

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI YAPILARA SAHİP DİKDÖRTGEN HAVA  
KANALLARINDAKİ KAÇAK MİKTARININ DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**Erol TÜRKOĞLU**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2016**



© 2016 [Erol TÜRKOĞLU]

## TEZ ONAYI

**Erol TÜRKOĞLU** tarafından hazırlanan "**Farklı Yapılara Sahip Dikdörtgen Hava Kanallarındaki Kaçak Miktarının Deneysel Olarak İncelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman** **Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY** .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi** **Prof. Dr. Adı SOYADI** .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi** **Prof. Dr. Adı SOYADI** .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi** **Prof. Dr. Adı SOYADI** .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi** **Prof. Dr. Adı SOYADI** .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Enstitü Müdürü** **Doç. Dr. Yasin TUNCER** .....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Erol TÜRKOĞLU**

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Mahallerin Kriterleri .....	2
1.1.1. Konut uygulamaları.....	2
1.1.2. Ticari ve genel binalar .....	5
1.1.2.1. Ofis binaları.....	6
1.1.3. Oteller .....	8
1.1.4. Eğitim tesisleri.....	11
1.1.5. Hastaneler.....	13
1.2. Havalandırma Sistemlerinde Dış Hava Miktarı Tayini.....	16
1.2.1. Mahaldeki insan sayısına göre dış hava miktarı tayini.....	16
1.2.2. Saatlik hava değişim sayısına göre dış hava miktarı .....	17
1.3. Kanal Boyutlandırma Hesap Esasları.....	18
1.3.1. Kanallarda hava hızları .....	19
1.3.2. Kanallarda kesit alanı ve çap tayini.....	20
1.3.3. Dikdörtgen kanallarda hidrolik çap .....	20
1.3.4. Kanal kenar oranları .....	21
1.4. Kanal Basınç Kaybı Hesabı .....	21
1.4.1. Sürtünme kayıpları.....	21
1.4.2. Yerel kayıplar.....	23
1.5. Kanal Tasarımı.....	23
1.5.1. Hız düşüm metodu.....	23
1.5.2. Eş sürtünme metodu.....	24
1.5.3. Statik basıncı geri kazanma metodu .....	24
1.6. Fan Hesapları .....	25
1.7. Kanallarda Hava Kaçak Testi.....	25
1.7.1. Sızdırmazlık sınıfının belirlenmesi .....	26
1.7.2. Test basıncının belirlenmesi.....	26
1.7.3. Test cihazında kullanılan hesaplamalar .....	27
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	31
3.1. Örnek Uygulamanın İncelenmesi .....	31
3.2. Deney Düzenegi.....	42
3.3. Deney Yöntemi.....	44
3.3.1. AHU-01 ve EF-01 hatların test edilmesi.....	44
3.3.2. Farklı ebattaki kanalların test edilmesi.....	48
3.3.3. Farklı yapıdaki kanalların test edilmesi.....	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	51
4.1. AHU-01 ve EF-01 Hatlarının Deneysel Sonuçları.....	51

4.2. Farklı Ebattaki Kanalların Deneysel Sonuçları.....	54
4.3. Farklı Yapıdaki Kanalların Deneysel Sonuçları.....	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	70
EK A. Kayıp Katsayıları .....	71
EK B. Kanal Sürtünme Katsayılarının EES Kodları.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	77



## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## FARKLI YAPILARA SAHİP DİKDÖRTGEN HAVA KANALLARINDAKİ KAÇAK MİKTARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Erol TÜRKOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY

Bu çalışmada havalandırma kanallarındaki kaçak miktarı deneysel olarak incelendi. Bu amaçla kantin olarak kullanılacak bir alanın havalandırma tesisatı için kanal boyutlandırması yapıldı. Boyutları belirlenen hatların çizimi yapılarak izometrisi oluşturuldu. Basınç kayıplarının hesaplanabilmesi için izometrisi çizilen projeden yararlanılarak kritik devre belirlendi.

Çalışmada standartlara uygun bir test düzeneğiyle kanallardaki kaçak miktarları ölçüldü. Öncelikle taze ve egzoz hava hatları bütünüyle test edilerek birbiriyle karşılaştırıldı. İkinci olarak aynı uzunluktaki farklı ebatlardaki kanallar farklı basınçlarda test edilerek karşılaştırıldı. Farklı kanal ebatlarından oluşabilecek hava kaçak miktarlarının tahmini için regresyon analiziyle bir eşitlik oluşturuldu. Son olarak contasız, contalı ve akustik contalı aynı uzunluktaki kanallar farklı basınçlarda test edilerek karşılaştırmalar yapıldı. Sonuçta yapılan deneylere bağlı olarak hava kaçak miktarlarının test basıncına, kanal boyutlarına, basınç sınıflarına göre etkisi incelendi.

**Anahtar Kelimeler:** Hava kanalı, hava kaçağı, basınç kaybı, kanal sızdırmazlık testi

2016, 77 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE OWNER RECTANGULAR AIR DUCT LEAKAGE AMOUNT OF DIFFERENT STRUCTURE**

**Erol TÜRKOĞLU**

**Süleyman Demirel University  
Natural Sciences Institute  
Department of Energy Systems Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet ÖZSOY**

In this study the amount of leakage in the air duct is examined by experiments. For this purpose air conditioning duct sizing are made for a place that is going to be used as a canteen. Isometric drawings are prepared for sized air ducts. Critical lines are determined to calculate pressure loses with the help of drawn project.

The amount of the leakage in the ducts is measured by an experimental setup according to standards. First fresh and exhaust air ducts are tested completely and compared with each other. Secondly ducts that have the same length, but have different sizes are compared at different pressures. And then an equation using the regression analysis is estimated to forecast the leakage amount that can be caused by the size of air ducts. Finally, air ducts with gusset, without gusset and with acoustic gusset that have the same lengths are tested at different pressures and results are compared with each other. As a result the relation between the leakage amount, testing pressure, size of the duct and cluster of pressure is analyzed in the light of the experiment.

**Keywords:** Air duct, air leakage, pressure loss, duct leakage test.

**2016, 77 pages**



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY'a teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu projede deney süreçlerinde yardımcı olan Doğu Batı Mühendislik firmasının çalışanlarından Şahin KARACATİLKİ'ye ve çalışmalarım boyunca bana sürekli destek olan sayın hocam Prof. Dr. Reşat SELBAŐ'a teőekkürlerimi sunarım.

Her durumda bana destek olan tüm aileme, nişanlım Arife BALLI'ya ve bana sunduğu fırsatlardan dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Erol TÜRKOĞLU  
ISPARTA, 2016

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Örnek uygulama mimari plan .....	31
Şekil 3.2. DuctSizer arayüzü .....	32
Şekil 3.3. Örnek uygulama havalandırma tesisatı kat planı .....	34
Şekil 3.4. Örnek uygulama havalandırma tesisatı çatı planı .....	35
Şekil 3.5. Örnek uygulama havalandırma tesisatı izometrik şeması .....	36
Şekil 3.6. AHU-01 hattındaki kanalın sürtünme faktörleri .....	37
Şekil 3.7. EF-01 hattındaki kanalın sürtünme faktörleri .....	37
Şekil 3.8. Test cihazının detayı .....	43
Şekil 3.9. Test cihazı kanal bağlantı detayı .....	43
Şekil 3.10. Test yapılacak hatların izometrisi .....	46
Şekil 3.11. Test düzeneği .....	49
Şekil 3.12. Kanal tipleri.....	50
Şekil 4.1. Kaçak miktarının sistemler üzerindeki etkisi .....	52
Şekil 4.2. Cihazların kaçak miktarlarının karşılaştırması .....	52
Şekil 4.3. Farklı ebatlardaki hava kanalları için kaçak miktarları .....	55
Şekil 4.4. Farklı kanal birleşim yeri uzunlukların birim kaçak miktarı ile karşılaştırması.....	57
Şekil 4.5. Hava kanalı (500 x 400 mm) için kaçak miktarları .....	57
Şekil 4.6. Hava kanalı (450 x 400 mm) için kaçak miktarları.....	58
Şekil 4.7. Hava kanalı (400 x 400 mm) için kaçak miktarları.....	59
Şekil 4.8. Hava kanalı (300 x 400 mm) kaçak miktarları .....	59
Şekil 4.9. Hava kanalı (250 x 350 mm) için kaçak miktarları.....	60
Şekil 4.10. Hava kanalı (150 x 250 mm) için kaçak miktarları .....	60
Şekil 4.11. Kaçak miktarlarının regresyon analizi eğrisi.....	63
Şekil 4.12. Farklı uygulama modellerinde kaçak miktarları ( 500 x 400) .....	64
Şekil A.1. Kayıp katsayıları.....	71
Şekil A.2. Kayıp katsayıları .....	72
Şekil A.3. Kayıp katsayıları .....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Konutsal ısıtma ve soğutma sistemleri .....	3
Çizelge 1.2. Oteller için tasarım kriterleri .....	10
Çizelge 1.3. Oteller arka alanlar için tasarım kriterleri .....	10
Çizelge 1.4. Okullardaki değişik mahallerde önerilen yaz kış tasarımı .....	11
Çizelge 1.5. Mahal kullanım amacına göre kişi başına saatlik taze hava ihtiyacı	17
Çizelge 1.6. Çeşitli mahallerin saatlik hava değişim sayıları .....	18
Çizelge 1.7. Kanallarda olması gereken uygun hava hızları .....	19
Çizelge 1.8. Kanal yapım malzemelerinin yüzey pürüzlülük katsayıları .....	22
Çizelge 1.9. Basınca göre kanal sınıflandırması ve kaçak sınıfları .....	26
Çizelge 1.10. Hava kaçak limitleri (DW/143, 2000)(Carrie vd.,2000).....	27
Çizelge 1.11. Hava kaçak ölçümlerinde sınıflarına göre kullanılacak maksimum kanal alanları .....	27
Çizelge 1.12. Diyafram katsayısı .....	28
Çizelge 3.1. Mahallere göre havalandırma ihtiyacı.....	32
Çizelge 3.2. AHU-01 Kanal basınç kaybı.....	38
Çizelge 3.3. EF-01 Kanal basınç kaybı.....	40
Çizelge 3.4. Cihazların seçim değerleri.....	42
Çizelge 3.5. Deney yapılmasında kullanılacak yöntemler .....	44
Çizelge 3.6. Cihazların test basıncı ve sınıflarının belirlenmesi .....	45
Çizelge 3.7. AHU-01 Galvaniz sac kanal metrajı.....	47
Çizelge 3.8. EF-01 Galvaniz sac kanal metrajı.....	48
Çizelge 3.9. Test yapılacak kanalların fiziksel özellikleri .....	49
Çizelge 4.1. Kanal birleşim yerlerinin kaçak miktarı üzerindeki etkisi .....	53
Çizelge 4.2. Cihazın ve kanal kaçak miktarının yıllık maliyetleri .....	53
Çizelge 4.3. Farklı basınçlarda yapılan kanal testlerinin kaçak miktarları .....	54
Çizelge 4.4. Farklı kanal ebatlarında birleşim yerlerinin kaçak miktarı üzerindeki etkisi.....	56
Çizelge 4.5. Regresyon analizine göre hesaplanan birim kaçak miktarları.....	62
Çizelge 4.6. Farklı uygulama modellerinde yapılan testlerin kaçak miktarları...	64
Çizelge 4.7. Farklı yapıdaki kanalların birleşim yerlerinin kaçak miktarı üzerindeki etkisi.....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$A_c$	Kanalın kesit alanı [ $m^2$ ]
$a$	Kanal geniş kenarı [m]
$b$	Kanal dar kenarı [m]
$D_h$	Hidrolik çap [m]
$D_1$	Boru çapı [mm]
$D_2$	Diyafram çapı [mm]
$d$	Kanal çapı [m]
$H_d$	Hava değişim sayısı [defa/saat]
$K$	Diyafram katsayısı
$k$	Sac kalınlığı [mm]
$L$	Kanal uzunluğu [m]
$L_e$	Flanş kenet toplam uzunluk [m]
$n$	Mahalde bulunan insan sayısı [kişi]
$P$	Fan gücü [W]
$P_t$	Test basıncı [Pa]
$Q$	Toplam dış hava debisi [ $m^3/h$ ]
$Q_h$	Regresyonda hesaplanan birim kaçak miktarı [ $m^3/h/m$ ]
$Q_k$	Birim kaçak miktarı [ $m^3/h/m$ ]
$Q_{kaçak}$	Kaçak miktarı [ $m^3/h$ ]
$R$	Birim sürtünme kaybı [Pa/m]
$Re$	Reynolds sayısı
$V$	Kanaldan geçen hava hızı [m/s]
$\dot{V}_{kişi}$	Kişi başına temiz hava ihtiyacı [ $m^3/h.kişi$ ]
$\dot{V}_m$	Mahalin toplam hacmi [ $m^3$ ]
$\Delta P$	Test cihazı üzerinde okunan basınç kaybı [Pa]
$\Delta P_d$	Dinamik kayıplar [Pa]
$\Delta P_{st}$	Sürtünme kayıpları [Pa]
$\Delta P_t$	Toplam basınç kaybı [Pa]
$\epsilon$	Pürüzlülük katsayısı [mm]
$\xi$	Kayıp katsayısı
$\eta$	Verim
$f$	Sürtünme faktörü
$\mu$	Dinamik viskozite [Pa.s]
$\rho$	Akışkanın yoğunluğu [ $kg/m^3$ ]

## 1. GİRİŞ

İnsanlar her ne kadar değişen dış hava şartlarına göre kendi hayat şartlarını ayarlıyorlarsa da, ortamın konfor şartlarına getirilmesi insanların rahat hissedebilmelerine olanak sağlamalıdır. İnsanların istediği konfor şartları dış hava şartlarıyla uyum sağlamalıdır. Sadece konfor şartlarının sağlanması dış hava şartlarına bağlı değildir. İnsanın zerine giymiş olduğu elbise, besinler, sağlık, mevsim şartları, yaşlılık ve yapılan için tipi gibi yan etkenler de rahatlığa doğrudan etki etmektedir. İnsanın konforuna etki eden en önemli faktörler; havanın sıcaklığı, mahal sıcaklığı, hava hareketi, hava nemi, koku ve gazlar, evre gürültüsü ve aydınlatmadır (Aktaş ve zdemir, 2004).

İnsanlar farklı nedenlerden dolayı havalandırmaya ihtiyaç duyarlar. Bunlar; gerekli oksijen ihtiyacının temini, mahalde üretilen karbondioksitin dışarı atılması, rahatsız edici kokuların dışarı atılması, fazla ısının dışarı atılması (yaz şartları), fazla nemin atılması, ısının dağıtılmasıdır (Doğan, 2002).

Kapalı ortamlardaki ticari veya endüstriyel amaçlı uygulamalarda ortam havasının, amaca göre gereken koşullarda (kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, zararlı mikroorganizmalardan arınmış olma, belirli bir yenilenme sıklığı vb.) tutulması için uygulanan iklimlendirme işlemlerinde en önemli noktalardan biride hava kanallarının tasarımıdır. Hava kanalları mahallere havanın gidiş gelişini sağlayan sistemlerdir (CARRIER, 2004).

Havalandırma sistemlerinde kaçak miktarı enerji verimliliği konusunda önem arz etmektedir. Kaçak miktarının belirlenmesinde deneysel çalışma yapılarak ilgili faktörlerin incelenmesi ve kaçak miktarını azaltmaya yönelik çalışma yaparak enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır. Kaçak miktarının incelenmesinden önce örnek mimari projede mahal havalandırma ihtiyacının belirlenmesi, kanal ebatlarının belirlenmesi ve basınç kayıplarının hesaplanması sonucunda cihaz seçimi yapılması amaçlanmıştır. Kaçak miktarının belirlenmesi Amerikan ve İngiliz standartlarında belirtilen şartlara göre belirlenmektedir. Kaçak sınıfını oluşturan basınç kayıpları, debi ve kanalın

alanı ile bağlantılı olduğu için örnek uygulama yapılarak konunun daha iyi kavranması ile sistem bütünüyle incelenmiştir. Mekanik tesisat tasarımında çizim aracı olarak AutoCAD, kanal ebatlarının belirlenmesinde DuctSizer programı, sürtünme faktörlerinin hesaplamalarında EES programları kullanılmıştır. Bu tez çalışması farklı yapılara sahip dikdörtgen hava kanallarında kaçak miktarı hesaplanarak test prosedürü hakkında fikir sahibi olunmasını örnek uygulama ile konunun daha iyi kavranması ve yol gösterici olması amacıyla hazırlanmıştır. Amerikan standardı (SMACNA) genelde kanalların imalat detayı ile ilgili konular esas alınmıştır. İngiliz standardı (DW/142-143-144) ifade eder ve uygulamada özellikle test sınıfının ve kaçak miktarlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

## **1.1. Mahallerin Kriterleri**

Mahallerin kriterlerindeki farklılıklar belirlenirken kullanım amacı farklı olmasından kaynaklanır. Bu nedenle mahal özelliklerine göre havalandırma kriterleri de değişmektedir.

### **1.1.1. Konut uygulamaları**

HVAC sistemlerinde konut uygulamaları, hem uygulama hem de yerel faktörlere bağlı olarak değişik biçimler alır. Yerel faktörler; iklim, kullanılabilir enerji ve enerji fiyatları, ekonomik koşullar, kurulum ve bakım konularında becerikli personel bulunabilirliği sayılabilir. Uygulama faktörleri olarak; konut tipi, konstrüksiyon şekilleri, inşaat ile ilgili standartlar söz konusudur. Bu faktörler dikkate alındığında ısıtma, soğutma, nemlendirme, nem alma ve havanın temizlenerek filtre edilmesi gibi işlemler arasından gerekli bileşimleri yapmak üzere birçok değişik sistem seçilebilir. Çizelge 1.1'de genel konutsal ısıtma ve soğutma sistemleri listelenmiştir (ASHRAE, 1997).

Çizelge 1.1. Konutsal ısıtma ve soğutma sistemleri (ASHRAE, 1997)

	Merkezi Havalı Sistem	Merkezi Sulu Sistem	Zonlara Ayrılmış Sistem
En genel Enerji Kaynakları	Gaz Fuel oil Elektrik Isı pompası	Gaz Fuel oil Elektrik Isı pompası	Gaz Elektrik
Dağılım Ortamı	Hava	Su Buhar	Hava-Su Soğutkan
Dağıtım Sistemi	Kanal Sistemi	Boru Sistemi	Kanal Boru ya da Serbest dağıtım
Terminal Birimler	Difüzörler Menfezler Izgaralar	Radyatörler Radyatif Paneller Fan coil	Ürünle birlikte verilir ya da havalı ve sulu sistemlerle aynı

Isıtma, soğutma ve havalandırma için seçilen cihazın, doğru bir kapasitede bulunabilmesi için, şartlandırılan her odanın, mekanik tesisatın ısı kaybı ya da kazançları hesaplanmalıdır. Isı kayıp ve kazançlarını hesaplayabilmek için kat planı ve yapısal detayların bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu detaylar duvar, tavan ve döşeme yapısı hakkındaki bilgilerle, yalıtım malzemesi ve kalınlıklarını içermelidir. İhtiyaçtan daha küçük seçilmiş olan cihaz, dış hava koşullarına göre mahalde istenilen sıcaklığa ulaşılması ve korunması için yeterli kapasitede olmayacaktır. İhtiyaçtan daha büyük seçilmiş cihaz ise, daha kısa sürede devrede kalması nedeniyle rahatsızlık yaratabilirken, sıcaklık sapmalarının daha büyük olmasına ve soğutmada uygunsuz nem alma işlemine neden olabilir. Büyük ekipman ayrıca çevrimsel ısıl kayıpları ve durma esnasındaki ısıl kayıpların artması nedeniyle daha fazla enerji kullanımına da neden olacaktır (ASHRAE, 1997; İsisan,2008; Recknagel, 2003).

Tek aile konutlarında genel olarak ısı pompalı veya su ısıtmalı sistemler şeklinde sınıflandırılabilir.

Bu tip konutlarda kullanılan ısı pompaları normal olarak üniter sistemler olup bir paket ünite ya da split üniter sistemden oluşur. Isı pompaları, kullandıkları

yakıt türüne bağlı olması ile birlikte, ısı kaynağına ve dağıtım ortamına bağlı olarak da sınıflandırılabilirler. En çok kullanılanlar, su-hava ve hava-hava tipli ısı pompaları olup hava-su ve su-su türünden ısı pompalarına, az da olsa rastlanmaktadır (ASHRAE, 1997; Isısan, 2008; Recknagel, 2003).

Kullanılan akışkan, merkezi bir kazanda ısıtılır ve borularla kullanım yerlerine iletilir. Kullanım yerlerinde, tipik olarak radyatör ya da düz panel ısıtıcılar olabilir. Diğer nihai birimler fan coiller ya da panel radyatörlerdir. Son dönemlerde yapılan konutsal sistemlerde, seri devreli boru tasarıma sahip cebri sirkülasyonlu, çok zonlu sıcak sistemler kullanılmaktadır. Tasarım su sıcaklığı konfor koşullarına ve ekonomi şartlarına bağlı olarak belirlenir. Tipik tasarım sıcaklıkları 70-90°C 'dir. Radyatif panel sistemleri için sıcaklıklar 45-75°C'dir. Duman gazlarından su buharını yoğunlaştıran fosil yakıt sistemleri mevsimin önemli bir kısmında dönüş suyu sıcaklıkları 50-55°C olacak biçimde tasarlanmalıdır (ASHRAE, 1997; Isısan, 2008; Recknagel, 2003).

Çok aileli konutlarda genel olarak sulu sistemler kullanılır. Mahallerin koşullandırılmasında duvar tipi klima cihazları da kullanılmaktadır.

Yüksek yapılarda ayırık ısıtma ve soğutma sistemleri her zaman avantajlı ve pratik değildir. İki veya dört borulu sulu merkezi sistemler yüksek apartmanlarda çoğunlukla tercih edilmektedir. Her bir konut mahalinde, ya ayrı bir oda ünitesine ya da kanallı fan coil sistemlerine sahiptir. En pratik ve çoğunlukla en düşük işletme maliyetlerine sahip olan ve her bir apartman dairesine ısıtma ve soğutma sağlayan dört borulu sistemdir. İki borulu sistem aynı anda hem ısıtma hem de soğutma sağlayamadığından fazla pratik ve kullanışlı değildir.

Her odanın ayrı ayrı koşullandırılmasında, duvar tipi iklimlendirme cihazları, paket iklimlendirme cihazları ve paket terminal ısı pompaları kullanılabilir. Dış duvarı bulunan her oda böyle bir üniteye sahip olabilir. Bu tür üniteler eski binaların yenileştirilmesinde genellikle kullanılır ve çok fazla bir boru tesisatı ya da kanal tesisatına gerek duyulmaz (ASHRAE, 1997; Recknagel, 2003).



### 1.1.2. Ticari ve genel binalar

Ticari ve genel binalar başlığı altında yemek ve eğlence merkezleri, ofis binaları, olarak incelenebilir.

Yemek ve eğlence merkez binalarının iklimlendirilmesi, konfor uygulamalarında genellikle karşılaşılan sorunlar ile bunlara özgü faktörleri aşağıda sıralanmıştır. Birçok durumda, yüksek pik değerli günde iki kez ortaya çıkabilen son derecede değişen yükler, gaz, buhar, elektrikli araçlar, insanlar ve besinlerden kaynaklanan yüksek düzeyde gizli ve duyulur ısı kazancı, normalde geniş miktarlarda besleme havası gereksinimi, her zaman aynı anda şartlarda ortaya çıkmayan gizli ve duyulur ısı kazancı yükleri, koşullandırılan bir alanın parçası dışında olan mutfak arkası koridorların mahal yükleri, yoğun saatlerde kapıların çok sık açık kalmasından dolayı infiltrasyon, sigara içilmeyen alanların dışında içilen alanların da olması gibi faktörler projelendirme aşamasında dikkate alınmalıdır. İnsanlar, cihazlar, aydınlatma araçları, mutfak araçları ısı ve nem yüklerini etkileyen faktörlerdir. Müşteriler ve çalışanlar için ayrı hesaplamalar yapılmalıdır. Her kategoride gizli ısı ile duyulur ısı arasındaki oran sıcaklığın azalmasından dolayı düştüğünden, duyulur ve gizli ısı yükleri hem oturan hem de çalışan insanlar için seçilen sıcaklığa göre orantılı olmalıdır. Mutfak araçlarından dumanı atmakta kullanılan davlumbazlar da gizli ısı yüklerini düşürür (ASHRAE, 1997; İsisan,2008).

Mahalde kısa süreli ikamet ve kapıların sık açılması nedeniyle birçok restoranda enfiltrasyon ciddi bir faktör olarak görülmektedir. Davlumbaz egzoz havası yerine ve sigara dumanlarının atılması amacıyla çekilen geniş miktardaki taze hava miktarları infiltrasyonu arttırır. Olanak bulunduğu infiltrasyonu azaltmak için döner kapılar kullanılmalıdır (ASHRAE, 1997; Recknagel, 2003).

Sistem tasarımını ve cihaz seçimini etkileyen faktörler; Besin, beden ve sigara kokularının yüksek oranda olması durumunda atılması için bir egzoz havalandırması gerekebilir. Soğutma merkezinin oransal olarak kontrolü, düşük yük durumlarında ekonomik bir çalışma sağlayabilir. Tavandaki egzoz havası

sigara dumanı ve kokuları artar. Bina türü ve mahal gereksinimindeki sınırlamalar çoğu zaman bir tür cihazı diğerine üstün kılar. Örneğin üzerinde yeterli bir hacim bulunan geniş bir lobiye sahip restoranlarda, lobinin üzerindeki alana yerleştirilen evaporatör ve kondenserli sistemle yapılan bir iklimlendirme uygun olabilir. Salona yerleştirilen üniteler işletme ve bakım maliyetleri yönünden daha ekonomik ise de, yukarıdaki alana yapılan bir kurulum salon mahallinin daha iyi değerlendirilmesi yönünden yararlıdır. Genelde 35 kW kapasite yüke kadar olan küçük kafeteryalar, barlar ve benzerleri, paket ünitelerle çok daha iyi koşullandırılabilir, daha geniş ve karmaşık yapıdaki yerlerde merkezi bir santral gerekir. Mahalden yalıtılmış bir ısı merkezine sahip küçük restoranlar genellikle direkt ekspansiyonlu sistemleri kullanır. Yüksek ısı yükleri sahip olması nedeniyle iklimlendirme sistemlerinde nemlendirmeye ihtiyaç duymaz. Bazı hava-hava türünden ısı pompası cihazı, ısıtma ve soğutmada havalandırma gereksinimini azaltabilir. Isı geri kazanım yüzeyleri üzerinde yağ birikmesi sorunu özellikle dikkat edilmelidir. Besleme havasının hazırlanması ve gelişken bir nemlilik kontrolü için, buhar sıkıştırmalı soğutma veya kimyasal kurutucu temelli nem alıcılar düşünülmelidir (ASHRAE, 1997).

#### **1.1.2.1. Ofis binaları**

İş merkezleri genellikle hem çevresel hem de iç mahaldeki zonları içerir. Çevresel zon, dış duvardan itibaren 3,6 metre içeri doğru olan bölüm olup, genellikle geniş bir pencere alanına sahiptir. Bu zonlar çok sayıda alt zona bölünebilir. Çevresel zonlar mahallerin, güneşin konumu ve hava değişimi nedeniyle önemli düzeyde değişken yüklere sahiptirler. Bunlar tipik olarak kışın ısıtma gerektirir. Geçiş mevsimlerinde binanın bir tarafı ısıtmaya gerek gösterirken diğer tarafı soğutmayı gerektirebilir. Buna karşılık iç zonalardaki mahallerde ısı yükü insanlar, aydınlatma araçları ve büro makinelerinden kaynaklandığı için, yıl boyu oldukça üniform bir soğutma gereksinimi sergilerler. İçteki zonların iklimlendirilmesi genellikle düşük yük veya yüksüz kontrol olanağı veren değişken hava hacimli sistemlerle sağlanır. Çoğu büroda sabah 7.00'den akşam 16.00'ya kadar insan bulunsada, sabah 5.30 gibi erken

saatlerden akşam 19.00'a kadar açık olan çok sayıda büro bulunur. Bazı işyerlerinin çalışmaları 22.00'yi aşmamak üzere gece geç saatlere kadar devam eder. İş merkezleri baskı atölyelerini, iletişim işlemlerini, yayın stüdyolarını ve günde 24 saat çalışan bilgisayar merkezlerini içerebilirler. Böylece, ekonomik bir iklimlendirme tasarımı için, tasarım geliştirilmeden önce binanın kullanım amaçları çok net biçimde belirlenmelidir (ASHRAE, 1997).

Muhasebe ve masa başı çalışma yapılan diğer tür işlerde maksimum insan yoğunluğu yaklaşık olarak kişi başına 7 m<sup>2</sup>'dir. Özel büroların olmaması halinde insan yoğunluğu kişi başına 19 m<sup>2</sup>'ye kadar düşebilir. Buna karşılık bekleme odaları, konferans odaları veya yönetici odaları içeren yapılarda insan yoğunluğu kişi başına 2 m<sup>2</sup>'ye kadar artabilir (ASHRAE, 1997).

Ofis binalarında aydınlatma yükü, toplam yükün önemli bir kısmını oluşturur. Aydınlatma ve normal cihaz elektrik yükleri ortalama 10-15 W/m<sup>2</sup> ise de bunlar aydınlatmanın türüne ve cihaz miktarına göre önemli ölçüde artabilir. Bilgisayar sistemleri ve diğer elektronik cihazları içeren binalarda elektriksel yükler 50-110 W/m<sup>2</sup>'ye kadar yükselebilir. Binanın yaşam süresi boyunca beklenen bilgisayar miktarı, büyüklüğü ve tipi hakkında doğru bir değerlendirme yapılarak, havalandırma cihazının doğru seçilmesi gerekmektedir (Recknagel, 2003).

Toplam aydınlatma ısısının yaklaşık % 30 kadarı, egzoz ya da dönüş havası ile çekilebilecek gizli aydınlatma araçlarından gelir ve bu yük mahal koşullandırmada gerekli besleme havasına ilave edilmez. Her cihaza bir kanal bağlayarak en dengeli hava sistemi elde edilebilir. Buna karşılık bu yöntem, mahalden yukarı doğru çekilen hava için bir plenum oluşturmak üzere genellikle bir asma tavana gerek duyulduğu için pahalıdır.

Ofis binalarda % 100 taze hava kullanılması maliyetler yönünden nadiren dengede tutulur. Bu nedenle ofis binalarında çoğunlukla, ekonomizer çalışması dışında, taze hava gereksinimleri minimum seviyede tutulur. Buna karşılık iç hava kaliteleri üzerine dikkat etmek gerektiğinde havalandırma gereği de ortaya

çıkacaktır. Ayrıca değişken hacimli hava hazırlama sistemlerinin uygulanması halinde taze hava miktarı minimal düzeyde tutulmalıdır. Enerji maliyetlerini azaltmak için kuru termometre ya da entalpi kontrolü ekonomizer sistemleri üzerinde durulmalıdır (Isısan, 2008).

Özel havalandırma ve soğutma gereksinimlerine sahip ofis binasının bölümleri; asansör makine dairesi, elektrik ve telefon depo mahalleri, elektriksel panoların bulunduğu odalar, sıhhi tesisat, soğutma ve mekanik cihaz odalarıdır. Bu mahallerin bazılarındaki yüksek ısıl yük, bu mahallerin noktasal soğutma yapan iklimlendirme birimleriyle kullanılmasını gerektirir. Asansör, mekanik ve elektriksel cihaz odalarının ara katlarda bulunduğu büyük binalarda, bu mahallerin aynı seviyede ya da hiç olmazsa en çok iki farklı seviyede olması istenir. Böyle olması kanal, boru tesisatı ve iletken dağıtım sistemlerinin yataydaki dağıtımını basitleşirken, cihaz odalarının daha etkin havalandırma ve bakımı olanağı yaratılmış olur (Isısan, 2008).

### **1.1.3. Oteller**

Bir oteli üç temel alana bölmek mümkündür. Bunlar; Odalar, Ortak alanlar (Lobi, antrium ve bekleme salonları, dans salonları, toplantı salonları, restoran ve yemek bölümleri, mağazalar, yüzme havuzları, sağlık birimleri), Arka alanlar (mutfak, depolama alanları, çamaşırhane, bürolar, hizmet alanları ve cihaz odaları) belirtilen ortamların değerleri birbirlerinden farklı olacaktır. Çizelge 1.2'de oteller için ortam kriterleri gösterilmektedir. Otel odaları için HVAC kriterleri; Bireysel ve çabuk işlev gören sıcaklık kontrolü, çekme olmayan hava dağılımı, tuvalet mahalli egzozu, taze hava girişi, nem kontrolü, gürültü düzeyi, kontrollerin kolay sağlanabilmesi, güvenilirlik, bakım kolaylığı, işletme kolaylığı gibi etkenler dikkate alınmalıdır.

Otel odalarının yük karakteristikleri iki temele dayanır. Birincisi otel odalarının genellikle dış mahallere bakması nedeniyle bina gövdesinin ısıtma ve soğutma yükü daha baskın karakterdedir. İnsanlar, aydınlatma elemanları, cihazlar gibi yük kalemleri mahal duyulur ve gizli ısı yükünün küçük bir yüzdesini oluşturur.

Havalandırma yükü toplam içerisinde % 15'e kadar bir yer tutar. Ayrıca bina gövdesi duyulur ısı yükünün değişken bir tabiatta olması, odadaki doluluk oranının geçici nitelikte olması ve mahal duyulur ısısındaki geniş oynamalar hemen hepsinin ortak niteliğidir. Havalandırma duyulur soğutma yükü günlük temelde % 0-100 arasında değişebilirken, havalandırma gizli ısı yükü hemen hemen sabit kalabilir (Isısan, 2008).

Odalar için kullanılan sistemler; Çift borulu fan coil sistemleri, çift borulu fan coil + elektrikli ısıtıcı, dört borulu fan coil sistemleri, paket iklimlendirme cihazı ya da paket ısı pompası (elektrik ısıtıcılı), hava-hava ısı pompası (kanalsız, split), Su kaynaklı ısı pompasıdır (ASHRAE, 1997).

Fan coil ve üniter soğutkan temelli soğutucular yatay, düşey, açıkta ve gizli olmak üzere birçok uyarılma biçimiyle bulunabilmektedir. Cihaz, odaya rahatsızlık yaratan çekme etkisi oluşturmayacak bir hava dağılımı sağlayacak biçimde yerleştirilmelidir. Hava, uyuyan kişiyi soğuk havadan uzak tutmak için, doğrudan doğruya yatağın baş tarafına doğru üflenmemelidir.

Ortak alanlar için Çizelge 1.2'deki ortam kriterlerine ek olarak aşağıdaki ölçütler de dikkate alınmalıdır; Isıtma ve soğutmanın yıl boyu bulunması, her bir ana ortak alan için birbirinden bağımsız ünite, kısmi yük ya da düşük yük durumlarında ekonomik ve uygun bir çalışma, uygun bir pozitif basınç sağlamak üzere komşu arka alanlarla koordinasyon sağlanmalıdır (ASHRAE, 1997; Isısan,2008; Recknagel, 2003).

Her bir ortak alanın kullanım saatleri değişkenlik gösterebilir. Birçok durumda iç kaynaklardan gelen yük, insanlar, aydınlatma araçları ve cihazlardan kaynaklanır. Ana lobi genellikle 24 saat kullanımdadır. Restoran, toplantı salonu ve satış alanları ise aralıklı bir kullanım özelliği gösterdiğinden yük sık sık değişir. Bu alanlar için etkili ve ekonomik çalışan iklimlendirme sistemleri seçilmelidir.

Çizelge 1.2. Oteller için tasarım kriterleri (ASHRAE, 1997)

İç Mahal Tasarım Koşulları					Gürültü Düzeyi dB
	Kış		Yaz		
	Sıcaklık	Bağıl Nem	Sıcaklık	Bağıl Nem	
Odalar	23°-24°C	% 30-35	23°-26°C	% 50-60	25-35
Lobiler	20°-23°C	% 30-35	23°-26°C	% 40-60	35-45
Konferans ve toplantı salonları	20°-23°C	% 30-35	23°-26°C	% 40-60	25-35
Toplantı yerleri	20°-23°C	% 30-35	23°-26°C	% 40-60	25-35

Arka alanlar bir hizmet ve destek alanıdır. Bu alanlar için önerilen tasarım kriterleri Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Oteller arka alanlar için tasarım kriterleri (ASHRAE, 1997)

Kategori	İç Tasarım Koşulları	
Mutfak (genel)	28°C	Normal soğutma sağlanmalı
Mutfak (unlu mamüller)	24°C	Tümüyle iklimlendirilmeli
Mutfak (şefin bürosu)	% 23-26 BN (yaz) % 30-35 BN (kış)	Tümüyle iklimlendirilmeli
Kat hizmetleri şef bürosu	23-26°C % 23-26 BN (yaz) % 30-35 BN (kış)	Tümüyle iklimlendirilmeli
Telefon ekipman odası	Ekipmana bağlı kriter	Bağımsız çalışan AC ünitesi yıl boyunca koşullandırılmalı
İçecek Deposu	Yiyecek içecek müdürüne bağlı kriter	Tüm yıl koşullandırılmalı
Çamaşırhane		İş noktalarında gerekiyorsa noktasal soğutma

#### 1.1.4. Eğitim tesisleri

Eğitim tesislerindeki iklimsel kontrol sistemleri diğer yapılardakine benzer özellikler gösterir. Mekanik sistemleri eğitim tesisine uydurmak için, tasarımcının sadece değişik sistemlerin çalışma biçimlerini değil, okulun işlevini de çok iyi bilinmesi gerekir. Bütün bir yıl açık olan okul programları, yetişkinlerin eğitimi, gece eğitimi gibi işletme zamanları tesislerde giderek talepler de artmaktadır. Bu nedenle, eğitim tesislerinin tasarımı bütün bu gereksinimleri karşılaması gerekmektedir.

Eğitim tesislerindeki iç mahallerin tasarım ölçütleri; ısı kayıpları, ısı kazancı, nemlilik, hava hareketi, havalandırma yöntemleri, gürültü ve titreşimdir. Eğitim binalarındaki mahaller için yaz ve kış tasarım kuru termometre sıcaklıkları Çizelge 1.4'de verilmektedir.

Çizelge 1.4. Okullardaki değişik mahallerde önerilen yaz kış tasarımı (ASHRAE, 1997)

	Kış Tasarım Sıcaklığı, °C	Yaz Tasarım Sıcaklığı, °C
Laboratuvarlar	22	26
Oditoryumlar, kitaplıklar, yönetim mahalleri vb.	22	26
Sınıflar	24	26
Kantin vb.	22	26
Soyunma odaları, duş mahalleri	24	-
Tuvaletler	22	-
Depolar	18	-

Ticari biçimde işletilen anaokullarında genellikle okul sahiplerinin tercihlerine dayanan standart bir yerleşim planı uygulanır. Bu yerleşim HVAC cihazını da içerir. Bütün ana-okul tesisleri ekonomik ve sessiz çalışan sistemler gereklidir. Ekipman kolaylıkla çalıştırılmalı ve bakım uygulanabilmelidir. Döşmeden ısıtma sistemleri son derece etkilidir. Öğretmen için ayrıca masa başı çalışma yapabileceği bir yer de gerekir. İklimlendirme sistemleri böylece günde 10-12 saat çalışacak, geceleri ve hafta sonlarında ya kapatılacak ya da ekonomik

çalışma konumuna getirilecektir. Üfleme havası menfezleri döşemede 24°C sıcaklığı koruyacak biçimde yerleştirilmelidir. Kokuların ve hastalıkların çocuklar arasında yayılması önlenmelidir. İlkokullar, ek olarak jimnastik salonu ve kafeterya gibi daha fazla tesis içermeleri dışında anaokullarına benzerler. Bu tesisler genellikle sabah saat 7.00'den öğleden sonra 3.00'e kadar kullanımdadır. Pik soğutma yükleri genelde günün sonunda ortaya çıkarken, pik ısıtma yükleri daha erken, sınıfların öğrencilerle dolup dış havanın verilmeye başlandığı saatlerde ortaya çıkar (ASHRAE, 1997; İsisan,2008; Recknagel, 2003).

Her sınıf kısmi ısıtılmalı veya havalandırılmalıdır. Sıcak, nemli iklimlendirme yıl boyu açık sınıfları olan okullarda iklimlendirme ciddi olarak düşünülmelidir. Nemli iklimlendirme, okulun kapalı bulunduğu yaz aylarında küf ve yosun oluşumunu önlemek açısından nem alma dikkate alınmalıdır. Kış aylarında sabahki rejim ısıtmasından sonra soğutma ve havalandırma sağlayan ekonomizer çevrimleri düşünülmelidir.

Spor salonları eğitim saatleri dışında, akşam sınıflarında, konferans ve toplantı amaçlı olarak kullanılabilir. Hafta sonlarında grup etkinlikleri için kullanımlar da olabilir. Sistem ve cihaz seçiminde bu gibi ek kullanımlara ilişkin yükler de dikkate alınmalıdır. Kontrol olanaklarına sahip bağımsız bir HVAC sistemi, küçük kısmi yüklerle bir esneklik getirebilir. Genellikle eğitim saatlerinin dışında da açık olduklarından okulların yönetim için ayrılan alanları ayrı sistemlerle kontrol edilmelidir. Sonbaharda, okullar açılmadan önce de kısımlar çalıştığından bu alanlar için iklimlendirme düşünülmeli ya da geleceğe yönelik kurulum olanakları sağlanmalıdır.

Ortaokul ve liseler normalde ilkokullardan daha uzun süre açık kalırlar ve bir takım ek tesislere sahiptirler.

Yüksek Okul ve Üniversiteler, ortaokul ve liselere benzese de daha fazla tesis ve birkaç binanın bir kampüse yayılımı biçiminde olmaları farklılık gösterir. Her bina için tasarım ölçütleri bu binayı kullananlar tarafından belirlenir.



### 1.1.5. Hastaneler

Hastalıkların hijyenik şartlarda doğru yapılandırılmış bir iklimlendirme sistemi yararlı olsa da, hastanelerdeki iklimlendirme işlemlerinde olağan sistemlerde karşılaşılmayan bazı sorunlar vardır. Hastanelerde diğer binaların iklimlendirme sistemleri arasındaki farklılıklar; Değişik bölümler arasında ve içinde hava hareketinin sınırlanması gereği, kirleticileri (koku, virüsler, tehlikeli kimyasal ve radyoaktif maddeler) atmak ya da seyretmek amacıyla özel filtreleme ve havalandırma gerek bulunması, değişik alanlarda farklı nem ve sıcaklığa gerek duyulması, duyarlı bir çevre kontrolü sağlamak üzere çok ileri ve detaylı bir tasarım gerekli olması.

Hastanelerde yedi adet temel bölüm bulunur. Bunlar; cerrahi ve kritik bakım, sürekli bakım (hemşirelik hizmetleri), yardımcı tesisler, yönetim, tanı ve tedavi, sterilize etme ve dağıtım, servis. Bu bölümlerin her birinde gerekli olan çevresel koşullar, bölümlerin ve buralarda gerçekleştirilen işlemlere göre değişiklik gösterir (ASHRAE, 1997; Recknagel, 2003).

Ameliyathane hava dağıtım cihazlarına ilişkin araştırmalar ve endüstriyel temiz odaların kurulumunda yapılan gözlemler, mahalde kirlilik toplanmasını kabul edilebilir bir düzeyde tutmak için uygulanan sistemler içerisinde en uygun çalışanın, havayı tavandan verip, aşağıda karşıt duvarların alt tarafına yerleştirilmiş egzoz ağızlarından çeken sistem olduğunu göstermiştir. Tamamen delikli, kısmen tavanlar ve tavana kurulu difüzörler başarıyla uygulanmıştır (ASHRAE, 1997; Isısan,2008; Recknagel, 2003).

Anestezik gazların atılması için özel vakum sistemi sağlanmalıdır. Tıbbi vakum sistemleri yanıcı olmayan anestezik gazların atılmasında kullanılmıştır. Her ameliyathaneye, anestezik atık makinesinin emme borusuna bağlayan bir ya da birkaç çıkış ağızı yerleştirilebilir. Radyasyon yoluyla ameliyathane havasının dezenfeksiyonundan iyi sonuçlar elde edildiği bildirilmesine rağmen bu yöntem nadiren kullanılmaktadır. Radyasyon yönteminin kullanılmasına karşı isteksizlik, özel kurulum tasarımı gerektirmesine, personel gereklerine ve lamba

veriminin sürekli gözlemlenmesi zorunluluğuna bağlanabilir. Ameliyathane, tüple tedavi, hücrel gözlem ve kırık çıkık odalarında önerilen koşullar; Sıcaklık ve nem için ayar noktaları tıbbi personel tarafından belirlenmelidir. Kalp ameliyatı gibi özellikli işlemlerde sistem, mahali 17°C'de tutabilmelidir. Bu düşük sıcaklıklar çevredeki komşu alanları olumsuz etkiliyorsa ek soğutma olanakları düşünülmelidir. Fazla besleme havası vererek mahalde pozitif basınç oluşturulmalıdır. Mahallerdeki basınç okuma olanağı sağlayan bir diferansiyel basınç göstergesi konulmalıdır. Basınç farkını koruyabilmek için, kapılar, pencereler, tesisat elemanlarının duvar, döşeme ve tavandan geçiş yerlerinin çok iyi sızdırmazlık uygulanmalı ve kapıların boşluksuz, sıkı bir biçimde oturması sağlanmalıdır. Nem ve sıcaklık göstergeleri kolayca okunabilecekleri bir yerde bulunmalıdır. Bütün hava tavandan verilmeli, egzoz ya da dönüş döşemeye yakın en az iki noktadan yapılmalıdır. Besleme difüzörleri tek yönlü olabilir. Yüksek üfleme tavan ya da yan duvar difüzörleri kullanımından kaçınılmalıdır. Kaplamanın alt akım bölgesinde % 90 verimli terminal filtreleri uygulanmaksızın, akustik malzemeler kanal içi kaplaması olarak kullanılmamalıdır. Terminal birimlerinin iç kaplaması onaylı malzemenin kapsüller biçiminde olabilir. Kanala kurulumlu ses tutucular, salmastrasız türden ya da akustik dolgu çevresinde polyester film kaplama malzemesi içeren türden olmalıdır. Sprey uygulamalı bütün yalıtım ve yangın kesici malzemeye, mantar önleyici işlem uygulanmış olmalıdır. Nemlendirme cihazlarının alt akım bölgesine, havanın mahalle boşaltılmasından önce suyun tam olarak buharlaşmasını sağlamak üzere, yeteri uzunlukta, su geçirmez paslanmaz sac kanal yerleştirilmelidir (ASHRAE, 1997; Isısan, 2008).

Cerrahi kontrol masasına sıcaklık, nem ve basınç, gözlem ve ayarları için kontrol merkezleri yerleştirilebilir. Anne ve çocuk sağlığı bölümündeki basınç pozitif ya da diğer alanlardaki basınca eşit olmalıdır. Doğumhanelerde, ameliyathanelerle aynı koşulları sağlamalıdır. Ameliyathanelerle bağlantılı olarak kullanılan ameliyat sonrası ayılma odaları % 45-55 bağıl nemde tutulmalıdır. Yerleşen anestezi kokusu bazı durumlarda ayılma odalarında koku sorunları yarattığı için havalandırma ve komşu odalarla dengeli bir basınç ilişkisi oluşturulmalıdır Yoğun bakım ünitelerinde 21°C'den 24°C'ye değişen sıcaklıkların, en az % 30, en

çok % 60 bağıl nemin ve pozitif basıncın bulunması önerilir. İklimlendirme sisteminin hastanede yeni doğan bebeklerin gereksinim duyduğu sabit sıcaklık ve nem koşullarını sağlaması gereklidir. Çekmelerin önlenmesi için bu alanlardaki hava akımı örneği dikkatli tasarlanmalıdır. Kanatlı boru radyatörler ya da diğer tür konvektörler bebek bakım odalarında kullanılmamalıdır (ASHRAE, 1997; Isısan, 2008).

Tüm gün bebek bakım, muayene odaları ve çalışma mahallerinde % 30-60 arasındaki nemlilikler önerilir. Annelerin bakım yaptığı bölümler de, çocukların anne ziyareti sırasında korunması için benzer biçimde kontrol edilmelidir. Bakım odası, çalışma ve muayene odaları ile bakım odası ve koridor arasında kalan herhangi bir odaya göre pozitif basınç altında tutulmalıdır. Koridor da bulunduğu konumuna göre benzer biçimde basınçlandırılır. Bu, dış mahalden enfiltrasyon biçiminde giren kirlilikleri önler (ASHRAE, 1997; Isısan, 2008; Recknagel, 2003).

Özel bakım bebek odalarında 24°-27°C arasında değişen sıcaklıklara ve % 30-60 arasında değişen bağıl neme gerek duyulur. Bu tür odalar sıcaklık ve nemin ayarlandığı özel kuvöz'leri içerir. Mahal içerisindeki kuvözden çıkartılan bebeklerle kuvöze konulmamış bebeklerin benzer koşullarda olması sağlanmalıdır. Özel bakım odalarının basınç durumu, tam gün bakım odalarına benzer olmalıdır. Gözlem bakım odalarındaki sıcaklık ve nem koşulları, tam gün bakım odalarındaki gibidir. Bu odalardaki bebekler olağan dışı semptomlara sahip olduklarından bu hava diğer bakım odalarına girmemeli, odada, çalışma odasına göre negatif basınç bulunmalıdır. Genellikle oda ile koridor arasındaki çalışma odası koridora göre basınçlandırılmalıdır (ASHRAE, 1997; Recknagel, 2003).

Kirli durumda gelen hastalar ve olasılıkla bunlara eşlik eden nispeten çok sayıda insan nedeniyle acil odaları hastanedeki en kirli mahaldir. Büroların ve bekleme salonunun sıcaklık ve nem koşulları konfor sınırlarında tutulur.

## 1.2. Havalandırma Sistemlerinde Dış Hava Miktarı Tayini

Dışarıdan alınan taze hava mahale gelirken mahalın kirli 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; Dış havanın fiziki durumu, mahal havasının sıcaklığı, mahal havasının nemliliği, mahalın kullanım amacı, mahalde bulunmak durumunda olanlar gibi özellikler dikkate alınır. Mahal dış hava miktarının belirlenmesinde, bu hususlar göz önünde bulundurularak hazırlanan maddelerden en uygun olan bir ya da birkaçı uygulanabilir (Bilgili vd., 2005).

### 1.2.1. Mahaldeki insan sayısına göre dış hava miktarı tayini

Mahal havalandırmalarında, mahalın kullanım amacı ve mahalde bulunan insanların havayı kirletme durumlarını da göz önünde bulundurmak gerekir. Mahalin ortalama taze hava ihtiyacının kişi sayısına göre belirlenmesinde kesin sayısal bir değer verme imkanı yoktur. Bunun için mahalın kullanım amacına göre fert başına tecrübe edilen yaklaşık değerler alınmaktadır. Çizelge 1.5'de mahal kullanım amacı ve o mahalde bulunan insanların taze dış hava ihtiyacına göre fert başına ihtiyaç duyulan taze hava miktarları verilmiştir. Bu çizelgeden faydalanarak toplam dış hava ihtiyacını bulmak için aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Bilgili vd., 2005).

$$Q = n \cdot \dot{V}_{\text{kişi}} \quad (1.1)$$

Burada, Q toplam dış hava debisini, n mahalde bulunan insan sayısını ve  $\dot{V}_{\text{kişi}}$  kişi başına temiz hava ihtiyacını temsil etmektedir.

Çizelge 1.5. Mahal kullanım amacına göre kişi başına saatlik taze hava ihtiyacı (Bilgili vd., 2005)

Hava kullanım yeri	Hava miktarı (m <sup>3</sup> /h kişi)	Hava kullanım yeri	Hava miktarı (m <sup>3</sup> /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

### 1.2.2. Saatlik hava değişim sayısına göre dış hava miktarı

Hava değişim sayısı, mahaldeki 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, mahal havasının kirlenme süresine bağlıdır. Özellikle işletme mahallerinde oluşan zararlı maddelerin etkilerine göre, hava değişim sayıları belirlenmektedir. Çizelge 1.6'de mahallerin kullanım amaç ve cinsine göre verilmiştir (Bilgili vd., 2005).

Bir hacime gönderilecek hava ihtiyacı hava değişim sayısına göre belirlenir. Buna göre hava ihtiyacı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$Q = H_d \cdot \dot{V}_m \quad (1.2)$$

Burada, Q mahale üflenen hava debisini,  $H_d$  hava değişim sayısı,  $\dot{V}_m$  mahalın toplam hacmi temsil etmektedir.

Çizelge 1.6. Çeşitli mahallerin saatlik hava değişim sayıları (Bilgili vd., 2005)

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
WC'ler:		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	Çamaşırhaneler	10-15
Gardirop	3-6	Ambarlar	4-6
Misafirhane	5-10	Sinema, tiyatro:	
Dinlenme salonu	8-10	Sigara yasak	4-6
Kantin	6-8	Sigara serbest	5-8
Alış-veriş merkezi	4-6	Atölyeler	6-12

### 1.3. Kanal Boyutlandırma Hesap Esasları

Sistemde kullanılan fan, motor, ısıtıcı, soğutucu gibi makine ve tehcizat güçlerinin belirlenmesinde, hava kanallarının fiziki yapı ve temel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Havalandırma kanallarındaki basınç kayıplarının oluşmasında kanal cidarındaki 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.

### 1.3.1. Kanallarda hava hızları

Kanallarda hava hızları kullanım yeri, yapının cinsi ile ses durumuna bağlıdır. Kullanım amacına uygun hızı seçmek gerekir. Gerektiğinde fazla hız seçilmesinde kanallarda gürültü oluşur. Ayrıca; hava hızı sistem fanın gücü ile ilgili olduğundan hız artınca fanın debisi ve yükünü de arttırmak gerekir. Hava hızının gereğinden düşük seçilmesi de yeterli hava debisine ulaşamaz bu da yeterli havalandırma yapılamamasına neden olur. Çizelge 1.7'de tavsiye edilen hız değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.7. Kanallarda olması gereken uygun hava hızları (Doğan, 2010)

Kanal kısımları	Yüksek hava hızları (m/s)		Yüksek basınçlı sistemler
	Alçak basınçlı sistemler		
	Konfor tesisleri	Endüstri tesisleri	
Hava üfleme ağzı	1-4	3-5	Ana kanallar: 12-15  Yan kanallar: 10-12
Atma ve dönüş havası ağzı	2-3	3-4	
Dış hava giriş ağzı	2-4	4-6	
Ana kanallar	4-8	8-12	
Tali kanallar	3-5	5-8	
Ana kanallarda hava hızları için üst sınır değerleri: Köşk: 3 m/s, Apartman, otel, hasta odası: 5 m/s, Özel bürolar ve müdüriyetler, kütüphaneler, tiyatrolar ve konferans salonları: 4 m/s, Bürolar, lokantalar, bankalar: 7-8 m/s, Alış-veriş merkezleri: 8 m/s			

Hava hızları Çizelge 1.7'ye göre seçilebilir. Bunun haricindeki özel durumlarda bu çizelgenin dışına çıkılabilir (Doğan, 2010).

### 1.3.2. Kanallarda kesit alanı ve çap tayini

Havalandırma ve iklimlendirme kanal çaplarının tayini; sistemin toplam debisinden hareketle bulunur. Hava debisi bilinen bir kanalın kesit alanı aşağıdaki deklemlerle hesaplanır.

$$Q = V \cdot A_c \quad (1.3)$$

Burada, Q kanaldan geçen hava debisini, V kanaldan geçen hava hızını,  $A_c$  kanalın kesit alanını temsil etmektedir.

Dikdörtgen kesitli kanallarda;

$$A_c = a \cdot b \quad (1.4)$$

Burada, a ve b kanalın kenar uzunluklarını temsil etmektedir.

Silindirik kesitli kanallarda;

$$A_c = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1.5)$$

eşitliği ile bulunur. Burada, d kanalın çapını temsil etmektedir. Projelendirme aşamasında kanal boyutlandırılması formüllerle pratik olmayacağından DuctSizer programıyla çözümlemeler yapılmıştır. DuctSizer bu tezde kullanılan eşitliklere göre düzenlemiştir.

### 1.3.3. Dikdörtgen kanallarda hidrolik ap

Havalandırma tekniğinde kullanılan kanallar yuvarlak oldukları gibi dikdörtgen kesitli de olabilirler. Ancak birim basınç kaybı bütün cetvel ve diyagramlar dairesel kesitli kanallar için tanzim edilmiş olduğundan dikdörtgen kanalların hesabında, dikdörtgen kesitli kanala birim basınç kaybı değeri bakımından eşdeğer olacak dairesel kesitli kanallar bulunur.



Havalandırma tesislerinin hesabında bilinen genellikle havanın hızı değil miktarıdır. Bundan dolayı hesaplamalarda aynı debiler için eşdeğerli çap  $D_h$  kullanılmalıdır (ASHRAE, 1997).

$$D_h = 1,30 \frac{(ab)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}} \quad (1.7)$$

#### 1.3.4. Kanal kenar oranları

Kanal boyutlandırılırken, kat yüksekliklerin dikkate alınması gereklidir. Ancak normal şartlarda, eğer kat yüksekliğinden dolayı bir problem yok ise, kanal oranlarının 2/3 olarak alınması en uygun olanıdır (Bilgili vd., 2005).

#### 1.4. Kanal Basınç Kaybı Hesabı

Bir sistem düz kanallar ile kesit ve yön değiştirmeyi sağlayan bağlantı elemanları ve filtre, serpantin gibi cihazlardan meydana gelir. Basınç kayıpları, sürtünme kayıpları ve yerel kayıplar olmak üzere ikiye ayrılır.

##### 1.4.1. Sürtünme kayıpları

Sürtünme kayıpları aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Çengel, 2015).

$$\Delta P_{st} = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho V^2}{2} \quad (1.8)$$

Burada,  $\Delta P_{st}$  statik basınç kaybını,  $L$  kanalın uzunluğunu,  $f$  sürtünme faktörünü,  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $V$  kanaldan geçen hava hızını,  $D_h$  hidrolik çapı temsil etmektedir.  $f$  sürtünme faktörü laminer akış halinde ( $Re < 2300$ ),

$$f = \frac{64}{Re} \quad (1.9)$$

eşitlik olarak verilir. Burada, Re ifadesi Reynolds sayısını temsil etmektedir (Çengel, 2015; Brandi, 1972).

Türbülanslı akış halinde ( $Re > 2300$ ),

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon/D_h}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (1.10)$$

eşitliği geçerlidir. Burada,  $\varepsilon$  pürüzlülük katsayısını temsil etmektedir. Bu eşitlikte Reynolds sayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Çengel, 2015).

$$Re = \frac{\rho D_h V}{\mu} \quad (1.11)$$

Burada,  $\mu$  ifadesi dinamik viskoziteyi temsil etmektedir. Pürüzlülük katsayısı ( $\varepsilon$ ) Çizelge 1.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 1.8. Kanal yapım malzemelerinin yüzey pürüzlülük katsayıları (Doğan, 2010)

Malzemenin cinsi	Pürüzlülük katsayısı $\varepsilon$ (mm)
Cam ve dikişsiz plastik kanal	0,0-0,0015
PVC boru	0,01
Sac kanal (kenetli)	0,15
Beton kanal (kaygan)	0,5
Beton kanal (pürüzlü)	1,0-3,0
Parlatılmış boru	0,0015
Tuğla kanal	3,0-5,0
Flexibel boru (malzemeye göre)	0,2-3,0

Eşitlik 1.10 ile  $f$  değerinin hesaplanması pratik olarak zordur. İterasyon yöntemi ya da Darcy tarafından oluşturulmuş Moody diyagramı ile hesaplanabilir. İterasyon yönteminde ilk değer verildikten sonra bulunan sonuca göre yaklaşarak bulunur fakat pratik çözüm değildir. Diyagramdan okuma hassasiyetine göre alınan değer farklılık göstereceğinden EES programı ile çözümlenme yapılarak daha pratik ve doğru sonuç elde edilecektir.

### 1.4.2. Yerel kayıplar

Genişleme, daralma, dirsek, ayrılma, damper, filtre gibi elemanlarla meydana gelen basınç düşmeleridir. Dinamik kayıplar bağlantı elemanlarının akış yönünü ve alanın değiştirmesi sonucunda akıştaki bozulmadan meydana gelir. Dinamik basınç kaybı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\Delta P_d = \xi \frac{\rho V^2}{2} \quad (1.12)$$

Burada,  $\Delta P_d$  dinamik basınç kaybını,  $\xi$  kayıp katsayısını temsil etmektedir.

### 1.5. Kanal Tasarımı

Otomatik olarak en ekonomik kanal sistemi veren hiçbir kanal tasarım yöntemi yoktur. Bunun yerine teklif edilmiş ve bugün kullanılmakta olan çeşitli tasarım yöntemleri bulunmaktadır. Farklı durumlarda bu yöntemlerden biri seçilerek hesap yapılır. Bu yöntemlerden hangisinin seçileceği, aslında maliyet kalemlerinin dikkatlice değerlendirilmesi ile karşılaştırılmalıdır. Projelendirme metodu olarak; hız düşüm metodu, eş sürtünme metodu, statik geri kazanma, sabit hız metodları kullanılır. Havalandırma, iklimlendirme, gaz ve egzoz sistemleri ilk üç metoda göre, toz taşıyan egzoz sistemleri sabit hız metoduna göre hesaplanır (Yamankaradeniz, 2015).

#### 1.5.1. Hız düşüm metodu

Hız düşümü metoduna göre boyutlandırmada uygulanan yönergeler; Kanal dağıtım şeması çizilerek, kanal üzerine hava debileri ve kanal uzunlukları yazılır, her bir kanal parçası numaralandırılır, kritik hat belirlenir, hesaba kritik hattan başlanır. Vantilatör çıkışındaki ana kanaldaki hız Çizelge 1.7'de önerilen değerlere göre seçilir. Çizelge 1.7'de önerilen değerlere göre hava hızları seçilir. Ana koldaki hız seçimlerinde her ayrılmadan sonra daha düşük hız alınır. Uç noktalara doğru hız düşürülerek, aynı şekilde bütün kanal parçalarının hesabı

yapılır. Kanalların boyutlandırılması DuctSizer programı ile yapılır. Belirlenen hız ve debi yardımıyla her bir dikdörtgen kesitli kanalın hidrolik çapı eşitlik 1.7'ye göre hesaplanır. Sürtünme faktörü her çap değişiminde EES programında bulunarak sürtünme kayıpları hesaplanır. Her bir parçanın kayıp katsayısı EK-A' dan bulunarak yerel kayıplar hesaplanır. Sürtünme ve yerel kayıpları toplamına, menfez, ısıtıcı, filtre, panjur vb. gibi hat üzerinde bulunan aygıtlardan dolayı olan basınç kayıpları eklenerek fan kapasite tespiti için gerekli toplam basınç kaybı belirlenmiş olur. Toplam hava debisi ve toplam basınç kaybı yardımıyla fan seçimi gerçekleştirilmiş olur.

### **1.5.2. Eş sürtünme metodu**

İki şekli vardır. Birincisi birim uzunluktaki basınç gradyanı veya basınç düşüşünü seçerek, diğer ise bir devredeki basınç düşümünü birbirine eşitleyerek kanalları boyutlandırmaktır. Alçak basınçlı kanal boyutlandırmalar için genel olarak tavsiye edilen özgül sürtünme kaybı 0,8-1,0 Pa/m alınır ve basınç düşmesine göre boyutlandırılır. İkinci methoda basınç düşümü keyfi olarak seçilir ve bu basınç kollara dağıtılır. Bu methoda aşağıdaki sıra izlenir (Yamankaradeniz, 2015): Kanal şeması çizilerek, kanalların üzerlerine debi ve uzunlukları yazılır. Yerel dirençlerin eşdeğer uzunlukları tablolardan bulunur. Basınç düşümü seçilir ve devreler için ayrı ayrı birim uzunluk için basınç düşümü bulunur. Devredeki basınç düşümü kullanılarak o devredeki tek bir kanal için basınç düşüşü hesaplanır. Kanal uzunluğuna bölünür. DuctSizer programına göre kanal boyutlandırılır. En uygun sistem ve vantilatör seçimi yapılır.

### **1.5.3. Statik basıncı geri kazanma metodu**

Statik regain metodunun prensibi, hız azalmasından dolayı elde edilen statik basıncın, kanaldaki sürtünme öz dirençlerinden dolayı oluşan basınç kayıplarını karşılayacak şekilde kanalı boyutlandırmaktır. Bu şekilde statik basınç her yerde aynı olacaktır. Bu yöntemde aşağıdaki sıra izlenir: Kanal dağıtım şeması çizilerek kanalların debileri ve uzunlukları belirtilir. Kritik devre belirlenir. Vantilatör çıkışındaki ilk kanalda Çizelge 1.7'de verilen değerlere uygun olarak

hız seçilir ve kanalın kesiti bulunur. Eşitlik 1.8'e göre sürtünme kaybı bulunur. Yerel direnç eşdeğer uzunlukları tablodan okunur ve yerel kayıplar bulunur. Kanal hızından kanal boyutlandırılması DuctSizer programında yapılır. Vantilatör basıncı ilk kanaldaki sürtünme kayıplarını, kanal çıkışındaki menfez kaybı eklenerek bulunur.

## 1.6. Fan Hesapları

İhtiyaca göre fan seçiminde, değişik özellikler aranmaktadır. Bu bakımdan fan seçerken; Hangi ortam şartları altında çalışacağını, hava debisinin ne olacağı, işletme basıncının ne olacağı, devir sayısının ne olacağı, otomatik sistemlerde uyum sağlayıp-sağlamayacağı, montaj yapılacağı yerin özelliklerinin ne olacağı, işletme zamanının ne kadar olacağı, ses ve gürültü durumunun ne olacağı gibi hususların önceden bilinmesi gerekmektedir (Doğan, 2010).

Fan toplam gücü:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta P_t}{\eta} \quad (1.13)$$

Burada, P fanın gücünü,  $\Delta P_t$  fanın toplam basınç kaybını,  $\eta$  fanın verimini temsil etmektedir.

Fanların kapasitelerine göre verimlerini aşağıdaki gibi almak mümkündür: Büyük fanlar (işletme basıncı 1000 Pa' dan büyük) için verimi 0,6-0,8 arasında, orta fanlar (işletme basıncı yaklaşık 1000 Pa) için verimi 0,5-0,6 arasında, küçük fanlar için (işletme basıncı yaklaşık 300 Pa) için verimi 0,3-0,5 arasında değer seçilir (Doğan, 2010).

## 1.7. Kanallarda Hava Kaçak Testi

Kanal kaçak testinde dikkat edilecek husus test edilecek kanal yüzeyinin minimum 10 m<sup>2</sup> olması gerekir. Dairesel kesitli kanal sistemlerinde toplam

kanal yüzeyinin % 10'u, dikdörtgen kesitli kanallarda ise % 20'sinin test edilmesi istenir.

### 1.7.1. Sızdırmazlık sınıfının belirlenmesi

Sızdırmazlık sınıfı DW/142 standardında belirtilen Çizelge 1.9'deki durumlara göre belirlenir.

Çizelge 1.9. Basınca göre kanal sınıflandırması ve kaçak sınıfları (DW/142, 1982)

Kanal basınç sınıfı	Statik basınç sınırları (Pa)		Hava kaçak sınıfı
	Pozitif	Negatif	
Düşük	500	500	Sınıf A
Orta	1000	750	Sınıf B
Yüksek	2000	750	Sınıf C
	2500	750	Sınıf D

İyi bir sistemde, her sınıfa göre yaklaşık kaçak yüzdeleri değişir. Bunlar; A sınıfı için % 6, B sınıfı için % 3 ve C sınıfı için % 2 olarak belirtilmiştir (DW/144, 1998).

### 1.7.2. Test basıncının belirlenmesi

Test basıncının belirlenmesi cihazın basınç kaybını ifade eder. Cihazın basınç kaybına ve kanal yüzey alanına bağlı olarak hava kaçakları aşağıdaki Çizelge 1.10'deki limitlere göre hesaplanır.

Çizelge 1.10. Hava kaçak limitleri (DW/143, 2000)(Carrie vd.,2000)

Kanal basınç sınıfı	Kaçak faktörü (l/s)
Düşük basınç- Sınıf A	$0,027 \times P_t^{0,65}$
Orta basınç- Sınıf B	$0,009 \times P_t^{0,65}$
Yüksek basınç- Sınıf C	$0,003 \times P_t^{0,65}$
Yüksek basınç-Sınıf D	$0,001 \times P_t^{0,65}$

### 1.7.3. Test cihazında kullanılan hesaplamalar

Kalan sızdırmazlık test cihazında basınç sınıfına göre maksimum test yapılabilecek yüzey alan sınırlandırılmıştır. Bu değerlerin üstünde yapılan test kaçak miktarındaki okuma hassasiyetini etkiler ve doğru sonuçlar elde edilemez. Aşağıdaki Çizelge 1.11’de belirtilen limitler DW/143 standardına göre belirlenmiştir.

Çizelge 1.11. Hava kaçak ölçümlerinde sınıflarına göre kullanılacak maksimum kanal alanları (DW/143, 2000)

Kanallardaki Basınç (Pa)	Maksimum test alanı (m <sup>2</sup> )		
	Sınıf A	Sınıf B	Sınıf C
1800	5	16	50
1600	16	50	152
1400	26	79	238
1200	35	110	331
1000	50	150	448
800	64	193	580
600	84	252	757
400	119	357	1073
200	177	533	1600

Sızdırmazlık test cihazında ölçülen değerler basınç olarak ifade edilir. DW/143 standardında müsaade edilen kaç miktarı debi olarak hesaplanır. SMACNA’da belirtilen test cihazlarında debi basınç ilişkisi aşağıdaki Eşitlik 1.14’ün birim dönüşümü yapılmış hali olan Eşitlik 1.15’e göre hesaplanır (Tosun, 2013).

$$Q_{\text{kaçak}} = 21,8 K (D_2)^2 \sqrt{\Delta P} \quad (1.14)$$

Eşitlik 3.14’de belirtilen ifadelerin birimleri  $Q_{\text{kaçak}}$  (cfm),  $D_2$  (inch),  $\Delta P$  (inchss) olan denklemin birimi SI birim sisteme göre dönüştürüldüğünde;

$$Q_{\text{kaçak}} = 0,003538576 K (D_2)^2 \sqrt{\Delta P} \quad (1.15)$$

eşitliği elde edilir. Burada,  $Q_{\text{kaçak}}$  kaçak miktarını,  $K$  diyafram katsayısı,  $D_2$  diyafram çapını,  $\Delta P$  test cihazı üzerinden okunan basınç kaybını temsil etmektedir.  $K$  katsayısının bulunması diyafram çapı ( $D_2$ ) ve boru çapı ( $D_1$ ) oranı ile ilgili olup aşağıdaki Çizelge 1.12’de belirtilmiştir.

Çizelge 1.12. Diyafram katsayısı (SMACNA, 1985)

$D_2/D_1$	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30
$A_2/A_1$	0.49	0.36	0.25	0.16	0.9
$K$	0.699	0.650	0.623	0.608	0.600
$K_p$	0.52	0.63	0.73	0.82	0.88



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Havalandırma tesisatlarının 1970'lerden itibaren gelişmesiyle birlikte hava kanalları üzerine yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. Havalandırma kanallarında basınç kayıplarının belirlenip kaçak miktarının bulunması konusunda gerçekteştirilen literatür araştırması sonucunda sınırlı sayıda çalışma olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmalar, tarihsel gelişimine uygun olarak aşağıda özetlenmiştir.

ASHRAE (1997), temel ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri incelenmiştir. SMACNA ile karşılaştırma yapılmış kanallarda kaçak sınıflandırma farklılıkları olduğu görölmüştür.

DW/143 (2000), kanal testi sınıfları ve standart hesap değerleri incelenmiştir. Hava kaçak miktarı için kullanılan formüller oluşturulmuştur. Kanal çeşidine göre hava kaçak miktarındaki farklılıklardan ortaya çıkabilecek kayıplar incelenmiştir.

Srinivasan (2004), hava kanallarında ölçüm ve işleme üniteleri incelenmiş, ölçülen basınç düşümü karşısında kaçak oranı ile ilişkisi irdelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Aydın ve Özerdem (2006), kanal sistemlerinde hava kaçak ölçüm ve analizi incelenmiştir. Bu çalışmada ölçüm cihazlarıyla sızıntı testi yapılan farklı özellikteki kanallar değerlendirilmesi yapıldı. Ölçüm sonuçlarında kanal birleşimin olduğu yerlerde ve köşe noktalarında sızıntının etkili olduğu görölmüştür. Kaçakların flanş ve kenet bölgelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çengel (2015), dikdörtgen kanallarda hidrolik çapa dönüştürülmesi formülü ASHRAE ile farklı olduğu görölmüştür. Kanal hesaplarında ASHRAE standardına göre yapıldığı tespit edilmiş ve tez çalışmasında da ASHRAE standardında belirtilen formül dikkate alınarak hesaplar yapılmıştır. Basınç kayıpları

hesabında sürtünme faktörü Colebrook denklemine göre iterasyon yöntemi ya da Moody diyagramına göre zlebileceğini belirtilmiştir. İterasyon yöntemi yakınsayarak bulunabilir bu zaman kaybına ve yanlış sonuçlara neden olur. Moody diyagramı da okuma hassasiyetine göre farklılık göstereceği tespit edilmiştir. EES programı kullanarak doğru ve hızlı üzümlere ulaşılabileceği tespit edilmiştir.

SMACNA (1985), kanal imalat ve test ile ilgili standartlar incelenmiştir. Test prosedüründe İngiliz standartlarına (DW/142, 143, 144) göre çalışma yapılmıştır. Amerikan standardı (SMACNA) kanal imalat yöntemi ile ilgili bu tez çalışmasında incelenmiştir.

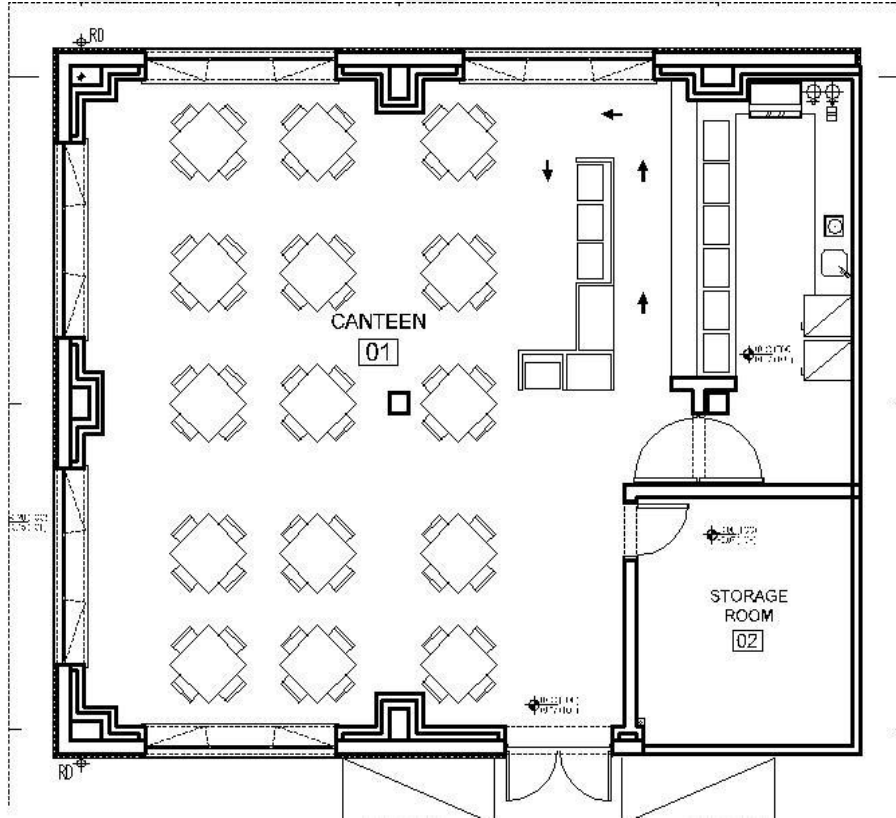
Yamankaradeniz (2015), kanallarda basınç kaybı yöntemleri incelenmiş en sık kullanılan yöntemlerle incelemeler yapılmıştır. Projelendirme yapılırken hız düşüm, eş sürtünme veya statik geri kazanım yöntemleri irdelenmiştir. Hız düşüm yöntemi seçilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Tosun (2013), test cihazında kaçak miktarını bulmada kullanılan formüllerin dönüşümleri incelenmiş, SI birim sistemine dnşrlrken farklı katsayı elde edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Örnek Uygulamanın İncelenmesi

Bu bölümde kullanım AutoCAD yazılımıyla Şekil 3.1’de verilen mimari proje ile uygulama yapılacaktır. Bu mahal Çizelge 3.1’deki ölçülerde havalandırma amaçlı olarak kullanılması planlanmıştır. Söz konusu mahallerde taze hava ihtiyacı ve egzoz sistemi ayrı cihazlarla yapılacaktır. Taze hava ihtiyacı için seçilen cihaz % 100 taze hava klima santrali iken egzoz için hücreli aspiratör seçilmiştir. Projelendirme aşamalarında kullanılan formüllere bağlı olarak DuctSizer programı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Örnek uygulama mimari plan

Söz konusu havalandırma tesisatında tasarım aşamalarında aşağıdaki hususlar gerçekleştirilecektir:

- 1) Her mahalın debi ihtiyacının tespiti yapılarak toplam debinin belirlenmesi

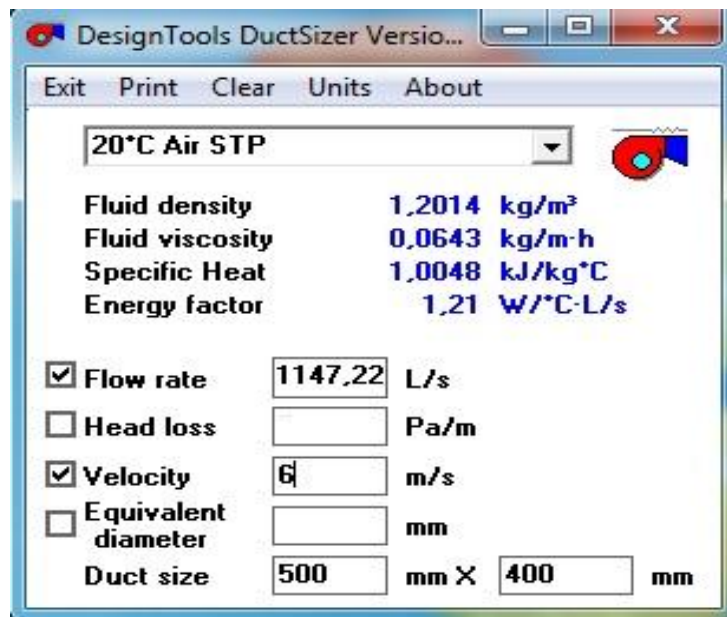
- 2) Kanal boyutlandırmanın DuctSizer programı ile belirlenmesi ve izometri şemasının çizilmesi
- 3) Havalandırma tesisatı sürtünme faktörü EES programıyla bulunup kanal basınç kayıplarının hesaplanması
- 4) Cihaz seçimlerinin yapılması

Mahallerin havalandırma ihtiyaçları aşağıdaki Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Mahallere göre havalandırma ihtiyacı

Mahal adı	Alan (m <sup>2</sup> )	Yükseklik (m)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Hava değişim sayısı (defa/h)	Havalandırma ihtiyacı (m <sup>3</sup> /h)
Kantin	105	4,5	472,5	8	3780
Depo	12,9	4,5	58,3	6	350
Toplam Debi					4130

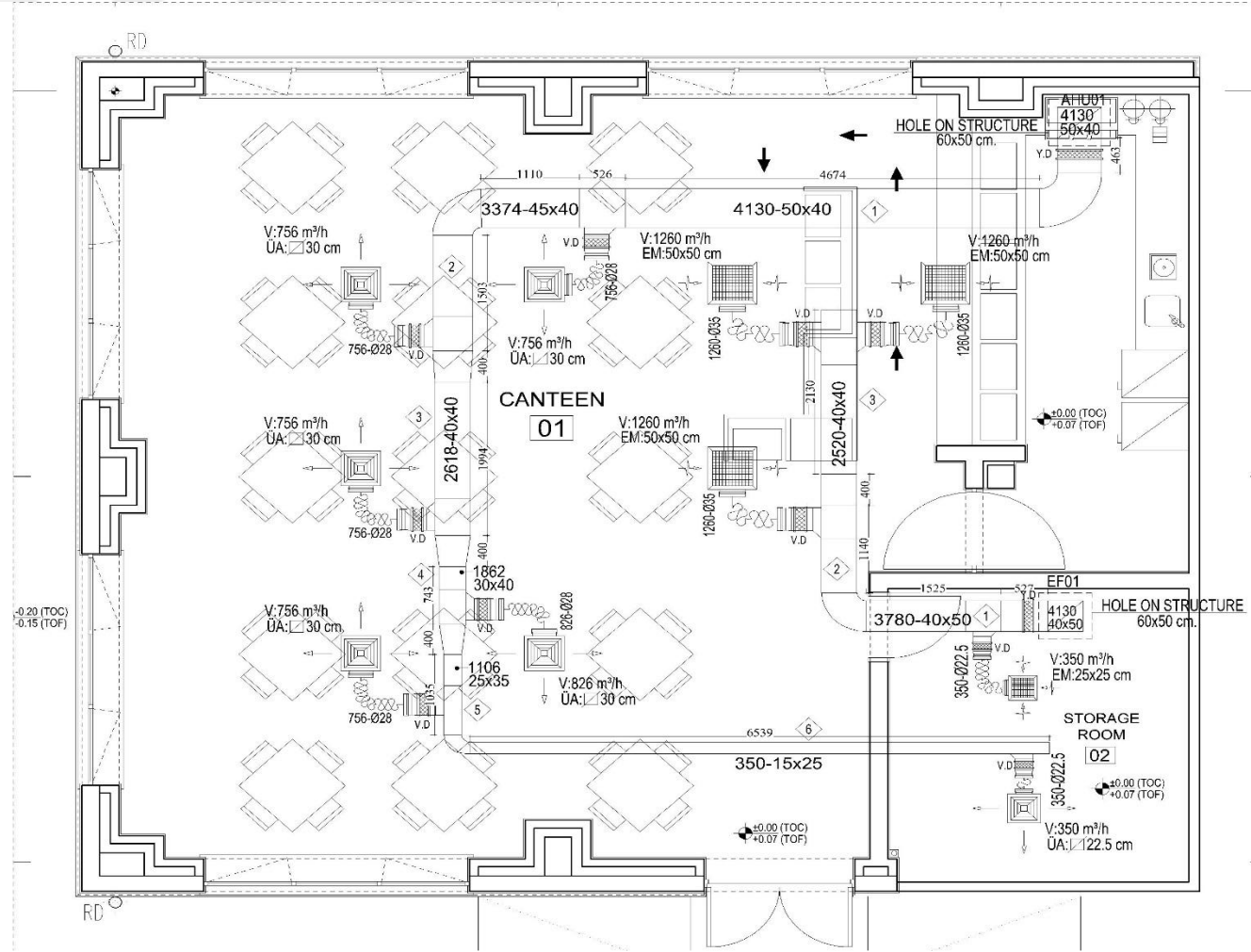
Kanal boyutlandırma hız düşüm yöntemine göre yapılmıştır. İlk hız Çizelge 1.7’ye göre uygun olan seçilir ve kanal ebatları DuctSizer programı ile belirlenmiştir. Aşağıda Şekil 3.2’de DuctSizer programının arayüzü gösterilmektedir.



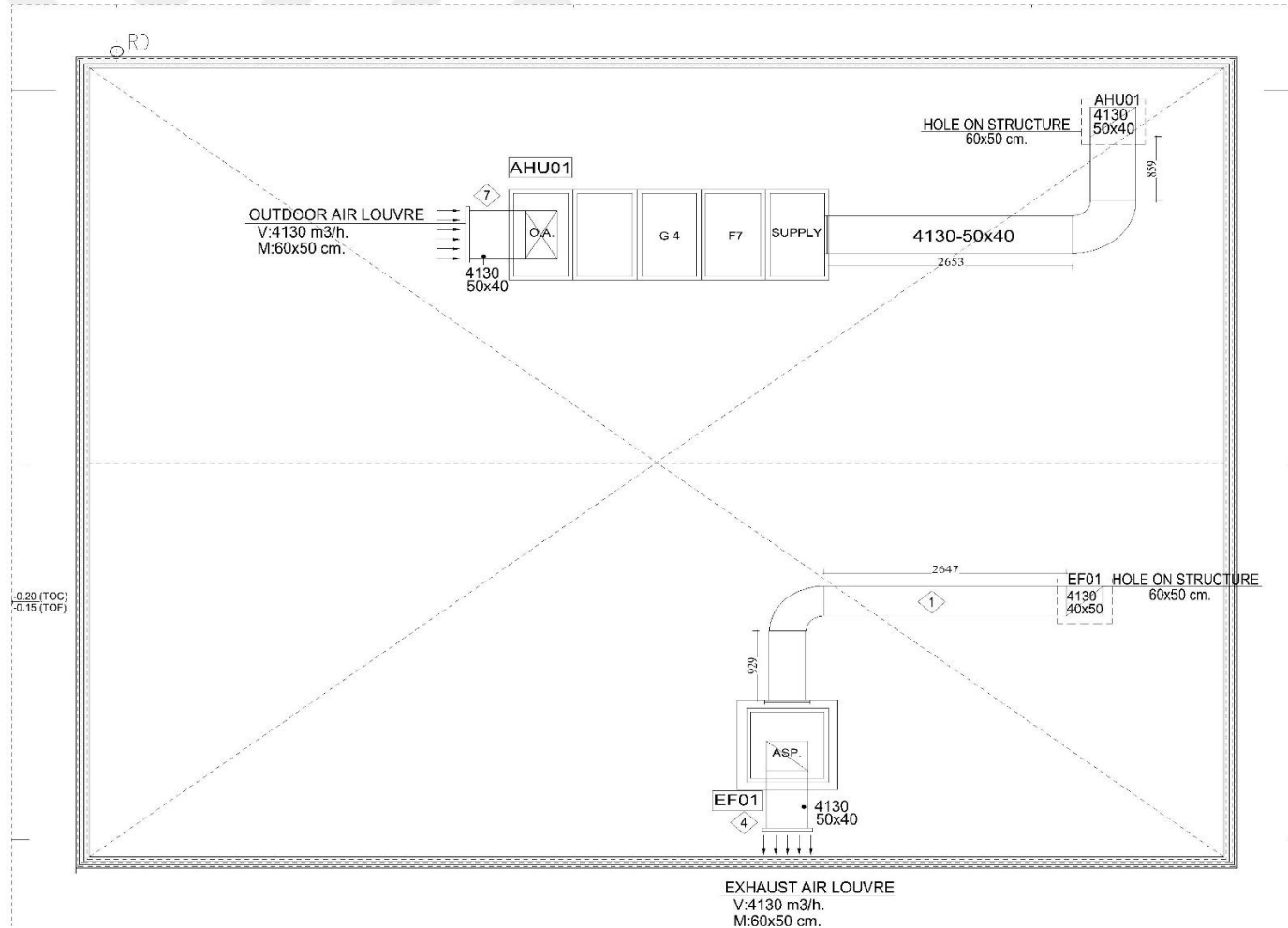
Şekil 3.2. DuctSizer arayüzü

Şekil 3.3-3.4-3.5 örnek uygulama projesinin havalandırma tesisatı çizimleri yapılmıştır. Yapılan çizimlerde kanal boyutlarının belirlenmesi DuctSizer programı ile yapılarak zamandan kazanılmış daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. EK-B' de belirtilen EES kodlarına göre Şekil 3.6 ve 3.7'de AHU-01 taze hava kanalı ile EF-01 egzoz kanalın her çap değişimdeki sürtünme faktörlerin sonuçları elde edilmiştir. Sürtünme faktörü ve hızları bulunarak Çizelge 3.2 ve 3.3'de basınç kayıpları hesaplanmıştır.

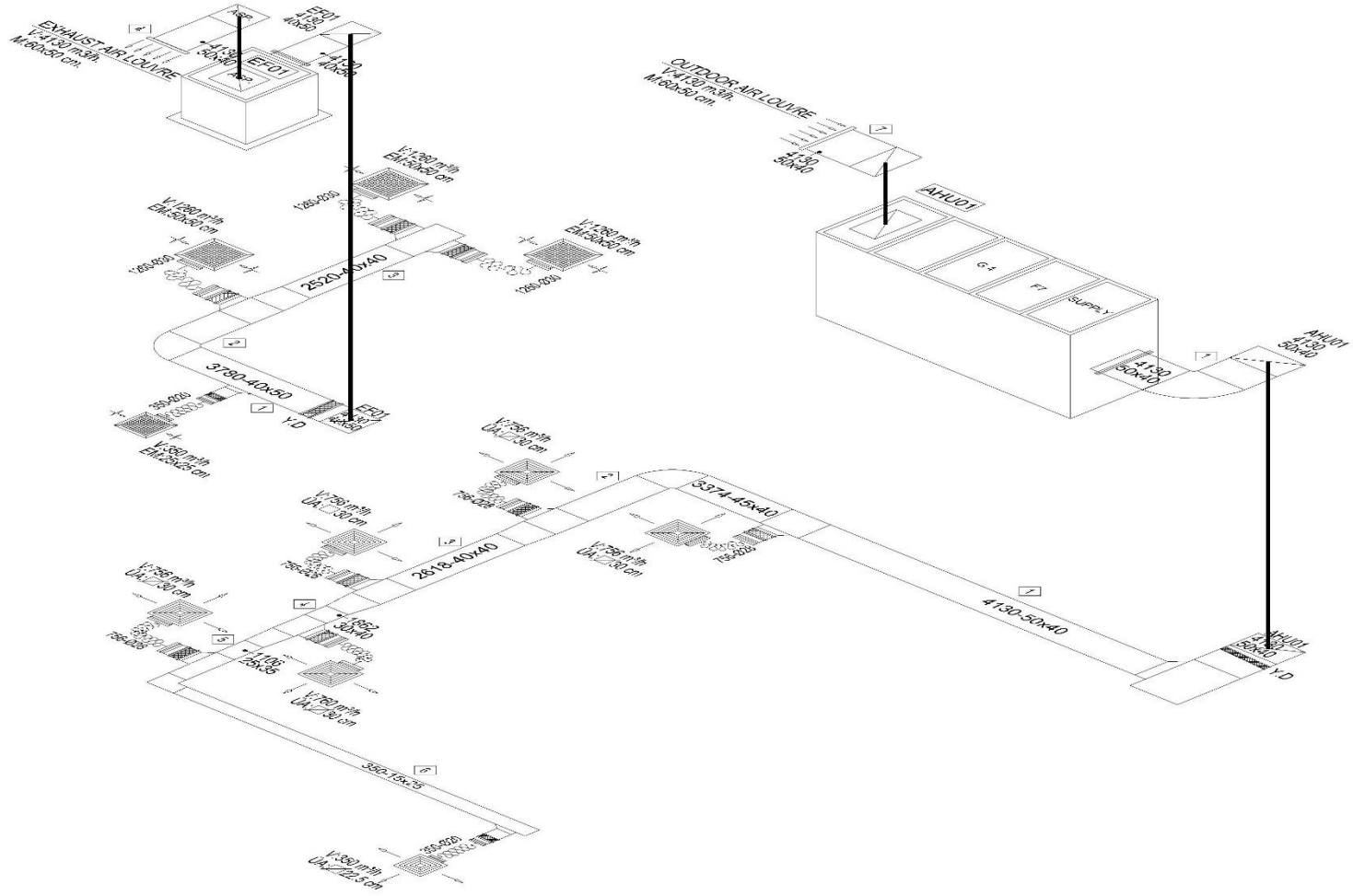




Şekil 3.3. Örnek uygulama havalandırma tesisatı kat planı

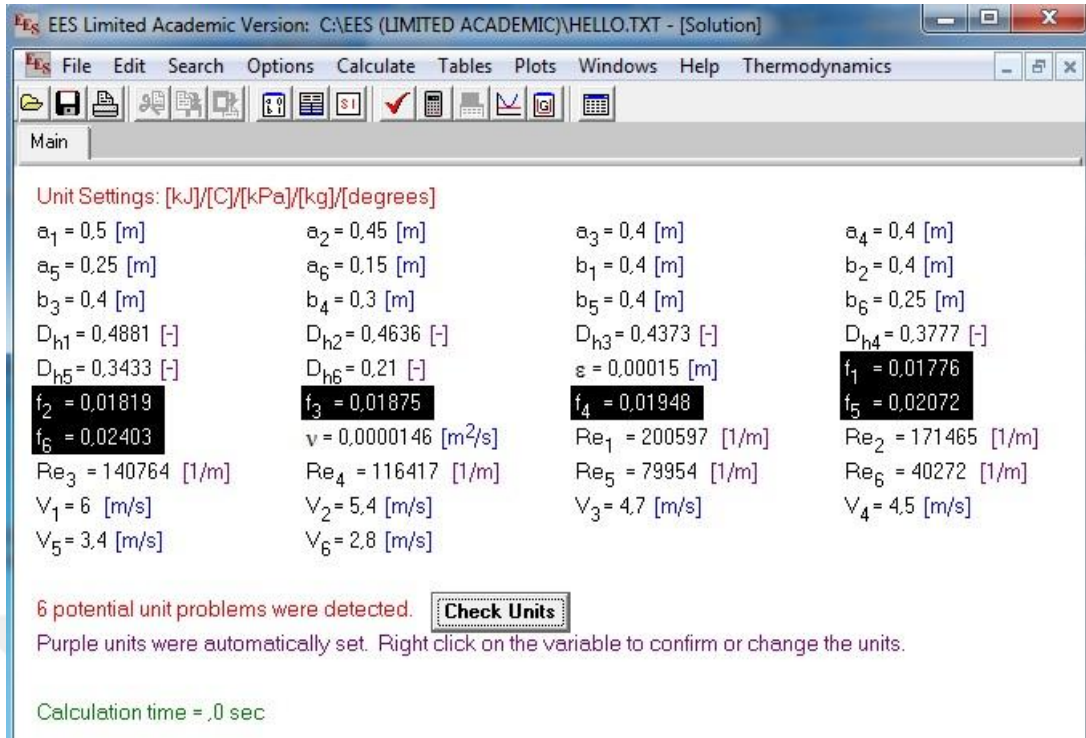


Şekil 3.4. Örnek uygulama havalandırma tesisatı çatı planı

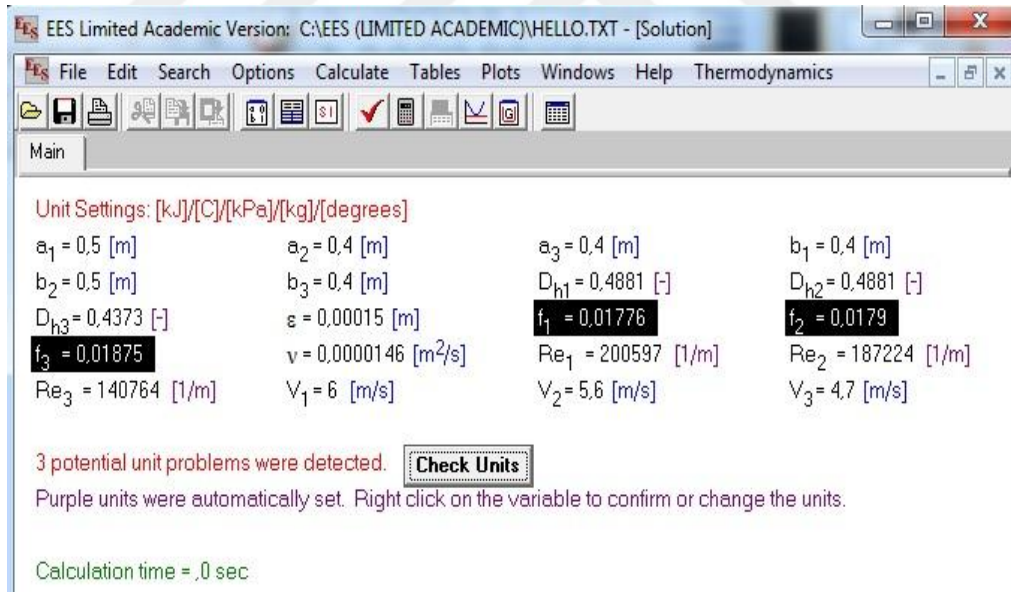


Şekil 3.5. Örnek uygulama havalandırma tesisatı izometrik şeması





Şekil 3.6. AHU-01 hattındaki kanalın sürtünme faktörleri



Şekil 3.7. EF-01 hattındaki kanalın sürtünme faktörleri

Çizelge 3.2. AHU-01 Kanal basınç kaybı

No	Madde	a (mm)	b (mm)	D <sub>h</sub> (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (L/s)	V (m/s)	f	R (Pa/m)	L (m)	ΔP <sub>st</sub> (Pa)	Ad	ξ	ΔP <sub>d</sub> (Pa)	ΔP <sub>t</sub> (Pa)
Üfleme tarafı:															
1	Kanal	500	400	488	4130	1147	6	0,0178	0,79	11,2	8,8				8,8
1a	Redüksiyon	500	400	488	4130	1147	6					1	0,35	7,6	7,6
1b	Dirsek 90°	500	400	488	4130	1147	6					4	0,35	30,2	30,2
1c	Saplama	300	250	299	756	210	3					1	0,50	2,7	2,7
1d	Y. Damperi	500	400	488	4130	1147	6					1	0,60	13,0	13,0
2	Kanal	450	400	464	3374	937	5,4	0,0182	0,69	2,6	1,8				1,8
2a	Redüksiyon	450	400	464	3374	937	5,4					1	0,35	6,1	6,1
2b	Dirsek 90°	450	400	464	3374	937	5,4					1	0,35	6,1	6,1
2c	Saplama	300	250	299	756	210	3					1	0,50	2,7	2,7
3	Kanal	400	400	437	2618	727	4,7	0,0188	0,57	2,0	1,1				1,1
3a	Redüksiyon	400	400	437	2618	727	4,7					1	0,35	4,6	4,6
3b	Saplama	300	250	299	756	210	3					1	0,50	2,7	2,7
4	Kanal	300	400	378	1862	517	4,5	0,0195	0,63	0,8	0,5				0,5
4a	Redüksiyon	300	400	378	1862	517	4,5					1	0,35	4,3	4,3
4b	Saplama	300	250	299	756	210	3					1	0,50	2,7	2,7
5	Kanal	250	350	322	1106	307	3,4	0,0207	0,45	1,1	0,5				0,5
5a	Redüksiyon	250	350	322	1106	307	3,4					1	0,35	2,4	2,4
5b	Dirsek 90°	250	350	322	1106	307	3,4					1	0,35	2,4	2,4
5c	Saplama	300	250	299	756	210	3					1	0,50	2,7	2,7



Çizelge 3.3. EF-01 Kanal basınç kaybı

No	Madde	a (mm)	b (mm)	D <sub>h</sub> (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (L/s)	V (m/s)	<i>f</i>	R (Pa/m)	L (m)	ΔP <sub>st</sub> (Pa)	Ad	ξ	ΔP <sub>d</sub> (Pa)	ΔP <sub>t</sub> (Pa)
Emiş tarafı:															
1	Kanal	500	400	488	4130	1147	6	0,0178	0,79	6,0	4,7				4,7
1a	Dirsek 90°	500	400	488	4130	1147	6					3	0,35	22,7	22,7
1b	Redüksiyon	500	400	488	4130	1147	6					1	0,35	7,6	7,6
1c	Saplama	200	200	219	350	97	2,6					1	0,50	2,0	2,0
1d	Y. Damperi	500	400	488	4130	1147	6					1	0,60	13,0	13,0
2	Kanal	500	400	488	3780	1050	5,6	0,0178	0,79	2,7	1,9				1,9
2a	Dirsek 90°	500	400	488	3780	1050	5,6					1	0,35	6,6	6,6
2b	Saplama	350	300	354	1260	350	3,6					1	0,50	3,9	3,9
3	Kanal	400	400	437	2520	700	4,7	0,0188	0,57	2,2	1,3				1,3
3a	Redüksiyon	400	400	437	2520	700	4,7					1	0,35	4,6	4,6
3b	Saplama			350	1260	350	3,6					1	0,50	3,9	3,9
3c	V. Damperi			350	1260	350	3,6					1	0,60	4,7	4,7
3d	Flex			350	1260	350	3,6					1	0,80	6,2	6,2
3e	Menfez														30,0

Çizelge 3.3. EF-01 Kanal basınç kaybı (Devamı)

No	Madde	a (mm)	b (mm)	D <sub>h</sub> (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (L/s)	V (m/s)	f	R (Pa/m)	L (m)	ΔP <sub>st</sub> (Pa)	Ad	ξ	ΔP <sub>d</sub> (Pa)	ΔP <sub>t</sub> (Pa)
Egzoz hava atış tarafı:															
4	Kanal	500	400	488	4130	1147	6	0,0178	0,79	1,1	0,8				0,8
4a	Redüksiyon	500	400	488	4130	1147	6					1	0,35	7,6	7,6
4b	Panjur														30,0
															Cihaz dışı basınç kayıpları (Pa)
															151,5
															Cihaz içi basınç kayıpları (Pa)
															Aspiratör hücresi
															30,0
															Toplam basınç kayıpları (Pa)
															181,5
															Emniyet % 10
															18,2
															<b>Fan toplam basınç kaybı (Pa)</b>
															<b>199,7</b>

Hava debileri, basınç kaybı ve denklem 1.13'deki fan gücü hesaplarına göre Çizelge 3.4'deki özelliklere göre cihaz seçimi yapılmıştır.

Çizelge 3.4. Cihazların seçim değerleri

Cihaz ismi	Tipi	Q (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta P_t$ (Pa)	$\eta$	P (kW)
AHU-01	% 100 Taze hava fanı	1,147	477,3	0,5	1,1
EF-01	Hücreli aspiratör	1,147	199,7	0,4	0,6

Bu çalışmada havalandırma kanallarında sızdırmazlık testleri yapıp kaçak miktarlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Kaçak miktarları sisteme etkisi, birim miktardaki etkisi ve yapısal farklılıkları olan parçalar etkisi incelenmiş ve testler yapılmıştır.

### 3.2. Deney Düzenegi

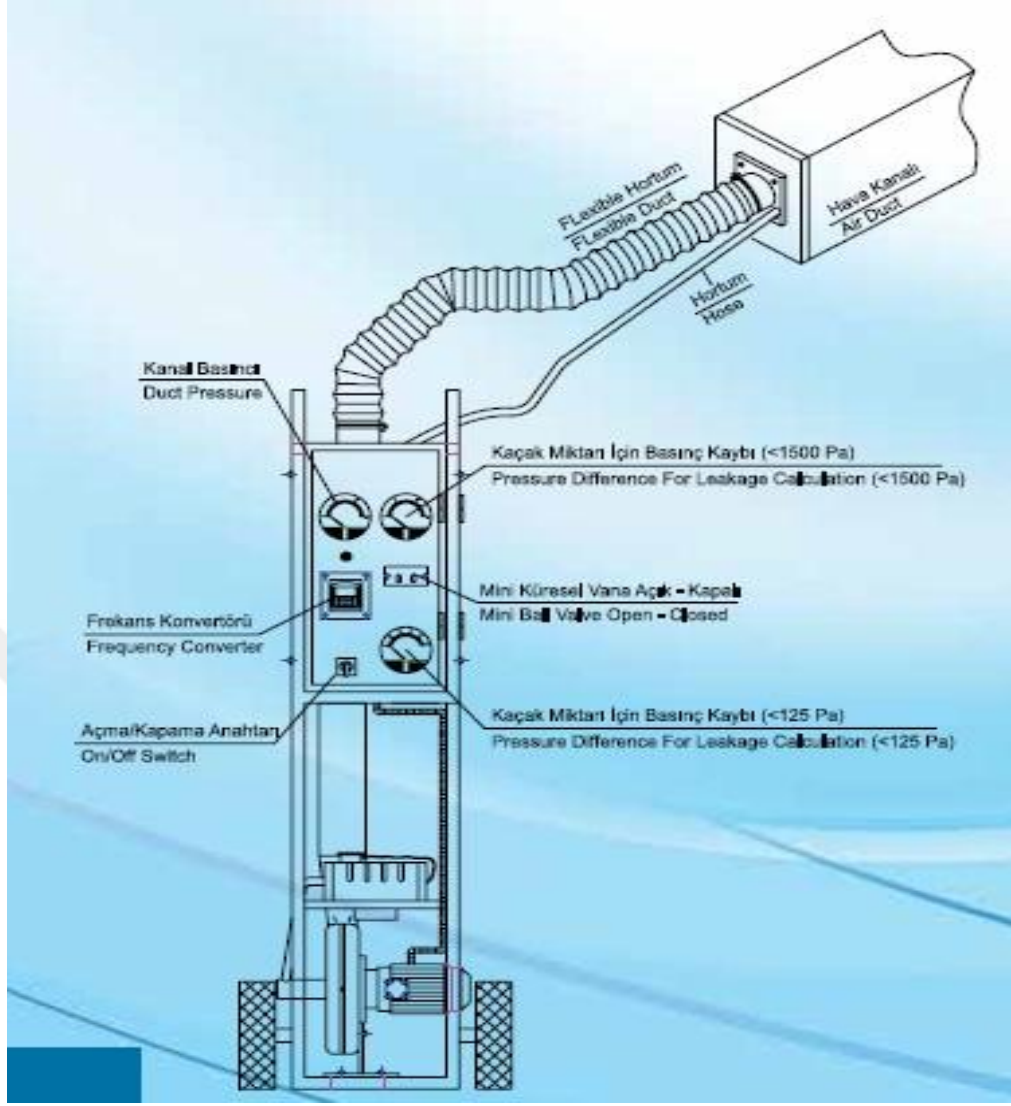
Deney düzenegi İstanbul Tuzla İŞGYO şantiyesinde kurulmuştur. Cihaz bağlantı parçaları kanal bağlantı noktasında ve diğer detayların şematik görünümü Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'de verilmiştir. Deneylerde tetisan firmasının büyük tip sızdırmazlık test cihazı kullanılmıştır. Özellikleri ve test kaçak miktarının belirlenmesinde kullanılacak hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir.

Boru çapı ( $D_1$ ): 161,5 mm

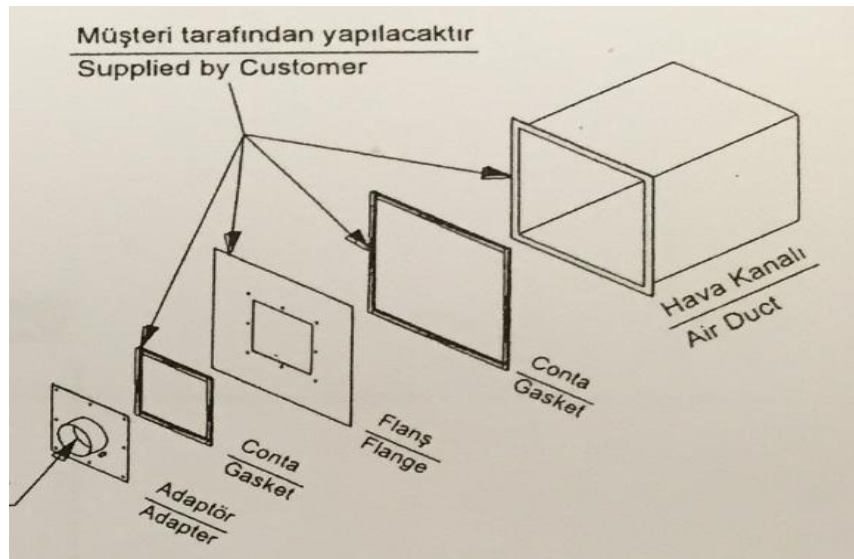
Diyafraam çapı ( $D_2$ ): 64,6 mm

$D_2/D_1$  çap oranı bulunur. Çizelge 1.12'den yapılan orana göre katsayı değeri (K) 0,608 olarak okunur. Eşitlik 1.15'deki kaçak miktarı Eşitlik 3.1'deki gibi bulunur.

$$Q_{\text{kaçak}} = 8,978 \sqrt{\Delta P} \quad (3.1)$$



Şekil 3.8. Test cihazının detayı



Şekil 3.9. Test cihazı kanal bağlantı detayı

### 3.3. Deney Yöntemi

Deneyin yapılmasında kullanılacak yöntemler aşağıdaki Çizelge 3.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney yapılmasında kullanılacak yöntemler

No	Test Yöntemleri	Kanal Tipi	Kanalların Fiziksel Özellikleri	Yapılan Karşılaştırmalar
			Kanal Boyutları (mm)	
1	AHU-01 EF-01	Contalı, Silikonlu	Hatları bütünüyle	Bütünüyle sisteme etkisi
				Hatların birbirleriyle
2	Farklı Ebatlarda (10 m)	Contalı, Silikonlu	500 x 400	400, 1000, 1200, 1500 Pa ve Kaçak Sınıflarıyla
			450 x 400	
			400 x 400	
			300 x 400	
			250 x 350	
			150 x 250	
-	Tüm ebatların birbirleriyle			
3	Farklı Yapıdaki (10 m)	Contasız, Silikonsuz	500 x 400	400, 1000, 1200, 1500 Pa
		Contalı, Silikonlu		
		Akustikli, Contalı, Silikonlu		

#### 3.3.1. AHU-01 ve EF-01 hatların test edilmesi

Hava kanallarında kaçak testinin yapılması esnasında takip edilmesi gereken süreç;

- Sızdırmazlık sınıfının belirlenmesi
- Test yapılacak zonun belirlenmesi
- Test yapılacak hattın yüzey alanının belirlenmesi
- Müsaade edilen toplam kaçak miktarının hesaplanması



Belirtilen hususlar dikkate alınarak örnek uygulamadaki AHU-01 ve EF-01 kanal hatlarındaki kritik devre olarak belirlenen zonların kanal ağızları Şekil 3.9'deki gibi kapatılarak test sürecine hazırlanır. Hatların test basıncı ve sınıfı Çizelge 3.6'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.6. Cihazların test basıncı ve sınıflarının belirlenmesi

Cihaz	Toplam basınç kaybı $\Delta P_t$ (Pa)	Test basıncı $P_t$ (Pa)	Kanal basınç sınıfı
AHU-01	477,3	500	Düşük basınç- Sınıf A
EF-01	199,7	500	Düşük basınç- Sınıf A

AHU-01 ve EF-01 test yapılacak zonlar izometrik proje üzerinde boyanarak Şekil 3.10'deki gibi gösterilmiştir. Test edilecek kanal yüzeyinin minimum 10 m<sup>2</sup> olması istenir. Dairesel kanallarda toplam kanal yüzeyinin % 10'u, dikdörtgen kesitli kanallarda % 20'sinin test edilmesi istenir. İşverenin isteğine ve özel mahallerin durumuna bağlı olarak yüzdelik oranlar değişebilir. AHU-01 ve EF-01 cihazları sistemi bütünüyle incelemek için branşmanlar hariç üfleme ve emiş taraflarının testleri yapılmıştır. Test edilen kanalların kaçak miktarlarının belirlenmesi için yüzey alanları Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'de proje üzerinden ölçülendirilerek hesaplanmıştır.



Çizelge 3.7. AHU-01 Galvaniz sac kanal metrajı

No	a (cm)	b (cm)	c (cm)	d (cm)	L (cm)	Ad.	Alan (m <sup>2</sup> ) k=0.60 mm	Alan (m <sup>2</sup> ) k=0.80 mm
KNL-01	50	40			265		0,00	4,77
KNL-02	50	40			85		0,00	1,53
KNL-03	50	40			200		0,00	3,60
KNL-04	50	40			15		0,00	0,27
KNL-05	50	40			18		0,00	0,32
KNL-06	50	40			468		0,00	8,42
KNL-07	45	40			111		0,00	1,89
KNL-08	45	40			150		0,00	2,55
KNL-09	40	40			200		0,00	3,20
KNL-10	30	40			74		0,00	1,04
KNL-11	25	35			103		0,00	1,24
KNL-12	15	25			654		5,23	0,00
DİR-01	50	40				4	0,00	6,11
DİR-02	45	40				1	0,00	1,36
DİR-03	15	25				1	0,26	0,00
RDS-01	50	40	45	40	53	1	0,00	1,11
RDS-02	45	40	40	40	40	1	0,00	0,79
RDS-03	40	40	30	40	40	1	0,00	0,73
RDS-04	30	40	25	35	40	1	0,00	0,63
RDS-05	25	35	15	25	20	1	0,25	0,00
KPK-01	15	25				1	0,07	0,00
							5,81	39,56
<b>TOPLAM ALAN</b>							<b>45,37 m<sup>2</sup></b>	

Çizelge 3.8. EF-01 Galvaniz sac kanal metrajı

No	a (cm)	b (cm)	c (cm)	d (cm)	L (cm)	Ad.	Alan (m <sup>2</sup> ) k=0.60 mm	Alan (m <sup>2</sup> ) k=0.80 mm
KNL-01	50	40			93		0,00	1,67
KNL-02	50	40			265		0,00	4,77
KNL-03	50	40			200		0,00	3,60
KNL-04	40	50			150		0,00	2,70
KNL-05	40	50			114		0,00	2,05
KNL-06	40	40			213		0,00	3,41
DİR-01	50	40				4	0,00	6,11
RDS-01	50	40	40	40	40	1	0,00	0,82
KPK-01	40	40				1	0,00	0,21
							0,00	25,34
<b>TOPLAM ALAN</b>							<b>25,34 m<sup>2</sup></b>	

Testi yapılacak kanallar örnek uygulama kullanılan kanal ebatları olacaktır. Kanalların imalatı SMACNA standardına uygun olarak imalatı yapılmış ve birleşim noktalarında conta ve silikon kullanılmıştır. Test yapılacak dikdörtgen kesitli kanallarda pittsburgh kenet uygulanmıştır. Kanal tam boyları 1500 mm'lik halindedir. Cihazdan verilerin okunabilmesi için 15 dakika beklenir. Sistemin bu değerlerde rejime gelmesi, test cihazının üzerindeki manometrelerden kontrol edilir ve ölçümler yapılır.

### 3.3.2. Farklı ebattaki kanalların test edilmesi

Testi yapılan kanallar birleşim yerlerinde conta ve silikon kullanılmıştır. Fabrikasyon imalat olup tam boy kanallar 1500 mm olarak imalatı yapılmıştır. Pittsburgh kenet ile birleşimi yapılmıştır. Kanallar kendinden silikon flanş kullanılmıştır. Kanalın her iki tarafı körtapa ile kapatılmış ve sızdırmazlığın sağlanması için mastik uygulanmıştır. Kanal test düzeneğine montajı bir bağlantı parçası ve flanş ile yapılmıştır. Testi yapılacak altı farklı kanalın fiziksel özellikleri Çizelge 3.9'de belirtilmiştir. Burada amaç, 400 Pa, 1000 Pa, 1200 Pa,

1500 Pa pozitif basınçlarda testler yapılarak kaçak miktarlarının bulunmasıdır. Testi yapılacak kanalların düzeneği Şekil 3.11'deki gibidir.

Çizelge 3.9. Test yapılacak kanalların fiziksel özellikleri

Boyutlar (mm)	Sac kalınlıkları (mm)	Kanal boyu (m)	Yüzey alanları (m <sup>2</sup> )
500 x 400	0,80	10	18,00
450 x 400	0,80	10	17,00
400 x 400	0,80	10	16,00
300 x 400	0,80	10	14,00
250 x 350	0,80	10	12,00
150 x 250	0,60	10	8,00



Şekil 3.11. Test düzeneği

### 3.3.3. Farklı yapıdaki kanalların test edilmesi

Fabrikasyon imalat olup tam boy kanallar 1500 mm olarak imalatı yapılmıştır. Pittsburgh kenet ile birleşimi yapılmıştır. Kanallar contalı, silikonlu olarak (Şekil 3.12.a) kullanılmıştır. Kanal test düzeneğine montajı bir bağlantı parçası

ve flanş ile yapılmıştır. Kanalin her iki tarafı körtapa ile kapatılmış ve sızdırmazlığın sağlanması için silikon uygulanmıştır. Test edilen kanalların uzunlukları 10 metre olarak alınmıştır. Kanal ebadı olarak (500 x 400 mm) tek ebat seçilmiştir. Akustik izole kalınlığı 50 mm (Şekil 3.12.b) olan contalı, sliikonlu kanal uygulanmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.12. Kanal tipleri

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. AHU-01 ve EF-01 Hatlarının Deneysel Sonuçları

Kanal metrajları izelge 3.7 ve izelge 3.8'de bulunan AHU-01 ve EF-01 hatlarının standartlara göre kaçak miktarları hesaplanmıştır.

#### AHU-01 için:

Test sınıfı: A

Test basıncı: 500 Pa

Test edilen toplam kanal yüzey alanı: 45,37 m<sup>2</sup>

Test cihazı üzerinden okunan kaçak değeri: 125 Pa

Kaçak faktörü izelge 1.10'de belirtildiği Şekilde hesaplanır. Müsaade edilen maksimum kaçak miktarı kaçak faktörü ile test edilen kanalın yüzey alanından  $Q_{max}$  250,44 m<sup>3</sup>/h olarak bulunur.

Testi yapılan kanalın kaçak miktarı EŞitlik 3.1'e göre  $Q_{kaçak}$ , 100,38 m<sup>3</sup>/h olarak bulunur.  $Q_{kaçak} < Q_{max}$  olduğundan DW/143 standardına uygundur.

#### EF-01 için:

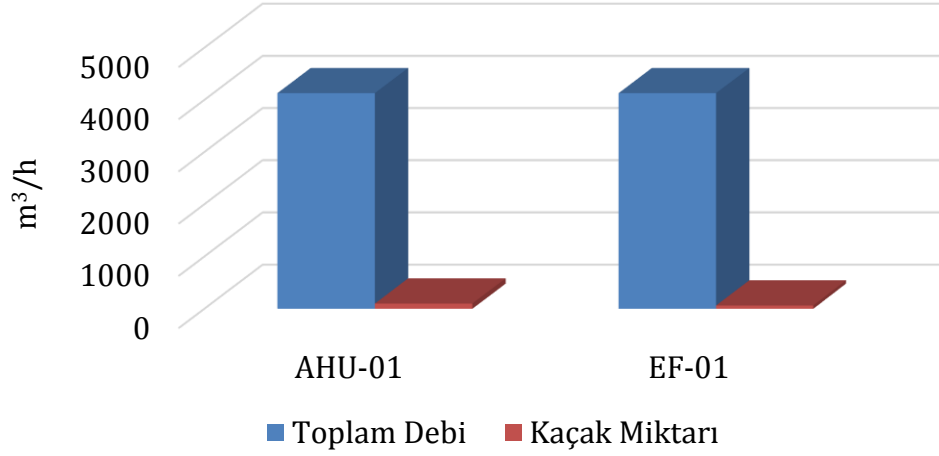
Test sınıfı: A

Test basıncı: 500 Pa

Test edilen toplam kanal yüzey alanı: 25,34 m<sup>2</sup>

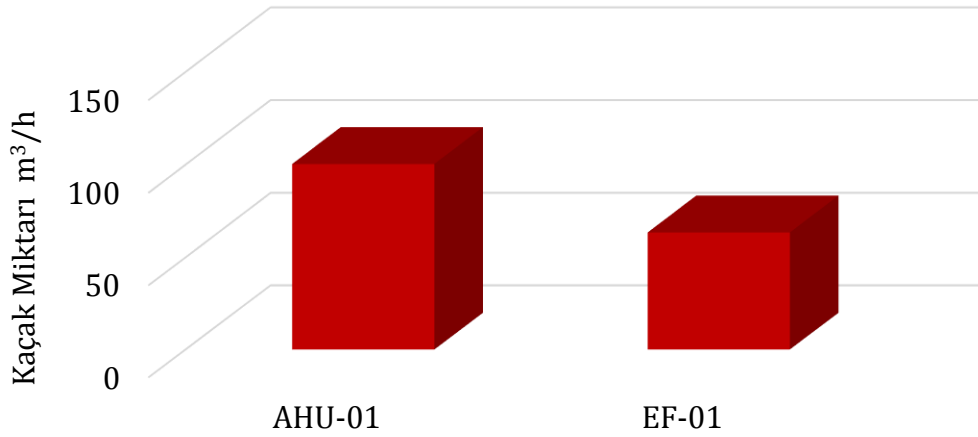
Test cihazı üzerinden okunan kaçak değeri: 50 Pa

Kaçak faktörü izelge 1.10'de belirtildiği Şekilde hesaplanır. Müsaade edilen maksimum kaçak miktarı kaçak faktörü ile test edilen kanalın yüzey alanından  $Q_{max}$  139,88 m<sup>3</sup>/h olarak bulunur. Testi yapılan kanalın kaçak miktarı EŞitlik 3.1'e göre  $Q_{kaçak}$  63,48 m<sup>3</sup>/h olarak bulunur.  $Q_{kaçak} < Q_{max}$  olduğundan DW/143 standardına uygundur.



Şekil 4.1. Kaçak miktarının sistemler üzerindeki etkisi

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi yapılan kanal testleri sonucunda belirlenen kaçak oranları toplam debiye % 2'den daha az olduğu görülmüştür. Bölüm 1'de bahsedildiği gibi düşük sınıflar için yaklaşık % 6 oranının altında olduğu deneysel çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Şekil 4.2'de AHU-01 ile EF-01 hatlarının kaçak miktarları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.2. Cihazların kaçak miktarlarının karşılaştırması

Kanallarda hava kaçaklarının kenet bölgelerinde ve birleşim noktalarında gerçekleşmektedir. Kanal tam boyları 1500 mm olarak birleşim yerleri belirlenmiştir. Bölgelerdeki kenet uzunlukları ve birleşim noktalarındaki flanş



uzunlukları toplamının kaçak miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 4.1’de hatların uzunlukları belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Kanal birleşim yerlerinin kaçak miktarı üzerindeki etkisi

Cihaz	Kenet Uzunluk (m)	Flanş Uzunluk (m)	Toplam Uzunluk (m)	Kaçak Miktarı (m <sup>3</sup> /h)	Birim kaçak miktarı (m <sup>3</sup> /h/m)
AHU-01	24,1	45,3	69,4	100,38	1,45
EF-01	12,9	23,2	36,1	63,48	1,76

Çizelge 4.1’e göre birleşim yerlerine göre birim kaçak miktarı AHU-01 hattında daha az olduğu görülmüştür.

Hava kaçaklarından dolayı enerji kayıpları ortaya çıkmaktadır. Sistemde kaçakların etkisini görmek için yıllık ortalama enerji kayıpları hesaplanmıştır. Enerji kayıpları hesaplanırken AHU-01 ve EF-01 fan gücü ve debi ile orantılı olarak Eşitlik 1.13’e göre hesaplar yapılır. AHU-01 ve EF-01 debileri 1,147 m<sup>3</sup>/s, cihazların kaçak miktarları AHU-01 için 0,028 m<sup>3</sup>/s ve EF-01 için 0,018 m<sup>3</sup>/s olan deney sonuçlarına göre Çizelge 4.2’de yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de bu örnek uygulama kanallarındaki kaçak miktarının yaklaşık % 2’lik maliyet etkisi olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Cihazın ve kanal kaçak miktarının yıllık maliyetleri

Cihaz	Elektrik Fiyatı (TL/kWh)	Yıllık Çalışma (h)	Yıllık Kullanılan Enerji (kWh)	Yıllık Kullanılan Enerji Maliyeti (TL)	Yıllık Kayıp Enerji (kWh)	Yıllık Kayıp Enerji Maliyeti (TL)
AHU-01	0,44	3000	3300	1452	80,19	35,28
EF-01	0,44	3000	1800	792	26,96	11,86
Toplam				2244		47,14

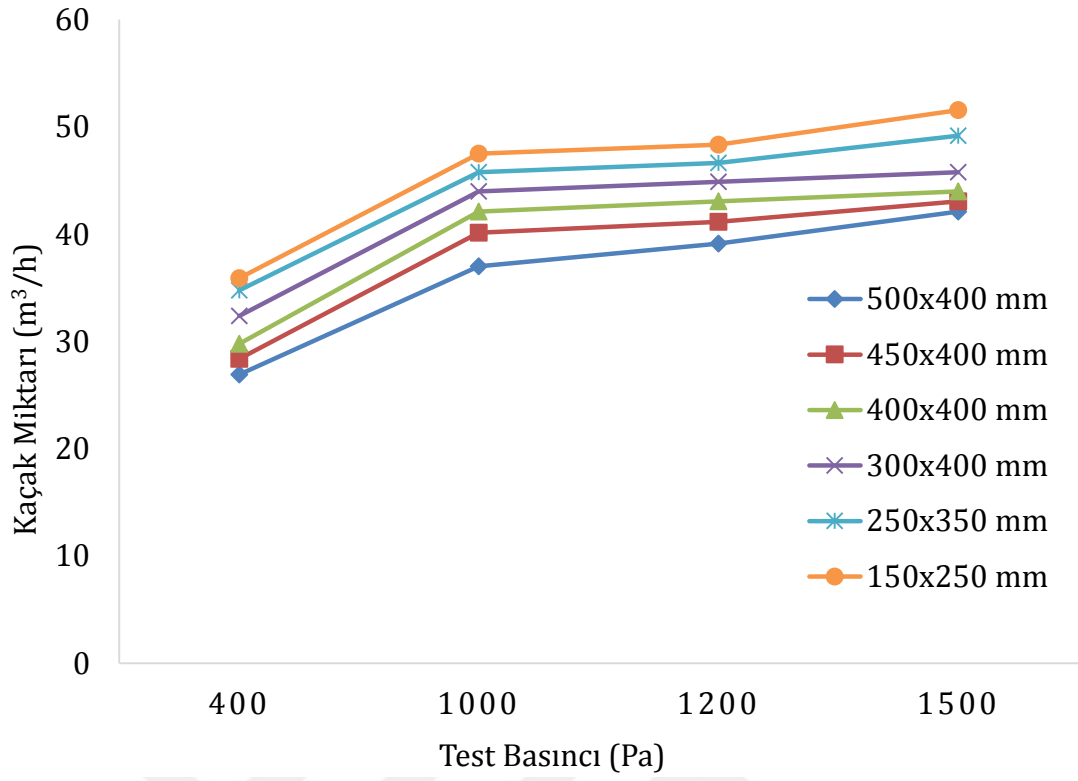
#### 4.2. Farklı Ebattaki Kanalların Deneysel Sonuçları

Standartlarda belirtilen basınçlarda test edilmiş birim yüzey alandaki kaçak miktarlarının ölçümleri Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı basınçlarda yapılan kanal testlerinin kaçak miktarları

Kanal boyutları (mm)	400 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)	1000 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)	1200 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)	1500 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)
500 x 400	26,93	37,02	39,13	42,11
450 x 400	28,39	40,15	41,14	43,06
400 x 400	29,78	42,11	43,06	43,98
300 x 400	32,37	43,98	44,89	45,78
250 x 350	34,77	45,78	46,65	49,17
150 x 250	35,91	47,51	48,35	51,57

Farklı ebatlardaki kanalların kaçak miktarları Şekil 4.3’de karşılaştırılması yapılmıştır.



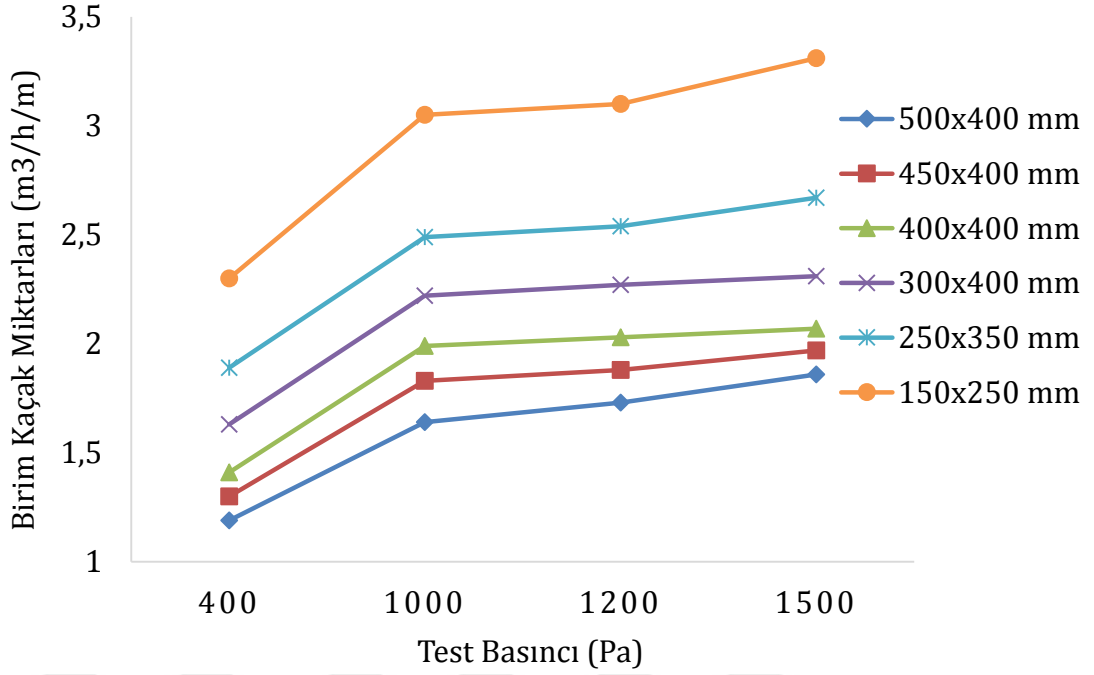
Şekil 4.3. Farklı ebatlardaki hava kanalları için kaçak miktarları

Şekil 4.3'de aynı ebattaki kanallarda test basıncı arttıkça kaçak miktarı artmaktadır. Kanal ebadı küçüldüğünde ve test basıncı yükseldiğinde kaçak miktarının arttığı görülmüştür. Kanalda sızıntıların olduğu noktalar ek ve birleşim yerleri olduğundan bu noktaların uzunlukları bulunarak birim metredeki kaçak miktarı Çizelge 4.4'de hesaplanır.

Çizelge 4.4. Farklı kanal ebatlarında birleşim yerlerinin kaçak miktarı üzerindeki etkisi

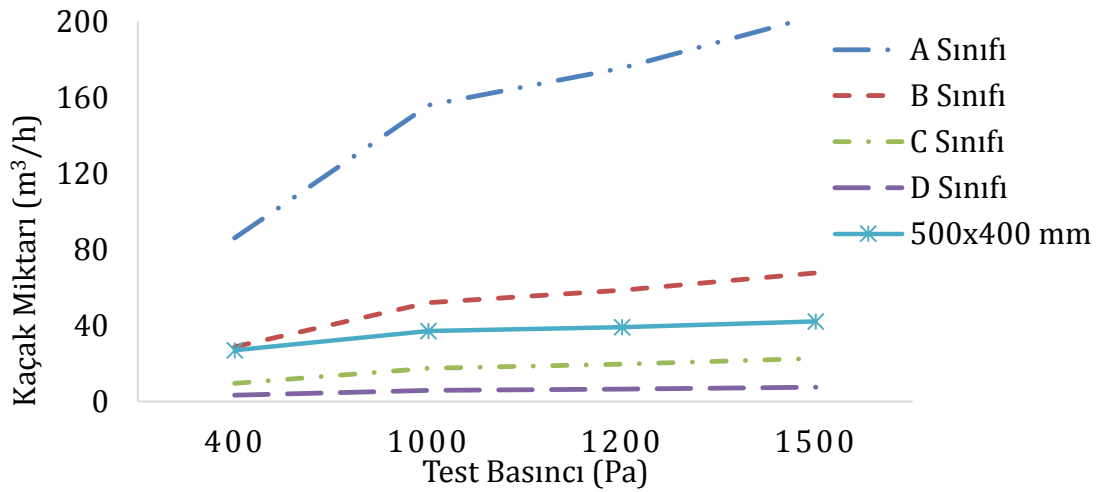
Kanal boyutu (mm)	Test Basıncı (Pa)	Kenet Uzunluğu (m)	Flaş Uzunluğu (m)	Toplam Uzunluk (m)	Kaçak Miktarı (m <sup>3</sup> /h)	Birim kaçak miktarı (m <sup>3</sup> /h/m)
500 x 400	400	10	12,6	22,6	26,93	1,19
	1000				37,02	1,64
	1200				39,13	1,73
	1500				42,11	1,86
450 x 400	400	10	11,9	21,9	28,39	1,30
	1000				40,15	1,83
	1200				41,14	1,88
	1500				43,06	1,97
400 x 400	400	10	11,2	21,2	29,78	1,41
	1000				42,11	1,99
	1200				43,06	2,03
	1500				43,98	2,07
300 x 400	400	10	9,8	19,8	32,37	1,63
	1000				43,98	2,22
	1200				44,89	2,27
	1500				45,78	2,31
250 x 350	400	10	8,4	18,4	34,77	1,89
	1000				45,78	2,49
	1200				46,65	2,54
	1500				49,17	2,67
150 x 250	400	10	5,6	15,6	35,91	2,30
	1000				47,51	3,05
	1200				48,35	3,10
	1500				51,57	3,31

Kenet ve flaş uzunluklarına bağlı olarak birim kaçak miktarı Şekil 4.4'de karşılaştırılması yapılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi test basıncının artmasıyla kaçak miktarının arttığı, yine aynı şekilde kanal ölçüleri küçüldükçe kaçak miktarlarının da arttığı görülmüştür. Benzer sonuçlar Aydın ve Özerdem'in (2006) çalışmasında da verilmiştir.



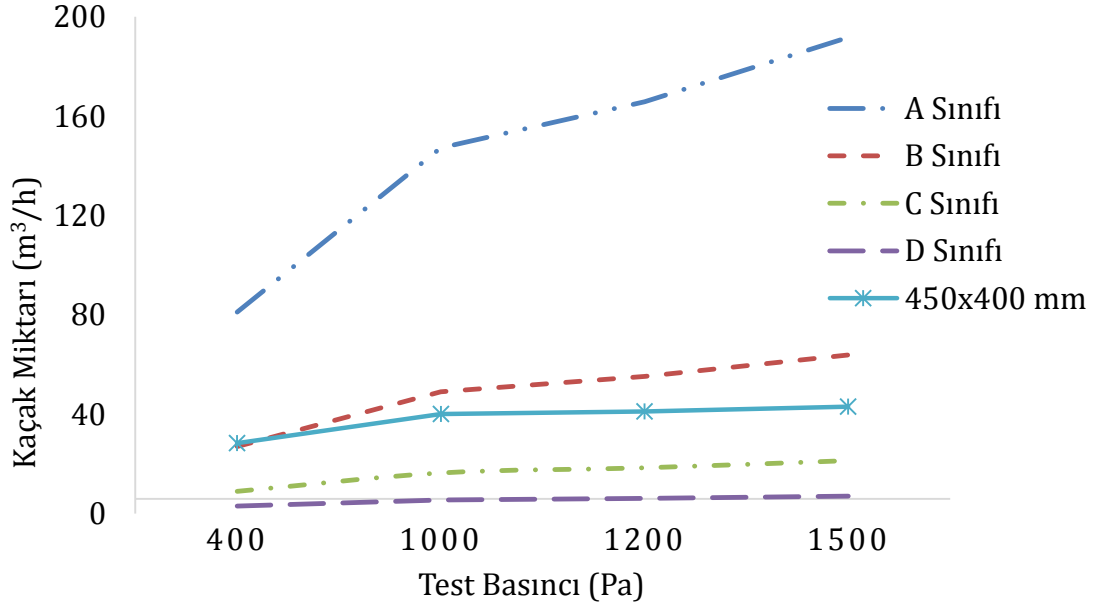
Şekil 4.4. Farklı kanal birleşim yeri uzunlukların birim kaçak miktarı ile karşılaştırması

Basınç sınıflarına bağlı olarak kaçak miktarları bulunup ve ebadı belli kanalın 400 Pa, 1000 Pa, 1200 Pa, 1500 Pa basınçlarda test sonucunda çıkan kaçak miktarları bulunarak, hangi sınıf aralığında olduğu Şekil 4.5-10'de gösterilmiştir.



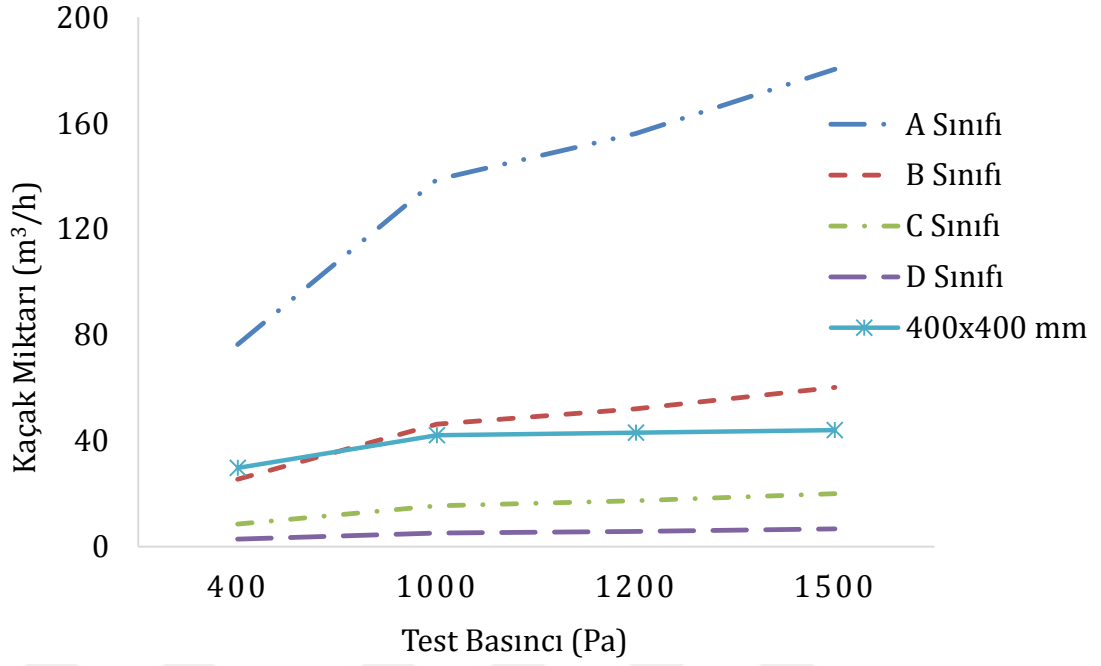
Şekil 4.5. Hava kanalı (500 x 400 mm) için kaçak miktarları

Şekil 4.5’de hava kanalı (500 x 400 mm) basınç sınıfına göre karşılaştırıldığında A ve B sınıflarını sağladığı C ve D sınıfları sağlamadığı görülmüştür.



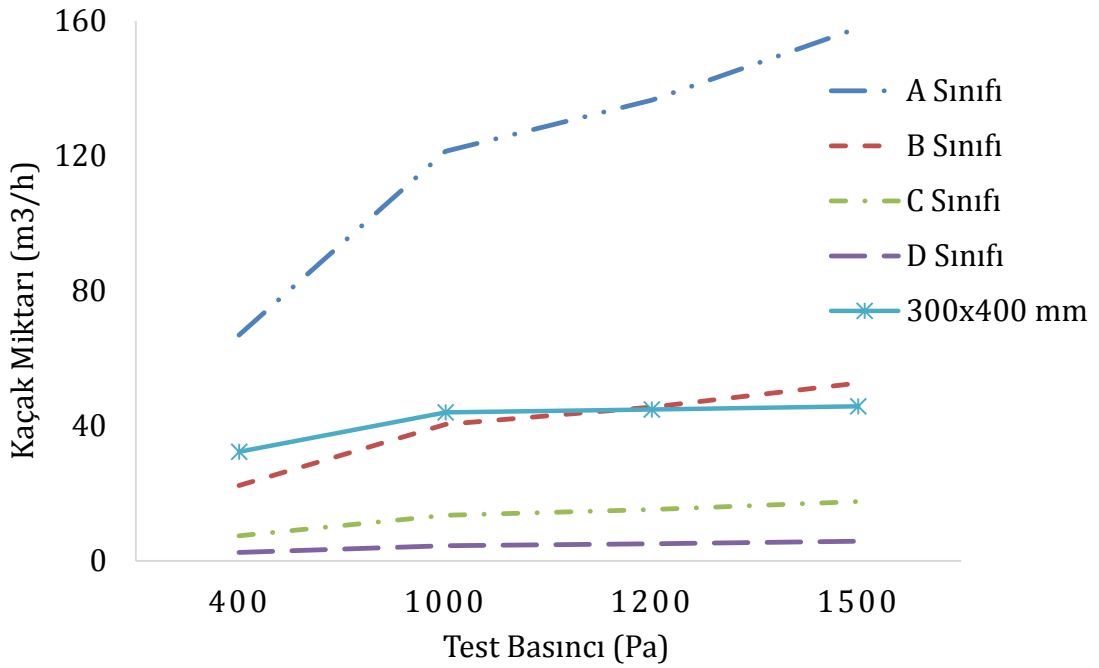
Şekil 4.6. Hava kanalı (450 x 400 mm) için kaçak miktarları

Şekil 4.6’de hava kanalı (450 x 400 mm) basınç sınıfına göre değerlendirildiğinde A sınıfı sağlarken B sınıfında 450 Pa gibi yakın test değerinin üstündeki test basınçlarında sağladığı C ve D sınıflarını sağlamadığı görülmüştür.



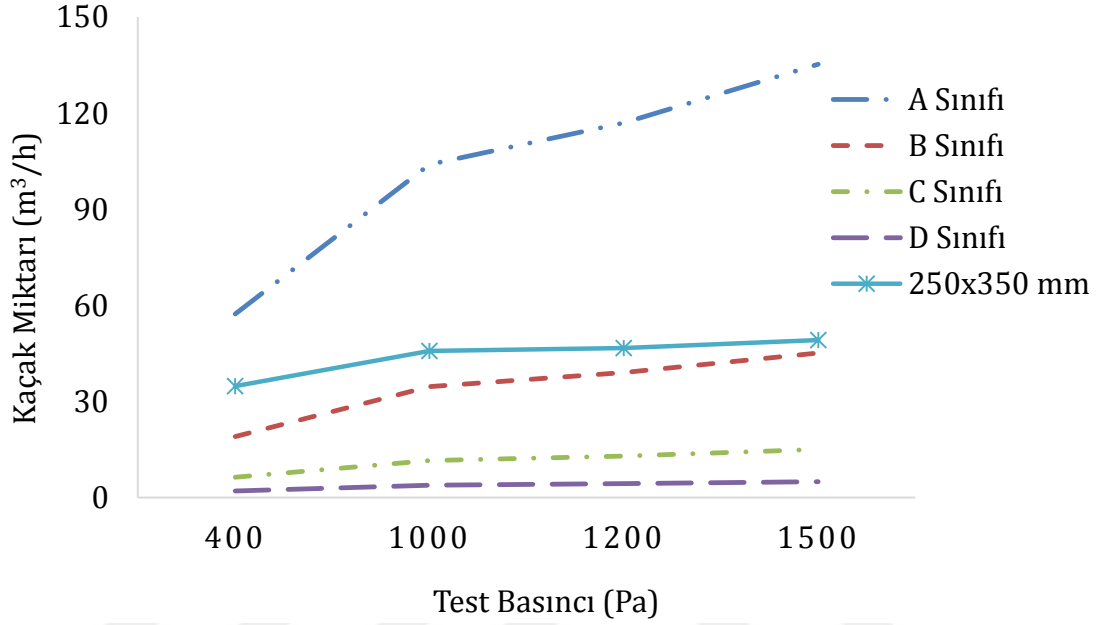
Şekil 4.7. Hava kanalı (400 x 400 mm) için kaçak miktarları

Şekil 4.7’de hava kanalı (400 x 400 mm) basınç sınıfına göre değerlendirildiğinde A sınıfı sağlarken B sınıfında 700 Pa gibi yakın test değerinin üstündeki test basınçlarında sağladığı C ve D sınıflarını diğer kanallar gibi sağlamadığı görülmüştür.

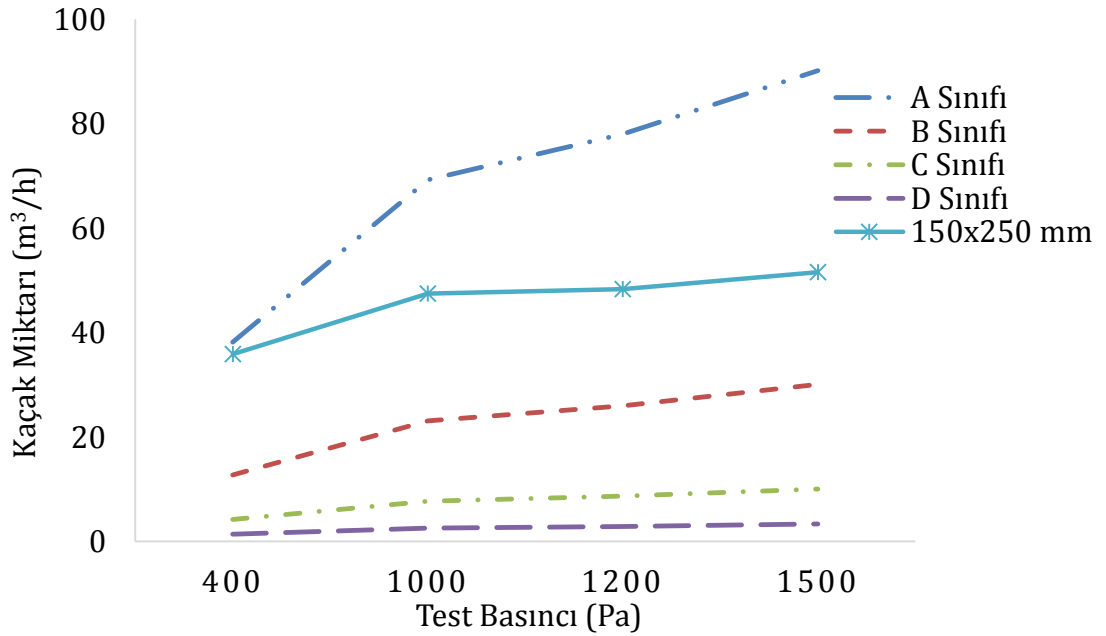


Şekil 4.8. Hava kanalı (300 x 400 mm) kaçak miktarları

Şekil 4.8'de hava kanalı (300 x 400 mm) basınç sınıfına göre değerlendirildiğinde A sınıfı rahatlıkla sağlarken B sınıfında 1200 Pa gibi yakın test değerinin üstündeki test basınçlarında sağladığı C ve D sınıflarını sağlamadığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Hava kanalı (250 x 350 mm) için kaçak miktarları



Şekil 4.10. Hava kanalı (150 x 250 mm) için kaçak miktarları



Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'de ebatları (250 x 350 mm),(150 x 250 mm) olan kanallar sınıflarına göre kaçak miktarları değerlendirildiğinde sadece A sınıfını sağlamaktadır. B, C ve D sınıflarının kaçak miktarları kanal ebatlarındaki kaçak miktarlardan daha az olduğu için sağlamamaktadır.

Yapılan deney sonuçlarına bağlı olarak MS Excel'de çoklu regresyon analizi yapılarak bağımlı değişken olan birim kaçak miktarı ile bağımsız değişkenler olarak tanımlanan test basıncı, kenet ve flanş uzunluklarına göre bir kesişim noktası ve X değişkenleri bulunarak aşağıdaki eşitlik oluşturulur.

$$Q_h = 5,17645 + 0,0007 \cdot P_t - 0,18973 \cdot L_e \quad (4.1)$$

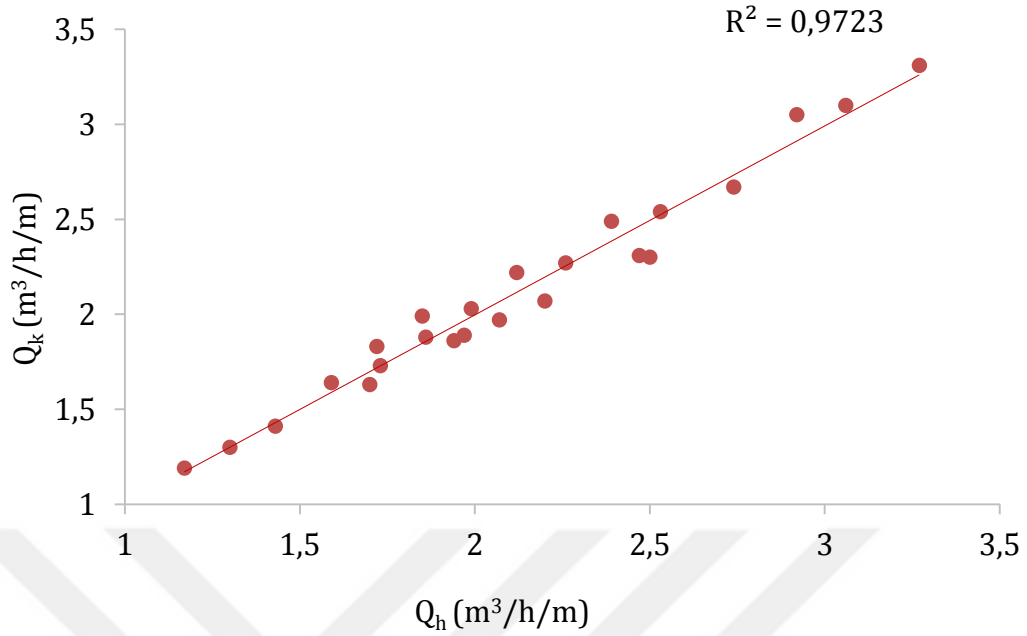
Burada,  $Q_h$  regresyon analizinde hesaplanan birim kaçak miktarını,  $L_e$  kenet ve flanş uzunlukları toplamını ifade eder.

Çoklu regresyon analizi sonucunda oluşturulan eşitlik 4.1'ye göre birim kaçak miktarları Çizelge 4.5 hesaplanmış ve Şekil 4.11'de noktalardan oluşan bir veri serisi için çoklu regresyon grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.5. Regresyon analizine göre hesaplanan birim kaçak miktarları

Test Basıncı $P_t$ (Pa)	Kenet+Flanş Toplam Uzunluk $L_e$ (m)	Birim kaçak miktarı $Q_k$ ( $m^3/h/m$ )	Hesaplanan birim kaçak miktarı $Q_h$ ( $m^3/h/m$ )
400	22,6	1,19	1,17
1000		1,64	1,59
1200		1,73	1,73
1500		1,86	1,94
400	21,9	1,30	1,30
1000		1,83	1,72
1200		1,88	1,86
1500		1,97	2,07
400	21,2	1,41	1,43
1000		1,99	1,85
1200		2,03	1,99
1500		2,07	2,20
400	19,8	1,63	1,70
1000		2,22	2,12
1200		2,27	2,26
1500		2,31	2,47
400	18,4	1,89	1,97
1000		2,49	2,39
1200		2,54	2,53
1500		2,67	2,74
400	15,6	2,30	2,50
1000		3,05	2,92
1200		3,10	3,06
1500		3,31	3,27

Regresyon analizine göre üretilen eşitlik 4.1 kullanılarak bağımsız değişkenler bilindiğinde kaçak miktarını % 5'den daha az hata ile bulunabileceği görülmüştür.



Şekil 4.11. Kaçak miktarlarının regresyon analizi eğrisi

Eğer  $R^2$  değeri değeri sıfıra yakınsa, uyum iyiliği uygun olmadığı kabul edilir. Bu sonuç ortaya çıkarsa toplanan verilerde kullanılan modelin uygun olmadığı sonucu çıkarılır ve bu uygunsuzluk modelinin değiştirilmesi gerekir. Eğer  $R^2$  değeri bire yakınsa, uyum iyiliği uygun olduğu sonucu çıkarılır. Şekil 4.11'de bulunan  $R^2$  değeri dikkate alındığında, uyum iyiliği uygun olduğu görülmüştür.

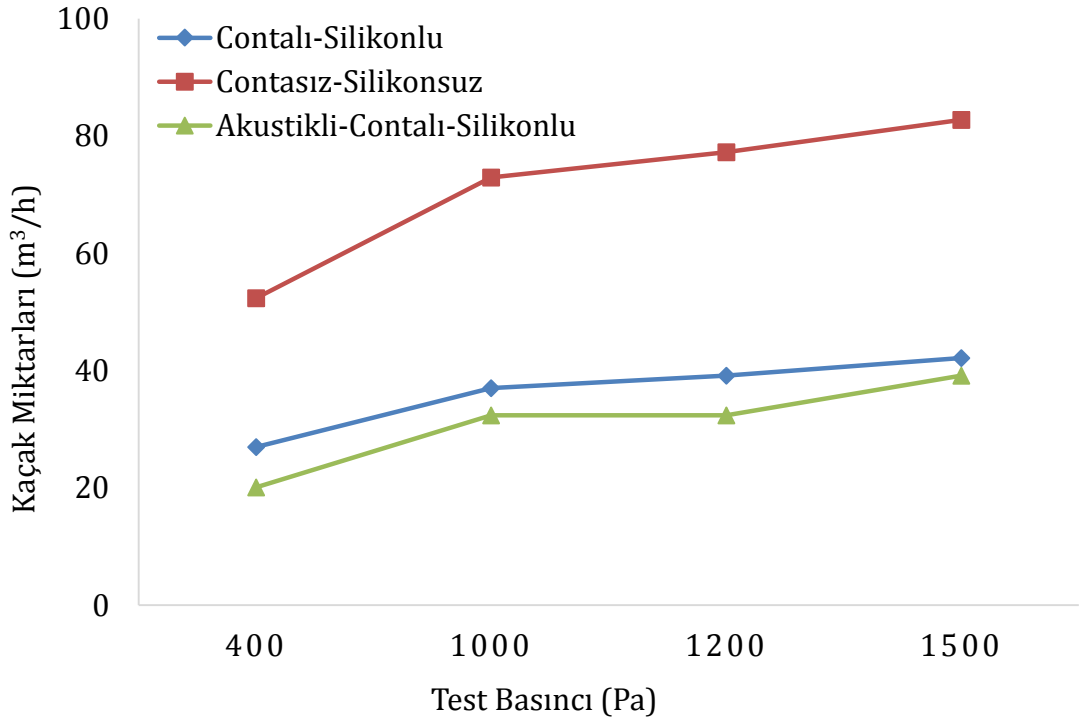
### 4.3. Farklı Yapıdaki Kanalların Deneysel Sonuçları

Farklı uygulama modellerinde yapılan testlerin Çizelge 4.6'de kaçak miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı uygulama modellerinde yapılan testlerin kaçak miktarları

Uygulama Modelleri	400 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)	1000 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)	1200 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)	1500 Pa test basıncında kaçak miktarları (m <sup>3</sup> /h)
Contalı-Slikonlu	26,93	37,02	39,13	42,11
Contasız-Slikonsuz	52,35	72,94	77,23	82,77
Akustikli-Contalı-Slikonlu	20,08	32,37	32,37	39,13

Çizelge 4.6'de bulunan kaçak miktarlarına göre Şekil 4.12'de grafik oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 4.12. Farklı uygulama modellerinde kaçak miktarları ( 500 x 400)

Şekil 4.12’de contasız ve silikonsuz kanalda yapılan deneyde kaçak miktarı en fazla olduğu, akustikli kanalda en az olduğu görülmüştür. Akustikli, contalı ve silikonlu kanal ile sadece contalı, silikonlu kanaldaki kaçak miktarı arasında çok fark yoktur. Birim kaçak miktarları Çizelge 4.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı yapıdaki kanalların birleşim yerlerinin kaçak miktarı üzerindeki etkisi

Kanal boyutu (mm)	Test Basıncı (Pa)	Kenet Uzunluğu (m)	Flanş Uzunluğu (m)	Toplam Uzunluk (m)	Kaçak Miktarı (m <sup>3</sup> /h)	Birim kaçak miktarı (m <sup>3</sup> /h/m)
Contalı-Silikonlu	400	10	12,6	22,6	26,93	1,19
	1000				37,02	1,64
	1200				39,13	1,73
	1500				42,11	1,86
Contasız-Silikonsuz	400	10	12,6	22,6	52,35	2,32
	1000				72,94	3,23
	1200				77,23	3,42
	1500				82,77	3,66
Akustikli-Contalı-Silikonlu	400	10	12,6	22,6	20,08	0,98
	1000				32,37	1,43
	1200				32,37	1,43
	1500				39,13	1,73

Çizelge 4.7’deki deney sonuçlarına göre kenet ve flanş uzunluklarında değişik olmadığından birim kaçak miktarı ile toplam kaçak miktarındaki değişim aynı oranda gerçekleşecektir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Havalandırma tesisatında basınç kayıpları hesabında kullanılan sürtünme faktörü Moody diyagramı yerine Eşitlik 1.10'daki veriler kullanılarak EES programında daha doğru sonuçlara ulaşılmıştır. Basınç kayıplarında dikkate alınan değerler incelenmiş ve cihaz seçimi yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar üç aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada örnek uygulamada belirlenen hatlar (yani ana hatlar) test edilerek kaçak miktarları belirlenmiş sistemin tamamına etkisi % 2'den daha az olduğu görülmüştür. Düşük basınç sınıfındaki kanallarda standartlarda % 6 oranına kadar izin verildiği ve yapılan deneylerde DW/143 standardına uygun olduğu görülmüştür.

Örnek uygulamada üzerinden değerlendirme yapıldığında kaçak miktarının maliyete etkisinin bu gibi küçük sistemlerde az olduğu görülmüştür. Büyük yapıların havalandırmasını dikkate aldığımızda kaçak miktarının maliyeti ciddi miktarlara ulaşmaktadır. Örnek uygulama üzerinden karşılaştırma yaptığımızda AHU-01 hattını incelediğimizde yüzey alanı 45,37 m<sup>2</sup> olan kanal test sonuçlarında kaçak miktarının 100,38 m<sup>3</sup>/h olduğu görülmüştür. Büyük yapılarda, örneğin toplam havalandırma tesisatı 100000 m<sup>2</sup> olan kanallarda kaçak miktarları toplamda yaklaşık 221248 m<sup>3</sup>/h olacaktır. Böyle bir kaçak miktarının olduğu sistemlerde sadece havalandırma yapılması durumu için enerji maliyeti yaklaşık 78000 TL olacaktır. İklimlendirme yapılan kanallarda kaçak miktarları ısıtma ve soğutma kayıplarına neden olacak istenilen konfor şartları sağlanamayacaktır ve kayıpların maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Küçük sistemlerde maliyeti önemli olmasa da büyük sistemlerde kanallardaki kaçakların dikkate alınması ve önlemeye yönelik çalışmalar yapılması gerektiği görülmüştür.

İkinci aşamada örnek uygulama projesinde kullanılan kanal ebatları 10 m eşit boylarda incelenmiştir. Bu kanallar 400 Pa, 1000 Pa, 1200 Pa, 1500 Pa basınçlarda yapılan testlerde alınan sonuçlara göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yapılan deneylerde kullanılan ebatlar 500x400 mm, 450x400 mm, 400x400 mm, 300x400 mm, 250x350 mm, 150x250 mm olup kendi aralarında ve her kanal ebadı basınç sınıflarına göre karşılaştırılmıştır. Ebatları belli olan kanalların kaçak miktarı en yüksek olanın 150x250 mm ve en düşük olanın 500x400 mm kanal olduğu görülmüştür. Sonuç olarak seçilen tüm kanal ebatlarının belirlenen test basınçlarında A sınıfına uygun olduğu görülmüştür.

Bu deney sonuçlarına bağlı olarak regresyon analizi yapılarak bağımlı değişken olan birim kaçak miktarı ile bağımsız değişkenler olarak tanımlanan test basıncı, kenet-flanş toplam uzunluklarına bağlı olarak kaçak miktarını veren eşitlik oluşturulmuştur. Bu sonuçlardan aynı tür uygulamalarda deney yapılmadan da çözüme ulaşılması hedeflenmiştir.

Üçüncü aşamada farklı uygulama modellerine göre deneysel çalışmalar yapılmıştır. Seçilen 500x400 mm ebadındaki 10 m uzunluktaki kanalın üç farklı uygulama modeli test edilmiştir. Bunlar; Contalı-Silikonlu, Contasız-Silikonsuz, Akustikli-Contalı-Silikonlu sistemlerdir. Yapılan test sonuçlarında kaçak miktarı akustikli-contalı-silikonlu kanalda en az iken contasız-silikonsuz kanalda en fazla olduğu görülmüştür. Contasız-silikonsuz kanal, contalı-silikonlu kanala göre yaklaşık % 200 oranında kaçak miktarının fazla olduğu görülmüştür. Akustikli-contalı-silikonlu kanal, contalı-slikonlu kanala göre karşılaştırma yapıldığında kaçak miktarlarında büyük oranda değişme olmadığı tespit edilmiş ve maliyeti değerlendirildiğinde contalı-silikonlu kanalın kullanılması uygundur.

Gelişen teknoloji ve imkanlar dahilinde insan yaşamının vazgeçilmezi olan temiz hava ve kapalı ortamların havalandırmasında kullanılan ekipmanların her geçen gün önemi daha da artmaktadır. Bu doğrultuda yapılan deneysel çalışmada kanallardaki kaçak miktarlarının öneminin vurgulanması ve bundan sonraki çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

Aktaş, M., Özdemir B. M., 2004. Yaz İklimlendirme Sistemlerde Kanal Çaplarının Bilgisayar Programı ile Hesaplanması, Teknoloji, 7(3), 381-386.

ASHRAE, 1997. Fundamentals, Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta.

Aydın, Ç., Özerdem, B., 2006. Air leakage measurement and analysis in duct systems Energy and Buildings, 207-213.

Brandi, H.O., 1972. Hava Kanalları Hesabı ve Konstrüksiyonu, Fon Matbaası, 199, Ankara.

Bilgili, M., Şimşek E., Polat Y., Yaşar A., 2005. Havalandırma Sistemleri, Adana Meslek Yüksekokulu Yayınları, 131, Adana.

Carrie, R. F., Bossaer, A., Anderson, V. J., Wouters, P., Liddament, W. M., 2000. Duct leakage in European buildings: status and perspectives, Energy and Buildings, 32, 235-243.

CARRIER, 2004. Carrier Hava Koşullandırma Sistem Tasarımı, Alarko Carrier Yayınları, 2-17.

Çengel, A. Y., 2015. Akışkanlar Mekaniği, Palme Yayıncılık, 987, Ankara.

Çimen, F., 2003. Hava Kanalları Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki, TTMD, (1), 1-15.

Doğan, H., 2002. Havalandırma ve İklimlendirme Esasları, Seçkin Yayınları, 216, Ankara.

Doğan, H., 2010. Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği, Seçkin Yayınları, 327, Ankara.

DW/142, 1982, Low, medium and high pressure/velocity air systems, HVCA, 18, London.

DW/143, 2000. Ductwork Leakage Testing, Heating and Ventilating Contractors' Association, HVCA, 18, London.

DW/144, 1998. Low, medium and high pressure/velocity air systems, HVCA, 97, London.

Isısan, 2008. Mimarın Tesisat El Kitabı, Isısan Çalışmaları No.370-1, 544, İstanbul.

Recknagel, H., 2003. Isıtma Klima Tekniği El Kitabı 97/98, Çev. Saraçoğlu O., Çev. Razgat A., Doğa Yayıncılık, 1979, İstanbul



SMACNA, 1985, HVAC Air Duct Leakage Test Manual, Sheet Metal and Air Conditioning Contractor National Association Inc.  
Srinivasan, K., 2004. Measurement of Air Leakage in Air-Handling Units and Air Conditioning Ducts, Energy and Buildings, 37(2005) , 273-277.

Tosun, H., Söylemez, E., Onat, A., 2013. Kanal Tipi Bataryalarda Hava Kaçaklarının İncelenmesi, Friterm, 1-10.

Yamankaradeniz, R., 2015. İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları, Dora Yayıncılık, 626, Bursa.



## **EKLER**

**EK A.** Kayıp Katsayıları

**EK B.** Kanal Sürtünme Katsayılarının EES Kodları



## EK A. Kayıp Katsayıları

Pos	Şekil	Geo.değ.	ζ - değeri						
			○	□					
1		10°	0,05	0,1					
			30°	0,20	0,3				
			45°	0,5	0,7				
			60°	0,7	1,0				
			90°	1,2	1,2				
2		$R = \frac{a}{2}$	1,0						
3		$R = a$	0,5						
4		$\frac{R}{a}$	0,0	1,2					
			0,2	1,0					
			0,4	0,8					
			0,6	0,9					
			0,8	1,1					
			1,0	1,2					
5		$R = \frac{a}{2}$	0,36						
6		- Profil	0,1						
			- Plaka	0,35					
7		$\frac{R}{a}$	$a=90^\circ$						
			$60^\circ$						
			$30^\circ$						
			0,5	1,0	0,5	0,15			
			0,75	0,5	0,25	0,08			
			1,0	0,25	0,12	0,04			
1,5	0,15	0,08	0,03						
2,0	0,12	0,06	0,02						
4,0	0,10	0,05	0,015						
8		$\frac{R}{a}$	$\frac{a_1}{a}=0,25$						
			$\frac{a_1}{a}=0,50$						
			0,5	0,4	0,15				
			0,75	0,25	0,08				
			1,0	0,2	0,04				
			1,5	0,15	0,03				
2,0	0,1	0,02							
4,0	0,03	0,015							
9		$\frac{R}{d}$	3,0						
			2,0						
			1,75						
			1,5						
			1,25						
			1,0						
			0,75						
			0,5						
10		$\frac{R}{d}$	a	30°					
				60°					
				90°					
				120°					
				150°					
				180°					
11		$\frac{R}{d}$	3 4 5 6 60° 30°						
			0,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,6	0,2
			0,75	0,8	0,7	0,6	0,5	0,35	0,12
			1,0	0,5	0,45	0,4	0,3	0,20	0,07
			1,5	0,3	0,28	0,25	0,22	0,13	0,05
			2,0	0,25	0,23	0,20	0,18	0,11	0,04
			4,0	0,23	0,20	0,18	0,16	0,10	0,03
			6,0	0,21	0,18	0,16	0,15	0,09	0,03
12		$R = \frac{a}{2}$	0,4						
13		$R = 1,25a$	0,32						
14		$\frac{l}{d}$	0,0						
			1,6						
			1,9						
			2,0						
			2,1						
15		$\frac{l}{d}$	3,5						
			2,9						
			1,7						
			1,4						
			1,6						
			1,9						

Şekil A.1. Kayıp katsayıları (Çimen, 2003)

Pos	Şekil	Geo.değ.	ζ - değeri		Pos	Şekil	Geo.değ.	ζ - değeri		
16		$\frac{F_1}{F_2}$			23		$\frac{F_1}{F_2}$			
		0,1	0,81				$\frac{F_1}{F_2}$			
		0,2	0,64				0,1	1,25		
		0,3	0,49				0,25	0,90		
		0,4	0,36				0,5	0,7		
		0,5	0,25				0,75	0,5		
		0,6	0,16				1,0	0,2		
		0,7	0,09				$\frac{R}{d}$	0,1		
		0,8	0,04				0,25	0,05		
		0,9	0,01				0,50	0,05		
17		$\frac{F_1}{F_2}$	$a \leq 8^\circ$	$a < 8^\circ$	25		$\frac{F_1}{F_2}$			
		0,0	0,15	1,0			0,25	0,2		
		0,2	0,14	0,64			0,50	0,1		
		0,4	0,13	0,36			0,75	0,05		
		0,6	0,10	0,16			1,0	0,05		
		0,8	0,05	0,04			$\frac{a}{15^\circ}$	0,5		
		1,0	0,0	0,0			30°	0,3		
18		a	2 taraflı	4 taraflı	26		45°	0,3		
		6°	0,10	0,15			60°	0,4		
		11°	0,25	0,35			90°	0,7		
		18°	0,30	0,45						
19		$\frac{F_1}{F_2}$	Dikkat : Giriş köşelerinin yuvarlatılmış olması halinde ζ = 0		27		$\frac{F_1}{F_2}$			
		0,01	0,50				80% serbest kesit	0,9		
		0,1	0,47				$\frac{F_o}{F}$	F <sub>o</sub> baz alınarak		
		0,2	0,42					0,0	2,5	
		0,4	0,33					0,2	1,9	
		0,6	0,25					0,4	1,39	
		0,8	0,15					0,6	0,96	
			0,8	0,61						
			1,0	0,34						
20		a			28		$\frac{F_o}{F}$	F <sub>o</sub> baz alınarak		
		30°	0,02				0,0	2,50		
		45°	0,04				0,2	2,44		
21		$F_1 = F_2$	0,15		29		0,4	2,26		
		$a \leq 14^\circ$					0,6	1,96		
							0,8	1,54		
22		$\frac{F_e}{F}$			30		1,0	1,0		
		0,0	2,50				$\frac{F_o}{F}$	F <sub>o</sub> baz alınarak		
		0,2	1,86				0,0	2,50		
		0,4	1,21				0,2	2,44		
		0,6	0,64				0,4	2,26		
		0,8	0,20				0,6	1,96		
		1,0	0,00				0,8	1,54		
23		$\frac{F_1}{F_2}$			31		$\frac{F_1}{F_2}$			
		0,0	2,50				$R = \frac{d}{2}$	0,1		
		0,2	1,86				$\frac{m \%}{\text{serbest kesit}}$	delme		
		0,4	1,21					yuvarlak del.		
		0,6	0,64					0,2	34,5	
		0,8	0,20					0,3	15,3	
		1,0	0,00					0,4	8,6	
								0,5	5,5	
								0,6	3,8	
								0,7	2,8	
			0,8	2,2						
24		$\frac{F_1}{F_2}$			32		$\frac{F_1}{F_2}$			
		0,0	2,50				0,2	34,5		
		0,2	1,86				0,3	15,3		
		0,4	1,21				0,4	8,6		
		0,6	0,64				0,5	5,5		
		0,8	0,20				0,6	3,8		
		1,0	0,00				0,7	2,8		
							0,8	2,2		

Şekil A.2. Kayıp katsayıları (Çimen, 2003)

Pos	Şekil	Geo.değ.	ζ - değeri		Pos	Şekil	Geo.değ.	ζ - değeri	
33			1,4	1,4	43		R/d	1,3 0,9 0,8 0,6 0,5	
34			We - Wd				0,5		
35		a	10°	0,10	0,75	6,5			
36			15°	0,12	0,4	3,1			
37			30°	0,30	0,6	2,0			
38			45°	0,70	0,8	1,5			
39			60°	1,0	2,0	0,74			
40		R/b	90°	0,15	3,0	0,62			
41			60°	0,1	0,4	5,0	2,2		
42			90°	0,15	0,6	1,3	0,8		
43			60°	0,3	0,8	1,0	0,77		
44			90°	0,4	1,0	0,47	0,58		
45		R/b	90°	0,4	3,5	1,3			
46			60°	0,6	0,64	0,43			
47			45°	0,8	0,45	0,54			
48			30°	1,0	2,0	0,45			
49			15°	2,0	3,0	0,54			
50		R/d	0,5	1,1	0,4	2,7			
51			0,75	0,6	0,6	1,1			
52			1,0	0,4	0,8	0,4			
53			1,5	0,25	1,0	0,15			
54			2,0	0,20	1,2	0,0			
55		R/d	0,0	1,10	Qa/Qd	ζe	ζd		
56			0,25	0,40	0,0	-1,2	0,06		
57			0,50	0,28	0,2	-0,4	0,18		
58			1,0	0,20	0,4	0,1	0,30		
59			2,0	0,14	0,6	0,47	0,40		
60			3,0	0,10	0,8	0,72	0,50		
61			4,0	0,07	1,0	0,92	0,60		
62			5,0	0,05	0,0	0,0	0,0		
63			6,0	0,02	0,0	-0,90	0,05		
64			7,0	0,01	0,2	-0,37	0,18		
65		R/d	0,0	0,60	0,4	0,00	0,19		
66			0,25	0,22	0,6	0,22	0,06		
67			0,50	0,14	0,8	0,37	-0,18		
68			1,0	0,10	1,0	0,38	-0,54		
69			2,0	0,07	0,6	0,6	0,40		
70	3,0	0,05	0,8	0,8	0,35				
71	4,0	0,03	1,0	1,0	0,20				
72	5,0	0,02	1,2	1,2	0,10				
73	6,0	0,01	1,4	1,4	0,0				
74	7,0	0,0	1,6	1,6	0,0				

Şekil A.3. Kayıp katsayıları (Çimen, 2003)

## EK B. Kanal Sürtünme Katsayılarının EES Kodları

“AHU-01 Kanalının (f) Sürtünme Faktörünün Hesaplanması”

$\nu=1,46E-5$  [m<sup>2</sup>/s]  
 $\epsilon=1,5E-4$  [m]

“1. durum verileri”

$a_1=0,50$  [m]  
 $b_1=0,40$  [m]  
 $V_1=6$  [m/s]

“1.durum çözümü”

$D_{h1}=1,3*\left(\frac{(a_1*b_1)^{0,625}}{(a_1+b_1)^{0,25}}\right)$   
 $Re_1=V_1*D_{h1}/\nu$   
 $f_1=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h1}/3,7+2,51/(Re_1*\sqrt{f_1})))}\right)^2$

“2. durum verileri”

$a_2=0,45$  [m]  
 $b_2=0,40$  [m]  
 $V_2=5,4$  [m/s]

“2.durum çözümü”

$D_{h2}=1,3*\left(\frac{(a_2*b_2)^{0,625}}{(a_2+b_2)^{0,25}}\right)$   
 $Re_2=V_2*D_{h2}/\nu$   
 $f_2=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h2}/3,7+2,51/(Re_2*\sqrt{f_2})))}\right)^2$

“3. durum verileri”

$a_3=0,40$  [m]  
 $b_3=0,40$  [m]  
 $V_3=4,7$  [m/s]

“3.durum çözümü”

$D_{h3}=1,3*\left(\frac{(a_3*b_3)^{0,625}}{(a_3+b_3)^{0,25}}\right)$   
 $Re_3=V_3*D_{h3}/\nu$   
 $f_3=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h3}/3,7+2,51/(Re_3*\sqrt{f_3})))}\right)^2$

“4. durum verileri”

$a_4=0,40$  [m]  
 $b_4=0,30$  [m]  
 $V_4=4,5$  [m/s]

“4.durum çözümü”

$D_{h4}=1,3*\left(\frac{(a_4*b_4)^{0,625}}{(a_4+b_4)^{0,25}}\right)$   
 $Re_4=V_4*D_{h4}/\nu$   
 $f_4=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h4}/3,7+2,51/(Re_4*\sqrt{f_4})))}\right)^2$

“5. durum verileri”

$$a_5=0,25 \text{ [m]}$$

$$b_5=0,40 \text{ [m]}$$

$$V_5=3,4 \text{ [m/s]}$$

“5.durum çözümü”

$$D_{h5}=1,3*\left(\frac{(a_5*b_5)^{0,625}}{(a_5+b_5)^{0,25}}\right)$$

$$Re_5=V_5*D_{h5}/\nu$$

$$f_5=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h5}/3,7+2,51/(Re_5*\sqrt{f_5})))}\right)^2$$

“6. durum verileri”

$$a_6=0,15 \text{ [m]}$$

$$b_6=0,25 \text{ [m]}$$

$$V_6=2,8 \text{ [m/s]}$$

“6.durum çözümü”

$$D_{h6}=1,3*\left(\frac{(a_6*b_6)^{0,625}}{(a_6+b_6)^{0,25}}\right)$$

$$Re_6=V_6*D_{h6}/\nu$$

$$f_6=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h6}/3,7+2,51/(Re_6*\sqrt{f_6})))}\right)^2$$

“EF-01 Kanalının (f) Sürtünme Faktörünün Hesaplanması”

$$\nu=1,46E-5 \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$$\epsilon=1,5E-4 \text{ [m]}$$

“1. durum verileri”

$$a_1=0,50 \text{ [m]}$$

$$b_1=0,40 \text{ [m]}$$

$$V_1=6 \text{ [m/s]}$$

“1.durum çözümü”

$$D_{h1}=1,3*\left(\frac{(a_1*b_1)^{0,625}}{(a_1+b_1)^{0,25}}\right)$$

$$Re_1=V_1*D_{h1}/\nu$$

$$f_1=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h1}/3,7+2,51/(Re_1*\sqrt{f_1})))}\right)^2$$

“2. durum verileri”

$$a_2=0,40 \text{ [m]}$$

$$b_2=0,50 \text{ [m]}$$

$$V_2=5,6 \text{ [m/s]}$$

“2.durum çözümü”

$$D_{h2}=1,3*\left(\frac{(a_2*b_2)^{0,625}}{(a_2+b_2)^{0,25}}\right)$$

$$Re_2=V_2*D_{h2}/\nu$$

$$f_2=\left(\frac{1}{(-2,0*\log_{10}(\epsilon/D_{h2}/3,7+2,51/(Re_2*\sqrt{f_2})))}\right)^2$$

“3. durum verileri”

$$a_3=0,40 \text{ [m]}$$

$$b_3=0,40 \text{ [m]}$$

$$V_3=4,7 \text{ [m/s]}$$

“3.durum çözümü”

$$D_{h3}=1,3*\left(\frac{(a_3*b_3)^{0,625}}{(a_3+b_3)^{0,25}}\right)$$

$$Re_3=V_3*D_{h3}/\nu$$

$$f_3=\left(\frac{1}{-2,0*\log_{10}\left(\frac{\epsilon/D_{h3}}{3,7+2,51/(Re_3*\sqrt{f_3})}\right)}\right)^2$$





## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erol TÜRKOĞLU  
Doğum Yeri ve Yılı : Samsun, 1988  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : erolturkoglu@hotmail.com

Taranmış  
Fotoğraf  
(3.5cm x 3cm)

### Eğitim Durumu

Lise : Samsun Cumhuriyet Lisesi  
Önlisans : ÇÜ, Ceyhan MYO, İnşaat  
Lisans : GÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği

### Mesleki Deneyim

ARAR Mühendislik- İnşaat Teknikeri	2007-2008
ÜNLÜ Mühendislik-Proje Tasarım Mühendisi	2011-2012
VEMEKS Mühendislik-Saha Mühendisi	2012-2014
DOĞU BATI Mühendislik-Şantiye Şefi	2016-..... (halen)