

# ATRIUMLARDA DUMAN KONTROLÜ

**Kazım BECEREN**  
**Abdurahman KILIÇ**

## ÖZET

Bu çalışmada atriuma sahip yapılarda duman tahliyesi sistemleri incelenmiştir. Gerek insanların güvenli şekilde tahliyelerinin sağlanması gerekse yangın sonucu meydana gelen duman ve sıcak gazların kısa sürede atrium boşluğunu doldurarak görünürlük mesafesini kısaltması, yangına müdahaleye imkan vermemesi ve bir bölümde çıkan yangının ve dumanın atriuma çevreleyen ve atriuma açık olan diğer bölümlere geçişi nedeniyle atriumlarda duman tahliyesi çok önemlidir. Bu amaçla, atriuma sahip binalar içerisinde meydana gelebilecek yangınların büyüklüğü irdelenmiş ve dumanın atriuma komşu hacimlerde ve atrium boşluğu içerisinde nasıl kontrol edilebileceği ve duman tahliye yöntemleri incelenmiştir.

## 1. GİRİŞ

Atrium; üstü kapalı, etrafı kullanım alanları ile çevrelenmiş geniş ve dikey hacimden oluşan iki veya daha fazla katlı yüksek boşluklar olarak tanımlanır. Atrium Avrupa'da ilk olarak 1820 ve 1870 yılları arasında sık kullanılmaya başlamıştır. Bu yıllarda endüstriyel alandaki gelişmeler, dökme demir konstrüksiyonlar ve cam esaslı yapı elemanlarının prefabrik yapımına imkan tanımıştır. Amerika Birleşik Devletlerinde atrium 1900 lu yıllarda kullanılmaya başlanmış ve 1970 li yıllardan sonra tüm dünyada atriumlu yapılar çoğalmaya başlamıştır.

Atriumlar insanların dolaştığı, buluştuğu, konuştuğu, beklediği ve dinlendiği topluma açık alanlardır. Bir başka deyişle binanın sosyal merkezi denilebilir. Yukarıda belirtilen faktörler nedeniyle atriumlar giderek artan sayıda uygulama alanı bulmuş olup bu da atrium yapılarının kendine özgü problemlerini ortaya çıkarmıştır. Fakat, bu problemlere rağmen çözümler aynı hızda gelişmemiştir. Atriumlarda kullanılan sistemler açısından değerlendirme yapıldığında halen üzerinde anlaşılan ortak bir çözümün olmadığı görülmektedir.

Atriumlarda hava kalitesi, enerji kullanımı yanında oldukça önemli olan bir konuda duman kontrolüdür. Atriumu çevreleyen kullanım alanlarında yangın yükünün büyük ve insan sayısının fazla olması sebebiyle yangın riski de oldukça büyüktür. Atriumlar dumanın yayılabileceği geniş mekanlar olduğundan, meydana gelebilecek yangınlar sonucu duman hızla yayılarak kısa sürede bu bölümü doldurur. Atriuma sahip yapılarda insanların tahliyesi için kullanılacak olan kaçış yolları ve yangın merdivenlerine geçişler atriuma açık olan bölümlerden gerçekleştirildiği düşünüldüğünde, atriumlarda duman kontrolünün önemi ortaya çıkmaktadır. Yangın sonucu meydana gelen duman ve sıcak gazların kısa sürede atrium boşluğunu doldurarak görünürlük mesafesini kısaltması, yangına müdahaleye imkan vermemesi ve atriumu çevreleyen komşu hacimlere geçişi ile güvenli bir tahliyeye imkan vermemesi gibi nedenlerden dolayı atriumlarda duman tahliyesi gerekmektedir.

Bu çalışmada atriuma sahip yapılarda duman tahliyesi sistemleri incelenmiştir. Bu amaçla yapı içerisinde ki duman karakteristiğine göre tasarım yöntemleri ortaya konulmuş ve mevcut tasarım kriterleri verilmiştir. İlk olarak atriuma sahip binalar içerisinde meydana gelebilecek yangınların büyüklüğü irdelenmiş ve bu yapılarda çıkan yangın sonucu oluşan dumanın atriuma komşu hacimlerde nasıl kontrol edilebileceği çalışılmıştır. Daha sonra ise atrium boşluğuna yayılan ve/veya atrium tabanında çıkan yangın sonucu açığa çıkan dumanın tahliye yöntemleri incelenmiştir.

Yetmişli yıllarda mimarların atriuma ilgisinin artmasıyla atriumlu yapılar çoğalmaya başlamış ve bununla beraber mekanik ve elektrik grupları da tamalayıcı olarak atriumlar ile ilgilenmeye başlamıştır. Atriumda mimari açıdan çözüm basit olmasına karşın özellikle mekanik tesisat kısmı daha karmaşık ve maliyeti daha yüksektir. Atriumlarda mekanik sistemleri iki grup halinde değerlendirmek mümkündür. Birinci grup ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, diğeri ise duman kontrol sistemleridir.

Atriumlarda duman kontrol sistemlerinin tasarımının temelini oluşturan çatı egzostu ile ilgili çalışma Thomas [1] tarafından gerçekleştirilmiştir. Thomas bu çalışmada çatı havalandırmasında sıcak gaz akışı ile ilgilenmiştir. Plum içerisine hava karışımının detaylı olarak ilk incelemesi Zukowski [2] tarafından gerçekleştirilmiştir. Tam ölçekli atrium yangın deneyleri konusunda Tanaka ve Yamana [3,4], Cooper [5], çalışmalar yapmıştır. Duman kontrolü konusunun yarı ampirik ifadeler ile incelenmesi Thomas [6], Butcher ve Pournell [7], Morgan ve Hansell [8,9,10], Hinkley [11], ve Milke [12,13], tarafından gerçekleştirilmiştir. Deneyler ve düzeltmelerden elde edilen bilgilerin değerlendirilmesi ile duman hareketinin sayısal modellemeleri Tanaka ve Nakama [14], Chow [15,16], Marita [17], ve Waters [18] tarafından yapılmış olup, bu çalışmalar BCA ve NFPA kodları ile Klote ve Milke [19] tarafından yayınlanan duman kontrol sistemleri çalışmasına kaynak olmuştur. Bilgisayar destekli duman kontrol sistemleri tasarımının temeli Mitler [20] tarafından atılmıştır. Bu konuda atrium ile ilgili diğeri çalışmalar ise Chow [21] ve Milke [22] tarafından gerçekleştirilmiştir.

## 2. ATRIUMLARDA YANGIN BÜYÜKLÜĞÜ

Bir yangın tarafından üretilen duman miktarının ve açığa çıkan ısı miktarının hesaplanması birim alan veya yangın mahallinin tamamının alan ve çevresel olarak büyüklüğünün ve ısı akısının bilinmesini gerektirir. Bunun yanısıra yangınları zamana bağlı olarak büyüme (düzensiz yangın) ve açığa çıkan ısı miktarının sabit olduğu (düzenli yangın) durum olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

### a) Düzenli Yangınlar

Açığa çıkan ısı miktarının sabit olduğu bir yangın düzenli yangın olarak adlandırılır. Bu gibi yangınlarda belirli bir değere kadar yangının hızlı bir şekilde büyüdüğü düşünülür. Geri kalan büyüme ise yangın kontrol eden faktörler veya diğeri yangıcı maddelere olan mesafeye bağlı olarak değişir. Atriumlarda, alışveriş merkezlerinde ve diğeri geniş mahallerdeki yangınlar genellikle oksijen kontrollü değildirler. Büyük mahallerde havanın bol olması sebebiyle, yangın boyutu sınırlandırılmaz. Bununla birlikte, bu gibi yangınların boyutu yangıcı maddelerin mevcudiyeti ile sınırlıdır. Büyük mahallerdeki yangınlar genellikle çok sayıda yangıcı madde içermektedir. Bu yangınlarda açığa çıkan ısı miktarı yaklaşık olarak her bir yangıcı maddenin açığa çıkardıkları ısı miktarlarının toplamıdır. Atriumlar için yangın büyüklüğü hakkında farklı görüşler bulunmaktadır. Bunlardan birisi, en az yangın büyüklüğü 4.6 MW olmak üzere atrium alanı için 500 kW/m<sup>2</sup> değeri kullanılır. NFPA 92B de ise minimum yangın büyüklüğü 1.1 MW olarak önerilir. Bu öneriler, atriumlu binalarda sprinkler sistemi olup olmamasına göre farklı değerler almaktadır.

### b) Düzensiz Yangınlar

Açığa çıkan ısı miktarının zamana bağlı olarak değişim gösterdiği yangınlardır. Düzensiz yangınlar için açığa çıkan ısı miktarının zamanın karesinin fonksiyonu olduğu düşünülür.

$$\dot{Q} = 1.055 \left( \frac{t}{t_g} \right)^2 \quad (1)$$

Yukardaki eşitlikte; Q yangın sonucu açığa çıkan ısı miktarı (kW), t efektif tutuşmadan itibaren geçen süre (s), t<sub>g</sub>, yangın büyüme zamanı (s) dir. Diğeri bir deyişle efektif tutuşma zamanı, yangının 1.055 kW değerini geçtiği ana kadar olan zaman aralığıdır.

### 3. ATRIÜMLERDE DUMAN KONTROLÜ

Üstü kapalı, etrafı kullanım alanları ile çevrili geniş ve dikey hacimden oluşan iki veya daha fazla katlı yüksek boşluklar olarak tanımlanan atriumları çevreleyen açık veya korunmuş alanlara komşu alanlar adı verilmektedir. Atrium binalarının genelde büyük miktarda yanıcı madde içermesi ve komşu alanlara açık olması yangının yayılım riskini büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu gibi binalarda duman kontrolü, insan sayısının fazla olması, onların korunması ve güvenli bir şekilde tahliye edilmesi bakımından oldukça önemlidir. Atrium binaları, atriuma komşu alanlar ile birlikte değerlendirilir ve atriumun özelliği olarak bu komşu alanların atriuma bağlantısı cam ile bölünmüş veya tamamen açık olmaktadır. Diğer alışılabilir binalar ile karşılaştırıldığında, atriumlu binalarda duman ve sıcak gazların, hatta alevlerin bölümlere geçişleri çok daha çabuk olduğundan, yangın esnasında insan yaşam güvenliği açısından ilave problemler getirmektedir. Halbuki alışılabilir yüksek binalarda yangın yayılımı, binanın dışından ve yangın mahallinin üstündeki mahallin etkilemesi ile gerçekleşir.

Atriumlarda meydana gelen yangınlardan elde edilen deneyimler, alevlerin atrium içinde ilerlemesi, sıcak ve zehirli gazlar ile karşılaştırıldığında önemsiz kalmaktadır. Yangın sonucu oluşan sıcak ve zehirli gazlar atriumu doldurarak, binaya yayılmakta ve kaçış yollarını etkilemektedir. Bu da, atrium binalarında uygun duman kontrol sistemlerinin neden gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

Atriumlarda duman kontrolü için ideal çözüm; komşu alanlarda meydana gelebilecek muhtemel bir yangın durumunda, dumanın atriuma girişini engellemektir. Bunu gerçekleştirebilmenin en kolay yolu, atrium ile komşu hacimler arasındaki sınırın hem geçirimsiz hem de yangına dayanıklı yapılmasıdır. Fakat, bu durum atrium kullanımını çok sınırlandırmaktadır. Bu yöntem zaman zaman kullanılmasına rağmen, mimari sınırlamalar nedeniyle istenmemektedir.

Atrium ile komşu hacimler arasındaki bağlantının tamamen açık olması durumunda, komşu hacim içinde duman egzostu yapılmalıdır ki duman üst kısımda atriuma açık olan diğer komşu hacimlere girmesin. Fakat bu da çoğu zaman çok zor, pratik olmayan ve hatta küçük komşu hacimler için maliyeti oldukça yüksek bir çözümdür. Genelde büyük komşu hacimler için uygulama örnekleri vardır.

Bir başka yöntem ise, komşu hacimlerden duman girişini engellemek için basınçlandırma yapmaktır. Komşu hacim ve atrium arasındaki açıklığın büyük olması durumunda bu yöntem sonuç vermemektedir. Çünkü, dumanın atrium içerisine girişini önleyebilmek için sıcak gazların sıcaklığına bağlı olarak 0.5 m/s ile 4.0 m/s arasında hava hızına gerek duyulur. Ayrıca bu havanın tamamı, yangın olan mahalden tamamen çekilmelidir ki hava akışının devamı sağlanabilsin. Bir çok tipik atrium için bu durumda gerekli olan hava miktarı, duman egzost sistemi boyutunu aşmaktadır. Bu yüzden, bu yöntem yalnızca küçük sızıntı alanlarına sahip atriumlar için geçerli olmaktadır.

Komşu hacim içindeki bir yangın durumunda, duman kısa sürede binanın diğer bölümlerine yayılabileceğinden, bu bölümlerden güvenli tahliye gerçekleştirecek önlemler alınmalıdır. Benzer eğilim atrium boşluğu içerisinde çıkabilecek yangın içinde geçerlidir. Her iki durumda da hem atrium içinden hemde komşu hacimlerden tahliye gerçekleştirebilmek için kaçış yollarını koruyacak bir duman kontrol sistemi mevcut olmalıdır. Duman kontrol sisteminin buradaki amacı yaşam güvenliğini sağlamaktır. Bunun yanında, yangına müdahale edecek itfaiye elemanları duman ile dolu bina içerisinde hem zorluk yaşarlar hem de tehlikede olurlar. Dolayısıyla duman kontrol sistemi aynı zamanda itfaiyecilere de yardımcı olacaktır. Bu yüzden duman kontrol sistemi insanların tahliyesi için gerek duyulan süreden daha uzun bir süre fonksiyonunu devam ettirmelidir.

#### 3.1 Atriuma Komşu Hacimlerde Dumanın Kontrol Edilmesi

Dumanın kaçış yollarına doğru hareketinin ihtimal dahilinde olduğu durumlarda, güvenli bir tahliye için kaçış yollarını dumandan arındırılmış hale getirmek gerekir. Bu amaçla atriuma komşu olan ve yangın çıkan mahal içerisinde yangının kontrol edilmesi tercih edilir. Bu da mahal içerisinde özel duman egzost sistemi kullanılarak veya mevcut iklimlendirme sistemi santrallerinden yararlanılarak yapılır. Eğer mahal atriuma açık ise mahallin atrium boşluğuna açık bölümünde tavandan aşağıya doğru sarkan bir giriş ile engel teşkil edilir. Böylelikle mahal içerisinde bir duman biriktirme hacmi oluşturularak duman mahal içerisinde tutulmaya çalışılır veya giriş yapılmadığı durumda aynı etkiyi sağlamak için uç kısımdan yüksek kapasiteli egzost yapılır.

Duman tabakası kalınlığı her iki durumda da, şekil 1 ve şekil 2 de gösterilen  $D_1$  yüksekliğinin altına düşmeyecek seviyede tutulmalı, yani bu durumu sağlayacak kapasitede duman egzostu yapılmalıdır. Mahal içindeki temiz hava tabakasının yüksekliğini sağlayabilmek için dumanın kütle akış miktarını hesaplamak gerekir. Son yıllarda bu konuda Zukowski [2], Hansell [25] ve Quintiere [26] tarafından yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan aşağıdaki eşitlik ile yangın üzerinde yükselen plum içerisine sürüklene hava miktarını ve böylelikle yangın esnasında oluşan duman miktarını hesaplamak mümkün olmaktadır.

$$m_d = c_e PH^{3/2} \quad (2)$$

$c_e$  oditoryum, stadyum, büyük açık ofisler, atrium katları gibi tavanı yüksek olan büyük mahaller için 0.188, tavan yüksekliği düşük olan açık ofis alanları gibi büyük mahaller için 0.210 olan bir katsayıdır. Küçük dükkanlar, ofisler ve otel odaları gibi küçük mahallerde  $c_e=0.337$  olarak alınmaktadır. P, yangının çevresel büyüklüğü (m), H ise mahallin tabanından duman tabakasının alt yüzeyine olan mesafedir (m).

**Şekil 1.** Duman biriktirme hacmi oluşturularak yapılan duman egzostu

**Şekil 2.** Duman biriktirme hacmi olmaksızın yapılan duman egzostu

Eşitlik (2) ile yapılan hesaplamaların sonuçları  $c_e$ ' nin 0.337 ve 0.188 değerleri için sprinkler sistemi mevcut olan (P=14 m) ve sprinkler sistemi olmayan (P=24 m) mahaller için grafik olarak şekil 3 (a) ve şekil 3 (b) de gösterilmiştir.

Şekil 3 (b) de gösterilen taralı alan sıcak gaz tabakası sıcaklığın 600 C nin üzerine çıkma ihtimalinin olduğu bölümü yani, parlama olayının görülebileceğini belirtmektedir. Duman kontrol sisteminin güvenli bir şekilde çalışabilmesi için üretilen duman miktarı taralı alanın üzerinde olmalıdır.

(a) Sprinkler sistemi var

(b) Sprinkler sistemi yok

**Şekil 3.** Üretilen sıcak duman miktarı

**a) Atrium Boşluğuna Duman Akışı**

Düşey bir açıklıktan akan dumanın kütle akış miktarı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$m_w = \frac{c_e P W h^{3/2}}{\left[ W^{2/3} + \frac{1}{c_d} \left( \frac{c_e P}{2} \right)^{2/3} \right]^{3/2}} \quad (3)$$

(a) giriş

(b) düşük tavan

**Şekil 4.** Açıklıktan akış

Yukardaki ifadede,  $W$  açıklık genişliği (m),  $h$  açıklık yüksekliği (m),  $c_d$  açıklık için efektif akış katsayısıdır. Mahal içerisinde herhangi bir girişin olmadığı düz tavanlar için efektif akış katsayısı 1.0 değerini almaktadır. Eğer dumanın atrium boşluğuna akışının gerisinde bir giriş veya düşük tavan söz konusu ise (Şekil 4) bu durum dışarıya olan duman akış miktarını etkiler. Bu etki efektif akış katsayısını aşağıda verilen eşitlik ile düzeltmek suretiyle dikkate alınır.

$$c_d = 0.65 \left[ \frac{D_w + D_d}{D_w} \right]^{1/3} \quad (4)$$

Burada  $D_w$  açıklığın üst seviyesi altında kalan duman tabakasının yüksekliği,  $D_d$  ise giriş yüksekliği veya açıklığın gerisindeki duman tabakasının yüksekliğidir.  $D_d$  nin 1.0 değerinden büyük olduğu çoğu açıklık için pratikte  $D_d = 1.0$  olarak alınmaktadır. Duman biriktirme hacmi olmayan mahallerde  $D_d$  balkon kenarı girişindeki yükseklik olarak düşünülür (Şekil 5).

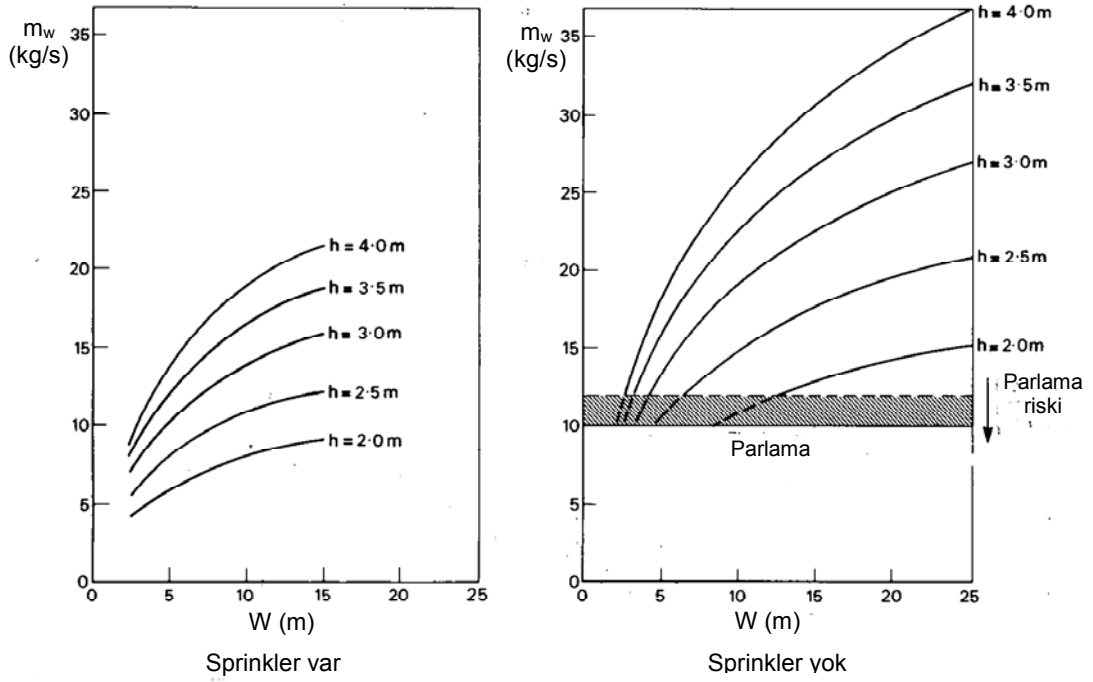
#### Şekil 5. Düz açıklık

$D_w$  ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$D_w = \frac{1}{c_d} \left[ \frac{m_w}{2W} \right]^{2/3} \quad (5)$$

Şekil 6 ve Şekil 7 de değişik açıklık yükseklikleri ve genişlikleri için kütle akış miktarları grafik olarak gösterilmiştir. Tavan ve balkon yüksekliğinin 4 m olduğu kabul edilmiştir. Grafiklerde taralı olan alanlar  $m_w$  ve  $Q_w$  kullanılarak hesaplanan duman tabakası sıcaklığının  $600^{\circ}\text{C}$  nin üzerinde olduğu yani parlama başlangıcı olan bölgeyi göstermektedir.

#### Şekil 6. Açık ofisler için açıklıktan akan kütle akış miktarı

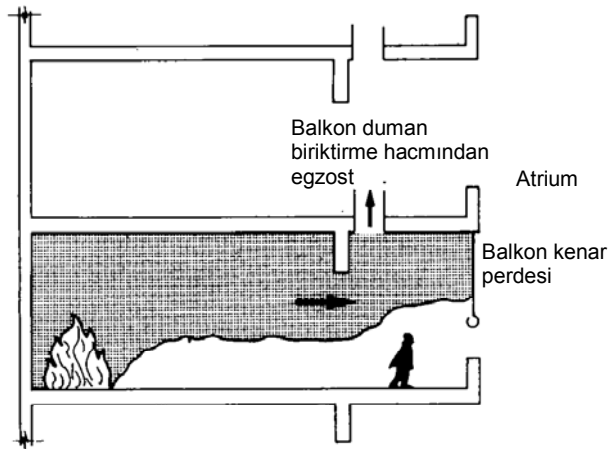


Şekil 7. Küçük ofisler için açıklıktan akan kütle akış miktarı

Küçük ofisler ile geniş büyük açık ofisler arasındaki ayırım plum içerisine giren hava miktarının farklılığından ileri gelmektedir. Daha dar olan mahallerde havanın plum içerisine akışı daha zor olmaktadır.

#### b) Balkon Bölümünden Duman Egzostu Yapılması

Mahallere yeterli miktarda taze hava girişi sağlanamadığı, duman tahliye sisteminin kurulmasında mühendislik açısından zor olduğu ve/veya maliyetin yüksek olması durumlarında duman mahal içerisinde tutulamaz ve atrium boşluğuna doğru akmaya başlar. Bu gibi durumlarda eğer mahal önlerinde, mahallere hizmet veren ve yürüme alanları olarak kullanılan balkonlar mevcut ise duman tahliyesi balkonlardan yapılabilir.



Şekil 8. Balkon altı duman biriktirme hacmi

Bunun için öncelikle algılama sisteminden aldığı uyarı ile balkon kenarlarından aşağıya inen perdeler ile duman biriktirme hacimleri oluşturulur ve balkon bölümüne biriken duman balkona ait egzost sistemi ile tahliye edilir. Alış veriş merkezleri için balkon bölümlerinde oluşturulan duman biriktirme alanlarının 1300 m<sup>2</sup> yi aşmamasına dikkat edilmelidir. Balkonlardan emilen duman genellikle kanallar ile bina dışına taşınır. Fakat bazı durumlarda bu bölümlerden emilen dumanı atrium tavanındaki duman biriktirme hacmine taşımak da mümkündür.

### c) Duman Tabakası Sıcaklığı

Duman tabakası sıcaklığının çevre sıcaklığının üzerinde olan sıcaklık yükselmesi, yangın sonucu açığa çıkan ısı miktarı  $Q_w$  (kW), duman kütledebisi,  $m$  (kg/s) ve gazların özgül ısısı  $c$  (kJ/kg-K) olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\theta = \frac{Q_w}{mc} \quad (6)$$

Tablo 1 ve Tablo 2 sırasıyla atriuma komşu mahallerde çıkan 1 MW ve 6 MW büyüklüğündeki yangınlar için duman tabakası sıcaklıklarındaki artışları göstermektedir.

**Tablo 1.** Q=1 MW için sıcaklık artışı ve hacimsel debi değerleri

Kütle akış miktarı (kg/s)	Çevre sıcaklığı üzerindeki gaz sıcaklığı (C)	Hacimsel debi (m <sup>3</sup> /s)
4	250	6.0
6	167	8.0
8	125	9.5
10	100	11.0
12	83	12.5
15	67	15.0
20	50	19.5
25	42	22.5
30	33	27.5
35	28	32.0
40	25	36.0
50	20	44.5
60	17	53.0

**Tablo 2.** Q=6 MW için sıcaklık artışı ve hacimsel debi değerleri

Kütle akış miktarı (kg/s)	Çevre sıcaklığı üzerindeki gaz sıcaklığı (C)	Hacimsel debi (m <sup>3</sup> /s)
10	600	25.5
12	500	27.0
15	400	29.5
20	333	32.0
25	240	38.0
30	200	41.5
35	171	46.5
40	150	50.5
50	120	59.0
60	100	67.5
75	80	80.0
90	67	92.5
110	54	107.0
130	46	123.5
150	40	140.0
200	30	181.0
300	20	263.0
400	15	345.0



Sprinkler sisteminin mevcut olmadığı durumda, özellikle balkonların tavan altlarında biriken yüksek sıcaklıktaki dumanın neden olduğu ısı ışınımı balkon bölümünden tahliye gerçekleştiren insanlar üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Balkonların ana kaçış koridorları olarak kullanılması durumunda tahliye mümkün olamamaktadır. Güvenli bir tahliye için bu bölümlerdeki duman tabakası sıcaklığı en fazla 200 C olmalıdır. Bu sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda mutlaka alternatif kaçış yolları düzenlenmeli, balkonlardan daha kısa mesafeli çıkış imkanları yaratılmalı veya sıcak gazları soğutmak için sprinkler sistemi tesis edilmelidir.

#### d) Mahal İçerisine Hava Girişi

Duman tahliye sistemlerinin verimli çalışabilmesi için yeterli miktarda hava girişi olmalıdır. Eğer mahallin ön kısmı tamamen sızdırmaz ise, mahal için ihtiyaç duyulan miktarda havayı otomatik olarak sağlamak için düzenlemeler yapılmalıdır. Balkonlar, atriuma açık olduğu için bu bölümlere hava girişi çok daha kolay olmaktadır.

Eğer, iç kısma hava girişinin olduğu alan çok küçük ise tahliye için kullanılacak olan kapılardan hava akış hızı tahliyeyi engelleyecek yüksek hızlarda olabilir. Yapılan araştırmalara göre genellikle hava hızlarının 5 m/s nin üzerine çıkmaması tavsiye edilmektedir.

#### e) Mahal İçerisinde Duman Tahliyesi Gereken Nokta Sayısı

Duman biriktirme hacimlerinden yapılması gereken egzost nokta sayısı duman kontrol sisteminin etkin çalışabilmesi açısından oldukça önemlidir. Çünkü, egzost yapılan her bir noktadan çekilebilecek sıcak dumanın sınırlı bir miktarı vardır. Bu miktarın üzerinde yapılacak olan emiş miktarını artırma girişimi, sadece duman tabakası altında mevcut olan havanın menfeze sürüklenmesini sağlar, yani duman yerine taze hava emilmiş olur. Deneysel çalışmalara dayanan; duman biriktirme hacimlerinden çekilen kütleli duman debilerinin değişik değerleri için farklı duman biriktirme hacimleri göz önüne alınarak bu bölümlerden ihtiyaç duyulan en az sayıdaki duman egzost sayıları Tablo 3 de verilmiştir [27].

**Tablo 3.** Etkin duman kontrolü için gerek duyulan egzost nokta sayıları [27]

(a) 1 MW

Egzost edilen toplam kütle miktarı (kg/s)	Egzost yapılan nokta altındaki duman tabakası kalınlığı (m)						
	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
9	21-28	8-11	4-5	3-3	2-2	1-2	1-1
12	29-40	11-15	6-8	3-5	2-3	2-2	1-2
15	39-54	14-20	7-10	4-6	3-4	2-3	2-2
18	50-68	18-25	9-13	5-7	4-5	3-3	2-3
20	57-79	21-29	10-14	6-8	4-6	3-4	2-3
25	77-107	28-39	14-19	8-11	5-7	4-5	3-4
30	99-137	36-50	18-25	10-14	7-9	5-6	4-5
40	149-205	54-75	27-37	15-21	10-14	7-9	5-7

(b) 6 MW

Egzost edilen toplam kütle miktarı (kg/s)	Egzost yapılan nokta altındaki duman tabakası kalınlığı (m)						
	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
12	26-35	10-13	5-7	3-4	2-3	2-2	1-2
15	31-43	12-16	6-8	4-5	2-3	2-2	1-2
18	37-51	14-19	7-9	4-6	3-4	2-3	2-2
20	41-56	15-21	8-10	5-6	3-4	2-3	2-2
25	51-70	19-26	9-13	6-8	4-5	3-4	2-3
30	62-85	23-31	11-15	7-9	4-6	3-4	2-3
40	85-118	31-43	15-21	9-12	6-8	4-6	3-4

Not: Tablolardaki ilk değerler duvardan uzak olan egzost noktaları ikinci değerler ise duvara yakın olan egzost noktaları için verilmiştir.

### f) Duman Egzost Miktarı

Mekanik duman tahliye sistemleri, duman biriktirme hacımları içerisine giren dumanı çekmek için kullanılan fanlar ve bunlara bağlı kanallardan meydana gelir. Bu fanlar ve kanallar, tahmin edilen dizayn sıcaklık değerlerine dayanıklı olmalıdır. Bir yangın esnasında fanların elektrik beslemelerinin sağlanabilmesi için, kontrol ve enerji kablolarının korunmuş olması istenmektedir.

Daha önce tablo 1 ve tablo 2 de verilen duman kütleli debileri için sıcaklıklar gözönüne alınarak aşağıdaki eşitlik ile hacımsal debiler hesaplanarak uygun fan seçimi yapılabilir.

$$V_1 = \frac{mT}{\rho_o T_o} \quad (7)$$

Bu denklemde  $V_1$  duman biriktirme hacminden çekilmesi gereken dumanın hacımsal debisi ( $m^3/s$ ),  $m$  duman kütleli debisi ( $kg/s$ ),  $T$  çevre sıcaklığı üzerindeki duman tabakası mutlak sıcaklığı (K) ve  $\rho_o$  çevre havası yoğunluğudur.

### 3.2 Atrium Boşluğunda Dumanın Kontrol Edilmesi

Çeşitli nedenlerden dolayı atriuma komşu olan mahaller içerisinde çıkan yangınlar sonucu açığa çıkan duman, bu mahallerden veya balkon bölümlerinden tahliye edilemediği zaman atrium içerisinden duman tahliye edilmesi veya iç kısma taze hava verilmesi düşünülür. Duman kontrolünün bu şekilde uygulamasının amacı duman tabakası kalınlığını yapı içerisinde belirli bir seviyede tutmaktır. Genellikle bu durumda en kötü hal, yangının atriumun en düşük seviyesindeki komşu mahalde çıkması durumudur. Çünkü, bu durumda plum içerisine büyük miktarda hava girişi olarak duman tabakası kalınlığı kısa sürede artar.

Yükselen plum içerisine giren hava miktarı ve dolayısıyla atrium boşluğu tavanı altında toplanan duman tabakasına giren gazların toplam miktarı; (1) atrium içerisine gazların aktığı noktadaki kütleli debi veya sıcaklığa, (2) gazların ısı akısına, (3) atriuma giren plum uzunluğuna, (4) plumun yükselbileceği mesafeye bağlı olarak değişim gösterir.

#### a) Kanal Oluşturan Perdeler

Atrium boşluğu çıkıntısı olmayan düz bir yüzeye sahip olduğu zaman, plum uzunluğu olarak, dumanın içerisinden aktığı açıklığın genişliği olarak alınmaktadır. Bunun yanında duman, balkon gibi yatay bir çıkıntı altına aktığı zaman, önce balkon kenarlarından öne ve arkaya doğru daha sonra kenarlara doğru yayılmaya başlar. Dumanın kenarlara doğru akışı bir engel ile karşılaşınca kadar veya durgun

Şekil 9. Dumanın balkon altında yayılması

**Şekil 10.** Kanal oluşturan perdeler kullanılması durumunda duman yayılması

hale gelebilecek seviyede enerjiyi kaybedene kadar devam eder ve çok geniş bir plum olarak atrium boşluğu içerisinde yükselir. Dumanın büyük miktarda akışı sırasında içerisinde giren hava miktarında fazla olması sebebiyle atrium çatısı altında oluşan duman tabakası kalınlığı kısa sürede artmaya başlar. Plum içerisinde aşırı miktarda hava girişi, balkon altlarında yan kısımlara doğru gerçekleşen duman hareketlerinin sınırlandırılması ile azaltılabilir. Bu olayı gerçekleştirmek için kullanılan perdeler kanal oluşturan perdeler olarak adlandırılır ve mahallerin çıkış kenarlarından balkon kenarına kadar uzatılır. Bu tip bir duman kontrol sistemi daha ziyade çok katlı alışveriş merkezlerinde kullanılmaktadır. Bir çift perde için gerek duyulan en az derinlik tablo 4 (a) ve tablo 4 (b) de verilmiştir.

Perdeler sabit olabilir veya algılama sisteminden aldığı uyarı ile aşağıya inebilir. Yapılan çalışmalar, yangın çıkan mahallin arkasındaki balkon çıkıntısının 1.5 m den az olması durumunda kanal oluşturan perdelerle gerek duyulmadığını göstermiştir. Yine araştırmalar sonucu genişliği 2 m den daha az olan balkonlarda, yüksekliklerin fazla olması durumunda dumanın vorteks hareketi ile bir üst kattaki balkona duman dolma olasılığını ortaya çıkarmaktadır.

**Tablo 4.** Kanal oluşturan perdelerin derinlikleri

**(a) Boşluk kenarında kiriş olmaması**

Biriktirme hacmine giren kütle miktarı (kg/s)	Biriktirme hacmi genişliği ( $W_B$ ) veya kanal perdeleri genişliği L (m)					
	4	6	8	10	12	15
10	1.1	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5
15	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6
20	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7
25	2.0	1.5	1.2	1.1	1.0	0.8
30	2.3	1.7	1.4	1.2	1.1	0.9
40	2.8	2.2	1.8	1.5	1.4	1.2
50	3.4	2.6	2.1	1.8	1.6	1.4
70	4.5	3.4	2.8	2.4	2.2	1.9
90	5.6	4.3	3.5	3.1	2.7	2.3
110	6.7	5.1	4.2	3.6	3.3	2.8
130	7.8	6.0	4.9	4.2	3.8	3.2
150	9.0	6.8	5.6	4.9	4.3	3.7

**(b) Boşluk kenarında kiriş olması**

Biriktirme hacmine giren kütle miktarı (kg/s)	Biriktirme hacmi genişliği ( $W_B$ ) veya kanal perdeleri genişliği L (m)					
	4	6	8	10	12	15
10	1.8	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8
15	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0
20	2.8	2.2	1.8	1.5	1.4	1.2
25	3.3	2.5	2.1	1.8	1.6	1.4
30	3.8	2.9	2.4	2.1	1.8	1.6
40	4.7	3.6	3.0	2.6	2.3	2.0
50	5.7	4.3	3.6	3.1	2.7	2.4
70	7.5	5.8	4.8	4.1	3.6	3.1
90	9.4	7.2	6.0	5.1	4.5	3.9
110	11.2	8.6	7.1	6.1	5.4	4.7
130	13.1	10.0	8.2	7.1	6.3	5.4
150	15.0	11.5	9.5	8.2	7.2	6.2

**b) Atrium Boşluğu İçerisinde Yükselen Pluma Hava Girişi**

Yukarda belirtilen açıklık kenarı çevresinden veya balkon çevresinden atrium boşluğuna akan plum içerisine hava girişinin hesabı Morgan ve Hansell [8] tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak arzu edilen duman tabakası yüksekliği ( $h_b$ ) seçilir, açıklık genişliği verilir, kanal oluşturan perdeler arasındaki mesafe ve buna bağlı olarak perde derinliği girilir ve yangın büyüklüğüne bağlı olarak atrium boşluğu tavanında oluşturulan tabaka içerisine giren dumanın kütleli debisi hesaplanır.

Yangında açığa çıkan enerji miktarının 1 MW ve 6 MW olduğu durumlarda aşağı sarkan kiriş derinliğinin 0 m ve 1.0 m olması durumları için açıklık genişliğinin veya kanal oluşturan perdeler arasındaki genişliğin 5 m, 10 m, 20 m ve 40 m olması durumlarında kütle akış miktarlarına ait grafikler şekil 12-19 arasında hem küçük ofisler hemde büyük ofisler için verilmiştir.

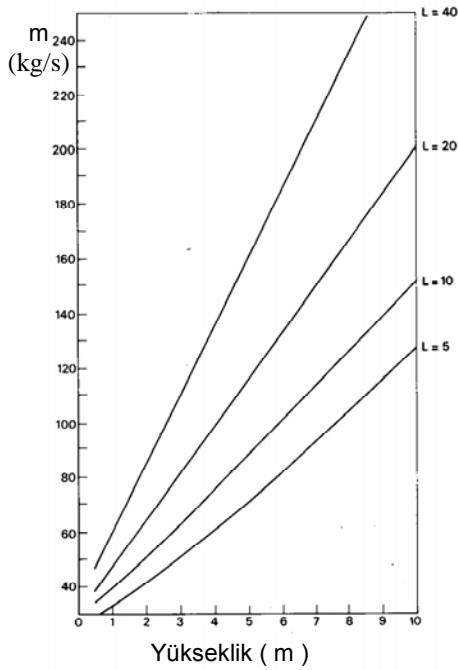
**c) Atrium Boşluğunda Yangın**

Bu durum tek katlı bir binadaki yangın davranışı olarak göz önüne alınabilecek basit bir yangın durumudur. Burada yangın sonucu açığa çıkan gazlar hiç bir engel olmaksızın doğrudan atrium çatısı altındaki duman tabakası içerisine katılır. Yangının büyüklüğü ise atrium bölümündeki yangın yüküne dayanan alan ve çevre ile belirlenir. Örneğin 4 sandalye kümeleşmesinden oluşan oluşan 6 m çevreli

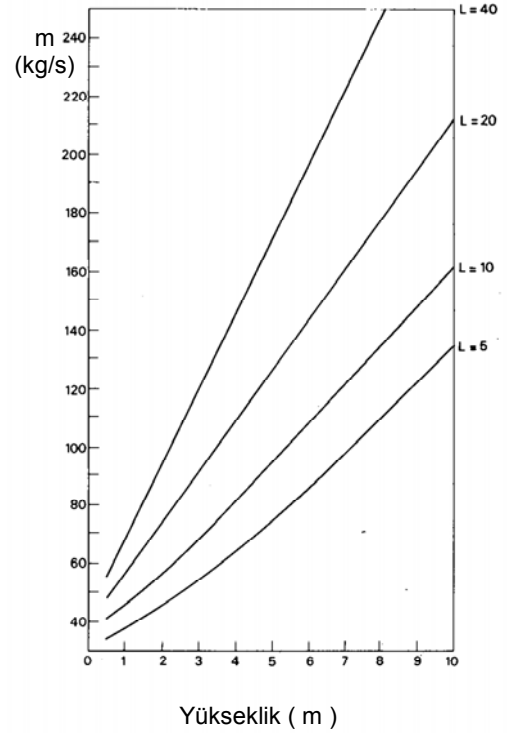
bir alanda ısı akısı yaklaşık 2 MW alınır. Çevredeki ofislerde sprinkler sistemi olması durumunda ve sprinkler sisteminin yangın olan alan üzerine hizmet vermesi durumunda yangın ısı akısı yaklaşık 115 kW/m<sup>2</sup> alınır. Çevredeki mahallerde sprinkler sistemi bulunmaması durumunda 185 kW/m<sup>2</sup> olur. 12 m yangın çevreli bir araç için toplam ısı akısı 2.5 MW'dır. Eğer tahmin edilen yakıt yükü için ısı akısı bilinmiyorsa, yangın alanı başına 0.5 MW/m<sup>2</sup> ısı akısı almak çoğu zaman uygun olmaktadır. Duman tabakası içerisine giren kütle akış miktarı ise şekil 20'den bulunabilir.

#### d) Doğal Havalandırma Gereken Alan

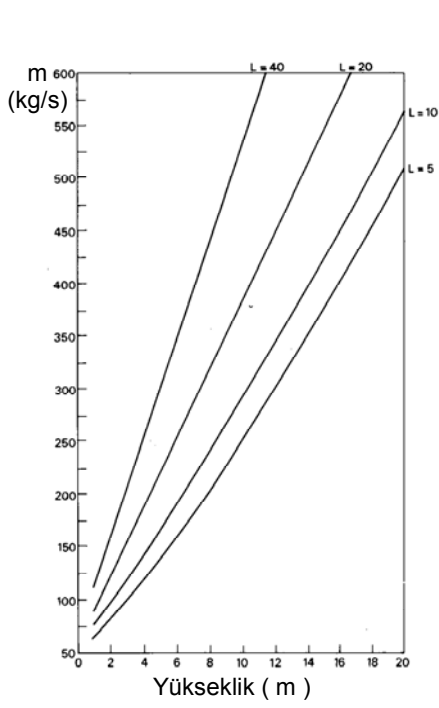
Doğal havalandırma sistemi, duman tahliyesi için gerekli hava kuvvetini sağlamak için dumanın kaldırma kuvvetini kullanır. Tahliye edilen miktar büyük ölçüde duman tabakası derinliğine ve sıcaklığına bağlıdır. Doğal havalandırma sisteminin avantajı oldukça basit, güvenilir olması ve çok geniş aralıktaki yangın koşullarının üstesinden gelebilmesidir. Herhangi bir nedenle, yangın tasarlanan boyutunun üzerine çıkması durumunda duman tabakası kalınlığının ve sıcaklığının artması kaçınılmaz olur, bu da daha fazla miktarda duman tahliyesi sağlar. Yani, doğal havalandırma sistemi kendi kendini dengeleyen bir mekanizmadır.



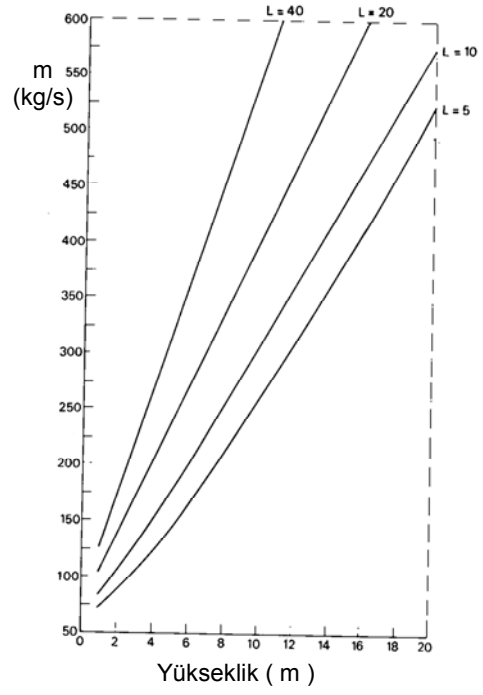
Şekil 12. Sprinkler sistemli büyük ofis  
Q=1 MW, D<sub>d</sub>=0.0 m



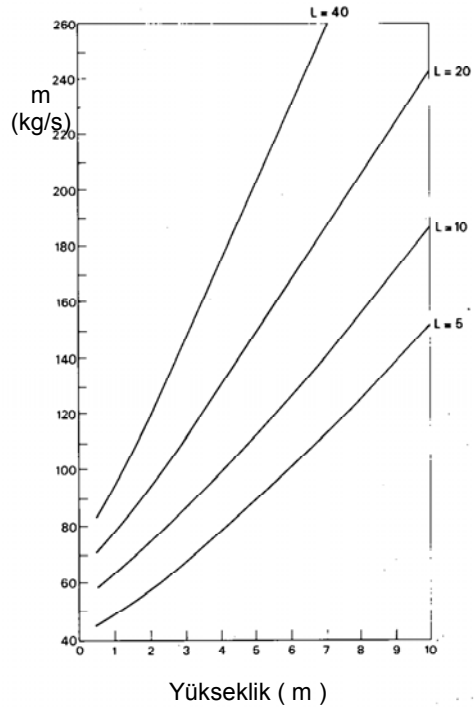
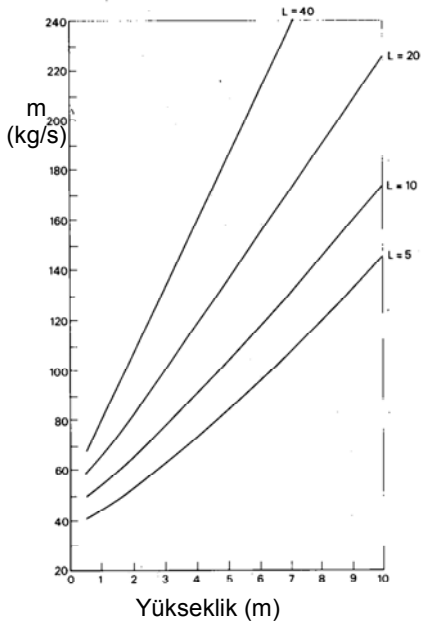
Şekil 13. Sprinkler sistemli büyük ofis  
Q=1 MW, D<sub>d</sub>=1.0 m



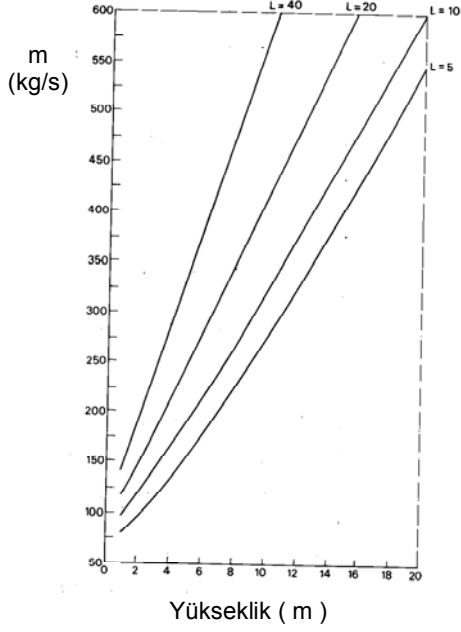
Şekil 14. Sprinkler sistemsiz büyük ofis  
Q=6 MW, D<sub>d</sub>=0.0 m



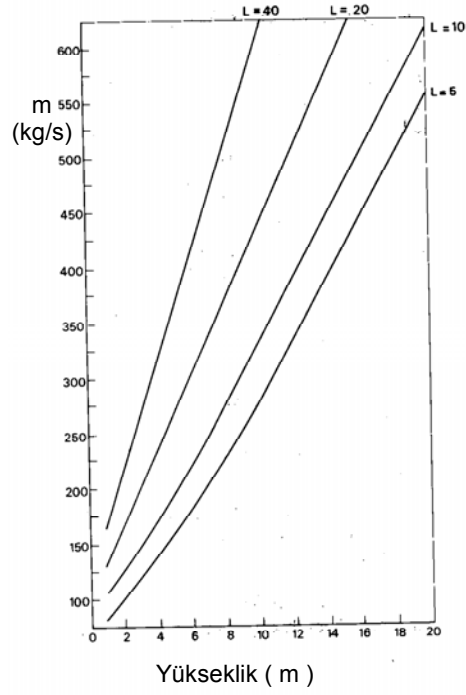
Şekil 15. Sprinkler sistemsiz büyük ofis  
Q=6 MW, D<sub>d</sub>=1.0 m



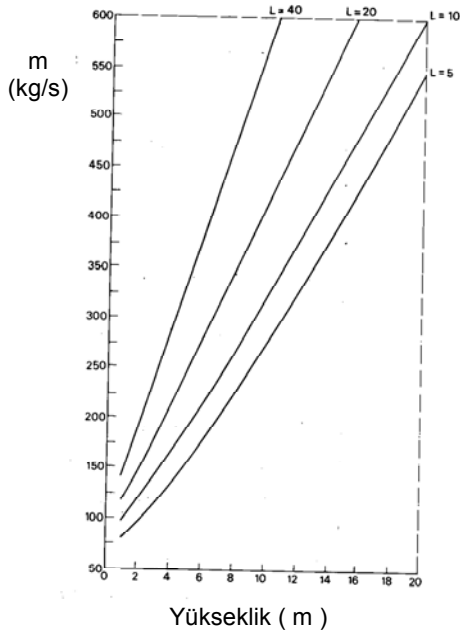
**Şekil 16.** Sprinkler sistemli küçük ofis  
Q=1 MW,  $D_d=0.0$  m



**Şekil 17.** Sprinkler sistemli küçük ofis  
Q=1 MW,  $D_d=1.0$  m



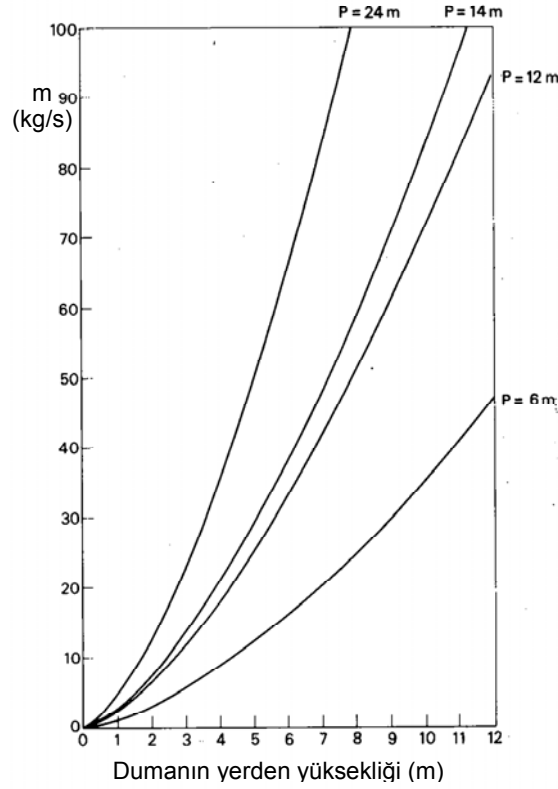
**Şekil 18.** Sprinkler sistemli küçük ofis



Q=6 MW,  $D_d=0.0$  m

**Şekil 17.** Sprinkler sistemli küçük ofis

Q=6 MW,  $D_d=1.0$  m



Şekil 20. Atrium tabanındaki yangında üretilen duman miktarı

Çekilen kütesel duman debisi, havalandırma alanı, hava giriş alanı ve duman tabakası arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$A_v c_v = \frac{m_l}{\rho_o} \left[ \frac{T_1^2 + \left( \frac{A_v c_v}{A_i c_i} \right)^2 T_1 T_0}{2g D_B \theta_1 T_0} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$A_v$  açıklık alanı,  $A_i$  bütün hava girişleri toplam alanı,  $c_v$  boşaltma katsayısı,  $c_i$  giriş katsayısı (0.6),  $m_l$  çekilen duman miktarı,  $\rho_o$  çevre hava yoğunluğu,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $D_B$  açıklık altındaki duman derinliği,  $\theta_1$  duman tabakası sıcaklığının çevre havası üzerindeki sıcaklık yükselmesi,  $T_1$  duman tabakası mutlak sıcaklığı,  $T_o$  çevre havası mutlak sıcaklığıdır.

Giriş havası açıklık alanlarında herhangi bir sınırlama olmaksızın duman tahliyesi için gerek duyulan açıklık alanları Tablo 5 de verilmektedir. Eğer atriuma taze hava girişi alanı tablo 5 de verilen egzost ventilasyon alanının iki katı ise hem duman tahliye açıklık alanı hem de taze hava giriş alanı yaklaşık % 10 oranında artırılmalıdır. Eğer taze hava giriş alanı egzost tahliye alanına eşit ise her iki alan da yaklaşık % 35 artırılmalıdır. Şayet taze hava giriş alanı egzost alanının yarısı kadar ise her iki alan yaklaşık %125 artırılmalıdır.

Duman tahliyesi için doğal havalandırma kullanıldığı zaman açıklığın bulunduğu konumun dış rüzgar koşullarından ters olarak etkilenmemesine dikkat edilmelidir. Pozitif rüzgar basıncı, duman tabakası tarafından oluşturulan basınçtan çok daha büyük olabilir. Bu durum söz konusu olduğu zaman açıklık duman tahliye çıkışı yerine hava girişine hizmet verir. Bununla birlikte negatif rüzgar basıncı ise emme kuvveti yaratarak doğal havalandırma ile duman tahliyesine yardımcı olur.



**Tablo 5.** Duman biriktirme hacmi için gerek duyulan en küçük ventilasyon alanı

(a) 1MW

Egzost edilen toplam kütle miktarı (kg/s)	Açıklık altındaki duman tabakası kalınlığı (m)						
	1.5	2	3	4	5	7	10
4	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.8
6	3.2	2.8	2.3	2.0	1.7	1.5	1.2
8	4.5	3.9	3.2	2.7	2.4	2.1	1.7
10	5.9	5.1	4.1	3.6	3.2	2.7	2.3
12	7.4	6.4	5.2	4.5	4.0	3.4	2.9
15	9.9	8.5	7.0	6.0	5.4	4.6	3.8
20	14.5	12.5	10.2	8.9	7.9	6.7	5.6
25	19.6	17.0	13.9	12.0	10.8	9.1	7.6
30	25.3	21.9	17.9	15.5	13.9	11.7	9.8
35	31.4	27.2	22.2	19.2	17.2	14.5	12.2
40	37.9	32.9	26.8	23.2	20.8	17.6	14.7
50	52.2	45.2	36.9	32.0	28.6	24.2	20.2
60	67.9	58.8	48.0	41.5	37.2	31.4	26.3

(b) 6MW

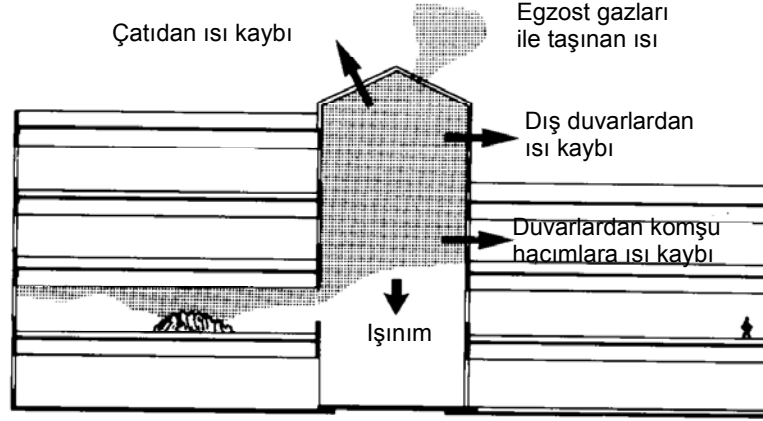
Egzost edilen toplam kütle miktarı (kg/s)	Açıklık altındaki duman tabakası kalınlığı (m)						
	1.5	2	3	4	5	7	10
10	5.5	4.7	3.9	3.3	3.0	2.5	2.1
12	6.4	5.5	4.5	3.9	3.5	2.9	2.5
15	7.8	6.7	5.5	4.8	4.3	3.6	3.0
20	10.2	8.9	7.2	6.3	5.6	4.7	4.0
25	12.9	11.1	9.2	7.9	7.0	6.0	5.0
30	15.6	13.5	11.1	9.6	8.6	7.2	6.1
35	18.6	16.1	13.1	11.4	10.2	8.6	7.2
40	21.6	18.7	15.3	13.2	11.8	10.0	8.4
50	28.2	24.4	19.9	17.2	15.4	13.0	10.9
60	35.2	30.5	24.9	21.6	19.3	16.3	13.6
75	46.7	40.4	33.0	28.6	25.6	21.6	18.1
90	59.2	51.2	41.8	36.2	32.4	27.4	22.9
110	77.2	66.9	54.6	47.3	42.3	35.8	29.9
130	96.8	83.8	68.5	59.3	53.0	44.8	37.5
150	117.8	102.0	83.3	72.1	64.5	54.5	45.6
200	175.9	152.3	124.4	107.7	96.3	81.4	68.1
300	313.1	271.1	221.4	191.7	171.5	144.9	121.2
400	474.2	410.7	335.3	290.4	259.7	219.5	183.7

Akış sırasında kütle akış miktarının en fazla 150-200 kg/s ve/veya duman tabakası sıcaklığının en az çevre hava sıcaklığının 15-20 C üzerinde olması sağlanmalıdır. Plum içerisine giren hava miktarının fazla olması veya duman tabakası sıcaklığının düşük olması durumlarında katmerleşme meydana gelerek dumanın etrafa yayılmasına neden olur. Hatta yangın mahalli açıklığının üzerindeki yüksekliğin 8-12 m yi aşması durumunda doğal duman tahliyesini uygulamak çoğu zaman yarar sağlamamaktadır.

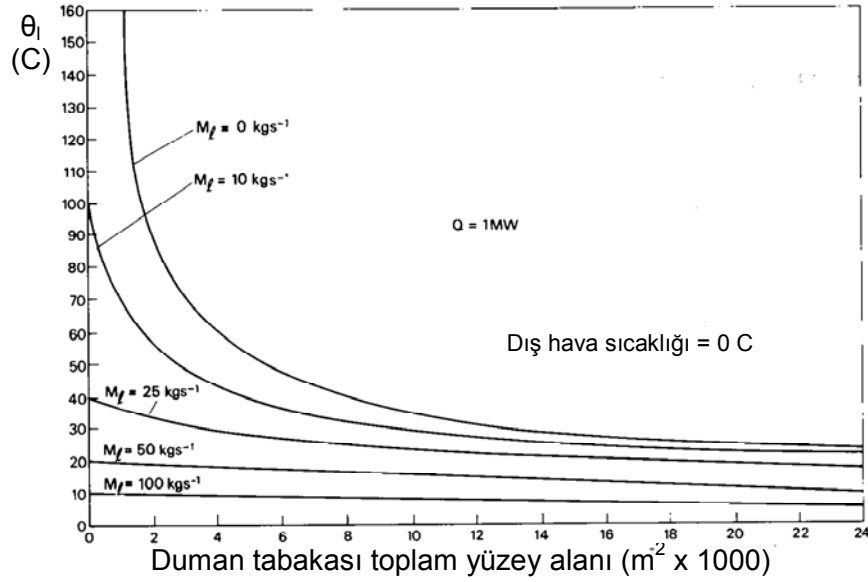
Üç veya dört katlı atriumlardan daha yüksek olan yapılarda doğal veya mekanik duman egzost sistemlerinin kullanılması dumandan arındırılmış hacimler yaratılması konusunda pek farklılık göstermemektedir. Bu bakımdan yeni atrium dizaynlarında, katlar arasında yangın bölmeleri kullanmaksızın tamamen açık olabilecek en fazla kat sayısı üç ile sınırlandırılmaktadır.

#### e) Atrium Duman Tabakası Sıcaklığı

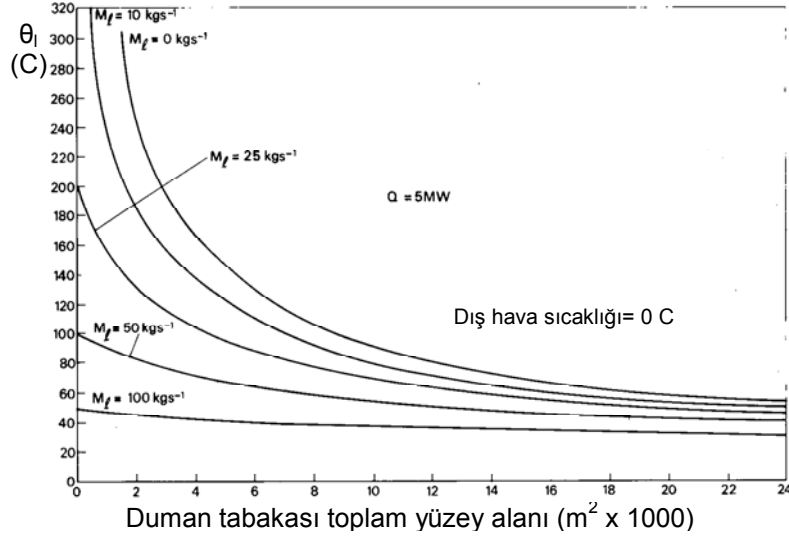
Duman kontrol sistemlerinin dizaynında çoğu zaman yapıdan olan ısı kayıpları dikkate alınmaz. Duman biriktirme hacımlarına giren bütün ısının tabaka içerisinde kaldığı kabul edilir. Son zamanlarda yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki orta ve yüksek ısı dirençli küçük duman biriktirme hacımları veya büyük kütle akışlı duman için bu iyi bir kabuldür. Fakat, atrium için bu kabul geçerli değildir. Atriumlar genellikle büyük yüzey alanlarına sahiptir ve çoğu zaman bu alanlar yarı yarıya camdır. Bu durum iyi bir ısı kaybına neden olur. Duman tabakasından yapıya bir ısı geçişi olacak ve bu da duman tabakası sıcaklığında önemli bir azalmaya neden olacaktır. Şekil 21 atrium içindeki ısı dengeyi göstermektedir. Bu model en kötü halde duman tabakasından olan enerji kaybının hesaplanmasında kullanılır. Bu modelin sonuçları grafik olarak şekil 22 ve şekil 23 de gösterilmiştir.



Şekil 21. Atriumda ısı denge



Şekil 22. Q=1 MW için atrium duman tabakası sıcaklığı



Şekil 23. Q=6 MW için atrium duman tabakası sıcaklığı

Dış etkilerin farklı değerleri ile çeşitli atrium geometrilerinin düşünülmesine rağmen kütle akış miktarının her bir değerini bütün koşullar için yaklaşık tek bir eğri ile göstermek mümkün olmaktadır.

#### 4. SONUÇ

Atriumlu yapıların çoğalmasıyla, mimarlar ile birlikte mekanik ve elektrik grupları da tamalayıcı olarak bu yapılar için uygun çözümler üretebilmek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Mekanik sistemler içerisinde çözüm bulunması gereken önemli konularadn birisi de yapı içerisindeki duman kontrol sistemleridir. Atriumlu ve atriumu çevreleyen mahaller dumanın yayılacağı geniş mekanlar olduğundan, muhtemel bir yangın durumunda açığa çıkan duman ve sıcak gazlar kısa sürede bu mahalleri dolduracaktır. Bu durum güvenli bir tahliye imkanı vermeyeceği gibi yangına müdahale açısından da zorluk yaratacaktır. Bu bakımdan kısa süre içerisinde dumanın yapı içerisinde tahliyesi gerekmektedir.

Bu çalışmada atriumlarda duman kontrolü konusu incelenmiş olup, incelemeler sonucunda en uygun duman kontrolünün, atrium boşluğuna komşu mahallerden dumanın tahliye edilmesi ile gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Komşu mahallerden duman tahliye yöntemlerinden bahsedilmiştir. Fakat bazı durumlarda, özellikle atrium yapısının özelliklerine bağlı olarak komşu mahallerden duman tahliyesinin yapılamadığı durumlarda, atrium boşluğu içerisine giren veya atrium tabanında çıkabilecek bir yangın sonucu açığa çıkan dumanın atrium boşluğu içerisinde nasıl kontrol edilebileceği çalışılmıştır.

Atriumlu binalar uzun yıllardan beri kullanılan yapılar olmasına rağmen, duman kontrolü konusunda yapılan çalışmalar üzerinde anlaşılabilen ortak bir duman kontrol sisteminin mümkün olmadığını göstermektedir. Atriumlarda duman kontrolünü, atriumların şekline, kullanılan malzemeye, büyüklüğüne, yüksekliğine bağlı olarak çalışma içerisinde bahsedilen temel ifadeler ve yöntemlerden bir veya birkaçı kullanmak suretiyle, o atriuma özel bir sistemle gerçekleştirmek uygun olacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1] THOMAS, P. H., P.L. Hinkley, C.R. Theobald and D.L. Simms Investigation the Flow of Hot Gases in Roof Venting, Fire Research No 7, 1963.
- [2] ZUKOWSKI, E. E., T. Kubota and B. Cetegen, Entrainment in Fire Plumes, Fire Safety Journal, No 3, 107, 1981.
- [3] TANAKA, T. and T. Yamana, Smoke Control in Large Scale Spaces, part 1, Fire Science and Technology No 5, pp 31-40, 1985.
- [4] TANAKA, T. and T. Yamana, Smoke Control in Large Scale Spaces, part 2, Fire Science and Technology No 5, pp 41-54, 1985.
- [5] COOPER, L., M. Harkelroad, J. Quintiere and W. Rinkinen, An Experimental Study of Upper Hot Layer Stratification Full Scale Multiroom Fire Scenarios, American Society of Mechanical Engineers, p 81-HT- 9, 1981.
- [6] THOMAS, P. H., On the Upward Movement of Smoke and Related Shopping Mall Problems, Fire Safety Journal, 12 , 191-203, 1987.
- [7] BUTCHER, G. and A. Pournell, Applying the Physics of Smoke Venting in Buildings with Atrium Fire, Fire Safety Journal, 2, 25-27, 1986.
- [8] MORGAN, H. P., and G. O. Hansell, Atrium Buildings: Calculating Smoke Flow in Atria for Smoke Control Design, Fire Safety Journal, No 2, 9-35, 1987.
- [9] MORGAN, H. P., and G. O. Hansell, Smoke Control in an Atrium Building Using Depressurization, Part 1, Fire Science and Technology, No 10, 11-26, 1990.
- [10] MORGAN, H. P., and G. O. Hansell, Smoke Control in an Atrium Building Using Depressurization, Part 2, Fire Science and Technology, No 10, 27-41, 1990.
- [11] HINKLEY, P.L., Comparison of an Established Method of Calculation of Smoke Filling of Large Scale Spaces With Recent Experiments, Fire Science and Technology, Vol 8, 1-8, 1988.
- [12] MILKE, J. A., Fire Hazard Assesment in Atriums, Rountable on Fire Safety in Atriums, 1988.
- [13] MILKE, J. A., Smoke Management for Covered Models and Atria, Fire Technology, 223-243, 1990.
- [14] TANAKA, T. and K. Nakamura, A Model for Predicting Smoke Transport in Buildings, No 123, of the Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, 1989.
- [15] CHOW, W. K., Smoke Movement and Design of Smoke Control in Atrium Buildings, International Journal of Housing Science and its Applications, 13, 307-322, 1989.
- [16] CHOW, W. K., Smoke Movement and Design of Smoke Control in Atrium Buildings, Part 2, International Journal of Housing Science and its Applications, 14, 147-159, 1990.
- [17] MORITA, M., Y. Yamuchi and A. Manmoto, Numerical Simulation of Fire in the Temperature Stratified Atrium with a Mathematical Field Model, Third International Symposium on Fire Safety Science, UK, 1991.
- [18] WATERS, R. A., Stanset Terminal Building and Early Atrium Studies, J. Fire Protection Engineering, 1, 63-76, 1989.
- [19] KLOTE, J., and J. Milke, Design of Smoke Management Systems, ASHRAE Publication 90022, Atlanta, 1990.
- [20] MITLER, H. E., The Physical Basis for the Harvard Computer Fire Code, Home Fire Project Technical Report No 34, Division of Applied Science, Harvard Uni. 1978.
- [21] CHOW, W. K., Smoke Movement Induced by a Fire in an Atrium, NUS Publ., August, 12-20, 1995.
- [22] MILKE, J. A. and F. W. Mowrer, Computer Aided Smoke Management in Atria and Covered Malls, Transactions, ASHRAE, 3828 (RP-658), 448-554, 1992.
- [23] NFPA 92 B, Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas, NFPA, 1995.
- [24] NFPA 204 M, Guide for Smoke and Heat Venting, NFPA, 1991.
- [25] HANSELL G. O. and H. P. Morgan, Design Approaches for Smoke Control in Atrium Buildings, Building Research Establishment Report, 1994.
- [26] QUINTIERE J. G., W. J. Rinkinen and W. W. Jones, The Effects of Room Openings on Fire Plumes Entrainment, Combustion Science and Technology, 26, 193-201, 1981.
- [27] HESELDEN A. J. M., Fire Problems of Pedesrian Precincts, Part 1, The Smoke Production of Various Materials., Fire Research Station, Fire Research Note 856, FRS, 1971.

## ÖZGEÇMİŞ

**Kazım BECEREN**

Kazım BECEREN, 1964 yılında Samsun'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Samsun'da tamamladı ve 1981 yılında İ.T.Ü Makina Fakültesine girdi. 1985 yılında İ.T.Ü Makina Fakültesini bitirerek aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsünün Makina Anabilim Dalı Enerji Programında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 1988 yılında Enerji Programına başladığı öğrenimini tamamlayarak Yüksek Lisans derecesi aldı ve 1989 yılında aynı programda başladığı doktora çalışmasını 1996 yılında tamamladı.

1987 yılında İ.T.Ü Makina Fakültesi Termodinamik ve Isı tekniği Ana Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başlayan Kazım BECEREN halen aynı yerde çalışmalarını sürdürmektedir.

**Abdurahman KILIÇ**

1976 da İTÜ Makina Fakültesi Enerji dalında yüksek lisansını, 1982 yılında doktorasını tamamlamış, 1992 yılında doçent ve 1997 yılında aynı Fakültede profesör olmuştur. Yangın Güvenliği, Termodinamik, Güneş Enerjisi ve Isı Tekniği alanlarında kitapları ve makaleleri bulunmaktadır. 1989-1994 yılları arasında, Yüksek öğretim kanununun 38.maddesi çerçevesinde İstanbul İtfaiye müdürlüğü görevinde bulunmuş, itfaiyelerin gelişmesi ve yangın yönetmelikleri konusunda çok sayıda çalışma yapmış ve rapor hazırlamıştır.

Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinde çalışmakta, yangın güvenliği ve ısı tekniği konularında lisans, yüksek lisans ve doktora seviyesinde dersler vermekte, yangın güvenliği konusunda araştırma yapmaktadır. "Türkiye Yangından Korunma Vakfı" yönetim kurulu başkanlığını yürütmekte, TBMM Milli Saraylar, Sabancı Center, Akmerkez, İş Bankası gibi önemli yapıların Yangın Güvenliği Danışmanlığını yapmaktadır. Dünya Gönüllü İtfaiyeciler Birliği, Avrupa İtfaiye Müdürleri Birliğinin Üyesidir.