili bölümde çeşitli fittingsin kayıp katsayıları verilmiştir. Tasarımcı buradan en uygun fittingsi seçebilir. Ancak en küçük kayıp katsayısını veren fitting en pahalı olanı olabilir. Yüksek kenar oranlı bir fitting yapmak, kare bir fittingden biraz daha pahalı fakat yuvarlak fitting yapmaktan daha ucuzdur. Bugün için fittings otomatik ekipmanla fabrikada üretilmekte ve işçilik minimuma düşürülmektedir. Elle üretimde ise işçilik maliyeti, aynı kesitli ve aynı uzunlukta düz kanal

maliyetinin 4-8 misli olabilmektedir. Eğer yönlendirici kanallar kullanılırsa bu oran çok daha büyük olacaktır.

3.7.3. Yuvarlak Kanallar ile Dikdörtgen Kanalların Maliyetinin Karşılaştırılması

Yuvarlak kanalların tesis maliyetleri önemli ölçüde daha düşüktür. Yuvarlak kanalları bir kişi tesis edebilir. Halbuki eşdeğer bir dikdörtgen kanal için en az iki kişi gereklidir. Ayrıca yuvarlak kanalların tesis standartları çok daha az malzeme kullanımını gerektirir. Yuvarlak kanalların daha ucuz olmasının nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Yuvarlak kanallar sınırlı sayıda standardize edilmiş elemanlardan ve belirli sayıda standart boyuttan oluşur.
2. Kanalların ve bağlantı elemanlarının üretimi tamamen otomatik ve seri olarak sistematik bir şekilde yapılmaktadır. Endüstriyel kalite kontrolü mümkündür.
3. Yuvarlak kanalların tesis zamanı, benzer bir dikdörtgen kanalın yaklaşık üçte biri kadar olabilmektedir.
4. İzolasyon malzemesinin maliyetleri daha düşüktür. Çünkü;
   a) Uygulanması ve ulaşımı daha kolaydır
   b) Daha küçük çevre uzunluğu dolayısı ile daha az izolasyon malzemesi kullanılır. Örneğin; çapı 500 mm olan yuvarlak kanalın çevresi, kenar ölçüleri 400 x 400 mm olan dikdörtgen kanaldan %13 daha azdır. İzolasyon için bu oranda az malzeme kullanılır.
   c) Gerek yangından korumak için ve gerekse ısıl izolasyon için yuvarlak kanallarda daha ince izolasyon kullanılabilir. Şekil 2.9 ve Çizelge 2.10'da kanalların dıştan yangına karşı izolasyon değerleri ve karşılaştırılmaları verilmiştir.



Yuvarlak kanallarda daha ince yangın izolasyonu kullanımına izin verir.

Şekil 2.9. İzolasyon Kalınlığı Tanımı

Çizelge 2.10. İzolasyon Kalınlıkları (mm)

Yuvarlak	Dikdörtgen
30	40
30	40
50	70
50	70
100	140
100	120

5. Gerekli kanal, mesnet ve askılarının sayısı ve boyutları yuvarlak kanallarda daha azdır. Askılar arası mesafe dikdörtgen kanalda 2,5 m iken bu değer yuvarlak kanalda 3 m değerine çıkar. Böylece bu malzemeden %20 tasarruf söz konusudur.

3.8. Kanallarda Sızdırmazlığın Önemi

Kanal sistemlerindeki kaçaklar yolu ile kaybedilen enerji çok yüksek boyutlardadır. Özellikle temiz oda uygulamalarında, bazı endüstriyel uygulamalarda ve nem alma uygulamalarında kanallardaki hava kaçakları enerji kaybı dışında özel öneme sahiptir. Burada özel olarak sızdırmazlık istenen haller dışında, genel havalandırma ve klima uygulamalarında sızdırmazlık dolayısı ile oluşan enerji maliyeti üzerinde durulacaktır. Sadece havalandırma yapılması durumunda hava kaçaklarının enerji maliyeti fan enerji tüketiminde ortaya çıkmaktadır. Kaçak ne kadar fazla ise bu oranda fan gücü boşa harcanmış olacaktır.

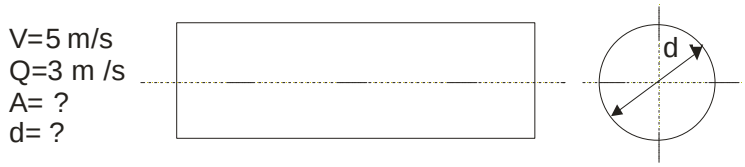
Klima kanallarında ise kaçak hava; aynı zamanda soğutma ve ısıtma enerjisi kaybı anlamına gelmektedir. Dolayısı ile klima sistemlerinde hem fanda, hem de soğutma (veya ısınma) grubunda enerji boşa harcanması söz konusudur. Havası şartlandırılan hacimlerden geçen kanallardaki sızma, yine iklimlendirilen hacme olacağından, bir kayıp oluşturmayacağı ileri sürülebilir. Ancak bu halde bile sızan hava istenilen fonksiyonu yerine getirmeyecek, menfezlerden hedef bölgeye üflenemeyecektir.

3.9. Kanalların İç Temizliği

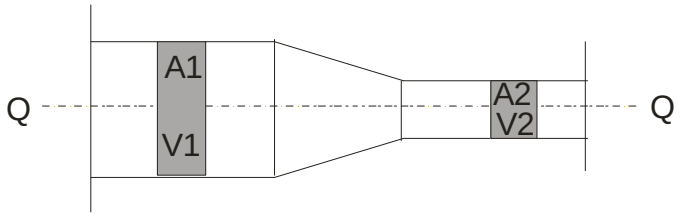
İç hava kalitesinin sağlanması ile ilgili çalışmalar göstermiştir ki, sistemin yetersiz kalmasında hasta bina sendromunda kanalların temizliği büyük önem taşımaktadır. Besleme ve dönüş kanallarında toplanan toz, mantar vs. gibi kirleticilerin hastalık kavramına büyük katkıları vardır. Bu nedenle özellikle besleme kanallarının içinin temizlenmesi gereği, bazı batı ülkelerinde örneğin İsveç'te bina yönetmeliklerine dahil edilmiştir. Kanal içi temizliği için çeşitli temizlik yöntemleri ve cihazları geliştirilmiştir. Bu cihazların standart çapları ve uygun geometrisi nedeniyle yuvarlak kanallara uygulanması daha kolay ve daha ucuz olmaktadır.

3.10. Konu İle İlgili Sorular

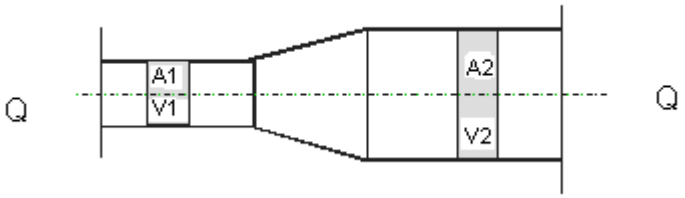
1. Mahal hava debisinin belirlenmesinde hangi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır?
2. Kanallarda toplam basınç kaybını açıklayınız
3. Kanallarda sürtünme basınç kaybını açıklayınız
4. Kanallarda dinamik basınç kaybını açıklayınız
5. Kanal sisteminde ekonominin önemini açıklayınız
6. Yuvarlak kanallar ile dikdörtgen kanalların maliyetini karşılaştırınız
7. Kanallarda sızdırmazlığın önemini açıklayınız
8. Şekilde görülen silindirik bir kanaldan geçen havanın hızı 5 m/s ve debisi 3 m^3/s'dir. Buna göre kanalın,
    a. Kesit alanı nedir?
    b. Çapı nedir? (π = 3,14 alınacak)



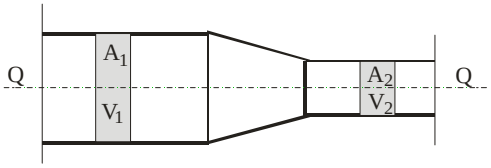
9. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi kesit alanı 0,8 m^2 ve hava hızı da 3 m/s olan bir kanal daraltırılarak kesit alanı 0,6 m^2 düşürüldüğüne göre,
    a. Daraltılan kısımdaki kanaldan akan havanın hızı
    b. Kanaldan akan havanın debisi ne olur?



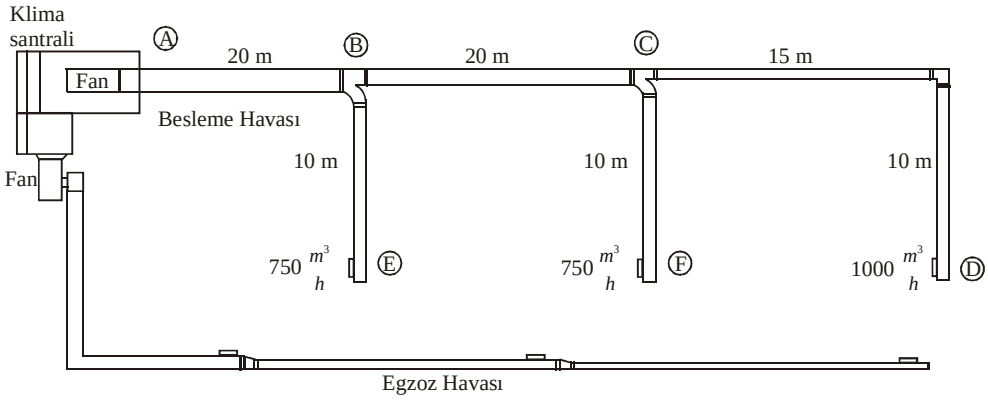
10. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi kesit alanı 0,5 m^2 ve hava hızı da 4 m/s olan bir kanal genişletilerek kesit alanı 0,8 m^2 çıkartıldığına göre,
    a. Daraltılan kısımdaki kanaldan akan havanın hızı
    b. Kanaldan akan havanın debisi ne olur?



11. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi kesit alanı 0,6 m^2 ve hava hızı da 5 m/s olan bir kanal daraltılarak kesit alanı 0,4 m^2 düşürüldüğüne göre,
    a. Daraltılan kısımdaki kanaldan akan havanın hızı
    b. Kanaldan akan havanın debisi ne olur?



12. Şekilde görülen silindirik bir kanaldan geçen havanın hızı 6 m/s ve debisi 3 m^3/s'dir. Buna göre kanalın,
    a. Kesit alanı nedir?
    b. Çapı nedir? (π = 3,14 alınacak)

13. Aşağıdaki şekilde bir hava kanalı şebekesi görülmektedir. Şebekenin A-B bölümündeki kanaldan geçen havanın hızı 6 m/s ve birim sürtünme kaybı R=2,5 Pa/m'dir. (c =1,3 π = 3,14 ve ρ =1,2 kg/m^3 olarak alınacak) Buna göre,
    a. A-B kanalından geçen havanın debisi nedir?
    b. A-B kanalın alanı nedir?

c. A-B kanalının çapı nedir?
d. A-B kanalında meydana gelen sürtünme kaybını hesaplayınız.
e. A-B kanalında meydana gelen dinamik kaybı hesaplayınız.