

# Merdiven Yuvaları Basınçlandırma Tasarım Esasları ve Bir Hesaplama Yöntemi

Kazım BECEREN\*  
Gökhan BALIK

## Özet

*Bu makalede, merdiven yuvaları basınçlandırılmasında göz önünde bulundurulması gereken tasarım esaslarına ayrıntılı olarak değinilmiş ve bu esasların sebepleri örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır. Daha sonra ise bu tasarım esasları göz önünde bulundurularak Hobson ve Stewart bağıntısının kullanıldığı bir hesaplama yöntemi tanıtılmış ve bu yöntem için örnek bir hesaplama yapılmıştır.*

## 1. GİRİŞ

Bir binadaki yangın esnasında, kaçış yollarının bir parçası olan merdiven yuvaları, bina sakinlerinin binayı tahliyeleri sırasında kullanılabilir durumda olmalıdır. Merdiven yuvası içerisine duman girişinin önlenmesinin yolu, bir üfleme fanı ile dış havanın merdiven yuvası içerisine verilmesidir ki bu işlem basınçlandırma olarak adlandırılmaktadır. Basınçlandırma ile duman kontrolü, baca etkisi, rüzgar etkisi ve yangın (sıcaklık) etkisi gibi sebeplerin oluştuğu kuvvetleri yenerek gerçekleştirilir.

Altmış yıl önce odaları toz ve öldürücü mikroplardan korumak ve ameliyathanelerde steril bir ortam sağlamak amacıyla kullanılan basınçlandırma yöntemi, 1950'li yıllarda İngiltere ve Avustralya'da adımları atılan çalışmalar ile duman kontrolünde kullanılmaya başlanmıştır [1]. Yangın korunum yöntemi olarak basınçlandırmanın kullanımına izin veren ilk kod 1957 yılında Avustralya'da yayınlan-

dı. 1960 ve 1970'li yıllarda İngiltere'de çalışmaları devam edilerek 1978 yılında BS 5588 Part 4 yayınlanmıştır [2].

Merdiven yuvaları basınçlandırma sistemlerinin ilkleri, genellikle binaların üstüne yerleştirilen fan ile yapılan tek noktadan üfleme sistemidir. Genellikle denilmesinin sebebi, fanın mutlaka bina üstüne yerleştirilmesi gibi bir zorunluluk olmamasıdır, fan binanın alt kısmına yerleştirilerek alttan üfleme ile de basınçlandırma yapmak tabii ki mümkündür. Dışarı tahliye kapısının açık tutulduğu tek noktadan üfleme sistemleri ile yapılan testler, üfleme yapılan noktaya yakın bölgelerde merdiven ile kullanım alanı arasındaki basınç farkının, kapıların açılmasını engelleyecek seviyede yüksek olduğunu ve uzak noktalarda ise duman girişini engellemede yetersiz kaldığını göstermiştir. Özellikle yüksek binalarda bu durum daha da belirgin olarak hissedilmektedir. Tek noktadan üflemenin olumsuz yanları-

\* İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi

nı ortadan kaldırmak için çok noktadan üfleme yöntemi kullanılmıştır. Çok noktadan üfleme, fanla bağlantılı bir kanal ile merdiven yuvası içerisine, farklı noktalardan açılan menfezlerden havanın üflenmesidir. Bu yöntemde merdiven yuvası içerisinde çok daha dengeli bir basınç dağılımı olduğu gözlenmiştir.

## 2. Duman Hareketleri

Bir yapı içerisinde meydana gelen yangında genellikle duman, yangın çıkan bölümden, çok daha uzak alanlara kadar yayılmakta ve merdiven yuvaları, asansör kuyuları ve diğer düşey shaftlar içerisine duman dolabilmektedir. Duman sebebiyle yapının tahliyesi zorlaşmakta ve itfaiyenin çalışması engellenmektedir. Bu bölümde duman hareketlerine sebep olan kuvvetler incelenecek, nötral düzlemin belirlenmesi ve duman hareketleri ile ilgili genel ifadeler verilecektir.

### 2.1 Efektif Akış Alanları

Yapı içerisinde hava veya dumanın hareket ettiği yollar birbirine paralel, seri veya her ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Yapı içerisindeki akış alanlarının her iki tarafında basınç farklarının aynı olması şartı ile alanlar toplamı efektif akış alanı olarak değerlendirilmektedir.

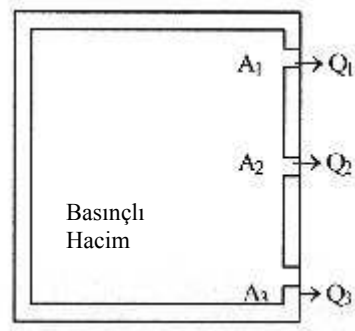
#### a) Paralel Yollar

Şekil 1'de görüldüğü gibi basınçlandırılmış bölümden paralel sızıntı alanları olması durumunda basınçlandırılan bölüm ile dış ortam arasındaki basınç farkı,  $^3P$ , her bir sızıntı alanı için aynı değere sahiptir. Sızıntı alanlarından gerçekleşen toplam debi ise aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

Efektif akış alanı  $A_e$ , akış katsayısı  $C$ , olmak üzere toplam akış debisi için bir başka bağıntı ise;

$$Q_T = Q A_e \sqrt{2^3P / \rho} \quad (2)$$



Şekil 1. Paralel sızıntı yolları

$A_1$  alanı için akış debisi;

$$Q_1 = C A_1 \sqrt{2^3P / \rho} \quad (3)$$

$Q_2$  ve  $Q_3$  akışları benzer şekilde ifade edilebilir. Eşitlik (1)'de yukarıda elde edilen  $Q_1$ ,  $Q_2$  ve  $Q_3$  ifadeleri yerine konular ve düzenlenirse,

$$Q_T = C(A_1 + A_2 + A_3) \sqrt{2^3P / \rho} \quad (4)$$

elde edilir. Bu ifade eğer, eşitlik (2) ile karşılaştırılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$A_e = A_1 + A_2 + A_3 \quad (5)$$

Bir genelleştirme yapılacak olursa,  $n$  paralel sızıntı alanı  $A_i$  olmak üzere paralel sızıntı yolları için efektif alan,

$$A_e = \sum_{i=1}^n A_i \quad (6)$$

ve bu alandan akan debi

$$Q_T = C A_e \sqrt{2^3P / \rho} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

#### b) Seri Yollar

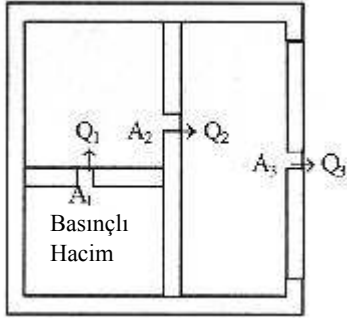
Şekil 2'de görüldüğü gibi basınçlandırılmış bölümden üç adet seri sızıntı yolu vardır. Akış debisi her bir sızıntı alanı için aynıdır. Basınçlandırılmış

bu akış alanlarının her birisinde ( $A_1$ ,  $A_2$ , ve  $A_3$ ) oluşan basınç farklarının ( ${}^3P_1$ ,  ${}^3P_2$  ve  ${}^3P_3$ ) toplamına eşittir.

$${}^3P_T = {}^3P_1 + {}^3P_2 + {}^3P_3 \quad (8)$$

Seri sızıntı yolları için toplam basınç farkı  ${}^3P_T$  olmak üzere toplam debi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_T = CA_E \sqrt{2{}^3P_T / \rho} \quad (9)$$



Şekil 2. Seri sızıntı yolları

Yukarıdaki ifade  ${}^3P_T$  için çözülürse,

$${}^3P_T = \frac{\rho}{2} \left( \frac{Q_T}{CA_E} \right)^2 \quad (10)$$

elde edilir. Sızıntı alanı  $A_1$  için basınç farkı ise,

$${}^3P_1 = \frac{\rho}{2} \left( \frac{Q_T}{CA_1} \right)^2 \quad (11)$$

olarak yazılabilir.  ${}^3P_2$  ve  ${}^3P_3$  basınç farkları için de benzer ifadeler yazılabilir. Bu ifadeler eşitlik (8)'de yerine konulursa, seri sızıntı yolları efektif akış alanı  $A_e$  için aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$A_E = \left( \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} \right)^{1/2} \quad (12)$$

$$A_E = \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_i^2} \right)^{1/2} \quad (13)$$

ve bu alandan akan debi,

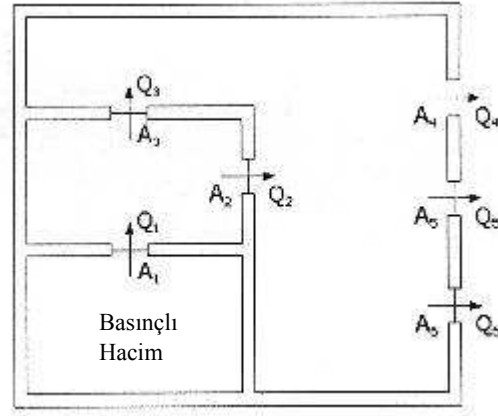
$$Q_T = CA_E \sqrt{2{}^3P_T / \rho} \quad (14)$$

olur.

### c) Paralel ve Seri Yolların Kombinasyonu

Paralel ve seri yolların birlikte olduğu sistemler için efektif akış alanı hesabı ise, paralel ve seri sızıntı yollarının sistematik gruplara ayrılması ile yapılır. Şekil 3'te verilen örnekten de görüldüğü gibi  $A_2$  ve  $A_3$  sızıntı alanları paralel konumdadır; bu yüzden,

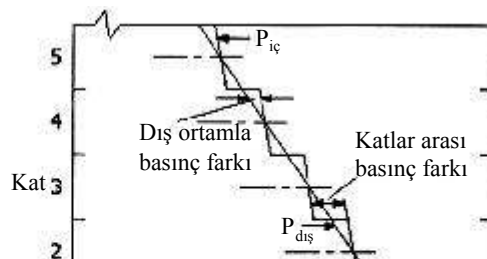
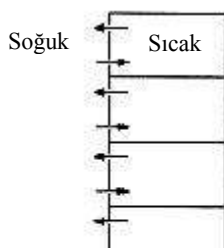
$$A_{23E} = A_2 + A_3 \quad (15)$$

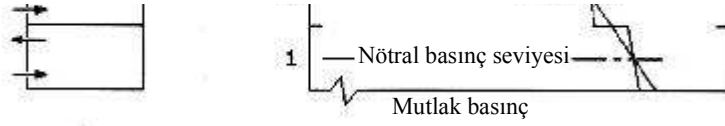


Şekil 3. Birbirine seri ve paralel sızıntı yolları

olur.  $A_{45}$  ve  $A_6$  alanları yine birbirlerine paralel olup bu grup için efektif alan,

$$A_{456E} = A_4 + A_5 + A_6 \quad (16)$$





Şekil 4. Katlar arasında sızıntı olmaması durumunda baca etkisi

şeklinde yazılabilir. Bu yukarıda ifade edilen iki adet efektif alan ve  $A_1$  ise birbirlerine seri sızıntı yollarıdır. Bu yüzden, sistemin efektif alanını aşağıdaki eşitlik ile ifade edebiliriz [3].

$$A_E = \left( \frac{1}{A_A} + \frac{1}{A_{23e}^2} + \frac{1}{A_{456e}^2} \right)^{-1/2} \quad (17)$$

## 2.2 Duman Hareketlerini Oluşturan Kuvvetler

Bu bölümde duman hareketlerini oluşturan kuvvetlerden, özellikle basınçlandırma sistemlerinin tasarımında önemli olan baca etkisi, sıcak gazlarının etkisi (yangın etkisi) ve rüzgar etkisi ile ısıl genişleme etkisi incelenecektir.

### a) Baca Etkisi

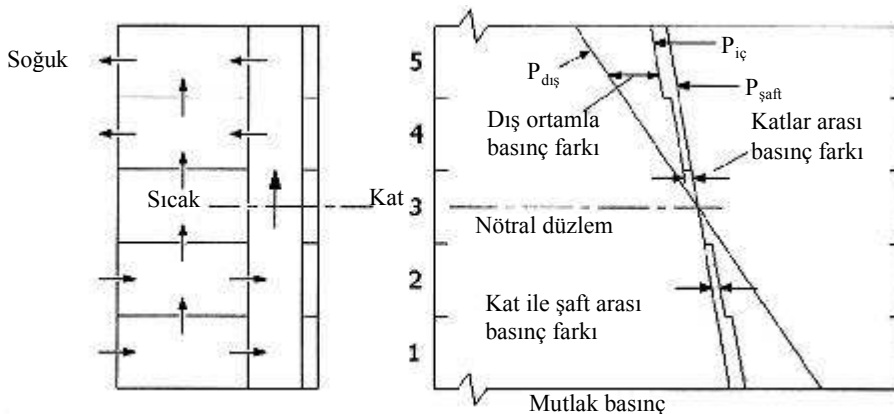
Dış ortam soğuk olduğunda, merdiven yuvası, asansör kuyuları ve tesisat şaftları gibi düşey boşluklardan hava yukarı doğru hareket eder. Bina içindeki hava daha sıcak olduğundan yoğunluğu, dış ortam havasının yoğunluğuna göre daha düşüktür ve bir kaldırma gücüne sahiptir. Bu kaldırma gücü, bina içindeki düşey boşluklardan havanın yükselmesine sebep olur. Bu olaya baca etkisi veya baca hareketi adı verilmektedir. İklimlendirme sistemi olan binalar için, eğer dış ortam havası bina iç sıcaklığından daha yüksek ise, hava akışı bina dışındaki düşey boşluklardan aşağıya doğru gerçekleşir ve bu olay da ters baca etkisi olarak adlandırılır [4].

Yapılardaki merdiven yuvası, asansör kuyusu ve tesisat şaftları gibi düşey boşluklar genellikle geniş kesit alanlarına sahip olduğundan, baca etkisinin sebep olduğu hava akışı sırasında meydana gelen sürtünme kayıpları, kaldırma gücüne sebep olan basınç farklarıyla karşılaştığında oldukça küçüktür ve ihmal edilebilir.

Baca hareketi basıncı, bina iç ve dış arasındaki sıcaklık farkı, bina yapısı, bina katlarının ve şaftlarının sızıntı alanlarına bağlı olarak değişir. Sprinkler sistemli binalar ile sprinkler sistemi olmayan binalar için baca hareketinin sebep olduğu basınçların hesabı farklı yapılır. Sprinkler sistemi olan bir yapıda, yangın katındaki kırık bir camın meydana getirdiği büyük açıklığın sebep olduğu baca etkisinin yarattığı basınç, sprinkler sistemi olmayan binalara göre çok daha düşüktür.

Eğer bina içerisinde, katlar arası düşey sızıntı sözkonusu değilse, baca etkisi Şekil 4'teki gibi olacaktır. Bu durumda, katlar içerisindeki basınç profilleri hemen hemen aynı olup katların birbirlerine etkisi yoktur.

Öte yandan gerçek yapılarda düşey sızıntılar da mevcuttur. Düşey sızıntıların bulunduğu bir yapı için baca etkisi ise Şekil 5'de görüldüğü gibidir. Yüksek yapılarda duman hareketi, esas olarak sıcak



gazların kaldırma kuvveti etkisi ve iç-dış sıcaklık farkının yarattığı baca etkisi sebebiyle olur. Bu kuvvetler genellikle dumanı merdiven yuvaları, asansör kuyuları ve şaftların içine doğru sürükler. Bu şaftlardaki düşey hareket, üst katlara dumanın yayılmasına sebep olur.

Şaft ile dış ortam arasındaki basınç farkı hesabı için eşitlik (18) kullanılır. Nötral düzlem ise yatay düzlemde olup, iç ortam basıncının dış ortam basınca eşit olduğu noktada  $z=0$  kabul edilir. Eğer nötral düzlemin yeri biliniyorsa, Eşitlik (18) kullanılarak yapı içi ile dış ortam arasındaki basınç farkı hesaplanabilir.

$${}^3P_{SD} = \frac{gP_{atm}}{R} \left( \frac{1}{T_D} - \frac{z}{T_S} \right) \quad (18)$$

Burada;

- $g$  : yer çekim ivmesi; (m/s<sup>2</sup>)
- $P_{atm}$  : mutlak atmosferik basınç, (Pa)
- $R$  : evrensel gaz sabiti, (J/kg-K)
- $T_D$  : dış ortamın mutlak sıcaklığı, (K)
- $T_S$  : şaft mutlak sıcaklığı, (K)
- $z$  : nötral düzlemden mesafe, (m)

Şafttan dış ortama akışta efektif akış alanı ( $A_E$ ), şaft ile bina içerisi arasındaki akış alanı ( $A_{Si}$ ) ve

bina içerisinden dış ortama akıştaki alan ( $A_{ID}$ ) cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A_E = \left( \frac{1}{A_{Si}^2} + \frac{1}{A_{ID}^2} \right)^{1/2} \quad (19)$$

Seri sızıntı yolları için bir yolda oluşan basınç farkı, tüm sistemde oluşan basınç farkı, sistemin efektif akış alanı ve söz konusu seri yolun akış alanına bağlı olarak yazılabilir.

$${}^3P_{Si} = {}^3P_{SD} \left( \frac{A_E}{A_{Si}} \right)^2 \quad (20)$$

Eşitlik (18) ve (20) birlikte kullanılarak, efektif akış alanının yok edilmesi ile yeniden düzenlenirse aşağıdaki ifade elde edilir.

$${}^3P_{Si} = \frac{{}^3P_{SD}}{1 + (A_{Si}/A_{ID})^2} \quad (21)$$

( $A_{Si}/A_{ID}$ ) oranının değerleri 1.7-7 arasında değişir [5]. Şaft ile yapının iç kısmı arasındaki basınç farkı, şaft ile dış ortam arasındaki basınç farkından oldukça küçüktür. Fakat yangın durumunda, yangın çıkan katta birçok pencere yangın sebebiyle kırıldığından,  $A_{ID}$  değeri bu katta çok büyümekte ve

$A_{Si}/A_{ID}$  oranı küçülmektedir. Bu durumda ise şaft ile yapının iç kısmı arasındaki basınç farkı ( ${}^3P_{Si}$ ), şaft ile dış ortam arasındaki basınç farkı ( ${}^3P_{SD}$ ) ile hemen hemen aynı değerdedir.

Bina yangınlarında meydana gelen duman hareketlerinde en önemli etken baca etkisidir. Normal baca etkisi esnasında duman, Şekil 6'da görüldüğü gibi nötral düzlem altındaki yangın durumunda, binada hava akışı ile şaftların içine yayılır ve şaft içinde yükselmeye başlar. Yukarı doğru duman akışı, dumanın sıcaklığına bağlı olarak, sıcak gazların kaldırma kuvvetlerinin duman üzerindeki etkisi ile artar. Nötral düzlemin hemen üzerinde, bu kez duman akışı, şaftlardan binanın üst katlarının içine doğru gerçekleşir. Katların birbirleri arasındaki sızıntılar neticesi olarak katın bir üst katına da duman akışı

$$PV = mRT \quad (22)$$

Burada,

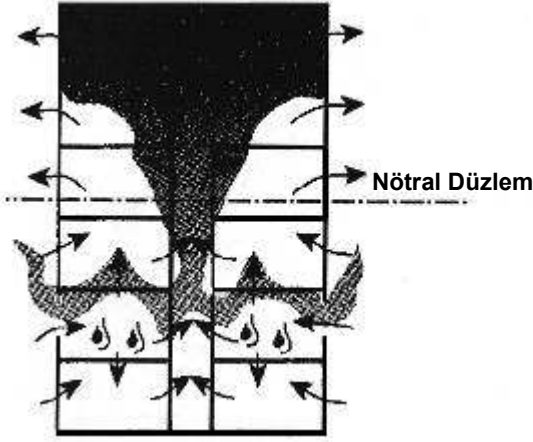
- $P$  : mutlak basınç, (Pa)
- $V$  : gaz hacmi, (m<sup>3</sup>)
- $m$  : gaz kütlesi, (kg)
- $R$  : evrensel gaz sabiti, (J/kg-K)
- $T$  : gazın mutlak sıcaklığı, (K)

Yangın bölmesinden, basınç yükselmesini önleyecek kadar sızıntı olduğu kabulü yapılırsa,

$$V \propto T \quad (23)$$

sonucu çıkar. Bunun anlamı, gaz hacminin yaklaşık olarak gazın mutlak sıcaklığı ile doğru orantılı olarak artması demektir. Bunun sebebi, yangın bölmesindeki basınç yükselmesi, mutlak atmosfer

hüccesi, yangın katının en üst katına da duman akışı olur. Eğer katlar arasındaki sızıntılar ihmal edilirse, nötral düzlemin altındaki katlar, yangın katı hariç, dumandan arındırılmış olur. Katlar arasındaki sızıntıların fazla olması durumunda ise, yangın katı üstündeki kata doğrudan duman akışı, nötral düzlemin altındaki diğer katlara göre çok daha fazla olmaktadır. Bu durum Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Yapılarda baca etkisinin sebep olduğu duman hareketi

#### b) Isıl Genleşme

Yangında açığa çıkan enerji, gaz sıcaklıklarının artması ile sonuçlanır. Bu durum mükemmel gaz kanunundan takip edilebilir.

basıncı ile karşılaştırıldığında çok düşük olduğundan, mutlak basıncın çok az değişmesidir.

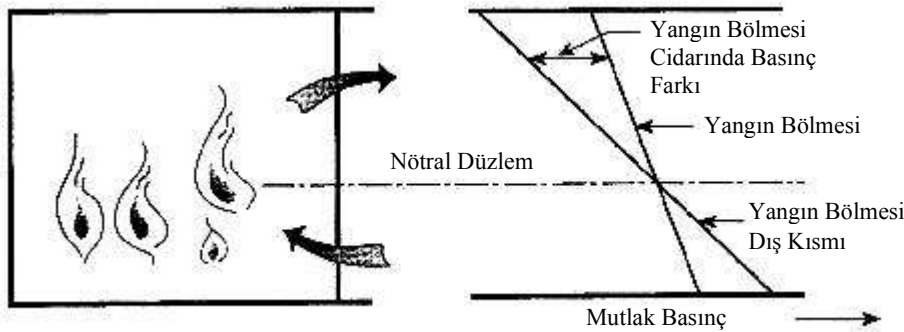
Bir yangın bölmesindeki sıcaklık, ortam sıcaklığından 600 °C sıcaklığa yükselirse, eşitlik (23)' e göre

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(600 + 273)}{(21 + 273)} = 3$$

olur. Gazların hacmi, başlangıçtaki değerinin yaklaşık üç katına çıkar ve başlangıçta yangın bölümünde bulunan gazların yaklaşık 2/3'ü yangın bölümü dışına doğru çıkması için zorlanır. Isıl genişlemenin sebep olduğu yangın bölümü dışına doğru olan bu gaz akışı, yangın bölümü içindeki sıcaklık yükselmeye devam ettiği sürece devam edecektir. Gazların genişlemesinin sebep olduğu yangın bölümü cidarlarındaki basınç farkı üç faktöre bağlıdır: (1) sızıntı alanı, (2) yangın bölümü hacmi, ve (3) sıcaklık yükselme oranı.

#### b) Yangın Sonucu Oluşan Sıcak Gazların Etkisi

Yangın sebebi ile sıcaklık belli bir daimi rejim değerine ulaştığı zaman, yangın bölümü içindeki gazların genişlemesi durur. Bu anda duman, yüksek



Şekil 7. Yangının sebep olduğu akış şekilleri ve basınç farkları

sıcaklığın sebep olduğu kaldırma kuvveti etkisi ile yangın bölümü dışına doğru hareket eder.

Böyle bir bölme içindeki yangında, Şekil 7'de gösterildiği gibi, yangın bölümü içindeki hava bölme dışındaki havadan daha sıcak ve dolayısıyla yoğunluğu bölme dışındaki havanın yoğunluğundan daha düşüktür. Dolayısıyla, yangın bölümü içindeki hava yükselme ve yangın bölümünün üst tarafındaki yükseklikten dışarıya çıkma eğilimindedir. Bu

düzlem olarak adlandırılır. Nötral düzlem seviyesinin üzerinde, yangın bölümü içindeki basınç, dışındaki basınçtan daha büyük; altında ise yangın bölümü dışındaki basınç, içindeki basınçtan daha büyüktür. Her iki doğru arasındaki yatay mesafeler, çeşitli yüksekliklerdeki basınç farklarının büyüklüğünü gösterir.

Basınç farkı, nötral düzlem seviyesinden uzaklaş

daki açıklıktan dışarıya çıkma eğilimindedir. Bu sırada dışarıdaki soğuk hava ise yangın bölmesinin alt seviyesindeki açıklıktan yangın bölmesi içine girer ve sıcak hava ile yer değiştirir. Bu akış şekline, sıcak gazların kaldırma kuvvetleri sayesinde oluşan, yangın bölmesi ve dışı arasındaki basınç farkları sebep olur. Şekil 7’de sağ taraftaki diyafram, yangın bölmesi içindeki ve dışındaki mutlak hava basınçlarının yükseklikle değişimini göstermektedir. Yukarı kısımda, birim alan içindeki havanın toplam ağırlığının azalması sebebi ile havanın mutlak basıncı, yükseklik ile azalır. Şekil 7’de bölmenin dışındaki havanın, yangın bölmesi içindeki havadan daha yoğun (daha düşük sıcaklıkta olması sebebi ile) olduğunu görülmektedir. Böylece, yükseklikle basınçtaki azalma miktarı, yangın bölmesi dışındaki hava için çok daha hızlı olacaktır. Şekil 7’de mutlak basınçları gösteren doğrular orta seviyelerde bir yerde kesişirler ki bu kesişme noktasında, iç ve dış arasında bir basınç farkı yoktur. İç ve dış basınçların eşit olduğu bu seviye nötral

lıkça artar. Yangın dolması içi ve dışı arasındaki sıcaklık farkı arttığı zaman, iç ve dış basınçları gösteren doğruların eğimleri farkı da artar ve böylelikle yangın bölmesi duvarındaki basınç farkı da artmış olur. Nötral düzlemin konumu yangın bölmesinin sızıntı açıklıklarının düşey olarak dağılımına ve büyüklüklerine ve çok daha az miktarda da yangın bölmesindeki ve dışındaki gazların sıcaklıklarına bağlıdır.

Sıcak gazların sebep olduğu kaldırma kuvvetinin, yangın bölmesi ile çevresi arasındaki yarattığı basınç farkı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$${}^3P_F = \frac{gP_{atm}}{R} \left( \frac{1}{T_D} - \frac{1}{T_F} \right) (h - h_n) \quad (24)$$

Burada,

- ${}^3P_F$  : yangının sebep olduğu basınç farkı, (Pa)
- $g$  : yer çekimi ivmesi, (m/s<sup>2</sup>)
- $P_{atm}$  : mutlak atmosferik basınç, (Pa)

- $R$  : evrensel gaz sabiti, (J/kg-K)
- $T_D$  : dış ortamın mutlak sıcaklığı, (K)
- $T_F$  : yangın bölmesi mutlak sıcaklığı, (K)
- $T_D$  : dış ortamın mutlak sıcaklığı, (K)
- $h$  : yangın bölmesi yüksekliği, (m)
- $h_n$  : nötral düzlemin yüksekliği, (m)

Sıcak gazların kaldırma etkisi ve baca etkisinden hangisinin daha etkili olduğuna göz atıldığında, yangın bölmesinde kırılmış pencere olmadığı zaman, nötral düzlemin herhangi bir yerindeki ( $A_{SI}/A_{ID}$ ) oranının büyük değerleri için kaldırma etkisi daha önemli olmaktadır. Nötral düzlemden uzak bir konumda ( $A_{SI}/A_{ID}$ ) oranının küçük değerleri için, baca etkisi daha etkilidir. Pencere kırık olduğu zaman ise her durumda baca etkisi daha önemli olmaktadır.

#### d) Rüzgar Etkisi

Rüzgarın duman hareketleri üzerinde etkisi, yüzeyde rüzgarın oluşturduğu basınç ile dikkate alınabilir.

$$P_r = \frac{1}{2} C_p \rho_D V \quad (25)$$

Burada  $C_{r1}$ , duvarın rüzgar aldığı durum için basınç katsayısı;  $C_{r2}$ , duvarın rüzgar altı olduğu durum için basınç katsayısıdır.

En şiddetli rüzgar etkisi yüksek rüzgar hızlarında ve pencerelerin kırık olduğu zaman olur. Rüzgar hızı yer seviyesinden yükseldikçe artar, bu da güç katan eşitliği gibi ifade edilebilir [7].

$$V = V_o \left( \frac{z}{z_o} \right) \quad (27)$$

Burada  $V$ , rüzgar hızı;  $V_o$ , referans yüksekliğindeki hız;  $z$ , rüzgarın ölçüleceği yükseklik;  $z_o$  referans yükseklik değeri ve  $n$ , boyutsuz rüzgar üstel değeridir.

Rüzgar verileri hava alanlarında ve meteoroloji servislerinde yer seviyesinden 10 m yukarıdaki  $z_o$  yüksekliğinde kaydedilir. Rüzgar üstelinin 0.16 değeri düz bölgeler içindir. Rüzgar üsteli düzgün olmayan bölgelerde artmakta, ve daha çok şehir alanları gibi pürüzlü bölgeler için bu değer 0.40 olarak alınmaktadır [7].

### 3. Tasarım Esasları

Basınçlandırma sistemi ile duman kontrolü için ta-

Burada  $C_r$ , boyutsuz basınç katsayısı;  $\rho_D$ , dış ortam hava yoğunluğu ve  $V$ , rüzgar hızıdır. Basınç katsayısı ( $C_r$ ), -0.8 ile 0.8 arasında değerler alır [6]. Pozitif değer duvara doğru olan rüzgar akışını, negatif değer duvarı terk eden rüzgar akışını gösterir. Basınç katsayısı bina geometrisine ve yerel rüzgar akımlarına bağlıdır ve duvar yüzeyinin yerleşimi ne göre değişmektedir.

Binanın bir tarafıyla diğer tarafı arasında, rüzgar etkisine bağlı olarak oluşan basınç farkı da aşağıdaki gibi ifade edilebilir [6].

$${}^3P_r = \frac{1}{2} (C_{r1} - C_r) \rho_D V^2 \quad (26)$$

40

nımlanan iki temel prensip vardır. Birincisi, eğer ortalama hava hızı yeterli ise hava akışı duman hareketini kontrol edebilir. İkincisi ise bir engelin önündeki basınç farkı da duman hareketini kontrol edebilir. Basınçlandırma sistemleri her iki prensibi de kullanır. Örneğin açık kapı gibi büyük açıklıklar söz konusu ise birinci prensip olan hız faktörü göz önünde bulundurulur. Kapalı kapıların çevresindeki sızıntı alanları gibi küçük boşluklar söz konusu ise ikinci prensip olan basınç farkı faktörü göz önüne alınır.

### 3.1 Basınç Farkları

Öncelikle ikinci prensip olan basınç farkı faktöründen başlanacak olursa, bilindiği gibi merdiven yuvası içerisinde basınçlandırmada basınç farkı için izin verilen alt ve üst limit değerler vardır.

#### a) Basınç farkı için alt limit değer

Alt limit, yani alt basınç fark değeri, merdiven yuvası içerisinde duman girişini engelleyecek en düşük basınç değerini belirlemek için kullanılır. Duman girişine sebep olacak basıncı yaratan etkenler ise önem sırası düşük olandan başlanacak olursa rüzgar hareketi, baca hareketi ve yangındır. Rüzgar etkisi, kırılan camın konumuna bağlı olarak yararlı veya zararlı olabilir. Yangın katı dış duvarında büyük açıklık yok ise rüzgar etkisi minimum düzeydedir. Sprinkler sistemli binalarda, tasarım basınç fark değeri üzerine rüzgar hareketinin etkisi ihmal edilebilir. Baca hareketi basıncı, bina iç ve dış arasındaki sıcaklık farkı, bina yapısı, bina katlarının ve şaftlarının sızıntı alanlarına bağlı olarak değişir. Sprinkler sistemli binalar ile sprinkler sistemi olmayan binalar için baca hareketinin sebep olduğu basınçların hesabı farklı yapılır. Sprinkler sistemi olan bir yapıda yangın katındaki kırık bir camın meydana getirdiği büyük açıklığın sebep olduğu baca etkisinin yarattığı basınç, sprinkler sistemi olmayan binalara göre çok daha düşüktür. Yangın basıncını ifade etmek için, daha önce yazılan eşitlik (24) kullanılır.

$${}^3P_F = \frac{gP_{atm}}{R} \left( \frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_F} \right) (h - h_n) \quad (24)$$

Burada,  $(h-h_n)$  değeri olarak  $2/3 h$  kullanılabilir.

Alt basınç değerinin hesabına bakarsak örneğin

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 83, 2004

$$T_F = 1200 \text{ K (927 } ^\circ\text{C)},$$

$$h = (2/3) \times 2.75 \text{ m}$$

için eşitlik (24) kullanılarak,

$${}^3P_F = 16.3 \text{ Pa}$$

olarak hesaplanır. Emniyet faktörü 1.5 alınarak;

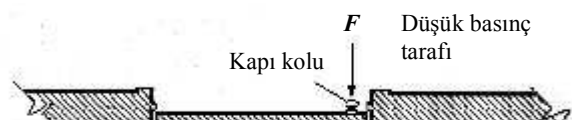
$${}^3P = 16.3 \text{ Pa} \times 1.5^2 = 25 \text{ Pa}$$

değerine ulaşılır.

Kısaca alt basınç değeri ile ilgili yapılan hesaplamalar sonucu şu yorum yapılabilir: sprinkler sistemi olan binalardaki yangınlarda oda pik sıcaklığının tavanda  $200 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'nin altında, yer seviyesinde ise  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'nin altında olduğu düşünülebilir.

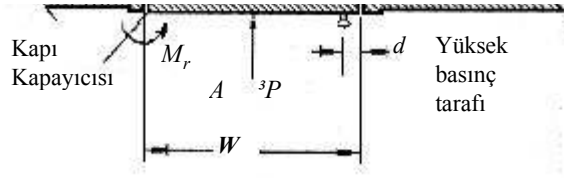
Sprinkler sistemi olmayan binalarda ise bu değer  $850-950 \text{ } ^\circ\text{C}$  olabilmektedir.

Üst basınç fark değerini belirten kriter, kapıyı açmak için kapı koluna uygulanması gereken en büyük kuvvet ile bağlantılıdır. Amaç insanların herhangi bir zamanda kaçış kapılarını açabileceğinden emin olmaktır.





NFPA 92 A "Recommended Practice for Smoke-Control Systems" da 2.75 m tavan yüksekliği olan bir yarıda sprinkler sistemi yokken tasarım basınç fark değeri alt limiti olarak 25 Pa verilmektedir. Bu hesap NFPA 92 A'da yangın basıncına göre yapılmakta ve hesaplanan yangın basıncı değeri, genelde deŞekil 8.



Basınçlandırma esnasında kapı üzerine etkiyen kuvvetler dengesi

Üst basınç fark değeri, kapı üzerine uygulanan kuvvetler dikkate alındığında eşitlik (28) kullanılarak tespit edilebilir.

$$T_0 = 294 \text{ K (21 } ^\circ\text{C)},$$

$$M_r + A \Delta P (W/2) - F (W-d) = 0 \quad (28) \quad \begin{aligned} F_r = 40 \text{ N için } \Delta P &= 80 \text{ Pa} \\ F_r = 30 \text{ N için } \Delta P &= 88 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Burada,

$\Delta P$  : basınç farkı, (Pa),

F : toplam kapı açma kuvveti, (N),

$M_r$  : kapı kapatıcı ve diğer sürtünmelere ait kapı açmak için, küçük çocukların uygulayabileceği kuvvetin 29 N olduğu ve bu değer yaşlı bayanlar için 91 N, sağlıklı erkekler için 200 N olduğu unutulmamalıdır.

W : kapı genişliği, (m),

A : kapı alanı (m<sup>2</sup>),

d : kapı kolundan kapı çerçevesine olan mesafe, (m)

hesap edilir.

Kapı kapatıcı ve diğer sürtünmeleri yenmek için uygulanması gereken kuvvet  $F_r$  ile belirtilir ve  $F_r$  kuvveti için eşitlik (29) kullanılır.  $F_r$  kuvveti, üst basınç fark değerini belirlemede dikkat edilmesi gereken bir büyüklüktür.

$$F_r = M_r / (W-d) \quad (29)$$

$F_r$  kuvveti Design of Smoke Management Systems'e [7] göre 13N-90N, ve NFPA 92A'ya [8] göre ise 25N-60N olabilmektedir. Üst basınç değerini belirlemede,  $F_r$  kuvveti üzerine otomatik kapı kapatıcı kuvvetinin etkisi büyüktür. Tabii ki kapı genişliğinin de etkisi vardır.

*Örnek*

Genişliği 1 m, yüksekliği 2.15 m olan bir kapıda, kapıyı açmak için kapıya uygulanmasına izin verilecek en yüksek değer olan 133 N değerini aşmak için,  $F_r$  kuvvetinin 40 N ve 30 N değerleri için üst basınç farkı değerlerini hesaplayınız.

*Çözüm*

### 3.2 Hız Faktörü ve Açık Kapı Sayısı

Basınçlandırmada önemli olan bir başka kriter ise hava hızı ve bununla bağlantılı olarak açık kapı sayısıdır, ki basınçlandırma için gerekli olan hava debisi üzerine en büyük etki, açık kapı sayısı ve açık kapılardan hava akış hızı olmaktadır. Açık kapı sayısının ne olması gerektiğine karar verecek hususlardan birisi tahliye yöntemidir. Örnek vermek gerekirse; kontrol altında tutulamayan, binanın tamamının tahliyesi durumunda, ki bu durum kontrolsüz tam tahliye olarak adlandırılabilir, yangın katının kapısı ve dışarıya tahliye kapısı uzun süre açık kalacak, bunun yanında sesli alarmin duyulmasını takiben diğer kapılar da açılacaktır. Kontrollü tahliyede ise yangın katı ve çıkış katı dışında sadece birkaç kapı kısa bir süre için açılabilir. Açık kapı sayısı üzerine kullanıcı sayısı, bina kullanım amacı, itfaiye müdahalesinin de etkisi bulunmaktadır. Düşük kullanıcı yükü olan oteller ve konutlar, ofisler ile karşılaştırıldığında kapıların otel ve konutlarda daha kısa süreler ile açıldığı görülür. Açık kapıların etkisini daha iyi anlayabilmek için World Trade Center'da Şubat 1993'te meydana gelen patlamadan bahsetmek gerekir. Bu patlamada 22 katlı otel ve 110 katlı ikiz kulelere duman yayılımı ol-

W=1 m  
H=2.15 m  
d=0.075 m  
F=133 N

$$P = 2 (W - d) (F - Fr) / (W A)$$

bağıntısı kullanılarak;

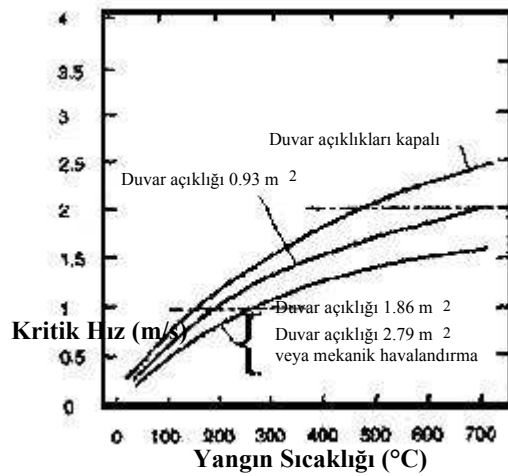
42

muştur. O gün dış sıcaklık 2 °C ve rüzgar hızı 16 km/h olarak ölçülmüştür. 1000'den fazla insan du - man teneffüs etmeden dolayı etkilenmiş fakat du - mandan kaynaklanan bir ölüm olmamıştır. Bu du - ruma iki sebep gösterilmektedir. Birinci sebep yan - gın boyutunun küçük olması (yaklaşık 25-30 araç yanmıştır), ikincisi ise dumanın, 7 binadan oluşan

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 83, 2004

bu kompleksin alt katlarındaki büyük alanlardan ge - çerken, asansör kuyuları ve merdiven yuvalarına ulaşana kadar seyrelmiş olmasıdır. Otel müşteri - leri 10-15 dakika içinde oteli tahliye etmişlerdir. Kulelerin üst katlarından tahliyesi ise 1<sup>1/2</sup> -3 saat arasında gerçekleşmiştir. Patlama ile birlikte kont - rol merkezi yok olmuş, güç kesintisi sebebi ile ışık yetersiz kalmış, duyuru haberleşme sistemi çalışmamıştır. Ancak acil durum personelinin yönlendirmesi ile insanların tahliyesi gerçekleş - ebilmiş ama, bu tahliye kontrolsüz bir tahliye oldu - ğundan merdivenler insanlar ile dolmuş ve insanlar merdivene girebilmek için katlarda sıra beklemeye başlamışlardır. Doğal olarak, bu durumda merdi - ven kapıları açık kaldığı için katlara çeşitli düzey sızıntı yolları ile ulaşan duman da merdiven yuva - ları içerisine girmiştir. Daha da kötüsü dışarıya tahliyesi lobiye açılarak gerçekleştirilen merdiven kapısı, itfaiyecilerin merdivene girişi ve insanların tahliyesi için sürekli olarak açık kaldığından, zemin kat lobiye gelen duman da merdiven yuvası içeri - ne girmiştir. Merdivenin basınçlandırma sistemi olmasına rağmen, çok sayıda kapının açık kalması merdiven içerisinde oldukça fazla basınç kaybına sebep olmuştur. Doğu tarafta yer alan ve doğrudan bina dışına tahliyeyi gerçekleştiren merdivende böyle bir sorun yaşanmamıştır [9]. Açıkça şunu belirtmek gerekir ki, çok yüksek binalarda kontrol - süz tahliye sırasında ne kadar basınçlandırma yapı - lırsa yapılsın, aynı anda kapıların tamamına yakını açılırsa sistem çökecektir, hele hele bir de merdi - venlerin dışarıya tahliyesi bina içerisinden geçile - rek yapılsa bunun olumsuz etkisi daha da fazla hissedilecektir. Açık kapılardan duman girişinin nasıl önleneceği konusuna gelinirse, kapalı kapılar arkasında basınç farkları yaratarak duman girişinin önüne geçilebileceği az önceki bölümde belirtildi. Fakat, binanın tahliyesi ve yangına müdahale sıra - sında merdiven kapıları açılır. Bu durum etkin ba - sınçlandırmada kayıplara sebep olur ve merdiven

ları sağlayacak bir tasarıma gidilir. Merdivenin açık kapısındaki duman girişini önle - yecek ortalama hız değeri kritik hız olarak adlandı - rılır. Kritik hızlar ile ilgili olarak çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır [9]. Bu deneylerde yangın sıcaklığı, katın dış duvarlarındaki sızıntı açıklık - ları ve merdiven açık kapı kanat açıları incelen - miştir. Şekil 9'da yer alan grafik deney sonuçları - na dayanmaktadır. Buradan da görüldüğü üzere en kritik hal dış duvarların tamamen sızdırmaz oldu - ğu durumdur bu halde merdiven içerisine duman akışını önlemek için daha büyük hızlara gerek du - yulur. Tamamen hava sızdırmaz dış cepheler duru - munda, açık kapılardan hızların büyük olması ile yangın katında bir basınç oluşturulur, bu da büyük debilerde, dumanın asansör kuyusu ve servis shaft - larına akmasına sebep olur. Bunun anlamı, yangın katına akan hava debisini azaltmak için merdiven



kapısı açıklığı mümkün olduğu kadar sınırlandırıl - malıdır.

Şekil 9. Yangın mahalli sıcaklığı ile kritik hava hızı değişimi [9]

Duman geri akışını önlemek için açık kapıdan sağ - lanan hava debisi büyük bir yangına sebep olabilir

yuvası içerisine duman girişine izin verir. Yangın katında açık olan merdiven kapısından merdivene dumanın geri akışını önlemek için yeterli hava hız -

tanan hava debisi büyük bir yangına sebep olabilir. Örneğin, 0.92 m x 2.13 m boyutunda bir kapıdan 1m/s ve 2 m/s hızlar için debi 1.98 m<sup>3</sup>/s ve 3.96 m<sup>3</sup>/s

olmaktadır. Eğer yeteri kadar yanıcı malzeme varsa bu debiler 7230 kW ve 14460 kW büyüklüğünde yangına sebep olabilmektedir [9]. Kapıyı tam açık konumdan yarı açık konuma getirmek, duman geri akışını önlemek için gerekli olan debiyi yaklaşık yarıya indirir. Kritik hız değerleri kapının 90 derece olması durumu için saptanmıştır. Kapı kanadı 30 derecenin altında ise bu açıklık alanında önemli miktarda azalma demektir. Kapı kanadının 10 derece olması, ki bu açıklık yangın hortumunun geçmesi için yeterlidir, tam açık kapı haline göre alanı %15 seviyesine çekmektedir.

### 3.3 Sızıntı Alanları

Duman kontrol sistemlerinin tasarımında, sızıntı alanları iyi bir şekilde belirlenmeli ve değerlendirilmelidir. Kapalı kapıların etrafındaki boşluklar aşıkardır. Yapı çatlakları ise bina duvarlarında ve katlarda daha az belirgin olmasına rağmen, duman kontrolü üzerine önemi daha az değildir. Yapı elemanlarındaki çatlakların oluşturduğu akış alanla -

rının değerlendirilmesi çok daha zordur. Bu tip sızıntı yollarının alanları büyük ölçüde işçiliğe bağlıdır. Örneğin kapalı kapının çevresindeki boşlukların büyüklüğü, pervazlarının iyi monte edilip edilmediği ile alakalıdır. Yapıların duvar ve döşeme - lerdeki tipik sızıntı alanları Tablo 1’de listelenmiştir. Bu verilen değerler ortalama değerlerdir, bu değerler gerçek sızıntı alanlarını tam olarak yansıtmamaktadır. Bunun sebebi ise daha önce de belirtildiği üzere sızıntı alanı değerlerinin büyük ölçüde işçilik kalitesine bağlı olmasıdır. Yapıda kullanılan malzeme tipinin ise sızıntı alanlarının değerleri üzerindeki etkisi çok daha azdır.

Kapalı kapılar etrafındaki sızıntı alanlarına gelince bu değerler Tablo 2’de verilmiştir. Asansör kapıları hariç kapı çevresindeki sızıntı alanlarının 0.01m<sup>2</sup> ile 0.03m<sup>2</sup> arasında değiştiği görülmektedir. Ama zaman zaman 0.04 m<sup>2</sup> olan durumlar da söz konusu olabilmektedir. Asansör kapıları için ise bu değer 0.06 m<sup>2</sup> alınmaktadır.

**Tablo 1. Duvarlar ve döşemeler için hava sızıntı verileri [2]**

Yapı Elementi	Duvar sıklığı	Sızıntı alan oranı $A/A_{duvar}$
Yapı dış duvarları (yapı çatlakları, pencereler ve kapıların çevre-sindeki çatlaklar dahil)	Sıkı	$0.70 \times 10^{-4}$
	Orta	$0.21 \times 10^{-3}$
	Gevşek	$0.42 \times 10^{-3}$
	Çok gevşek	$0.13 \times 10^{-2}$
Yapı iç duvarları ve merdiven yuvası duvarları	Sıkı	$0.14 \times 10^{-4}$
	Orta	$0.11 \times 10^{-3}$
	Gevşek	$0.35 \times 10^{-3}$
Asansör kuyusu duvarları (yapı çatlakları dahil fakat, pencereler ve kapılar çevresindeki çatlaklar dahil değil)	Sıkı	$0.18 \times 10^{-3}$
	Orta	$0.84 \times 10^{-3}$
	Gevşek	$0.18 \times 10^{-2}$
		<b>Sızıntı alan oranı</b> $A/A_{döşeme}$
Döşemeler (yapı çatlakları ve düşey geçişler çevresindeki çatlaklar dahil)	Orta	$0.52 \times 10^{-4}$
NOT: $A$ : Sızıntı alanı (m <sup>2</sup> ) $A_{duvar}$ : Duvar alanı (m <sup>2</sup> ) $A_{döşeme}$ : Döşeme alanı (m <sup>2</sup> )		

**Tablo 2. Kapalı kapılar için hava sızıntı verileri [2]**

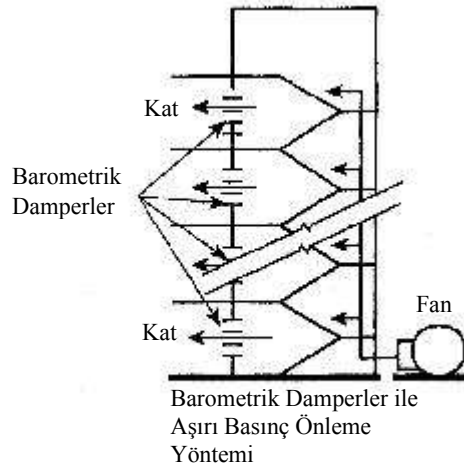
Kapı Tipi	Sızıntı Alanı (m <sup>2</sup> )
Basınçlandırılan mahalle açılan tek kanatlı kapı	0.01
Basınçlandırılan mahalden dış ortama açılan tek kanatlı kapı	0.02
Çift kanatlı kapı	0.03
Asansör kapısı	0.06

Çeşitli testlerde tek kanatlı kapılarda bile kapı sızıntı alanları 0.03m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Ancak BS 5588 Part 4, bu değeri 0.01m<sup>2</sup> olarak vermektedir. Gerçek değer önerilen değerden üç kere daha büyüktür. Bu da diferansiyel basıncı yaklaşık 9 kat azaltmaktadır. Bu durumda tasarım değeri olarak 50 Pa hedeflenirken sadece 6 Pa değeri gerçekleştirilebilir. Chow tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada [10] Hong Kong'da ticari bir binanın testleri yapılmıştır. Testlerin amacı değişik koşullar altında merdiven yuvası basınçlandırma performansını değerlendirmektir. Yapılan testlerde merdiven yuvası ile lobi arasındaki basınç farkının ölçülen değeri, hesaplanan değer üç katı büyük bulunmuştur. Bu durumun sebebi lobi ile kullanım mahalli arasındaki akış alanının farz edilen değerinin, gerçek değerinden daha büyük seçilmesidir. Bu yüzden de daha düşük bir basınç farkı tahmin edilmiştir. Kullanım alanında serili bulunan halı, kapı altında ki akış alanını azaltmıştır. Akış alanı, basınç farkının karekökü ile ters orantılı olduğu için akış alanındaki 0.58 oranındaki bir küçülme yaklaşık 3 kat daha fazla basınç farkı ile sonuçlanmıştır.

### 3.4 Aşırı Basınç Artışının Önlenmesi

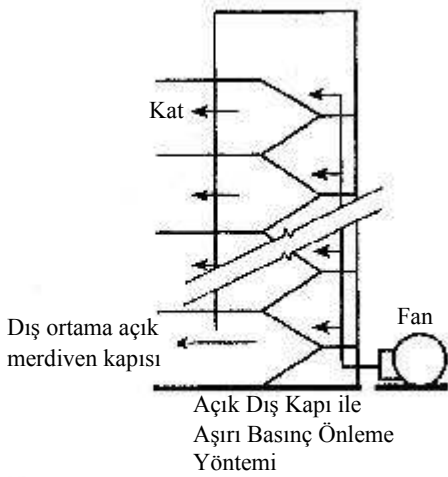
Basınçlandırma sistemi tasarımı yapılırken açık kapıların göz önünde bulundurulması gerektiğini belirttik. Tabii ki açık kapı durumunun üstesinden gelmek için yeterli miktarda yapılan hava üfleme, bütün kapılar kapalı olduğu zaman merdiven yuvası içerisinde aşırı basınç artışı ile sonuçlanabilir ki bu durum merdiven kapılarının açılmasını zor

laştırır. Aşırı basınç farklarını önlemek için basınçlandırma sistemlerinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Dışarı tahliye kapısının açılması, barometrik damper kullanılması (Şekil 10) gibi rahatlatma açıklıkları sağlanması veya geri besleme kontrollü değişken debili üfleme yapan sistemler, ki bunlara örnek olarak by-pass damperli fan, değişken devirli fanlar ve kanat açıları değişebilen fanların kullanılması verilebilir.

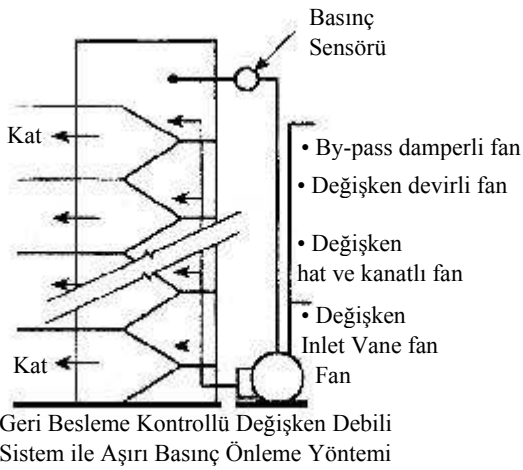


**Şekil 10.** Barometrik damperler ile aşırı basınç önleme yöntemi

Aşırı basınç artışını önlemek için yöntem olarak dış kapının açılması yöntemi (Şekil 11) kullanılır. Bu durumda, merdiven yuvası içerisinde dengeli bir basınç dağılımı için ya alttan enjeksiyon ya da çoklu enjeksiyon daha iyi sonuç vermektedir. Üstten yapılan enjeksiyonda dengeli bir basınç dağılımı elde edilememektedir. Bir de şunu belirtmek gerekir ki, kat sayısı ya da bina yüksekliği arttıkça aşırı basınç artışını önlemek için dış kapı açma yöntemi iyi sonuç vermez. Geri besleme kontrollü değişken debili sistemlerde (Şekil 12) kontrol, merdiven yuvası içerisine yerleştirilen ve merdiven yuvası ile kullanım mahalli arasındaki basınç farkını ölçen statik basınç sensörleri ile sağlanmaktadır. Değişken devirli fan kullanılması durumunda dikkat edilmesi gereken husus, fan basma yüksekliği değerinin



Şekil 11. Açık dış kapı ile aşırı basınç önleme yöntemi



Şekil 12. Geri besleme kontrollü değişken debili sistem ile aşırı basınç önleme

hızın karesi ile değişmesidir. Eğer fan hızı yarı ya -  
rıya düşerse basıncı dört kere azalacaktır. Sistem  
kanal dirençlerini yenmek için seçilen fan basma  
yüksekliği, düşük devirde kanal dirençlerini yen -  
mede yetersiz kalabilir. Geri besleme kontrollü de -  
ğişken debili aşırı basınç önleme sisteminde ister  
by-pass fanlı ister değişken devirli fan sistemi ol -  
sun, ilk kapı açıldığı zaman basınç farkında ani bir  
düşüş yaşanır. Geri besleme kontrolü ile üflenen  
hava miktarı artırılır ama, basınç farkının ilk hali -  
ne gelmesi için geçecek zaman yaklaşık 10 dakika

yı bulabilir. Bu duruma sistemin tepki vermesindeki  
gecikme, kapı kapandığı zaman da aşırı basınca  
sebeplendirir ki yapılan bir test sırasında, by-pass fan -  
lı sistem için bu basınç farkı 365 Pa ve değişken  
devirli fan sistemi için 180 Pa değerine çıkmıştır  
[9].

#### 4. Basınçlandırma Hesabı için Bir Yöntem

Basınçlandırma sistemlerinin hesaplamasında çe -  
şitli yöntemler kullanılmaktadır. Basit yöntemlerin  
yanı sıra çok karmaşık yöntemler de mevcuttur.  
Gerekli hava miktarı ve basınç seviyesi tahmini için  
bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu prog -  
ramlardan NBS/ASHRAE modeli (Klote ve Fort -  
hergill-1983 tarafından geliştirilen) kolay ulaşıl -  
abilir ve dünyanın her tarafında kullanılmaktadır. Biz bu  
bölümde sizlere basit bir hesap yönteminden bahse -  
deceğiz. Bu yöntem BS 5588 Part 4'te yer alan Hob -  
son ve Stewart bağıntısının kullanıldığı yöntemdir.  
Bu bağıntı ile aralarında  $^3P$  (Pa) kadar basınç farkı  
ve  $AE$  ( $m^2$ ) kadar toplam efektif sızıntı alanı bulu -  
nan iki ortam arasındaki hava akış miktarı ( $m^3/s$ )  
cinsinden hesaplanabilir [2]:

$$\dot{Q} = 0.83 \times A_E \times ^3P^{1/N} \quad (30)$$

Burada N değeri sızıntı alanının türüne bağlı olarak  
1 ile 2 arasında değişebilir. Bu değer, kapılar ve ge -  
niş açıklıklar çevresindeki sızıntı alanlarından  
akış için 2; pencereler çevresindeki açıklıklar için  
1.6 değerinde alınmalıdır. Yangın merdiveni gibi  
basınçlandırılan hacimlerde, pencere kullanılmadı -  
ğı durumlarda, sızıntı alanlarından geçen hava de -  
bisi:

$$\dot{Q} = 0.83 \times A_E \times \sqrt{^3P} \quad (31)$$

şeklinde hesaplanır. Bu eşitlikteki basınç farkı de -  
ğerleriyle ilgili olarak Bölüm 3.1; toplam efektif sı -  
zıntı alanı değeri için de Bölüm 3.3.'te verilen esas -  
lar dikkate alınmalıdır.

Yangının çıktığı katta basınçlandırılan hacimden

nn, bina dışına serbestçe çıkabilmesi gerekir. Bu -  
nun için yangın katında, bina dış cephesinden olan  
sızıntı alanları ve açıklıklar yeterli olmalıdır. Aksi  
taktirde, yangın merdivenine komşu hacımdan bi -  
na dışına bir havalandırma açıklığı bırakılmalıdır.  
Bu açıklığın kesit alanı aşağıdaki ampirik bağıntı  
ile belirlenebilir:

$$A_v = \frac{Q_N}{2.5} \quad (32)$$

Burada  $Q_N$  (m<sup>3</sup>/s), yangın katında tahliye edilmesi  
gereken hava miktarı;  $A_v$  (m<sup>2</sup>) ise bu debinin tahli -  
ye edilmesi gereken havalandırma açıklığının kesit  
alanı olmaktadır.

#### 4.1 Ele alınan örnek mahallin özellikleri

Bu örnek hesaplama, BS 5588 - Part 4'de "Class E"  
olarak adlandırılan, toplam tahliye süresinin 10 da -  
kikanın üzerinde olduğu, kısmi (kademeli) tahliye  
(phased evacuation) yapılan binalar için geçerlidir.  
Burada iki katın aynı anda tahliyesi birlikte düşü -  
nülür.

Bina kullanım amacı: 10 katlı bir ofis binası.

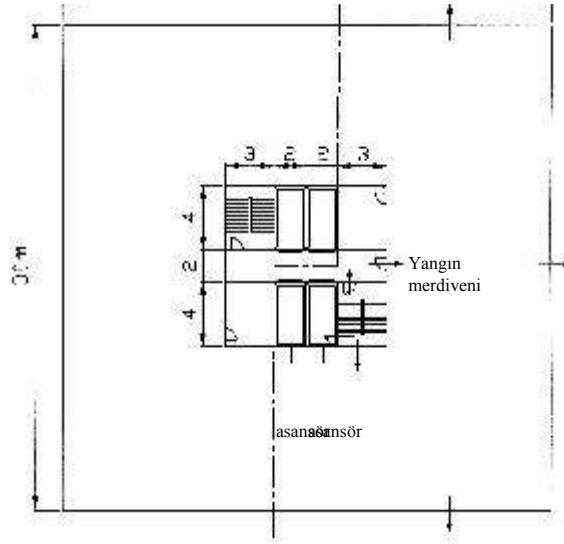
Yapı malzemeleri : Orta derecede duvar sıklığı  
değerleri kullanılacaktır.

Bina yüksekliği : = 10 x 3.5 m = 35 m

Kat alanı : = 30 m x 30 m = 900 m<sup>2</sup>

Merdiven yuvası : Bina çekirdeği içinde  
4 m x 3 m = 12 m<sup>2</sup> kesit  
alanına sahiptir.

Şekil 13'te örnek bina katı yerleşim planı görül -  
mektedir. Şekilde görülen simetri sayesinde hacmin  
yarısı için inceleme yapıлып buradan elde edilen so -  
nuçlar diğer merdiven için de kullanılabilir. Burada  
merdiven yuvaları haricindeki kısım tek bir  
zon olarak ele alınmış, bu zon içinde oluşabilecek  
basınç farkları ihmal edilmiştir.



Şekil 13. Kat yerleşim planı.

#### 4.2 Kapalı kapılar halinde gerekli hava debisi hesabı

Merdiven yuvasıyla bina içi arasındaki (SI) tüm ka -  
pılar kapalı olduğunda, merdiven içindeki hava kul -  
lanım mahalline geçecektir. Herbir katta, merdiven  
duvarı için sızıntı alanı ( $A_{SI\_md}$ ), Tablo 1 yardımıyla:

$$A_{SI\_md} = 2 \times (3 \text{ m} + 4 \text{ m}) \times 3.5 \text{ m} \times (0.11 \times 10^{-3}) \\ = 0.00539 \text{ m}^2$$

olur. Merdiven kapısından olan sızıntı alanı ise  
Tablo 2'den, ana tahliye kapısının bulunduğu zemin  
katta 0.02 m<sup>2</sup>; diğer katlarda ise 0.01 m<sup>2</sup> şeklinde  
bulunur. Merdiven kapısı (SI\_mk) ve merdiven du -  
varı (SI\_md) paralel bağlı akış yolları olduğundan,  
merdivenle kullanım mahalli arasındaki toplam  
efektif sızıntı alanı, zemin katta (z):

$$A_{SI\_mz} = A_{SI\_md} + A_{SI\_mkz} = 0.00539 + 0.02 \\ = 0.02539 \text{ m}^2$$

diğer katlarda ise (1-9):

$$A_{SI\_m1-9} = A_{SI\_md1-9} + A_{SI\_mk1-9} = 0.00539 + 0.01 \\ = 0.01539 \text{ m}^2$$

olur. Merdiven yuvasından olan toplam sızıntı ala -  
nı (SI\_m):

bu kapılardan akan hava hızının en az 1 m/s olması  
için gerekli hava debisi hesaplanmaktadır. Şekil  
14'te tüm katlarda kapıların konumu ve hava akış  
yolları gösterilmektedir.

Açık kapılardan akış durumunda sızıntı alanı, kapı -

$$A_{SI\_m} = A_{SI\_m} + A_{SI\_m-9}$$

$$= 0.02539 \text{ m}^2 + 9 \text{ kat} \times 0.01539 \text{ m}^2 = 0.1639 \text{ m}^2$$

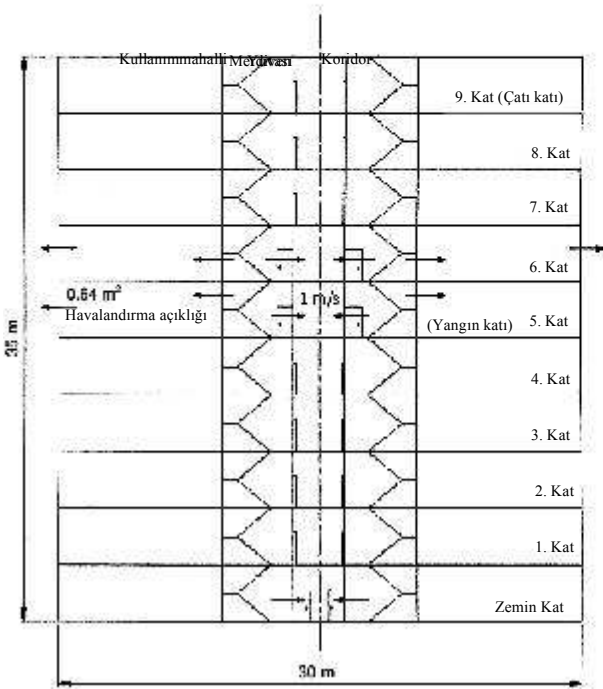
Kapalı kapılar (kk) durumunda merdiven yuvası ile koridor arasında arzu edilen basınç farkı 50 Pa için 0.1639 m<sup>2</sup> sızıntı alanından kullanım mahalline geçen debi:

$$Q_{kk} = 0.83 \times 0.1639 \times \sqrt{50} = 0962 \text{ m}^3 / \text{s}$$

olarak hesaplanır.

#### 4.3 Hız kriterine göre gerekli hava debisi hesabı

Zemin kattaki ana tahliye kapısı, yangın katı ve bunun bir üst katındaki kapıların açık olması halinde,



Şekil 14. Kapıların durumu ve hava akış yolları.

nin kesit alanı olarak alınabilir. Bu durumda açık kapıların sızıntı alanı şeklinde bulunur. Zemin katta koridor ile dış ortamın aynı basınçta olduğu kabul edilebilir. Böylece bu katta merdiven yuvasının dış ortama komşu sızıntı alanı ( $A_{SD\_z}$ ) doğrudan 1.6 m<sup>2</sup> alınır.

Açık kapılardan akış hızının 1 m/s olduğu göz önüne alındığında [11], yangın katında (yk), açık merdiven kapısından (SI\_yk) dış ortama tahliye edilmesi gereken hava miktarı;

$$Q_{SI\_yk} = 1.6 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m/s} = 1.6 \text{ m}^3 / \text{s}$$

bulunur. Bunun için koridordan doğrudan dış ortama açılan, en az  $A_v = 1.6/2.5 = 0.64 \text{ m}^2$  (eşitlik 32) kesit alanına sahip bir havalandırma açıklığı bulunmalıdır. Bu açıklık, merdiven kapısı ile birbirine seri bağlı akış yolları olarak ele alınır. Bu durumda da efektif akış alanı:

$$A_{SD\_yk} = \left( \frac{1}{A_{SI\_yk}^2} + \frac{1}{A_v^2} \right)^{-1/2} \frac{Q_{SI\_yk}}{v} = \frac{1.6 \times 0.64}{\sqrt{1.6^2 + 0.64^2}} = 0.594 \text{ m}^2$$

0.594 m<sup>2</sup> efektif sızıntı alanından 1.6 m<sup>3</sup>/s hava akışı olabilmesi için, gerekli basınç farkı eşitlik (31)'in yeniden düzenlenmesiyle hesaplanabilir:

$$P_{SD\_yk} = \left( \frac{Q}{0.83 \times A_E} \right)^2 = \left( \frac{1.6 \text{ m}^3/\text{s}}{0.83 \times 0.594 \text{ m}^2} \right)^2 = 10.53 \text{ Pa}$$

Yangın katının bir üst katında da (y kü), efektif sızıntı alanı hesaplanmalıdır. Ancak bu katta, hava

landırma açıklığı yerine, dış cephe duvarlarından olan sızıntı alanı değeri kullanılacaktır. Dış duvarlardan sızıntı alanı:

$$A_{ID\_y kü} = 0.5 \times (4 \times 30 \text{ m}) \times 3.5 \text{ m} \times (0.21 \times 10^{-3}) = 0.0441 \text{ m}^2$$

olup buradaki 0.5 çarpanı, katın simetrisinden gelmektedir. Bu kattaki efektif sızıntı alanı:

$$A_{SD\_y kü} = \left( \frac{1}{A_{ID\_y kü}^2} + \frac{1}{A_{SD\_z}^2} \right)^{-1/2}$$

#### 4.4 Basınç farkı kriterine göre gerekli hava debisi hesabı

Zemin kattaki ana tahliye kapısı, yangın katı ve bunun bir üst katındaki kapıların açık olması halinde, bu katlarda merdiven yuvasıyla dış ortam arasında 10 Pa basınç farkı olması için gerekli hava debisi hesaplanmaktadır. Burada kullanılan 10 Pa değeri, basınç farkı kriterine göre yapılan hesaba örnek olması amacıyla, BS 5588 Part 4'te "Class E" tipi binalar için verilen bir değerdir. Bu sınıfa giren bina

$$A_{SD\_y\ddot{u}} = \sqrt{A_{SI\_y\ddot{u}}^2 + A_{ID\_y\ddot{u}}^2}$$

$$= \frac{A_{SI\_y\ddot{u}} \times A_{ID\_y\ddot{u}}}{\sqrt{A_{SI\_y\ddot{u}}^2 + A_{ID\_y\ddot{u}}^2}} = \frac{1.6 \times 0.0441}{\sqrt{1.6^2 + 0.0441^2}} = 0.0441 \text{ m}^2$$

olur.

Kapalı kapıların bulunduğu diğer yedi katta (kk), merdiven kapısı ve duvarlarından kullanım mahalline sızıntı alanı  $A_{SI\_kk} = 0.01539 \text{ m}^2 = 0.10773 \text{ m}^2$  şeklinde hesaplanır. Dış duvarlardan olan sızıntı alanı ise  $A_{ID\_kk} = 7 \times A_{ID\_y\ddot{u}} = 7 \times 0.0441 \text{ m}^2 = 0.3087 \text{ m}^2$  olup bu katlardaki toplam efektif sızıntı alanı:

$$A_{SD\_kk} = \left( \frac{1}{A_{SI\_kk}^2} + \frac{1}{A_{ID\_kk}^2} \right)^{1/2}$$

$$= \frac{A_{SI\_kk} \times A_{ID\_kk}}{\sqrt{A_{SI\_kk}^2 + A_{ID\_kk}^2}} = \frac{0.10773 \times 0.3087}{\sqrt{0.10773^2 + 0.3087^2}} = 0.0441 \text{ m}^2$$

bulunur.

Böylece merdiven yuvasıyla dış ortam arasındaki toplam sızıntı alanı:

$$A_{SD} = 1.6 + 0.594 + 0.0441 + 0.1017 = 2.3398 \text{ m}^2$$

olur. Bu durumda hız kriterine göre (hk) eşitlik (31)'den:

$$\dot{Q}_{hk} = 0.83 \times 2.3865 \text{ m}^2 \times \sqrt{10.53 \text{ Pa}} = 6.302 \text{ m}^3 / \text{s}$$

hava debisi değeri hesaplanır.

larda, toplam tahliye süresi 10 dakikanın üzerinde olup, kısmi tahliye yapılmaktadır. Bölüm 4.3'tekine benzer şekilde merdiven yuvası ile dış ortam arasındaki sızıntı alanları:

Zemin katta	: 1.6 m <sup>2</sup> ,
Yangın katında	: 0.594 m <sup>2</sup> ,
Yangın katının bir üst katında	: 0.0441 m <sup>2</sup> ,

Böylece açık kapıların bulunduğu bu üç katta (ak), merdiven yuvasıyla dış ortam arasındaki toplam sızıntı alanı;

$$A_{SD\_ak} = 1.6 + 0.594 + 0.0441 = 2.2381 \text{ m}^2$$

olarak hesap edilir. Böylece 10 Pa basınç farkı için:

$$\dot{Q}_{SD\_ak} = 0.83 \times 2.2381 \text{ m}^2 \times \sqrt{10 \text{ Pa}} = 5.874 \text{ m}^3 / \text{s}$$

hava akışı hesaplanır. Kapalı kapıların bulunduğu diğer katlarda ise, merdiven ile kullanım mahalli arasında en az 15 Pa basınç farkı olmalıdır. Bu kabul gerçekçi bir yaklaşımdır, çünkü gerçekte merdiven yuvası boyunca, basınç sabit olmayıp, açık kapıların bulunduğu katlarda azalmaktadır.  $A_{SI\_kk} = 0.10773 \text{ m}^2$  için:

$$\dot{Q}_{SI\_kk} = 0.83 \times 0.10773 \text{ m}^2 \times \sqrt{15} = 0.346 \text{ m}^3 / \text{s}$$

hava akışı hesaplanır. Bu durumda basınç kriterine göre (bk) açık ve kapalı kapılardan kullanım mahalline geçen toplam hava debisi:

$$\dot{Q}_{bk} = 5.874 + 0.346 = 6.220 \text{ m}^3 / \text{s}$$

olarak hesap edilir.

Görüldüğü gibi kapalı kapıların bulunduğu yedi kattan sızan hava miktarı, açık kapılardan akan hava miktarına göre oldukça düşüktür. Bu nedenle kapalı kapıların bulunduğu katlarda basınç farkı, öngörülen 15 Pa değerinden bir miktar daha büyük olursa, bunun sisteme getireceği yük fazla olmayacaktır.

#### 4.5 Hesaplanan debi değerlerinin değerlendirilmesi

50 Pa basınç farkı ve tüm kapılar kapalıyken

$$Q_{kk} = 0.962 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Hız kriteri, açık kapılardan en az 1 m/s hava hızı olması halinde  $Q_{hk} = 6.302 \text{ m}^3 / \text{s}$

kontrollü fan kullanımına ilave olarak, basınç kontrollü bir relief damper (barometrik damper) kullanımıyla merdiven yuvasından dış ortama hava tahliyesi yapılabilir. Merdiven yuvası içindeki basıncın arzu edilen değerlerin üzerine çıkması durumunda barometrik damper açılmalıdır.

Bu hesaplamalarda tanımlanan sızıntı yollarının dışında, mevcut olabilecek diğer sızıntı alanlarını hesaba katmak üzere, elde edilen debi değeri, uygun katsayılarla çarpılarak düzeltilmelidir. Merdiven yuvasının basınçlandırmasında üflenen hava için 1.5 katsayısı kullanılmalıdır. Eğer, hız kriteri için hesaplanan hava miktarı, kapalı kapılar durumdaki gerekli hava miktarının 1.5 katından fazla ise,



Basınç kriteri, açık kapıların bulunduğu katlarda merdiven yuvası ile dış ortam arasında en az 10 Pa basınç farkı olması halinde  $Q_{bk} = 6.220 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak hesap edilmiştir.

Son iki durumdan büyük olan  $6.302 \text{ m}^3/\text{s}$  değeri tasarım için göz önünde bulundurulması gereken değerdir. Ancak tüm kapılar kapalı olduğunda 50 Pa basıncı sağlayan debi sadece  $0.962 \text{ m}^3/\text{s}$  olduğu için arada  $Q_{bk} - Q_{kk} = 6.302 - 0.962 = 5.340 \text{ m}^3/\text{s}$  gibi büyük bir fark bulunmaktadır. Fan seçimi  $6.302 \text{ m}^3/\text{s}$  değere göre yapıldığından, kapıların kapalı olması durumunda merdiven yuvası içine bu debi üflenirse, aşırı basınç artışı söz konusu olacaktır. Bunu önlemek için frekans kontrollü fan kullanılarak, Şekil 12'de gösterildiği gibi bir çözüme gidilebilir. Burada merdiven yuvası içinden basınç sensörü ile geri besleme yapılarak, aşırı basınç artışı olduğunda fan devir sayısı düşürülür ve üflenilen debi miktarı azaltılır.

Öte yandan frekans kontrollü fan kullanımında, fan imalatçısından temin edilecek bilgiler doğrultusunda, genellikle fanın beslediği en düşük ve en yüksek debi değerleri ( $Q_{fmin}$  ve  $Q_{fmax}$ ) bu örnekteki gibi geniş bir aralığı kapsamayabilir. Şöyle ki:  $Q_{kk} < Q_{fmin}$  durumu ortaya çıkabilir. Bu durumda, frekans

bu düzeltme katsayısına (1.5) ihtiyaç duyulmaz.

Bu örnekte, merdiven yuvasına üflenilen  $0.962 \text{ m}^3/\text{s}$  hava debisi 50 Pa değerini sağlamak için yeterli olmazsa, bu debi değerinin 1.5 katını sağlayacak fan kapasitesi, açık kapı durumu için hesaplanan değerin oldukça altındadır. Açık kapılar durumunda ise, yapılan hesaplamalarda görüldüğü gibi, hava akışı, ağırlıklı olarak açık kapılardan gerçekleşmektedir. Yani burada tanımlanamamış diğer sızıntı yollarının hesaba katılmamış olması, gerekli debi değerini fazla etkilememektedir.

Bunun yanında kanal kayıplarını karşılamak üzere bir katsayıya daha ihtiyaç bulunmaktadır. Kanalın konstrüksiyonuna bağlı olarak değişmekle birlikte, bunun için genellikle 1.15 artırım katsayısı kullanılabilir. Ancak burada ele alınan örnekte, tek noktadan enjeksiyon yapılmakta, dolayısıyla kanal kayıpları hesaba katılmamaktadır. Sonuç olarak bu örnekte fan seçimi için gerekli nihai hava debisi  $6.302 \text{ m}^3/\text{s}$  olacaktır.

## REFERANSLAR

- [1] Smoke Control By Pressurization – Basics.
- [2] **BS 5588, Part 4**, 1998, "Smoke control in pro-

- tected escape routes using pressurization".
- [3] **Tamura, G.T.**, 1989, \*Stair Pressurization Systems for Smoke Control Design Considerations\*, ASHRAE Transactions, Part 2, pp.184-192.
  - [4] **Clark, J.A. and Harris, J.W.**, 1989, \*Stairwell Pressurization In a Cold Climate\*, ASHRAE Transactions, Part 1, pp.847-851.
  - [5] **Tamura, G.T.**, 1990, \*Fire Tower Tests Of Stair Pressurization Systems With Overpressure Relief\* ASHRAE Transactions, Part 2, pp.373-383.
  - [6] **Klote, J.H.**, 1980, "Stairwell Pressurization," ASHRAE Transactions, Part 1, pp.604-623.
  - [7] **Klote, J.H. and Milke, J.A.**, 1992, \*Design of Smoke Management" Systems, \* ASHRAE and Society of Fire Protection Engineers.
  - [8] **NFPA 92 A**, 2000, "Recommended Practice for Smoke-Control Systems".
  - [9] **Tamura, G.T.**, 1994, "Smoke Movement and Control In High Rise Buildings", NFPA.
  - [10] **Chow, W.K., Wong, F.K., Lo, T.T., and Lau, K.M.**, 1990, \*Field Tests On a Staircase Pressurization Systems Installed In a Commercial Building\* ASHRAE Transactions, Part 2, pp.393-398.
  - [11] **BYKHY**, 2002, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" Bakanlar Kurulu Karar Sayısı 2002/4390.

