



Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi Turkish Journal of Science and Engineering

www.dergipark.org.tr/tjse

Farklı Dikdörtgen Hava Kanallarındaki Sızıntının Deneysel İncelenmesi

Erol TÜRKOĞLU¹, Ahmet ÖZSOY^{2*}

¹ Sönmez Global Yapı ve Ticaret A.Ş. İstanbul, Türkiye

^{2*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

*Sorumlu yazar: ahmetozsoy@isparta.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi: 04/10/2020

Kabul tarihi: 09/12/2020

Anahtar Kelimeler: Hava kanalı, hava kaçağı, kanal sızıntı testi

ÖZET

Hava kanallarının imalat, montaj ve işçilik uygulamalarındaki farklılıklar nedeniyle hava sızıntılarının olması kaçınılmazdır. Bu çalışmada aynı uzunlukta, altı farklı ölçüde (500x400, 450x400, 400x400, 300x400, 250x350, 150x250 mm) dikdörtgen hava kanalları test edilmiştir. Test sonuçlarına göre birim yüzey alanı ile birim kenet ve birleşme yeri uzunluğu için hava sızıntıları belirlenerek kanalların sızdırmazlık sınıfları tespit edilmiştir. Kanallardaki hava sızıntısının karşılaştırılmasında, birim yüzey alanı ile birim kenet ve birleşme yeri uzunluğu için olan kayıpların benzer karakteristikte olduğu görülmüştür. Test basıncı arttıkça hava kaçaklarının arttığı, kanal ölçüleri küçüldükçe de kaçak miktarlarının arttığı görülmüştür. Ayrıca 500x400 mm'lik hava kanalında sızdırmazlık için conta ve silikon kullanımının sızıntıya etkisi incelenmiştir. Buna ilaveten conta ve silikon ile birlikte akustik levha kullanımının sızıntıya etkisi de incelenmiştir. Akustik levha kullanımının 400 Pa test basıncında %52, 1500 Pa basıncında da %24 oranında sızıntıyı azalttığı görülmüştür. Hava sızıntısı nedeniyle enerji kayıplarını azaltmak için kanal sistemleri devreye alınmadan önce mutlaka test edilmeli ve kanaldaki sızıntının ilgili şartnameyi sağladığı teyit edilmelidir.

Experimental Investigation of Air Leakage in Different Rectangular Air Ducts

ARTICLE INFO

Received: 04/10/2020

Accepted: 09/12/2020

Keywords: Air duct, air leakage, duct leakage test

ABSTRACT

Air leaks are inevitable due to differences in manufacturing, assembly and labor of air ducts. In this study, six different sized (500x400, 450x400, 400x400, 300x400, 250x350, 150x250 mm) rectangular air ducts of the same length were tested. According to the test results air leaks were determined for the unit surface area and unit clamping and joint length, and the sealing classes of the ducts were determined. When the air leakage in the ducts compared, it was seen that the losses for unit surface area and unit clamping and joint length show similar characteristics. It was observed that as the test pressure increased, the air leakage increases, and as the duct dimensions decreased, the amount of leakage increases. In addition, the use of gasket and silicone for sealing in the air duct of 500x400 mm has been investigated. Furthermore, the effect of using acoustic plate with gasket and silicone was also examined. It was observed that air leakage is reduced by 52% at 400 Pa test pressure and 24% at 1500 Pa test pressure with the use of acoustic plate. In order to reduce energy losses from the air leakage, duct systems must be tested before commissioning and it must be confirmed that the leakage in the duct meets the specification.

1. Giriş

Klima ve havalandırma sistemleri yaşam alanlarında istenilen şartların sağlanması için özellikle büyük ticari binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaşam alanlarında istenilen miktarda şartlandırılmış hava, fanlarla basınçlandırılarak kanallarla kullanım yerlerine taşınır. Bu kanallar, kullanım yeri ve amacına bağlı olarak galvanizli, alüminyum, paslanmaz çelik ve bakır gibi farklı malzemelerden ve dairesel, oval veya dikdörtgen kesitli gibi farklı şekillerde üretilmektedir.

Dikdörtgen kesitli kanallarda iki önemli sızdırma noktası bulunur. Bunlar; saclar dikdörtgen kesite kıvrıldığında kanal boyunca yapılan kenetler ve kanalların birleşim yerleri ile boy kenetler ile kanal birleşimlerinin keşiştiği köşelerdir. Sızıntının azaltılması içinde bu birleşim yerlerinde elastik contalar ve gerekirse ilave sıvı conta

kullanılır. Ancak ne şekilde yapılırsa yapılsın, kanallarla havanın taşınmasında mutlaka bir miktar hava kaçağı olur. Hava kaçakları hem basınçlandırılan havanın, hem de şartlandırma için harcanan enerjinin kaybına neden olacağı için hava kaçaklarının azaltılması önemli bir konudur. Hava kaçakları ile olan enerji kaybı, bu kanallar ortama taze hava sağlanması ve ortamın havalandırılması için kullanılıyorsa sadece fanın harcayacağı fazla enerji ile sınırlıdır. Ancak kanallar ortamın ısıtılması veya soğutulması için hava taşıyorsa, fanlar nedeniyle olan kayıp enerjinin yanında, havanın şartlandırılması (ısıtma ve soğutma) için harcanacak enerji işletme giderlerini artırır. Daha büyük fan seçilmesi durumunda, gürültü kirliliğinin oluşma ihtimali de dikkate alınmalıdır.

Hava kanallarındaki kaçakların tam olarak doğru ölçülmesi zor olmakla birlikte, kaçak miktarının fan girişindeki

havanın %10-20'si oranında olduğu kabul edilebilir (Fisk vd., 2000). Değişken debili sistemlerin besleme kanallarında oluşacak %20 oranındaki hava kaçağı, besleme fanının kullandığı enerjiyi %40-50, ısıtma-soğutma yükünü de %10-30 oranında artırır (Modera, 2007; Chan, 2014; Helfers, 2020). Sistemdeki sızıntıların önlenmesi için yapılacak yatırım bedelinin, çalışmanın yapıldığı bölgenin iklimine ve sistemdeki fan hızına bağlı olarak yaklaşık 2 yıl kadar bir geri ödeme süresi olacağı tahmin edilmektedir (Woolley 2014).

Divarcı (2020), hava kanallarındaki sızdırmazlık testlerinin temel ilkeleri ile uygulanışını, standartlar ile kabul kriterlerini ve uygulamada karşılaşılan sorunları ve çözüm önerilerini sunduğu çalışmada, bir binanın yapım aşamasında %1-2 gibi küçük bir iş kapsamına sahip olan hava kanalı sızdırmazlık testlerinin, sistemi devreye alma ve sonrasındaki işletme sürecinde çok etkili olduğunu ifade etmiştir. Çalışma kapsamında endüstriyel bir tesis için şartnamesinde %1 hava kaçağına müsaade edilen bir uygulamada, kanalın farklı bölümlerinde %8-10 arasında kaçak olduğu görülmüş, yapılan düzeltme sonucunda sistem kaçağı ortalama %1.5 seviyesine düşürülmüştür. Bu sonuçtan hareketle kanallardaki kaçak ve sızıntının, sistemi devreye alma aşamasında mutlaka yapılması gereken bir kontrol olduğu ortaya konulmuştur.

Aydın ve Ozerdem (2006) dairesel ve dikdörtgen hava kanallarındaki hava kaçakları ile olan enerji kayıplarını deneysel olarak inceleyen çalışmalarında; hava sızıntısının çoğunlukla ek yerlerindeki sızıntılardan kaynaklandığı, ek yerlerinde sızdırmazlık contası kullanılmasının sızıntıyı yaklaşık %50 oranında iyileştirdiği görülmüştür.

Son zamanlarda klima kanallarının önemli bir parçası haline gelen kanal tipi bataryalardaki hava sızıntılarının incelenmesinde, hava kanallarındaki standartlar kullanılmaktadır. Bu durum, kanallara nazaran çok daha küçük yüzey alanına sahip bataryaların, daha az sızdırmazlık sınıfı olan D ve C sınıflarını sağlanmasında zorluklar yaşanmasına neden olmaktadır (Tosun vd., 2013). Kanal tipi bataryalarda en önemli kaçak ayna-kapak birleşim yerleri ve köşe bağlantıları olduğundan, bu kaçaklarının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmada (Canbaz vd., 2013) birleşme yerlerindeki farklı sızdırmazlık uygulamaları incelenmiştir. Bunlar; sadece köşelerin bir dolgu macunu ile kapatılması, ayna-kapak birleşim bölgelerine conta yerleştirilmesi ve bu iki uygulamanın birlikte yapılmasıdır. Sızıntıda en fazla azalma %78 ile her iki uygulamanın birlikte yapıldığı durumda görülmüştür.

Orta büyüklükteki (tek aile konutları hariç) 10 bina için yapılan hava kanalı test sonuçlarında (Modera, 2007) ortalama %23'lük kaçak olduğu görülmüştür. Özellikle büyük ticari binalarda kanal sızıntısının VAV sistemi performansına etkisinin incelendiği (Wray ve Matson 2003) düşük basınçlı 54 bina için yapılan çalışma sonuçlarına göre, tasarım aşamasında toplam sızıntının %19'dan %5'e azaltılması durumunda, fanların harcayacağı yıllık enerjide %40-50 oranında bir azalma olacağı tahmin edilmiştir. Yıllık ısıtma ve soğutma enerjisinde de %2-14 arasında bir azalmanın olacağı tahmin edilmiştir. Kanal sızıntısını azaltmak için yapılacak

yatırımın iki yıldan az bir geri ödeme süresi olacağı hesaplanmıştır.

Yine büyük ticari binalarda hava kanalı kaçaklarının incelendiği çalışmada (Wray vd., 2005) 10 adet büyük ticari kanal sistemindeki sızıntılar incelenmiştir. Binalardan üçünde düşük sızıntı (kanal giriş debisinin %5'inden az) ve yedisinde önemli miktarda sızıntı (%9-26) görülmüştür. Büyük ticari binalar için Modera ve arkadaşlarının (2014) düşük basınçlı sistemler için yaptığı saha testlerinde, yaklaşık %10'luk bir kaçak olduğu tespit edilmiştir.

Belçika ve Fransa'daki 42 kanal sistemindeki hava kaçaklarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada (Carrie vd., 2000), sızıntının EUROVENT 2/2 A sınıfı için izin verilen maksimum sızıntıdan üç kat daha fazla olduğu görülmüştür. Kanallardaki hava sızdırmazlığındaki kötü performansın, bu sistemlere ve benimsenen teknolojilere gösterilen ilginin eksikliğinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Mevcut durumda, kanallarındaki kaçakların azaltılması için yaygın olarak bant ve conta kullanılmakla birlikte, asıl sorunun kanal üretimi ve montajını yapan personellerin becerileri ile doğrudan ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Türkiye'de ticari bir ürün olarak üretilip kullanılan iki tip kanaldaki hava kaçaklarının tespitine yönelik yapılan çalışmada (Aydın vd., 2004), 30 mm ve 100 mm çaplarında ve 5 m uzunluğundaki dairesel kesitli kanallar ile 300x250 mm ve 1000x500 mm ölçülerinde 4.8 m uzunluğundaki dikdörtgen kesitli kanallar kullanılmıştır. Silindirik hava kanalları spiral kenetli olarak üretilmiştir. Bu tip birleştirme sadece fabrikasyon imalata uygun olup, tüm basınç sınıfları için sızdırmaz olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle kenet eklerinde herhangi bir conta veya mastik uygulamasına gerek duyulmamaktadır. Test edilen dikdörtgen kesitli ve takviyeli hava kanalları imalatında Pitsburg tipi kenet uygulanmıştır. Dikdörtgen kesitli hava kanalları 1200 mm'lik boylar halinde flanşlı ve contalı birleştirme yapılmıştır. Kanalların imalatı sırasında kendinden mastikli flanş ve kanalların köşe birleştirme noktalarında içten mastik uygulanmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre, tüm dairesel kesitli spiral kanallar ile dikdörtgen kesitli kanallar C sınıfı sızdırmazlık seviyesinin altındadır. Silindirik ve dikdörtgen kanallar karşılaştırıldığında; eşdeğer yüzey alanları birbirine eşit olan 300 mm çapındaki silindirik kanaldan olan sızıntı miktarı, 300x250 mm dikdörtgen kesitli hava kanalından olan sızıntıdan daha fazladır. Çünkü birim yüzey alanda, kenetli birleşmenin olduğu mesafe silindirik kanalda daha fazladır. Bununla birlikte, eşit birleşme uzunluğuna sahip silindirik ve dikdörtgen kesitli eşdeğer yüzey alanlara sahip kanallar karşılaştırıldığında, silindirik kanaldaki sızıntının dikdörtgen kesitliye nazaran %80 daha az olduğu görülmüştür.

Uygulamada hem imalat aşamasında hem de nakliye ve montaj aşamasındaki özensizlikler, kanalların kullanılması aşamasında önemli miktarda hava kaçaklarına neden olmaktadır. Konu ile ilgili ülkemizde yapılan bilimsel çalışmalar kısıtlı ve dar kapsamlıdır. Enerjisinin çoğunu ithalata karşılayan bir ülke olarak, doğrudan enerji tüketimini azaltmaya yönelik uygulamalar içeren hava

kanallarındaki sızıntının ölçülmesi ve azaltılması ile ilgili çalışmalar daha fazla önemsenmelidir. Bu çalışmada, farklı ölçülerde üretilen hava kanallarında farklı sızdırmazlık malzemeleri kullanıldığında meydana gelen sızıntının tespiti ve sonuçların birbirleriyle ve ilgili standartlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Üretimi yapıp yerlerine monte edilen hava kanalları, ısı yalıtımı yapılmadan ve sistem devreye alınmadan önce mutlaka sızdırmazlık seviyeleri kontrol edilmelidir. Hava kaçaklarının belirlenmesi ve sınıflandırılmasına yönelik farklı ülkelerde farklı standartlar kullanılır. Uygulamada ülkelere göre TS EN 1507 (2006), TS EN 12237 (2006), SMACNA (2012), DW 143 (2013), EUROVENT 2/2 (1996) gibi standartlar kullanılmaktadır (Divarcı, 2020).

Çizelge 1’de TS-EN 1507’ye göre kanal basınç sınıfları ve sızdırmazlık limit değerleri verilmiştir. Buradaki A sınıfı en fazla hava sızdıran, D sınıfı da en az hava sızdıran kanalları tanımlamak için kullanılmaktadır. Şartnamelerde aksi belirtilmedikçe 500 Pa’dan daha düşük çalışma basıncına sahip olan düşük basınçlı kanallar A sınıfı, 500-750 Pa arasında çalışma basıncına sahip olan orta basınçlı kanallar B sınıfı, 750-1000 Pa ve daha büyük çalışma basıncına sahip olan yüksek basınçlı kanallar C sınıfına göre test edilmelidir. D sınıfı hariç diğer sınıflandırmalar tüm uygulamalarda kullanılır. Ancak D sınıfı özel durumları olan mahallerin testinde kullanılır. TS-EN 1507’ye göre kanal basınç sınıflandırması P_t test basıncına göre yapılır ve sızdırmazlık sınıfı Çizelge 1’deki eşitliklere göre belirlenir.

Çizelge 1. Kanal basınç sınıfları ve sızdırmazlık limitleri (TS-EN 1507)
Table 1. Duct pressure classes and tightness limits (TS-EN 1507)

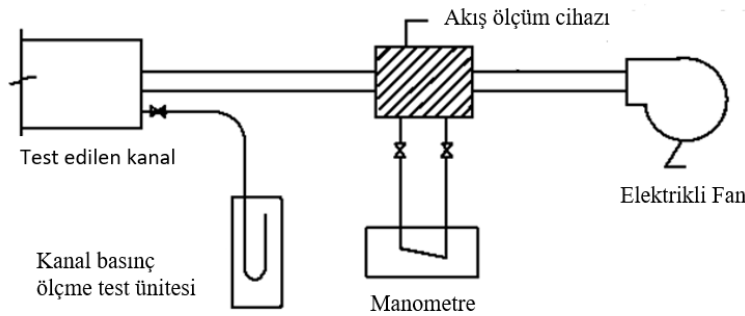
Hava sızdırmazlık sınıfı	Maksimum hava kaçak miktarı (f_{max}) ($m^3/s m^2$)	Statik basınç kademeleri (Pa)			
		Negatif basınç	Pozitif basınç		
			1	2	3
A	$10^{-3} 0.027 P_t^{0.65}$	200	400	-	-
B	$10^{-3} 0.009 P_t^{0.65}$	500	400	1000	2000
C	$10^{-3} 0.003 P_t^{0.65}$	750	400	1000	2000
D	$10^{-3} 0.001 P_t^{0.65}$	750	400	1000	2000

Herhangi bir kanalda taşınan hava debisi ile kanal yüzey alanı arasındaki ilişki, kanalın uygulandığı binanın yapısına bağlı olarak değişir. Bu nedenle, hava kaçağını toplam hava debisinin bir yüzdesi olarak ifade etmek zordur. Benzer şekilde, hava kanallarında çalışma basıncı da sistem içinde değişkenlik gösterir. Hava kaçakları da doğrudan basınçla ilgili olduğundan hesaplanması zordur. Kaliteli sistemlerde, her bir sınıfa ait yaklaşık kaçak oranları; A sınıfı için %6, B sınıfı için %3, C sınıfı için %2 ve D sınıfı için %0.5 olarak kabul edilebilir (Çimen, 2003).

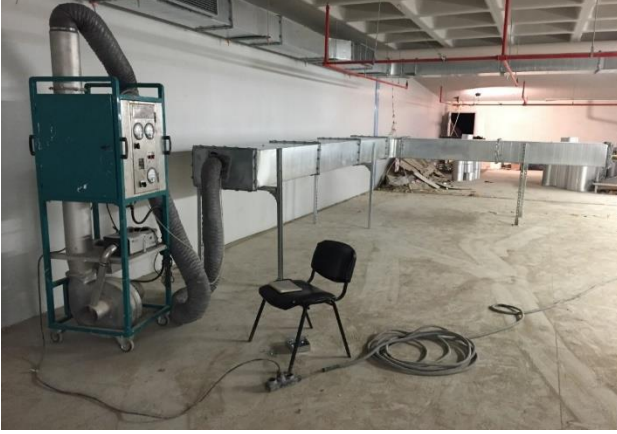
Genel olarak yüksek basınç sınıfındaki hava kanallarının tamamının test edilmesi, orta basınç sınıfındaki kanallardan %10’unun, test edilmesi önerilir. Düşük basınç sınıfı hava kanalları için test yapılması zorunlu değildir. Testler montaj süreci devam ederken ve ısı yalıtımı uygulamasından önce yapılır. Tasarımcılar, sistemdeki

farklı çalışma basınçlarındaki kanallar için uygun imalat standartları ile kaçak test sınıflarını eşleştirerek önemli tasarruflar elde edilmesine imkan sağlayabilir. Tüm kanal sistemlerinin imalat standartlarının fan çıkışındaki basınca göre belirlenmesi, projede gereksiz maliyet artışına yol açar. Örnek olarak bazı büyük sistemler için basınç sınıfları; makine dairesi ve kolonlar için C veya D sınıfı, kat ana dağıtım kanalları için B sınıfı, düşük basınçlı dağıtım ve çıkışlar için de A sınıfı kategorisinde kanal imalatı istenebilir (DW-143, 2013).

Bu çalışmada hava kanallarından sızan hava miktarının tespiti, standartlara uygun Tetisan marka kompakt kanal sızdırmazlık test cihazı ile yapılmıştır. Şekil 1’de kanal test düzeneğinin şematik görünümü, Şekil 2’de de kanal sızdırmazlık testinin yapılışı görülmektedir.



Şekil 1. Kanal basınç ölçümü test düzeneğinin şematik görünümü
Figure 1. Schematic view of duct pressure test setup (Çimen, 2003)



Şekil 2. Kanal test düzeneği
Figure 1. Duct test setup

Hava kanallarındaki sızıntının belirlenmesinde Eşitlik 1 (Canbaz vd., 2013) kullanılır.

$$Q = 21.8 \cdot K \cdot D_2^2 \cdot \sqrt{\Delta P} \quad (1)$$

Burada, Q sızıntı ile olan hacimsel debiyi (cfm) ifade eder. İngiliz birim sistemi ile verilen bu eşitlik SI birim sistemine dönüştürülürse Eşitlik 2 elde edilir.

$$Q = 21.8 \cdot K \cdot \left(\frac{D_2}{25.4}\right)^2 \cdot 1.699 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{(10 \cdot 25.4)}} \quad (2)$$

Burada Q hacimsel debi (m³/h), K orifis katsayısı (bu test düzeneği için, K=0.6085), D₂ orifis delik çapı (bu test

düzeneği için D₂=64.6mm) ve ΔP ölçme cihazından okunan basınç farkını (Pa) ifade etmektedir.

Hava kanallarının kaçak sınırının belirlenmesinde Eşitlik 3'teki f sızdırma faktörü kullanılır.

$$f = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Burada f sızdırma faktörü (L/s m²), Q hacimsel debi (L/s) ve A kanal toplam dış yüzey alanını (m²) ifade etmektedir.

Hava kanalının sızdırmazlık sınıfı, test basıncına göre Çizelge 1'de verilen eşitliklerden bulunan müsaade edilen maksimum hava sızıntısı (f_{max}), Eşitlik 3'den elde edilen hava sızıntısı ile karşılaştırılarak belirlenir.

Ülkemizde yaygın olarak dikdörtgen kesitli hava kanalları kullanıldığı için (Çimen, 2003) bu çalışma kapsamında galvanizli sacdan yapılmış dikdörtgen kesitli kanallar kullanılmıştır. Bu kanallar kantin olarak kullanılacak bir ortamın havalandırılması amacıyla kullanılacak olup, düşük basınçlı A sınıfı kanal olması öngörülmektedir. Tam boy kanallar 1500 mm olup toplam kanal boyu 10 m'dir. Kanallar pitsburg kenet yöntemiyle yapılmış, birleşim yerlerinde Conta+Silikon ve kanal birleşimlerinde de kendinden mastikli flanş kullanılmıştır. Kanal ölçüleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgede verilen her kanal için farklı test basınçlarında sızdırmazlık testi yapılmış ve kanalların uygulanan basınç değerine göre hava sızdırmazlık sınıfı belirlenmiştir.

Çizelge 2. Kanalların ölçüleri
Table 2. Dimensions of ducts

Boyutlar (mm)	Sac kalınlığı (mm)	Kanal boyu(m)	Yüzey alanları(m ²)	Flanş + Kenet uzunluğu (m)
500x400	0.80	10	18	22.6
450x400	0.80	10	17	21.9
400x400	0.80	10	16	21.2
300x400	0.80	10	14	19.8
250x350	0.80	10	12	18.4
150x250	0.60	10	8	15.6

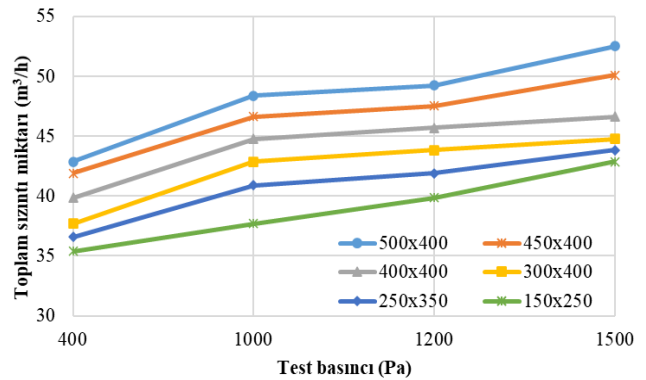
Çalışma kapsamında ayrıca 500x400 mm ölçülerindeki kanalın birleşim yerlerinde farklı sızdırmazlık malzemesi kullanımının hava sızıntısına etkisi de araştırılmıştır. Üç farklı durum için testler yapılmış olup, bunlardan ilki kanalın birleşim yerlerinde hiçbir sızdırmazlık malzemesi kullanılmaması, ikincisi Conta+Silikon kullanılması ve üçüncü olarak da Conta+Silikon ile birlikte kanal içine 50 mm kalınlığında akustik yalıtım malzemesi kullanılmasıdır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Farklı ölçülerdeki kanalların test bulguları

Çizelge 2'de verilen ölçülerdeki kanallar, 400 Pa, 1000 Pa, 1200 Pa ve 1500 Pa basınçlarında test edilmiştir. Test sonuçlarından elde edilen toplam kaçak miktarları Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi aynı kanal için, test basıncı arttıkça kaçak miktarı da artmaktadır. Aynı test basıncında kanal boyutları küçüldükçe toplam kaçak miktarı da azalmaktadır. Farklı kanal ölçüleri için

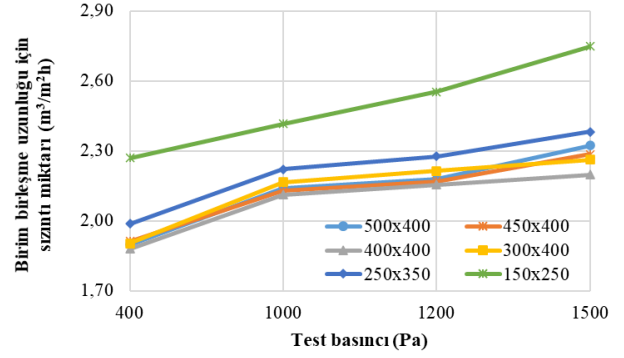
sonuçların hem basınç artışı, hem de kanal ölçülerinin değişimi ile oluşan toplam hava kaçaklarının birbirlerine benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Farklı ölçülerdeki hava kanalları için sızıntı miktarları

Figure 3. Leakage rates for different sizes of air ducts

Kanalda meydana gelen hava kaçaqları, kenet ve kanal birleşim (flaş) yerlerinde meydana geldiği için, kanalların karşılaştırılmasında aynı kanal uzunluğu için toplam hava sızıntısının birim ek yeri uzunluğuna (kenet+flaş) oranı üzerinden bir karşılaştırma yapmak daha anlamlı olabilir. Kenet ve flaş uzunluklarına bağlı olarak birim uzunluk için kaçak miktarı Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3 ve 4 birlikte değerlendirildiğinde aynı test basıncında toplam kaçak miktarında en fazla kaçak 500x400 mm'lik kanalda görülmesine rağmen, birim birleşme yeri uzunluğuna göre en fazla kaçak en küçük ölçüdeki 150x250 mm'lik kanalda görülmüştür. Birim uzunluk için en fazla kaçak 150x250 mm'lik kanalda ve sonra 250x350 mm'lik kanalda görülmüştür. Diğer kanalların ölçüleri birbirine yakın olduğundan sonuçlarda birbirine yakındır. Benzer sonuçlar, Aydın ve arkadaşlarının (2004) dairesel ve dikdörtgen kesitli kanallar için yaptığı çalışmada, kanal ölçülerinin artmasıyla birim kenet uzunluğunda hava kaçağının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4. Birim kenet ve birleşim yeri uzunluğu için sızıntı miktarı

Figure 4. Leakage amounts for unit clamping and joint length

Çizelge 3. Hava kanallarının basınç sınıfları

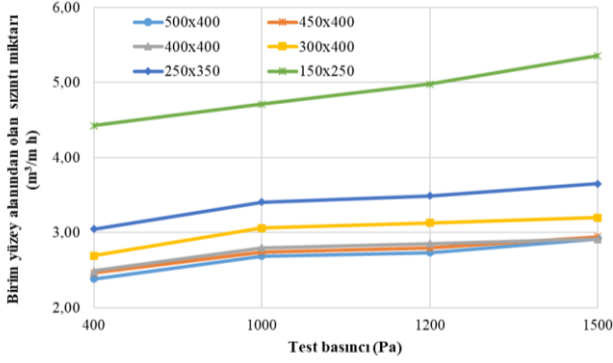
Table 3. Pressure classes of air ducts

Kanal ölçüsü (mm)	Test basıncı (Pa)	Sızdırma faktörü (L/s m ²)	A sınıfı max hava sızıntısı (L/s m ²)	B sınıfı max hava sızıntısı (L/s m ²)	C sınıfı max hava sızıntısı (L/s m ²)	D sınıfı max hava sızıntısı (L/s m ²)	Sızdırmazlık sınıfı
500x400	400	0.51	1.33	0.44	0.15	0.05	A
	1000	0.57	2.41	0.80	0.27	0.09	B
	1200	0.58	2.71	0.90	0.30	0.10	B
	1500	0.62	3.13	1.04	0.35	0.12	B
450x400	400	0.53	1.33	0.44	0.15	0.05	A
	1000	0.58	2.41	0.80	0.27	0.09	B
	1200	0.60	2.71	0.90	0.30	0.10	B
	1500	0.63	3.13	1.04	0.35	0.12	B
400x400	400	0.53	1.33	0.44	0.15	0.05	A
	1000	0.60	2.41	0.80	0.27	0.09	B
	1200	0.61	2.71	0.90	0.30	0.10	B
	1500	0.62	3.13	1.04	0.35	0.12	B
300x400	400	0.57	1.33	0.44	0.15	0.05	A
	1000	0.65	2.41	0.80	0.27	0.09	A
	1200	0.67	2.71	0.90	0.30	0.10	B
	1500	0.68	3.13	1.04	0.35	0.12	B
250x350	400	0.65	1.33	0.44	0.15	0.05	A
	1000	0.73	2.41	0.80	0.27	0.09	A
	1200	0.74	2.71	0.90	0.30	0.10	A
	1500	0.78	3.13	1.04	0.35	0.12	B
150x250	400	0.94	1.33	0.44	0.15	0.05	A
	1000	1.00	2.41	0.80	0.27	0.09	A
	1200	1.06	2.71	0.90	0.30	0.10	A
	1500	1.14	3.13	1.04	0.35	0.12	B

Hava kanallarındaki kaçak miktarının değerlendirilmesinde birim kanal yüzey alanından olan hava kaçağı miktarı kanal sızıntı sınıfının tespitinde kullanılır. Şekil 5'te görüldüğü gibi birim yüzey alanından hava kaçağı en fazla 150x250 mm'lik kanal, sonra 250x350 mm ve 300x400 mm kanal takip etmekte olup diğerleri birbirine yakındır. Genel olarak kanal ölçüsü küçüldükçe birim yüzey alanından olan sızıntı miktarı artmaktadır.

Çalışmada test edilen 6 farklı ölçüdeki kanalların hava sızdırmazlık sınıflarının belirlenmesinde, TS-EN 1507 standardında verilen her basınç sınıfı için sınır değer olarak kabul edilen maksimum hava kaçak miktarı, test edilen kanalın sızdırmazlık faktörü ile karşılaştırılarak belirlenmiş olup Çizelge 3'te verilmiştir. Kanal ölçüleri küçülüp, test basıncı arttıkça kanal sızdırmazlık sınıfının B sınıfından A sınıfına doğru gerilediği görülmüştür. Bu sonuç Şekil 5'te verilen grafikte de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 150x250 mm ölçülerindeki kanalda, birim

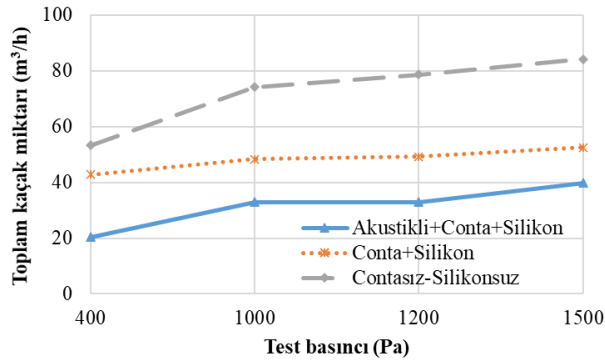
yüzey için sızıntı miktarının diğer kanallara göre çok fazla olduğu, diğer kanallardaki sızıntı miktarının birbirine kısmen yaklaşmakla birlikte, büyük ebatlı kanallardaki (500x400, 450x400 ve 400x400) sızıntı eğrilerinin hemen hemen çakıştığı görülmektedir. Çünkü test edilen kanal uzunluğu sabit olup, kanal ebatlarının büyümesi ile yüzey alanı artmakla birlikte, birleşme yeri uzunluğundaki artış göreceli olarak daha az olmaktadır. Örneğin 150x250 mm ölçülerindeki kanalın toplam yüzey alanı 8 m² ve birleşme yeri (flaş+kenet) uzunluğu 15.6 m'dir. Ancak 500x400 mm'lik kanalın toplam yüzey alanı 18 m² olup birleşme yeri uzunluğu da 22.6 m'dir.



Şekil 5. Birim yüzey alanı için sızıntı miktarı
Figure 5. Leakage amount per unit surface area

3.2. Farklı ölçülerdeki kanalların test bulguları

Çalışma kapsamında 500x400 mm kanalda, birleşim yerlerinde sızdırmazlık malzemesi kullanılmadığı durum ile sızdırmazlık için Conta+Silikon kullanılması ve Conta+Silikon ilave olarak kanal içine 50 mm kalınlığında akustik yalıtım malzemesi kullanılması incelendi. Bu üç farklı uygulama için sızdırmazlık miktarları Şekil 6'da verilmiştir.

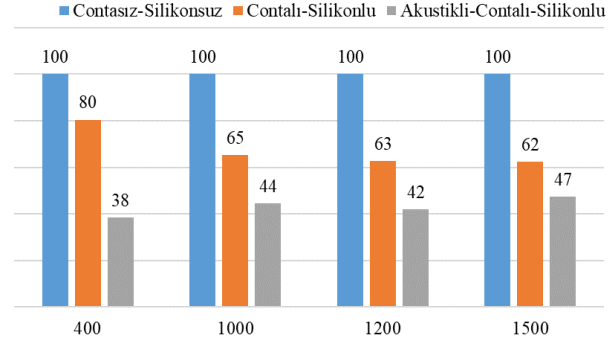


Şekil 6. Farklı sızdırmazlık uygulamaları için sızıntı miktarı
Figure 6. The leakage amount for different sealing applications

Şekil 7'de 500x400 mm hava kanalının Contasız-Silikon olmasın referans alınarak; Conta+Silikon veya Conta+Silikon+Akustikli levha kullanılması durumunda test basıncına bağlı olarak, hava kaçaklarının değişimi yüzde olarak verilmiştir.

Kanalda sızdırmazlık için Conta+Silikon kullanılması durumunda; sızdırmazlık malzemesi kullanılmaması durumuna göre hava kaçaklarında 400-1500 Pa arası

yapılan test basınçlarında sırasıyla; %20, %35, %37 ve %38 azalma meydana gelmektedir. Eğer kanal birleşim yerlerinde sızdırmazlık için Conta+Silikon+Akustik levha kullanılması durumunda da yine aynı test basınçlarında %62, %56, %58 ve %53 azalma oluşmuştur. Çizelge 3'te görüldüğü gibi; sızdırmazlık malzemesi kullanılmadığı durumda A sınıfı, Conta+Silikon kullanılması durumunda bazı basınç uygulamalarında B sınıfı, Conta+Silikon+Akustik levhası kullanıldığında ise kanalın sızdırmazlık sınıfı tüm test basınçlarında B sınıfı kategorisine yükselmiştir.



Şekil 7. Farklı sızdırmazlık uygulamaları için sızıntının değişimi

Figure 7. Change in the leakage amount for different sealing applications

4. Sonuçlar

Hava kanallarının imalatı, taşınması, montajı ve işçilik uygulamalarındaki farklılıklar nedeniyle hava sızıntılarının olması kaçınılmazdır. Hava kaçakları nedeniyle oluşan sızıntı hava dikkate değer oranda enerji kayıplarına neden olur. Hava kanallarındaki kaçak miktarlarının farklı kanal ölçüleri ve farklı sızdırmazlık uygulamaları için değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda test basıncı arttıkça hava kaçaklarının arttığı, kanal ebatları küçüldükçe yine kaçak miktarlarının arttığı görülmüştür. Kanal ölçüleri küçülüp, test basıncı arttıkça kanal sızdırmazlık sınıfı B sınıfından A sınıfına doğru gerilemektedir. Kanalların sızdırmazlık sınıfının belirlenmesinde standartlarda öngörülen birim yüzey alanından olan sızıntı ile birim birleşme yeri uzunluğu (kenet+flaş) için elde edilen sızıntı benzer karakteristikte olduğu görülmüştür.

Kanal birleşme yerinde sızdırmazlık için kullanılan Conta+Silikon ile birlikte ses yalıtımı için kullanılan akustik levha kullanılması hava sızıntısını dikkate değer oranda azalttığı görülmüştür. Tüm kanallarda akustik yalıtım levhası kullanılıp kullanılmamasının kararının verilmesinde, akustik levha için harcanacak bedel ile birlikte, hava kaçaklarının azaltılmasıyla sağlanan faydanın birlikte değerlendirilmesi gerekir.

Çalışma kapsamında ve literatürden görüldüğü gibi, hava kanallarındaki sızıntının tamamen önlenmesi çok ekonomik değildir. Kaçakların azaltılması daha kaliteli işçilikle birlikte, kanalların kabul aşamasında mutlaka test edilmesi, varsa sorunların giderilmesi, sızıntı nedeniyle oluşan enerji kaybının azaltılmasında etkili olacaktır. Ülkemizdeki hava kanallarının sızıntı seviyelerinin tespitine yönelik ve özellikle büyük ticari binalardaki hava

kanalları için geniş ölçekli bir tarama yapılması, çıkacak sonuçlara göre ileriye yönelik olarak hava kanalları kabul ve devreye alma stratejilerinin belirlenmesinde yol gösterici rol oynayabilir.

5. Kaynaklar

- Aydın, Ç. (2004). Air leakage detection in various cross sectioned air ducts and research on manufacturing methods for airtightness. Izmir Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Master Thesis, İzmir, 108 s.
- Aydın, C. and Ozerdem, B. (2006). Air leakage measurement and analysis in duct systems. *Energy and Buildings*, 38, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.05.010>
- Aydın, Ç., Aktakka, S., Kılınç, K. ve Özerdem, B. (2004). Havalandırma kanallarında meydana gelen kaçak miktarının tespit edilmesi ve bunu önlemeye yönelik uygulamalar. *Tesisat Mühendisliği*, 79, 20-27.
- Canbaz, H., Söylemez, E. and Onat, A. (2013). Air leakage measurement and analysis in duct type heating/cooling coils. *Energy Education Science and Technology, Part A: Energy Science and Research*, 31, 1. 79-86.
- Carrie, R.F., Bossaer, A., Andersson, V.J., Wouters, P. and Liddament, W.M. (2000). Duct leakage in European buildings: Status and perspectives. *Energy and Buildings*, 32, 3, 235-243. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00049-9)
- Chan, W.R. (2014). Air Leakage of US Homes: Regression analysis and improvements from retrofit. <http://escholarship.org/uc/item/1fj9d8mj>
- Çimen, F. (2003). Hava kanalları. *TTMD, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki*, 1, Mart-Nisan, 2-15.
- Divarçı, H.Ö. (2020). Hava kanalı sızdırmazlık testleri ve commissioning (Cx) sürecine etkisi. *Tesisat Mühendisliği*, 176, 27-37.
- HVCA, DW 143. (2013). A practical guide to ductwork leakage testing. Heating and Ventilating Contractor's Association, London.
- EUROVENT 2/2 (1996). Air leakage rate in sheet metal air distribution systems. Eurovent/Cecomaf, Paris.
- Fisk, W.J., Delp, W., Diamond, R., Dickerhoff, D., Levinson, R., Modera, M., Nematollahi, M. and Wang, D. (2000). Duct systems in large commercial buildings: Physical characterization, air leakage, and heat conduction gains. *Energy and Building*, 32, 109-119. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00046-8)
- Helfers, K. (21.02.2017). Duct leakage testing. http://www.nebb.org/assets/1/7/NEBB_Duct_Leakage_Presentation.pdf
- Modera, M.P. (2007). Investigation of leak sealing for supply and exhaust ductwork. 3rd Industry Workshop - Energy Efficient Technologies for Buildings - New and Retrofits, January 25-26, 2007. Dallas, TX.
- Modera, M., Craig, P. Wray, C.P. and Dickerhoff, D. (2014). Low pressure air-handling system leakage in large commercial buildings: Diagnosis, prevalence, and energy impacts. *HVAC&R Research*, 20, 559-569. <https://doi.org/10.1080/10789669.2014.920688>
- SMACNA (2012). Standard: HVAC air duct leakage test manual, 2nd Edition. Washington.
- Tosun, H., Söylemez, E. ve Onat, A. (2013). Kanal tipi ısıtma soğutma bataryalarında hava kaçaklarının incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 134, 69-75.
- TS EN 1507 (2006). Havalandırma-Binalarda-Kanal şebekesi-Dikdörtgen enkesitli sac metal hava kanalları-Dayanım ve sızdırmazlık-Özellik ve deneyler.
- TS EN 12237 (2006). Havalandırma-Binalarda-Kanal şebekesi-Dairesel enkesitli sac metal hava kanalları-Dayanım ve sızdırmazlık.
- Woolley, J.M., Gottlieb, J.D., Pistochini, T.E. and Modera, M.P. (2014). Energy and demand savings from sealing exhaust. Building energy research grant (BERG) program, Final report. https://wcec.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2014/11/BERG_Energy_Demand_Savings_Sealing_Exhaust.pdf
- Wray, C.P. and Matson, N.E. (2003). Duct leakage impacts on VAV system performance in California large commercial buildings. <http://escholarship.org/uc/item/9c31t0h4>
- Wray, C.P., Diamond, R.C. and Sherman, M.H. (2005). Rationale for measuring duct leakage flows in large commercial buildings. <http://escholarship.org/uc/item/38x7347n>