

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

85023

YANGIN ANINDA VANTİLYASYONUN ÖNEMİ

Makina Mühendisi Birol HÜRTÜRK

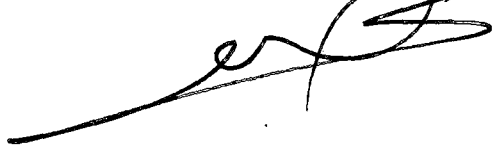
F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Muhittin SOĞUKOĞLU

85023

Doç. Dr. M. Muhittin Soğukoğlu



Doç. Dr. İbrahim Genter



Prof. Güner TAÖN



İSTANBUL, 1999

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

2.	DUMAN MİKTARI ve NİTELİĞİ.....	19
2.1	Giriş.....	19
2.2	Duman Üretiminin Mekanizması.....	20
2.3	Üretilen Duman Miktarı.....	20
2.4	Duman Karartması.....	24
2.5	Görüş Mesafesi.....	26
2.6	Duman İçindeki Zehirli Gazlar.....	30
2.7	Zehirli Gazların Sınıflandırılması.....	33
2.7.1	Tahriş edici gazlar.....	33
2.7.1.1	Amonyak.....	34
2.7.1.2	Hidroklorik asit.....	34
2.7.1.3	Kükürt dioksit.....	34
2.7.1.4	Benzol.....	35
2.7.2	Boğucu gazlar.....	35
2.7.2.1	Klor.....	36
2.7.2.2	Fosgen.....	36
2.7.2.3	Karbon dioksit.....	37
2.7.2.4	Azot oksitler.....	37
2.7.3	Yakıcı gazlar.....	38
2.7.4	Öldürücü gazlar.....	38
2.7.4.1	Hidrojen siyanür.....	39
2.7.4.2	Karbon monoksit.....	39
2.7.4.3	Karbon sülfür.....	41
2.8	Sıcaklık.....	41
2.8.1	Halsizlik zamanı.....	43
2.8.2	Kısmi halsizlik dozu hesap örneği.....	45
3.	DUMAN KONTROLUNUN OLMADIĞI BİNALARDA VANTİLYASYON..	47
3.1	Giriş.....	47
3.2	Vantilasyonun Avantajları.....	48
3.2.1	Kurtarma çalışmaları.....	48
3.2.2	Yangına müdahale ve yangın söndürme.....	48
3.2.3	Eşyaların korunması.....	49
3.2.4	Yangın yayılımı kontrolü.....	49
3.2.5	Parlama (flashover) ihtimalinin düşürülmesi.....	50
3.2.6	Alev kapanı (back draft) ihtimalinin düşürülmesi.....	50
3.3	Vantilasyonun Yapılması Kararını Etkileyen Kriterler.....	50
3.3.1	Can güvenliğine yönelik tehlikeler.....	51
3.3.2	Görünür duman koşulları.....	52
3.3.3	Yanan bina.....	52
3.3.4	Yangın mahali ve şiddeti.....	54
3.3.5	Vantilasyonun yapılacağı yerin seçimi.....	55
3.4	Dikey Vantilasyon.....	55
3.5	Yatay Vantilasyon.....	57
3.6	Cebri Vantilasyon.....	59
3.6.1	Negatif-basınç vantilasyonu.....	60

3.6.2	Pozitif-basınç vantilasyonu.....	61
3.6.3	Hidrolik vantilasyon.....	63
4.	TEK KATLI BİNALARDA DOĞAL VANTİLYASYON İLE ÇATIDAN DUMAN ATIMI.....	65
4.1	Giriş.....	65
4.2	Çatıdan Havalandırma Sistemlerinin Tasarımındaki Faktörler.....	66
4.2.1	Küçük yangın.....	66
4.2.2	Büyük, fakat tam gelişmemiş yangın.....	69
4.2.3	Tam gelişmiş yangın.....	70
4.2.4	Yangın büyüklüğünün tayini.....	71
4.2.5	Sıcak duman katmanı sıcaklığı.....	72
4.2.6	Soğuk hava girişleri.....	73
4.2.7	Eğimli çatılarda duman tahliye kapaklarının yeri.....	74
4.2.8	Tek bir duman tahliye kapağının büyüklüğü.....	75
4.2.9	Çatıyı kompartımanlara ayırarak yatay yayılımı sınırlamak.....	76
4.2.10	Duman havuzu oluşturmada kullanılan perdelerin özellikleri.....	77
4.2.11	Kötü hava koşullarının etkisi.....	78
4.3	Abaklar.....	79
4.3.1	Abakların kullanımı.....	79
4.3.2	Abak 4.1: küçük yangınların havalandırılması.....	80
4.3.3	Abak 4.2: küçük yangınlarda sıcak gaz katmanı sıcaklığının tayini.....	82
4.3.4	Abak 4.1 ve Abak 4.2 ile yapılabilecek hesaplamalar.....	83
4.3.5	Abak 4.3: büyük, fakat tam gelişmemiş yangınların havalandırılması.....	85
4.3.6	Abak 4.3 ile yapılabilecek hesaplamalar.....	86
4.3.7	Abak 4.4 (a) ve (b): tam gelişmiş yangınların havalandırılması.....	87
4.3.8	Abak 4.4 ile yapılan bir hesap örneği.....	90
4.3.9	Abak 4.5: odun yangınlarındaki alev yüksekliği.....	92
4.3.10	Abak 4.6: yangında duman tahliye kapaklarından atılan ısı oranı.....	93
5.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	95
	KAYNAKLAR.....	97
	ÖZGEÇMİŞ.....	99

ABAK LİSTESİ

	Sayfa
Abak 4.1	Küçük yangınların havalandırılması..... 81
Abak 4.2	Küçük yangınlarda sıcak gaz katmanı sıcaklığı..... 84
Abak 4.3	Büyük, fakat tam gelişmemiş yangınların havalandırılması..... 87
Abak 4.4	Tam gelişmiş yangınların havalandırılması..... 89
Abak 4.5	Odun yangınlarındaki alev yüksekliği..... 93
Abak 4.6	Yangında duman tahliye kapaklarından atılan ısı oranı..... 94



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Bazı yanıcı maddelerin tutuşma sınırları ve tutuşma sıcaklıkları.....	3
Çizelge 1.2	Bazı yanıcı madde bileşenlerinin yanma reaksiyonları.....	6
Çizelge 1.3	Çeşitli malzemelerden yayılan ısı miktarı.....	7
Çizelge 1.4	Çeşitli malzemelerin birim yüzey alanlarının yanma hızı.....	8
Çizelge 1.5	Bazı yanıcı maddelerin yangın yayılım oranları.....	8
Çizelge 2.1	(3 m x 3 m)'lik bir yangındaki duman debisi.....	23
Çizelge 2.2	(3 m x 3 m)'lik bir yangında üretilen dumanın binayı zeminden verilen uzaklıklara kadar dolduracağı tahmini süreler.....	24
Çizelge 2.3	Duman karartmasını ifade eden farklı yöntemlerin karşılaştırılması.....	26
Çizelge 2.4	Çeşitli yapı malzemelerinin yanması sonucu üretilen duman.....	27
Çizelge 2.5	Görülme mesafesi için önerilen orantı sabiti değerleri.....	28
Çizelge 2.6	Çeşitli malzemelerin yanmasıyla ortaya çıkan toksik bileşikler.....	31
Çizelge 2.7	Başlıca zehirli gazların LC ₅₀ değerleri.....	32
Çizelge 2.8	Çeşitli malzemelerin yanması sonucu neşredilen HCN miktarları.....	39
Çizelge 2.9	Çeşitli malzemelerin yanması sonucu neşredilen CO miktarları.....	40
Çizelge 2.10	Yangın mahalinde sıcaklığın zamanla değişimi.....	42
Çizelge 2.11	Kısmi halsizlik dozu hesaplamaları	46
Çizelge 3.1	Değişik sıcaklıklardaki su buharı özgül hacimleri 20°C'deki suya göre hacim artışları.....	63
Çizelge 4.1	Çeşitli binaların yangın büyüklükleri.....	72
Çizelge 4.2	Sıcak gaz katmanının sıcaklığı.....	72
Çizelge 4.3	Tek bir çatı kompartımanında tutulacak kare şeklindeki yangının maksimum kenar uzunluğu.....	77
Çizelge 4.4	Çeşitli abakların kullanıldığı şartlar.....	80
Çizelge 4.5	Bazı yanıcı maddelerin yanmasıyla neşredilen ısı miktarları.....	82
Çizelge 4.6	Bazı yanıcı malzemelerin yanmasıyla yayılan ısı miktarları.....	83
Çizelge 4.7	Bazı mekanların birim alanlarından yayılan ısı miktarları.....	83

NOTASYON LİSTESİ

- A = Binanın, odanın ya da kompartımanın zemin alanı
A_f = Yangının zemin alanı
A_v = Duman tahliye kapağı alanı
B = Baca yüksekliği
C₁ = Katsayı
C₂ = Katsayı
C_v = Kayıp katsayısı
d = Efektif başlangıç noktası ile yangının zemini arasındaki hayali mesafe
d_b = Sıcak gaz katmanı efektif derinliği
D = Yangının ortalama çapı ya da kare şeklindeki yangının kenar uzunluğu
F = Duman tahliye kapağı alanının yangının çevresel uzunluğuna oranı
F_i = i zaman adımında alınan ısı etkinin kısmi dozu
F_T = Toplam halsizlik dozu
g = Yerçekimi ivmesi
G = Duman tahliye kapağı aerodinamik alanının yangının çevresel uzunluğuna oranı
h = Binanın, odanın ya da kompartımanın yüksekliği
h_c = Efektif tavan yüksekliği
I₀ = Girişteki ışık yoğunluğu
I_x = Çıkıştaki ışık yoğunluğu
K = Orantı sabiti
L = Alev yüksekliği
M = Dumanın kütleli debisi
N = Karakteristik parametre
P = Nötral düzlem ile alt kotta bulunan her bir açıklığın üst hizası arasındaki mesafe
Q_f = Yangından yayılan konveksiyon ısı
r_b = Efektif başlangıç noktası ile sıcak gaz katmanının alt seviyesi arasındaki mesafe
r_c = Efektif başlangıç noktası ile duman tahliye kapaklarının merkezi arasındaki mesafe
t = Zaman
T = Geçirgenlik
T₀ = Ortam havasının mutlak sıcaklığı
T' = Sıcaklık
Vis = Görülme mesafesi
w_f = Yangının çevresel uzunluğu
x = Işığın kat ettiği mesafe ya da yolun uzunluğu
X = Alt kotta bulunan her bir açıklığın genişliği
y = Dumansız bölge yüksekliği
Y = Alt kotta bulunan her bir açıklığın yüksekliği
α = Birim mesafe başına azalma katsayısı
δ = Birim mesafe başına optik yoğunluk
λ = Duman karartması ya da % karartma
θ_c = Sıcak gaz katmanı sıcaklığı
ρ₀ = Ortam havasının özgül kütlesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Yangın üçgeni..... 2
Şekil 2.1	Yangında duman üretimi..... 20
Şekil 2.2	Yangında üretilen duman miktarı..... 22
Şekil 2.3	Duman karartmasını ölçmekte kullanılan duman ölçer..... 24
Şekil 2.4	Duman karartması ve ışığı emen işaretlerin görülme mesafesi arasındaki ilişki..... 28
Şekil 2.5	Tahriş edici ve tahriş edici olmayan dumanda ışığı emen işaretlerin görülme mesafesi ve duman karartması arasındaki ilişki..... 29
Şekil 2.6	Tahriş edici ve tahriş edici olmayan dumanda yürüme hızı..... 30
Şekil 2.7	Yangın mahalinde sıcaklığın zamanla değişimi..... 41
Şekil 3.1	Sıcaklık - hacim artışı grafiği..... 64
Şekil 4.1	Büyük bir açıklık içinden geçen sıcak gaz akışı..... 67
Şekil 4.2	Sıcak gaz katmanının oluşumu..... 68
Şekil 4.3	Küçük bir yangının denk başlangıç noktası: yangının belli bir mesafe üstünde iki akış da aynı şekilde davranır..... 69
Şekil 4.4	Küçük açıklıkları olan bir binadaki basınç dağılımı..... 70
Şekil 4.5	Soğuk hava giriş alanının, duman kapağı görünen alanı üzerindeki etkisi..... 74
Şekil 4.6	(a) Büyük kapağın verimliliği azdır (b) Bir kaç küçük kapak daha etkilidir..... 75
Şekil 4.7	Abak 4.1’de kullanılan sembollerin anlamı..... 81
Şekil 4.8	Büyük, fakat tam gelişmemiş yangın için Abak 4.3’te kullanılan büyüklükler..... 86
Şekil 4.9	Tam gelişmiş yangınların havalandırılması için Abak 4.4’te (a) ve (b)’de kullanılan büyüklükler..... 88
Şekil 4.10	Ara duvar..... 90

ÖNSÖZ

Yangınla mücadelede öncelikle yangının söndürülmesi amaçlanmaktadır. Bunun en etkin yolu, yangının daha başlangıcında söndürülmesidir. Bununla birlikte, yangın söndürülene kadar çok miktarda duman üretilmektedir. Üretilen bu duman yangın söndürme ekiplerinin çalışmalarını zorlaştırdığı gibi, itfaiyecilerle beraber binada bulunan diğer kişilere yönelik hayati tehlike de teşkil etmektedir. Ayrıca, binada maddi zararlara da yol açmaktadır. Dolayısıyla, eş zamanlı olarak, bir yandan yangının söndürülmesine yönelik çalışmalar sürdürülürken bir yandan da üretilen bu dumanın dışarı atılması ve yangın esnasında söz konusu binada bulunan kişilerin dumanın içerdiği gazların toksik etkilerine maruz kalmadan güvenli bir biçimde tahliye edilmeleri sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, duman kontrolünün olmadığı binalarda yangın anında uygulanan vantilasyon teknikleri hakkında bilgi verilmiş, ayrıca tek katlı ve bölümlendirilmemiş binalarda yangın esnasında duman kapaklarının kullanımı neticesinde yaratılan doğal vantilasyon ile duman kontrolünün esasları irdelenmiştir. Yapılan bu çalışmanın, yangın esnasında duman kontrolünün ülkemizde daha fazla yaygınlaşmasında yardımcı olmasını dilerim.

Bu konuda bana çalışma olanağı veren ve benden yardımını esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. M. Muhittin SOĞUKOĞLU başta olmak üzere, bana vakit ayırarak bilgi ve deneyiminden yararlandığım Birikim Mühendislik'ten Mak. Müh. İsmail CAN'a ve bu süre zarfında gösterdikleri sabrın yanısıra maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan kardeşim Şenol'a, babaanneme, anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Birol HÜRTÜRK

ÖZET

Yangın ve neden olduğu tehlikelerle mücadele etmenin ve bu tehlikelerin üstesinden gelmenin ilk şartı konu ile ilgili kişilerin bu konuda eğitilmeleridir. Dolayısıyla, yanma ve yangınla ilgili konuların iyi analiz edilmesi gerekir. Bu amaçla, tezin ilk bölümde bu konulara değinilmiştir.

Dumanın yangın esnasında başlıca öldürücü etken olduğu bilinmektedir. Duman çoğunlukla binanın yangın mahalinden başlayarak diğer bölümlere doğru süratle yayılır, böylelikle can ve mal kaybına neden olur. Mahaldeki aşırı sıcaklığın insan yaşamı üzerindeki olumsuz etkilerinin yanısıra dumanın (dolayısıyla içindeki zehirli gazların) solunması, insan hayatını etkileyen hatta ölümlere neden olan bir diğer faktördür. Bununla birlikte, zehirli gazlara ve aşırı sıcaklıklara maruz kalmak insan hayatına yönelik doğrudan bir tehlike teşkil ederken duman karartması nedeniyle görüş mesafesindeki düşüş dolaylı bir tehlike oluşturmaktadır. Dumanın yol açtığı bu gibi tehlikeler ikinci bölümde irdelenmiştir.

Ülkemizdeki binalar genellikle olası bir yangında duman kontrolü prensipleri gözetilerek inşa edilmemektedir. İlaveten, bu binaların büyük bir çoğunluğunda duman kontrolüne yönelik herhangi bir önlem de bulunmamaktadır. Bu yüzden, bu gibi binalarda yangın anında uygulanabilecek vantilasyon teknikleri üçüncü bölümde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde ise tek katlı binalarda doğal vantilasyon ile duman atımı incelenmiş, bu amaçla gerekli çizelgeler ve abaklar kullanılarak mahalde yangın çıkması durumunda zeminden itibaren belli yükseklikte dumansız bölge oluşturulması için gerekli duman tahliye kapağı alanının belirlenmesi ile ilgili hesap yöntemleri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

1. Yangın
2. Duman Karartması
3. Zehirli Gazlar
4. Dumansız Bölge
5. Duman Atımı

ABSTRACT

The first requisite for fire-fighting, dealing and coping with the dangers caused by fire itself is that the relevant staff should be trained for it. Hence, the topics relating to fire and burning should be well-analyzed. For this reason, such topics are discussed in Chapter 1 of this thesis.

It is a common fact that smoke is the major killer in fire situations. Smoke, mainly, spreads with all speed from the fire origin to the other parts of the building, causing deaths and hazards to property. Breathing smoke (therefore, the constituent toxic gases) is an other factor having adverse effects on humans, even causing deaths, along with the unfavorable influences of excessive heat on human life. Although exposure to toxic gases and elevated temperatures is a direct hazard to life, reduced visibility due to smoke obscuration is an indirect hazard. Chapter 2 focuses on such hazards due to smoke.

Unfortunately, the buildings in our country are not built according to the smoke control principles in a possible fire. Furthermore, the majority of these buildings do not have any precautions for smoke control. Therefore, Chapter 3 explains venting technics to be performed in such buildings during fire.

Chapter 4 deals with smoke expel by natural ventilation in single-storey buildings. So, methods of calculations relating with the necessary vent area required to maintain a smoke-free space on the floor in a fire situation is given, providing relevant tables and nomograms.

Key words:

- 1. Fire**
- 2. Smoke Obscuration**
- 3. Toxic Gases**
- 4. Smoke-free Space**
- 5. Smoke Expel**

1. YANMA ve YANGIN

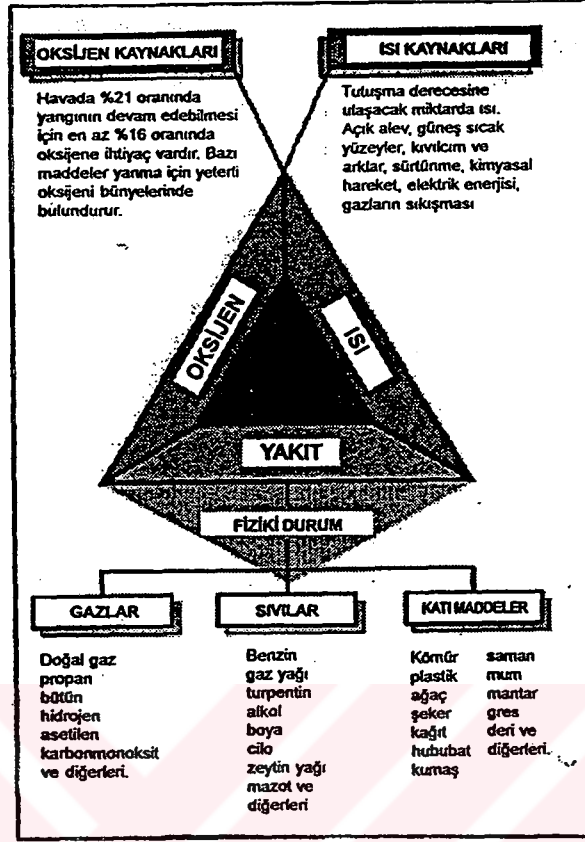
1.1 Giriş

İnsanlar küçük yaştan itibaren yanma ve yangın hakkında bilgi edinmeye başlarlar. Genel olarak, herkes yangın anında yanıcı maddenin havadaki oksijenle birleşerek yandığını ve bunun sonucunda ısı, ışık ve duman neşredildiğini bilir. Bununla birlikte, işi yangınla mücadele olan profesyonellerin (itfaiyeciler, yangın eksperleri vs.) yangının çıkış nedenleri, yanıcı maddenin doğası, terkibi, yangının ihtiyaç duyduğu çevre şartları ve ortama yaydığı zehirli gazlar hakkında daha detaylı bilgiye sahip olmaları gerekir. Bu bilgiler kişilerin yangınla mücadelede daha bilinçli hareket etmelerini sağlayacak ve yangının kısa sürede kontrol altına alınmasını ve en az zayıyla söndürülmesini mümkün kılacaktır. Yoksa, her yangın er veya geç sönecektir.

1.2 Yanma Prensipleri

Yanma ve *yangın* terimleri birbirine karıştırılan ifadelerdir. Fakat aradaki farkın bu işle uğraşan kişiler tarafından bilinmesi gerekir. Yanma, yanıcı maddenin oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girerek yanıcı madde içinde depolanmış bulunan enerjinin ısı enerjisi biçiminde açığa çıktığı kimyasal bir olaydır. Buna karşın, yangın ise yanma olarak tanımlanan hızlı oksidasyonun kontrolden çıkması halidir. Her iki durumda açığa çıkan enerji genellikle sıcak gazlar şeklinde olmasına rağmen çok küçük miktarlarda elektromanyetik (ışık), elektrik (serbest iyonlar ve elektronlar) ve mekanik (ses) enerji olarak da ortaya çıkar.

Yanmanın meydana gelebilmesi için; (1) yanıcı madde, (2) bu yanıcı maddeyi tutuşma sıcaklığına ulaştıracak ateşleme mekanizması ya da ısı kaynağı ve (3) yanmayı beslemek için oksitleyici madde (oksijen) mevcut olmalıdır. Bu üç öğeden herhangi birinin yokluğu yanmayı önlemek için yeterlidir. İşte bu yüzden, yangın söndürücü maddeleri bu üç öğeden birini ya da bu üç öğenin bir arada meydana getirdiği zincir reaksiyonu ortadan kaldırmak gayesi ile yapılmaktadır. Bu üç öğe Şekil 1.1'deki yangın üçgeninde gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Yangın üçgeni [5]

Özel uygulamalar dışında, bütün yanma olayları için gerekli oksitleyici madde havadaki oksijenden sağlanır. Normalde havanın hacimsel olarak %21'ini oksijen, %78'ini azot oluşturur. Geriye kalan %1 ise su buharı, neon, karbon dioksit gibi diğer gazlardan ibarettir. Ancak, yangın anında oksitleyici madde olarak oksijen kullanılmadığı zaman bu görevi klorin ya da yapısında klorin ihtiva eden kimyasallar üstlenir. Diğer taraftan, bazı yanıcı maddeler ise hiçbir oksitleyiciye ihtiyaç duymazlar. Çünkü kimyasal formüllerinde kendilerine özgü oksitleyicileri vardır. Kendi kendini oksitleyici bu yanıcı malzemeler, organik peroksit gibi kendi isimlerinin içinde *oksit* ya da *oksalat* kelimelerinden ayırt edilebilir. Örneğin, sodyum nitrat ya da potasyum klorat gibi maddeler yanma esnasında kendi oksijenlerini serbest bıraktıklarından oksijensiz ortamda bile yanmaya devam ederler. Dolayısıyla, oksijen bulunmadığı halde yanma devam ediyorsa ortamda başka bir oksitleyici madde bulunduğu düşünülmelidir.

Yanma esnasında kullanılacak yanıcı madde katı, sıvı ya da gaz fazında bulunabilir. Fakat

sadece gazlar yanar. Bu yüzden, katı ve sıvı yanıcı maddelerin yanabilmeleri için önce ısıyla gaz fazına geçmeleri gerekir. Katı yanıcı maddeler *süblimleşme* olarak adlandırılan işlem neticesinde ısı yardımıyla kimyasal bozulmaya uğrayarak gaz fazına dönüşürler. Sıvı yanıcı maddeler ise yine ısı yardımıyla buharlaşarak gaz fazına geçerler. Her iki durumda verilen ısı sıvı ya da katının buharlaşmasına neden olur. Genellikle sıvıları buharlaştırmak için katılarda süblimleşme ile gerekenden daha az ısı gereklidir. Bu yüzden, sıvı yanıcı maddelerin sebep olduğu yangınların kontrolü ve söndürülmesi katılara kıyasla daha zordur. Çünkü sıvı yanıcı maddelerin tekrar tutuşma olasılıkları çok fazladır. Diğer taraftan, gaz fazındaki yanıcı maddeler zaten yanma için gerekli olan fazda bulduklarından bunlarda süblimleşme ya da buharlaştırma prosesine gerek duyulmaz.

Yukarıda belirtildiği üzere sadece yanıcı madde buharı yanar. Bununla birlikte, havadaki yanıcı madde buharının yüzdesi ancak belli sınırlar içinde olduğunda yanıcı madde kendi kendine tutuşarak yanma reaksiyonunu gerçekleştirir. Söz konusu sınırlar *alt ve üst tutuşma sınırı (ATS ve ÜTS)* veya *patlama sınırı olarak* adlandırılır. Eğer karışımda üst tutuşma sınırından fazla yanıcı madde buharı varsa o karışım *zengin* olur ve yanma gerçekleşmez. Diğer taraftan, karışımdaki yanıcı madde buharı alt tutuşma sınırından az ise o karışım *fakir* olur ve yanma yine gerçekleşmez. Yanma olabilmesi için karışımdaki yanıcı madde buharının söz konusu limitler aralığında olması gerekir. Bazı yanıcı maddelerin tutuşma sınırları Çizelge 1.1'de verilmiştir. Bu çizelgede verilen değerler 16°C sıcaklık ve 101.4 kPa basınçta ölçülen değerlerdir.

Çizelge 1.1 Bazı yanıcı maddelerin tutuşma sınırları ve tutuşma sıcaklıkları [7]

Yanıcı madde cinsi	Sembol	Alt tutuşma sınırı (%)	Üst tutuşma sınırı (%)	Tutuşma sıcaklığı (°C)
Karbon (aktif kok)	C			660
Karbon monoksit	CO	12.5	74	609
Hidrojen	H ₂	4.0	75.0	520
Metan	CH ₄	5.0	15.0	705
Etan	C ₂ H ₆	3.0	12.5	520 ila 630
Propan	C ₃ H ₈	2.1	10.1	466
Bütan, n	C ₄ H ₁₀	1.86	8.41	405
Etilen	C ₂ H ₄	2.75	28.6	490
Propilen	C ₃ H ₆	2.0	11.1	458
Asetilen	C ₂ H ₂	2.5	81	406 ila 440
Kükürt	S			190
Hidrojen sülfür	H ₂ S	4.3	45.5	492

Tutuşma noktası, hava içerisindeki yanıcı bir maddenin ısı kaynağından uzakta kendi kendine yanması için gerekli olan minimum sıcaklıktır. Tutuşma noktasının altındaki bir sıcaklığa sahip karışıma ısı verilip sıcaklığı tutuşma noktasına yükseltilmedikçe yanma kendiliğinden ve sürekli olmaz. Çizelge 1.1’de bazı yanıcı maddelerin tutuşma noktaları da verilmiştir. Sıvı yanıcı maddenin yüzeyinin yakınındaki hava ile tutuşabilir bir karışım oluşturmak için yeterli oranda buhar vermeye başladığı minimum sıcaklığa ise *parlama noktası* denir. Bu sıcaklıkta tutuşan buharlar parlar, fakat yanma devam etmez. Yanmanın devam etmesi için sıvı yanıcı madde sıcaklığı yanma noktasına ulaşmalıdır. *Yanma noktası* ise sıvı yanıcı maddenin bir kere tutuştuğunda yanmaya devam edebilmesi için yeterli oranda buhar vermeye başladığı sıcaklık olarak tanımlanır. Yanma noktası genellikle parlama noktasının bir kaç derece üstündedir.

Yanmayı sürdürecekt mevcut oksijen miktarı da önemlidir. Daha önceden belirtildiği gibi havada hacimsel olarak %21 oranında oksijen bulunur. Bununla birlikte, bina yangınlarındaki oksijen miktarı çoğunlukla bu değerden çok daha küçük olmaktadır. Çünkü yangın ortamda bulunan oksijeni tüketmektedir. Yangın açısından yangının şiddeti %18 oksijen konsantrasyonunun altında azalmaya başlar. %15’in altındaki oksijen konsantrasyonunda ise yanma devam edemez [19].

Yanıcı madde-hava karışımı içindeki oksijen miktarı tam ya da eksik yanmayı belirleyen bir faktördür. *Tam yanma*, yanıcı madde içindeki bütün hidrojen ve karbonun oksijen ile reaksiyona girerek H₂O ve CO₂ açığa çıkarması işlemidir. Genel olarak, tam yanma işleminde yanıcı maddenin teorik olarak yanması için gerekli olan oksijen miktarından daha fazla oksijen ve hava gönderilmesi gerekir. Yangın anında olduğu gibi karışım içindeki havanın, dolayısıyla oksijenin yeterli olmaması durumunda tam yanma gerçekleşmez. Bu durumda yanıcı madde tam olarak oksitlenemez, yani *eksik yanma* meydana gelir. Örnek olarak, hidrokarbon esaslı bir yanıcı maddenin yanması esnasında bu hidrokarbonun tamamı karbon dioksit ve suya dönüşmeyebilir, bunların yanısıra yanma ürünleri içinde karbon monoksit, aldehitler ve ketonlar gibi kısmen okside olmuş bileşenler de ortaya çıkabilir. Eksik yanmayı arttıran etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ✓ yetersiz hava-yanıcı madde karışımı (zengin ya da fakir karışım),
- ✓ aleve yetersiz hava sağlanması (gerekli olandan daha az oksijen verilmesi),

- ✓ alev içinde yetersiz reaksiyon zamanı (yanma reaksiyonunun tamamlanamaması),
- ✓ alevin soğuk yüzeylerle temas etmesi (yanma reaksiyonunu azaltır),
- ✓ çok düşük alev sıcaklığı (yanma reaksiyonunu yavaşlatır).

Çizelge 1.2’de bazı yanıcı maddelerin yanma reaksiyonları ve stokyometrik oksijen ve hava ihtiyaçları verilmiştir. *Stokyometrik yanma*, yanıcı maddenin iç yapısındaki bütün karbon, hidrojen ve kükürtün gerekli olan miktar kadar oksijen ile birleşerek CO₂, H₂O, ve SO₂ açığa çıkardığı yanma olarak tanımlanır. Bu nedenle, stokyometrik yanma sonucu açığa çıkan duman gazında teorik olarak reaksiyona girmemiş yanıcı madde ve oksijen yoktur. Yani, bu yanma sonundaki duman gazında oksijen ile karbon monoksit bulunmaz. Stokyometrik yanmada elde edilecek CO₂ değeri maksimum büyüklükte olup literatürde *max. CO₂, stokyometrik CO₂ veya en büyük CO₂* olarak adlandırılır. Yanıcı madde ile oksijenin yeteri kadar iyi karıştırılmaması nedeniyle pratikte stokyometrik yanma işlemi ile seyrek olarak karşılaşılır.

Tutuşturulan bir yanıcı maddenin çıkardığı ısı miktarı yangının sürekli olup olmamasında belirleyici bir faktördür. Yanıcı maddenin çıkardığı ısı miktarı, kendi kendisini tekrar tutuşturmaya yetecek kadar olmalı, ki yanma devam edebilsin. Geri dönen ısı buharlaşmayı sürdürmek için gereken ısı enerjisini sağlar. Bu şekilde geri beslemeyi sağlayacak ısı olduğu sürece üretilen ısı miktarına da bağlı olarak yanma ya devam eder ya da büyür. Yanma dolayısıyla açığa çıkan ısının yanıcı maddeye geri verilmesiyle *pozitif ısı dengesi* oluşur. Buna karşın, ısı üretildiğinden daha hızlı bir şekilde ortama dağılırsa *negatif ısı dengesi* oluşur. Yanmayı devamlı kılmak için pozitif ısı dengesine ihtiyaç vardır.

Çizelge 1.2 Bazı yanıcı madde bileşenlerinin yanma reaksiyonları [7]

Bileşen	Sembol	Yanma reaksiyonu	Stokiyometrik O ₂ ve hava ihtiyacı			
			kg/kg yanıcı ^a		m ³ /m ³ yanıcı	
			O ₂	Hava	O ₂	Hava
Karbon (CO yanması)	C	$C + 0.5 O_2 \rightarrow CO$	1.33	5.75	-	-
Karbon (CO ₂ yanması)	C	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	2.66	11.51	-	-
Karbon monoksit	CO	$CO + 0.5 O_2 \rightarrow CO_2$	0.57	2.47	0.50	2.39
Hidrojen	H ₂	$H_2 + 0.5 O_2 \rightarrow H_2O$	7.94	34.28	0.50	2.39
Metan	CH ₄	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	3.99	17.24	2.00	9.57
Etan	C ₂ H ₆	$C_2H_6 + 3.5 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 3 H_2O$	3.72	16.09	3.50	16.75
Propan	C ₃ H ₈	$C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$	3.63	15.68	5.00	23.95
Bütan	C ₄ H ₁₀	$C_4H_{10} + 6.5 O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 5 H_2O$	3.58	15.47	6.50	31.14
	C _n H _{2n+2}	$C_nH_{2n+2} + (1.5n + 0.5) O_2 \rightarrow n CO_2 + (n+1) H_2O$	-	-	1.5n + 0.5	7.18n + 2.39
Etilen	C ₂ H ₄	$C_2H_4 + 3 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 2 H_2O$	3.42	14.78	3.00	14.38
Propilen	C ₃ H ₆	$C_3H_6 + 4.5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 3 H_2O$	3.42	14.78	4.50	21.53
	C _n H _{2n}	$C_nH_{2n} + 1.5n O_2 \rightarrow n CO_2 + n H_2O$	3.42	14.78	1.5n	7.18n
Asetilen	C ₂ H ₂	$C_2H_2 + 2.5 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + H_2O$	3.07	13.27	2.50	11.96
	C _n H _{2m}	$C_nH_{2m} + (n + 0.5) O_2 \rightarrow n CO_2 + m H_2O$	-	-	n + 0.5m	4.78n + 2.39m
Kükürt (SO ₂ yanması)	S	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	1.00	4.31	-	-
Kükürt (SO ₃ yanması)	S	$S + 1.5 O_2 \rightarrow SO_3$	1.50	6.47	-	-
Hidrojen sülfür	H ₂ S	$H_2S + 1.5 O_2 \rightarrow SO_2 + H_2O$	1.41	6.08	1.50	7.18

(^a) Atomik kütleler: H = 1.008; C = 12.01; O = 16.00; S = 32.06

1.3 Isı Kaynakları

Isı, madde içindeki moleküllerin hareketi neticesinde ortaya çıkan bir enerji formudur. Maddenin sıcaklığına bakılmaksızın, her maddede belli bir miktar ısı mevcuttur. Çünkü madde içindeki moleküller devamlı hareket etmektedir. Madde ısıtıldığı zaman moleküllerin hızı artmakta böylece, sıcaklığı yükselmektedir. Mahalde bulunan yanıcı maddelerin sıcaklıklarını kendi tutuşma sıcaklıklarına çıkararak ısı yangının çıkmasına ve sonrasında da yayılmasına sebep olur. Yangının çıkışında belirleyici bir faktör olan ısıyı, ısı kaynağı açısından beş genel gruba ayırabiliriz. Bunlar:

- ✓ kimyasal ısı enerjisi,
- ✓ elektriksel ısı enerjisi,
- ✓ mekanik ısı enerjisi,

- ✓ nükleer ısı enerjisi,
- ✓ solar ısı enerjisidir.

1.3.1 Kimyasal ısı enerjisi

Kimyasal ısı enerjisi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucunda üretilir. Isı üretimi ile sonuçlanan kimyasal reaksiyonlar dört gruba ayrılabilir. Bunlar; yanma ısı, içten yanma ısı, dekompozisyon ısı ve çözülme ısıdır.

Yanma ısı, yanma reaksiyonu (oksidasyon) sonucunda üretilir. Yanan malzemelerin ürettiği ısı miktarı malzemeye göre değişir. Bu yüzden, bazı malzemeler yandıklarında diğerlerinden daha fazla ısı çıkarırlar. Çizelge 1.3'te çeşitli malzemelerin yanması sonucu açığa çıkan ısı miktarı, Çizelge 1.4'te birim yüzey alanlarının yanma hızları, Çizelge 1.5'te ise yangın yayılım oranları verilmektedir.

Çizelge 1.3 Çeşitli malzemelerden yayılan ısı miktarı [4]

Malzeme cinsi	(KJ/kg)
Tahta	17280
Kağıt	13680
Karton	15120
Yün	15480
Poliamid iplik	28440
Poliakrilitril iplik	29520
Poliüretan	24120
PVC	18720
Polikarbonat	29300
Klorbenzin	40320
Glikol	16560
Isıtma yağı	42120
Terpantin	41400

İçten yanma, organik bir maddenin dışarıdan ilave ısı almadan yanmasıdır. İçten yanma çoğunlukla havanın yeterli miktarda olmadığı ve yalıtımın ısının dağılmasını engellediği yerlerde meydana gelir. Top haline getirilmiş ve bir köşeye atılmış yağlı bez parçalarının tutuşması bu tür yanmaya bir örnektir. Eğer ısıyı uzaklaştıracak yeterli vantilasyon yoksa sonunda ısı, paçavraların tutuşmasını sağlayacak miktara ulaşacaktır.

Çizelge 1.4 Çeşitli malzemelerin birim yüzey alanlarının yanma hızı [4]

Malzeme cinsi	(kg/m ² s)
Keten ruloları	0.0025
Kağıt ruloları	0.0025
Kitaplar	0.0025
İşlenmemiş tekstil	0.0025
İşlenmemiş kağıt	0.005
Lateks	0.005
Fiber lif	0.005
Tahta palet	0.01
Mobilya	0.01
Keten malzeme	0.01
Plastik ürünler	0.01
Organik ürünler	0.01
Katranlı mukavva	0.02
Asetatlı ipek	0.02

Dekompozisyon ısı, genellikle maddelerin bakteriyel aktiviteler sonucu bozulmasıyla açığa çıkar. Bu reaksiyon çoğunlukla yaprakla karışık gübre yığınlarında görülür. Organik malzemelerde ısı açığa çıkmasına neden olan bu bozulma soğuk havalarda yığına bir delik açılması halinde yığından yükselen sıcak buharlar şeklinde görülebilir.

Çizelge 1.5 Bazı yanıcı maddelerin yangın yayılım oranları [4]

Yanıcı madde cinsi	(cm/s)
Kağıt ruloları	0.5
Tekstil ürünleri	0.5
Yün	0.5
Deri	0.5
İşlenmemiş tütün	0.5
Keten	1
Sebze	1
Çikolata	1
Yem	1
Tütün ürünleri	1
Tahta ve mobilya	1
Oluklu mukavva	2
Plastik ürünleri	2
Tutkal grubu ürünleri	2

Çözülme ısı, bazı maddelerin sıvı içinde çözülmesi ile açığa çıkan ısıdır. Bazı asitler suda çözüldüklerinde sıcak su ve patlayıcı özellikte asitler çıkaran şiddetli reaksiyonlar meydana getirebilir.

1.3.2 Elektriksel ısı enerjisi

Binalarda yangın çıkış nedenlerinden biri de elektriktir. Elektrik, yakınındaki herhangi bir yanıcı maddeyi tutuşturabilecek ısıyı sağlayabilir. Elektrik yardımıyla ısı elde etmede yaygın olarak karşılaşılan yöntemler; dirençle ısıtma, dielektrik ısıtma, kaçak akımla ısıtma ve arkla ısıtma ve statik elektriktir.

Dirençle ısıtma derken tel gibi bir iletkenin elektrik akımı geçerken üretilen ısı kastedilmektedir. Eğer kablo kesiti geçen akım miktarına uygun değilse açığa çıkan ısı miktarı artar. Bir uzatma kablosuna çok fazla cihazın bağlanması, bu nedenle yangın oluşumuna neden olur. Eğer iletken tel bir yere sıkı bir biçimde sarılmışsa çıkan ısı miktarı artar. İşte bu yüzden, yangınlar çoğunlukla masa ya da sandalyenin bir bacağına sarılan uzatma kablosundan çıkar.

Mikrodalga fırınlarda kullanılan *dielektrik ısıtma*, iletken olmayan bir malzemenin üzerine yüksek frekansta doğru akım (DC) ya da alternatif akımın (AC) uygulanmasıyla ortaya çıkar.

Kaçak akımla ısıtma, kablonun bütün akımı geçirecek kadar yeterli miktarda yalıtılmadığı zaman meydana gelir. Binanın duvarı gibi çevredeki malzemeler üzerinden geçen kaçak akım, ısı meydana getirir ve yangının çıkmasına neden olabilir.

Arkla ısıtma, akımın kesilmesi neticesinde ortaya çıkan ısı olarak tanımlanır. Akım, açık bırakılan bir anahtar ya da gevşek bağlanmış bir klemens ile kesilebilir. Ark sıcaklığı çok yüksektir, hatta iletkeni de eritebilir. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ark kaynağı bu tür ısıya en güzel örnektir. Ark kaynağı yapılırken kaynak elektrodu eriyip metalle birleşmektedir.

Statik elektrik, yüzeyin bir tarafının pozitif, diğer tarafının ise negatif olarak yüklenmesi neticesinde oluşur. Yükler doğal olarak birbirlerini çeker ve eşit olarak tekrar yüklenmek isterler. Bu durum iki yüzey birbirine yaklaştırıldığı zaman (insanın parmağını metal kapı tokmağına değdirdiğindeki gibi) görülür ve bir kıvılcım atlaması ile beraber küçük bir şok

yaşanır.

Elektriksel olarak düzgün bir şekilde topraklanmamış kaplar arasında yanıcı sıvıların transferi yapıldığında yangın meydana gelirse bunun nedeni statik elektriktir. İşte bu yüzden, uçaklar ve yakıt tankları yakıt transferi yapılmadan önce topraklanır. Elektriksel açıdan topraklama bir otomobilin yakıt tankını doldururken gerekli değildir. Çünkü benzinin içinde yakıtta şasi görevi yaptırtacak özel katkı maddeleri vardır ve metal nozül de benzin hortumu ile temas halindedir.

Yıldırım tarafından üretilen ısı da çok büyük statik elektrik neticesidir. Gerek yer yüzünden buluta, gerek buluttan buluta ve gerekse de buluttan yeryüzüne milyarlarca voltluk deşarj neticesinde statik elektrik 60000°F (33300°C)'den fazla sıcaklık oluşturacak ısı üretimine neden olur [19].

1.3.3 Mekanik ısı enerjisi

Mekanik ısı, sürtünme ve sıkıştırma (kompresyon) olmak üzere iki şekilde üretilir. Sürtünme ısı iki yüzeyin birbirine sürtünmesi ile yaratılır. Bu hareketin sonucunda ısı ve/veya kıvılcımlar meydana gelir. Kompresyon ısı ise gazın sıkıştırılması ile elde edilir. Dizel motorlarda buji kullanmadan bu prensibi uygulayarak yakıt buharları tutuşturulur. İşte bu yüzden, solunum cihazı tüpleri doldurulduktan hemen sonra dokunulduğunda sıcak olur.

1.3.4 Nükleer ısı enerjisi

Nükleer ısı enerjisi atomlar ya parçalandıklarında (fizyon) ya da birleştirildiklerinde (füzyon) üretilir. Fizyon, suyu ısıtıp buhar türbinlerinde kullanmak ve elektrik elde etmekte kullanılır. Füzyon ise henüz kontrol edilemediğinden ticari olarak kullanımı söz konusu değildir.

1.3.5 Solar ısı enerjisi

Elektromanyetik radyasyon formunda güneşten gelen enerji solar ısı enerjisi olarak adlandırılır. Solar enerji yeryüzüne dağıldığı için sadece kendisi bir yangın çıkaracak

özelliğinde değildir. Buna karşın, solar enerji merceklerin kullanımı ile belirli bir noktada odaklandığı zaman yanıcı malzemeleri tutuşturabilir.

1.4 Isı Transferi

Isı transferinde bir kaç fizik kanunundan yararlanır. Birincisi, ısı akış kanunudur, ki ısının sıcak bir maddeden soğuk bir maddeye doğru akma eğiliminde olduğunu ifade eder. Birbirine değen iki cisimden daha soğuk olanı her iki cismin sıcaklıkları aynı olana kadar ısıyı absorbe eder. Isı; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere bu üç methodla yanmakta olan bir binanın tamamına yayılır. Aşağıda bu transferin nasıl gerçekleştiği açıklanmaktadır.

1.4.1 Kondüksiyon

İletim de denen kondüksiyonla ısı transferinde tek bir katı madde ya da birbirleriyle temas halinde olan çok sayıda katı madde söz konusudur. İletim ile ısı transferini katı maddenin molekülleri sağlar. Tek bir katı cisimdeki iki noktanın sıcaklıkları farklı ise sıcaklığı yüksek olandan düşük olana doğru bir ısı transferi olur. Bu transfer cismin iki noktasının sıcaklıkları eşit oluncaya kadar devam eder. Diğerine göre soğuk olanın sıcaklığı artarken sıcak olanın ise azalır. Her iki noktanın sıcaklıkları aynı olduğunda ısı transferi sona erer. Bu şekilde ısı transferine bir örnek boruların bir kaç oda ötedeki duvarların içinde temas halinde olduğu ahşabı ve diğer yanıcı maddeleri tutuşturmaya yetecek kadar ısındığı bodrum yangınlarıdır. Diğer taraftan, transfer edilecek ısı miktarı ısının içinden geçeceği malzemenin ısı iletim katsayısına bağlıdır. Bütün malzemelerin ısı iletim katsayıları aynı değildir. Alüminyum, bakır ve demir iyi iletken iken keçe, kumaş, kağıt gibi lifli malzemeler kötü iletkenlerdir.

Sıvılar ve gazlar moleküllerinin hareketi nedeniyle ısıyı kötü iletirler, hava da kötü bir iletkenlerdir. Bu yüzden, içlerinde hava boşluğu bulunan sandviç duvarlar ve çift camlı pencereler dış hava koşullarına karşı ilave bir yalıtım işlevi görürler. Fiber-glass gibi bazı katı malzemeler iyi izolasyon görevi görürler. Çünkü malzemenin içinde hava boşlukları bulunduğu için malzemenin kendisi kötü bir iletkenlerdir.

1.4.2 Konveksiyon

Taşınım olarak da adlandırılan konveksiyonla ısı transferinde ise birbiri ile temas halinde bulunan bir katı madde ile akışkan bir ortam (sıvı ya da hava) söz konusudur. İki maddenin temas ettiği bölgedeki akışkan moleküllerinin hareketi ısı transferini sağlar. Taşınım ile ısı transferine örnek olarak içinde sıcak su ya da buhar geçen bir radyatör ile bir mahalın ısıtılması verilebilir. Mahal içindeki hava ısındıkça hacmi artar, genişir ve yükselmeye başlar. Isınan hava yukarı doğru hareket ettikçe soğuk hava onun yerini alır. Taşınım ile ısı transferindeki akışkan ortam moleküllerinin bu hareketi, kondüksiyonla ısı transferindeki katı cismin moleküler hareketinden farklıdır ve ısının konveksiyonla transferini sağlar.

Bina içindeki ısınan hava genişir ve yükselir. Bu nedenden dolayı, konveksiyonun neden olduğu yangın yayılımı çoğunlukla yukarı doğru olur. Buna karşın, hava akımları ısıyı herhangi bir yöne de taşıyabilir. Konveksiyon hava akımları ısının genellikle kattan kata, odadan odaya ya da mahalden mahale taşınmasının sebebidir. Koridorlar, merdivenler ve asansör shaftları içindeki, duvarlar arasındaki ve tavan aralarındaki yangın yayılımı çoğunlukla konveksiyon ısı akımlarınca olmaktadır. Eğer konveksiyon ısı, yükselmesini engelleyen tavan ya da benzeri bir engelle karşılaşır bu sefer engel boyunca yatay olarak yayılır. Tavanı tamamen kapladığı zaman arkasından yükselen daha sıcak hava ile itilerek duvardan aşağıya, zemine doğru hareket eder. Konveksiyon ısı yangın olan mahal üzerinde radyasyon ya da kondüksiyonun sahip olduğundan daha fazla etkiye sahiptir. Genellikle yangından yayılan toplam ısı miktarının yaklaşık %70-80 kadarını konveksiyon ısı oluştururken geri kalanı çoğunlukla radyasyon ısıdır. Kondüksiyon ısı yangından yayılan toplam ısının çok cüzi bir kısmını teşkil ettiğinden genelde hesaplamalarda ihmal edilir ve yangında yayılan ısının %75'i konveksiyon, %25'i de radyasyon ısı olduğu kabul edilir [3,16].

Direkt alev teması da konveksiyonla ısı transferidir. Eğer bir madde yanıcı buhar neşredecek kadar ısıtılırsa yayılan bu buharlar tutuşabilir ve alev alabilir. Eğer etrafta bulunan başka yanıcı maddeler bu alevle temas ederse onlar da tutuşma sıcaklıklarına kadar ısınabilir ve yanabilirler.

1.4.3 Radyasyon

Işınım olarak da adlandırılan radyasyonla ısı transferi, iletim ve taşınım ile ısı transferinden farklıdır. Bununla birlikte, iletim ve taşınım ile ısı transferi ile tek benzer nokta sıcak ve soğuk cisimlerin varlığıdır. Isıl ışınım maddenin sıcaklık nedeniyle sahip olduğu ısı enerjisini elektromagnetik dalgalar halinde yaymasıdır. Tüm maddeler sıcaklıklarına bağlı olmak üzere ışınım ile ısı yayarlar. Işınım ile ısı geçişinde ışınlar dalga mekaniği kurallarına göre enerjiyi iletmektedir. Sonuçta enerji bir ışın demeti halinde yayılmaktadır. Işınlar gaz ortamda yol alabildikleri gibi boşlukta da yol alabilirler. Bununla birlikte, taşınım da gaz ortamın bulunması zorunludur. Işınım da ise boşluk ısı transferini kolaylaştırmaktadır. Bu sayede dünyadan yaklaşık 150 milyon km. uzaklıkta bulunan güneş dünyayı ısıtmaktadır. Bu şekilde güneşten gelen elektromagnetik dalgalar (ışınlar) cisimlerin yüzeyine çarptığında yüzeydeki molekülleri harekete geçirir. Bu hareket esnasında sürtünmeden dolayı cisimler ısınır. Bir cisim ısı radyasyonuna maruz kaldığı zaman ısınır ve sıcaklığına bağlı olarak kendisi de ışınım ile ısı yaymaya başlar. Bu yüzden, ışınım ısı yangın yayılımının ana nedenlerinden biridir.

1.5 Yangının Safhaları

Herhangi bir binada gece veya gündüz herhangi bir zamanda yangın çıkabilir. Can ve mal kaybına gelecek hasarın azaltılması açısından yangının başlangıç safhasında tespiti çok önemlidir. Otomatik söndürme ve algılama sistemlerinin bulunduğu bir binada yangın çıkması durumunda yangının daha başlangıç safhasında tespit edilmesi ve kontrol altında tutulması söz konusudur. Eğer yangından korunma sistemlerinin olmadığı, kapalı ve terk edilmiş bir binada yangın çıkarsa yangın farkedilene kadar binanın bir çok yerine yayılmış olur.

Kapalı bir mahaldeki yangının iki önemli özelliği vardır. Birincisi, ortamda sınırlı miktarda oksijen bulunur. Bu, oksijen tedarikinin sınırsız olduğu dışardaki yangınlarda farklıdır. İkincisi, yayılan yanma gazlarının mahalin içine hapsedilmiş olmasıdır, ki bu durum yanma gazlarının atmosfere rahatlıkla dağıldığı dışardaki yangınlara benzemez.

Mahal içinde çıkan bir yangının üç ana safhası mevcuttur. Bunlar; başlangıç safhası, alevli yanma safhası ve tüterek yanma safhasıdır. Yangının söndürülmesi esnasında bu üç safhadan birisiyle karşılaşmak mümkündür. Ayrıca yangın söndürme ekipleri bu safhalardaki mevcut tehlikelerin de bilincinde olmalıdır. Bu tehlikeler; gaz parlaması, parlama ve alev kapanıdır.

1.5.1 Başlangıç safhası

Başlangıç safhası tutuşmaya başlayan yangının ilk safhasıdır. Bu safhada yangın, tutuşan malzeme miktarı ile sınırlıdır. Havadaki oksijen miktarı çok fazla azalmamıştır, yaklaşık %20 seviyesindedir. Yangın; su buharı (H₂O), karbon dioksit (CO₂), belki çok az bir miktar kükürt dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO) ve diğer gazları neşretmektedir. Biraz ısı üretilmekte ve üretilen ısı miktarı yangın büyüdükçe artmaktadır. Alev sıcaklığı 1000°F (537°C)'nin üzerinde olmasına karşın bu safhada oda sıcaklığı az bir miktar artarak yaklaşık 38°C'ye ulaşır [19].

1.5.1.1 Gaz parlaması (rollover)

Gaz parlaması ya da *rollover*, yangının başlangıç safhasında ve alevli yanma safhasının başlarında neşredilen yanmamış yanıcı gazlar tavanı kapladığı zaman meydana gelir. Bu aşırı sıcak gazlar basınç altında kaynaktan uzağa, yangının daha ulaşamadığı yere doğru itilir ve orada oksijenle karışırlar. Tutuşma noktasına ulaştıklarında tutuşurlar ve oluşan alevin yüzeyi çok hızlı bir şekilde genişleyip tavanın altında yuvarlanarak ilerler. İşte bu yüzden, yangın söndürme ekipleri eğilerek ilerlemek zorunda kalırlar. Gaz parlamasında odadaki eşyalar değil sadece tavanın altında biriken gazlar yandığından alevli yanma safhasındaki parlamadan farklıdır. Yangın, gaz parlamasını besleyen gazları neşretmeyi durdurduğu zaman gaz parlaması da durur. Bu da ancak, yangının kendisini söndürerek yapılabilir.

1.5.2 Alevli yanma safhası

Bazen *sürekli yanma safhası* da denilen *alevli yanma safhası*nda genellikle yangının büyüyerek bütün alana yayılması için yeterli miktarda oksijen ve yanıcı madde mevcuttur. Bu safhanın başlarında kapalı mahalde konveksiyon nedeniyle yükselen sıcak gazlar ısıyı en

üst noktalara taşdııkça oksijen zengini hava zemine yakın yerden alevlerin içine doğru çekilir. Zamanla tavanı tamamen doldurup aşağılara doğru inmeye başlayan sıcak gazlar soğuk havayı aşağılara doğru iter. Bu safhada üretilen aşırı ısı mahaldeki tüm eşyaların sıcaklıklarını artırır ve bu eşyalar kendi tutuşma sıcaklıklarına kadar ısındığında aniden tutuşurlar, hacmi alevler kaplar. Bu yüzden, alevli yanma safhası *alev yayılım safhası* olarak da adlandırılır. Bu sıcak havanın varlığı söndürme ekibinin mümkün merteye eğilerek çalışmasını ve mutlaka solunum cihazı kullanmasını gerektirir. Çünkü 1300°F (700°C)'yi geçebilen söz konusu aşırı sıcak havanın bir kere bile teneffüsü akciğerleri kurutup yakmaya yeterlidir [5,19]. Alevli yanma safhasında yangın yanıcı maddeyle tepkimeye girmek için gerekli olan mevcut oksijeni hızla tüketir. Oksijen tamamen tükendiğinde ise yangın yavaşlar ve üçüncü safhaya, yani tüterek yanma safhasına geçer.

1.5.2.1 Parlama (flashover)

Yangın yanmaya devam ettikçe mahal içindeki bütün eşyalar yavaş yavaş kendi tutuşma sıcaklıklarına kadar ısınır. Tutuşma noktalarına ulaştıklarında eş zamanlı bir tutuşma meydana gelir ve bütün hacim tamamen yangınla kaplanır. İşte, alevlerin odanın tamamını kaplamasına *parlama* ya da *flashover* denir ve bu olay anızın olur. Parlamadan sakınmak için mahaldeki eşyaların sıcaklıklarını tutuşma sıcaklıklarının altında tutmak gerekir. Bu amaçla su genellikle tavana ve mahaldeki eşyaların üzerine yöneltilir.

1.5.3 Tüterek yanma (korlaşma) safhası

Bazen *sıcak boğulma safhası* olarak da adlandırılır. Alevli yanma safhasından sonra eğer mahal yeterince hava sızdırmaz ise alevler söner. Bu durumda yangın sönmeye yüz tutmuş, parlak ışık saçan korlar haline döner. Alevler yok oldukça mahal tamamen yoğun duman ve gazlarla dolar. İçerdeki yüksek basınç dumanı ve gazları küçük çatlaklar içinden dışarı doğru çıkmaya zorlar. Bu safhadaki ısı tüm yangın mahalinde 1000°F (537°C)'nin çok üzerindedir [5,19]. Bu yüksek sıcaklık nedeniyle mahaldeki yanıcı maddelerde bulunan ve daha hafif olan hidrojen ve metan gibi gazlar bu maddelerden buharlaşır. Bu gazlara bir de yangının neşrettiği gazlar eklenir. Bu durumda mahale yanlış bir kararla havanın sokulması ile alev kapanı (back draft) oluşur.

1.5.3.1 Alev kapanı (back draft)

Bu safhada yangını devam ettirecek yeterli oksijen olmadığından yanma tamamlanmamıştır. Bununla birlikte, alevli yanma safhasındaki ısı olduğu gibi kalmaktadır. Ayrıca, ortamda yanmamış karbon partikülleri ve diğer yanıcı yanma ürünleri mevcuttur. Mahalin kapısını açmak ya da camını kırmak gibi yanlış bir vantilasyon eksik olan bağlantının sağlanmasına, yani oksijenin içeri girmesine neden olur. Gerekli oksijen içeri girer girmez durmuş olan yangın birden canlanır. Bu durum *alev kapanı* ya da *back draft*, bazen de *geri tepme* olarak bilinir ve patlayıcı bir maddenin patlaması kadar tehlikeli ve hızlıdır. İşte bu yüzden, alev kapanı yangın söndürme ekiplerinin kaçınması gereken çok tehlikeli bir durumdur.

Ahşap ve plastiklerin çoğunda bol miktarda karbon bulunmaktadır. Ahşap yandığı zaman karbon oksijenle birleşir ve oksijen miktarına bağlı olarak karbon dioksit ya da karbon monoksit oluşturur. Oksijen yangında tamamen tükendiğinde serbest kalan karbon dumana karışır. Karbonun karıştığı duman koyu siyah renktedir. Karbon yangın mahalinde her yere bulaşır. Ayrıca;

- ✓ basınç altında duman,
- ✓ önce koyu siyah olan dumanın yoğun halde sarımtırak yeşil renge dönmesi,
- ✓ yangın mahaline hava girmemesi ve bölgenin aşırı sıcak olması,
- ✓ alevin çok az ya da hiç görünmemesi,
- ✓ dumanın binada aralıklarla ve kesik kesik çıkması,
- ✓ pencerelerin dumanla dolu olması,
- ✓ yangın yerinden boğuk sesler gelmesi,
- ✓ hava girmesi için açılan delikten havanın içeri çok hızlı girmesi gibi belirtiler mahalde alev kapanı oluşabileceğini gösterir. Yangının en üst noktasından açılarak yapılan bir havalandırma, alev kapanı tehlikesini içerde basınç altında bulunan duman, gazlar ve yüksek miktardaki ısıyı dışarı atmak sureti ile önler.

1.6 Yangın Sınıfları

Yangın sınıfları, yanıcı maddelerin karakteristikleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu açıdan sınıflandırma ABD ve Avrupa'da farklılık göstermektedir. ABD'de yangınlar; A, B,

C ve D olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada A sınıfı yangınlar; katı yanıcı madde yangınları iken B sınıfı yangınları; yanıcı sıvı ve gaz yangınları olarak tek bir sınıfta toplanmıştır. Çünkü yanan madde aslında sıvının kendisi değil ısı sonucu açığa çıkan buharıdır. Bununla birlikte, sıvı ile gaz yangınları arasında önemli bir farkı unutmamak gerekir, ki bu fark, gaz yangınlarının sadece kuru kimyevi tozlarla söndürülebilmesine karşın sıvı yangınlarının diğer söndürücü maddelerle söndürülebilmesidir. C sınıfı yangınlar; elektrikli cihazların sebep olduğu yangınları kapsarken D sınıfı yangınlar; yanıcı metallerin sebep olduğu yangınları kapsamaktadır. 21.10.1992 tarihinde kabul edilen ve yangınların sınıflandırıldığı EN 2 standardında ise yanıcı gazlar ayrı bir sınıf olarak ele alınmıştır. Bununla birlikte, yangınlar EN 2 standardında yine 4 grupta tanımlanmıştır. Buna göre; A sınıfı yangınlar, katı yanıcı madde yangınları; B sınıfı yangınlar, sıvı yanıcı madde yangınları; C sınıfı yangınlar, gaz haldeki yanıcı madde yangınları; D sınıfı yangınlar ise yanıcı metal yangınları olarak tanımlanmaktadır. EN 2, diğer taraftan, ABD’de kullanılan standartta belirtilen elektrikli cihazların neden olduğu yangınları sınıflandırma kapsamı dışında tutmuştur. Türkiye’de ise TSE tarafından EN 2 standardında açıklanan sınıflandırma biçimi benimsenmiştir [6].

1.6.1 A sınıfı yangınlar

Metal dışındaki yanıcı katı maddelerin neden olduğu yangınları kapsar. Genellikle organik maddeler ile yanarken akkor haline gelen maddeleri içerir. Bu yangınların bir kısmında yanma yüzeyseldir. Yani, yanma bazı odun, kağıt ve tekstil ürünlerinde olduğu gibi katı maddenin yüzeyinde gerçekleşir, ki bu tür yangınlara müdahale daha kolaydır. Yanan yüzeyin söndürücü bir madde ile kaplanması ya da oksijenle ilişkisinin kesilmesi yeterli olabilir. Yangınların bazılarında odun, pamuk ve kömürde olduğu gibi tüterek yanma görülür. Bu tür yangınlarda nüfuziyet önem arz eder.

Bu tip yangınların söndürülmesinde en etkili ve en çok kullanılan söndürücü madde sudur. Bununla birlikte, yangının özelliğine göre soğutma etkisi yanında yüzeyi sararak oksitleyici ortamla ilişkiyi kesmek, oksijen konsantrasyonunu düşürmek veya kimyasal reaksiyonları kırmak şeklinde etki eden söndürücüler kullanılmalıdır.

1.6.2 B sınıfı yangınlar

Bu tip yangınlar; petrol, akaryakıt, alkol vb. yanıcı sıvıların yanması sonucu meydana gelir. B sınıfı yangınları 3 gruba ayırmak mümkündür. Birinci gruba petrol, benzin, çeşitli yağlar, boyalar vb. su ile karışmayan sıvı haldeki yanıcı maddelerin sebep olduğu yangınlar girmektedir. Bu gruba giren yanıcı sıvılarda kimyasal zincirleme reaksiyonların kırılması, yüzeyin oksitleyici ortamla ilişkisinin kesilmesi ve seyreltme önem arz eder. İkinci grup; katran, asfalt, gres gibi ağır yağların sebep olduğu yangınları içerir. Bunlarda; soğutma, boğma ve kimyasal reaksiyonların kırılması yönünde etkili olan söndürücüler kullanılır. Üçüncü grup; alkoller gibi su ile karışabilen yanıcı sıvıların sebep olduğu yangınları kapsar. Bu grupta yer alan sıvı haldeki yanıcı maddelere yönelik olarak soğutma, boğma, konsantrasyonu düşürme ve kimyasal zincirleme reaksiyonları kırmada etkili olan söndürücüler kullanılabilir.

1.6.3 C sınıfı yangınlar

Yanıcı gazların oluşturduğu yangınlardır. Örneğin; metan (CH_4), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), LPG, asetilen (C_2H_2), hava gazı, hidrojen (H_2) vb. yangınları bu gruba girmektedir. Gaz kaçaqları, gaz karışımları veya su ile birleşerek oluşan bu yanıcı gazlar, C sınıfı yangınların çıkmasına sebep olur. Yanıcı maddenin gaz olması itibariyle hızlı karışıp ortama hızlı yayılmaları C sınıfı yangınlarını tehlikeli kılmaktadır. Bu tip yangınlarda soğutma, seyreltme, kimyasal reaksiyonları kırma veya boğmada etkili olan söndürücüler kullanılabilir. Özellikle, boğma etkisi tercih edilir.

1.6.4 D sınıfı yangınlar

Yanıcı metallerin neden olduğu yangınlardır. Alüminyum (Al) , magnezyum (Mg), sodyum (Na), potasyum (K), lityum (Li) ile bunların alaşımları bu sınıfta sayılabilir. Bu tür yangınlarda genellikle ısı çekme (soğutma) ile boğmada etkili olan, yanıcı metale özgü, kuru ve toz halindeki söndürücüler kullanılır.

2. DUMAN MİKTARI ve NİTELİĞİ

2.1 Giriş

Yangında neşredilen duman hem yangından yangına hem de aynı yangında zamandan zamana göre değişmektedir. Bununla birlikte, yangının üzerindeki duman bulutu aşağıda verilen üç kısımdan oluşur:

- ✓ yanan malzemenin neşrettiği sıcak buharlar ve gazlar,
- ✓ yanmamış ayrışım ve yoğunlaşım maddeleri (is vs.),
- ✓ yangında ısınan ve yükselen duman bulutu içine sürüklenen hava miktarı.

Çoğu yangında neşredilen ve *duman* olarak adlandırılan bu bulutta yukarıda bahsedilen bu üç grubun iyi bir şekilde karışmış kombinasyonu bulunur. Duman miktarı ile ilgili yapılan bu incelemede yanma ürünleri ile birlikte sürüklenen hava karışımı, açığa çıkan toplam duman olarak ele alınmıştır.

Yoğunluğu ve toksik etkisi yanan malzeme cinsine bağlı iken, açığa çıkan toplam duman miktarı yangının ve yangının gerçekleştiği binanın büyüklüğüne bağlıdır. Yangının büyüklüğü, yanan malzeme cinsine ve yanma hızına bağlı olduğundan yanıcı malzemenin doğası, açığa çıkan duman miktarını da etkiler. Bu yüzden, duman çok yoğun olabilir ya da olmayabilir, fakat her halükarda, sıcak ve yoğunluğu ne olursa olsun hayati tehlike yaratacak kadar yeterli toksik ürünlere sahiptir.

Dolayısıyla, dumanın niteliği incelenirken göz önünde bulundurulması gereken üç önemli husus vardır. Bunlar; (1) duman karartması ve devamında görüş mesafesindeki düşüklüğün neden olduğu tehlike, (2) hayati tehlikelere neden olan ve duman içinde bulunan gaz ve buharların toksik etkileri ve (3) yangın mahalinde yanıcı maddelerin yanması ile mahale yayılan dumanın ve duman içinde bulunan sıcak gazların mahal sıcaklığını arttırmaları neticesinde aşırı sıcak ortamın insan hayatı üzerindeki olumsuz etkileri. Bu bölümde dumanla birlikte dumanın yol açtığı bu üç tehlike üzerinde de durulmaktadır.

hızdır” şeklinde söylemek mümkündür.

Havanın sürüklenme hızı;

- ✓ yangının çevresel uzunluğuna (w_f),
- ✓ yangında yayılan ısı miktarına (Q_f),
- ✓ yangın üzerindeki sıcak gaz sütununun efektif yüksekliğine (y) (tavanın altında oluşan duman ve sıcak gaz katmanının alt seviyesi ile kat zemini arasındaki mesafeye) bağlıdır.

Yangında sürüklenen gazın kütlesi (ve dolayısıyla üretilen dumanın kütleli debisi),

$$M = 0.096 w_f \rho_0 y^{3/2} \left(g \frac{T_0}{T'} \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

eşitliğinden tayin edilebilir [3]. Burada;

w_f = Yangının çevresel uzunluğu, m;

ρ_0 = Ortam havasının özgül kütlesi, 1.22 kg/m^3 (17°C 'de);

y = Dumansız bölge yüksekliği (duman katmanının alt seviyesi ile kat zemini arasındaki mesafe), m;

g = Yerçekimi ivmesi, 9.81 m/s^2 ;

T_0 = Ortam havasının mutlak sıcaklığı, 290K ;

T' = Duman bulutundaki alevlerin mutlak sıcaklığı, 1100K ;

M = Dumanın kütleli debisi, kg/s 'dir.

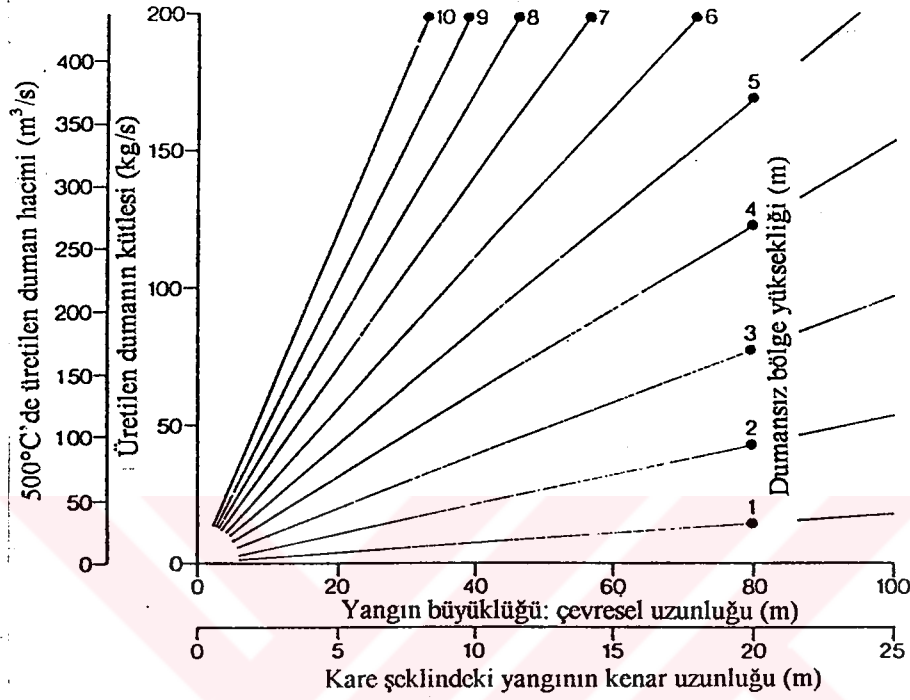
Bu sayısal değerlerin kullanılmasıyla duman üretim hızı tayininde kullanılan ifade;

$$M = 0.188 w_f y^{3/2} \quad (2.2)$$

halini alır [1,3]. Bu ifadeden açıkça anlaşılacağı üzere duman üretim hızı, yangının büyüklüğü (w_f) ile doğru orantılıdır ve üzerindeki dumansız bölgenin yüksekliğine (y) bağlıdır. Yangın büyüyüp sınırları arttıkça duman üretimi hızı da artmaktadır. Diğer taraftan, yangın büyüdükçe tavanın altında biriken duman katmanı kalınlaşacak, yangın üzerindeki dumansız bölge yüksekliği azalacak ve dolayısıyla, duman üretimi hızı gittikçe düşecektir.

Şekil 2.2'deki eğriler binada yangın çıkması durumunda farklı yangın büyüklüğü (w_f) değerleri ve yangının üzerindeki dumansız bölge yüksekliğine bağlı olarak beklenen duman üretim miktarını göstermektedir. Yangın büyüklüğü;

- ✓ yangının çevresel uzunluğu (m biriminde),
- ✓ kare şeklindeki yangının bir kenarının uzunluğu (m biriminde) olmak üzere iki şekilde ifade edilir.



Şekil 2.2 Yangında üretilen duman miktarı [3]

Yangının genellikle 3 m x 3 m'lik kare bir alanda (ya da 3.8 m çapında bir dairede) sınırlı tutulacağı varsayılır [3,16]. Bu büyüklükte bir yangında üretilen duman miktarı Çizelge 2.1'de verilmiştir. (2.2) nolu eşitlik ve Şekil 2.2, duman miktarlarını kg/s biriminde vermektedir. Bu sıcak gazların kapladığı hacim, sıcaklıklarına göre değişir. Sıcaklığın 500°C kadar yüksek olduğu yangına yakın yerlerde 1 kg duman 2 m³'lük bir hacmi doldururken, duman sıcaklığının ortam havasının sıcaklığından çok az yüksek olduğu yangından uzak yerlerde 1 kg duman sadece 0.8 m³'lük bir hacmi işgal eder.

Çizelge 2.1'den açıkça görüleceği üzere oldukça küçük bir yangından üretilen duman bile herhangi bir binayı çok hızlı bir şekilde doldurabilir. Binanın içinde tavanın altında biriken duman tabakası aşağıya doğru derinleşip baş hizasına geldiği zaman binada bulunan kişiler son derece tehlikeli bir durumda bulunurlar ve bu duruma çok çabuk ulaşılabilir.

Çizelge 2.1 (3 m x 3 m)'lik bir yangındaki duman debisi [3]

Dumansız bölge yüksekliği (duman katmanının alt seviyesi ile kat zemini arasındaki mesafe) metre	Duman debisi		
	kg/s	500°C'deki duman hacmi m ³ /s (ft ³ /dak)	20°C'deki duman hacmi m ³ /s (ft ³ /dak)
2	6	13.1 (27710)	5.0 (10550)
2.5	9	19.6 (41570)	7.5 (15826)
3	12	26.2 (55420)	10.0 (21180)
4	18	39.2 (83135)	14.9 (31653)
5	25	54.5 (115466)	20.7 (43962)
6	33	71.9 (152415)	27.4 (58030)
8	51	111.2 (235550)	42.3 (89680)
10	71	154.8 (327920)	58.9 (124850)

Çizelge 2.2 (3 m x 3 m) büyüklükte bir yangında üretilen dumanın çeşitli büyüklüklerdeki binaları kısmen ya da tamamen dolduracağı tahmini süreleri vermektedir. Çizelge 2.2'ye bakıldığında en büyük bina haricinde bütün binalarda dumanın omuz hizasına kadar binayı doldurması için gerekli zamanın ne kadar kısa olduğu görülebilir. Örnek vermek gerekirse, 100 m²'lik zemin alanına ve 6 m yüksekliğe sahip, yaklaşık 100 kişinin ders görebileceği sınıfta (3 m x 3 m)'lik bir yangından çıkan duman 20 saniye içinde omuz hizasına (1.5 m) kadar sınıfı dolduracaktır. Yani sınıftaki çoğu kişinin kaçmaya başlamasını bırakalım, henüz yangının çıktığının farkına varmalarına bile fırsat kalmadan duman omuz hizasına kadar gelmiş olacaktır.

Herhangi büyüklükte bir binanın dumanla dolması için gereken zaman;

$$t = \frac{20 A}{w_f g^{1/2}} \left(\frac{1}{y^{1/2}} - \frac{1}{h^{1/2}} \right) \quad (2.3)$$

eşitliğinden hesaplanabilir [3]. Burada;

t = zaman, saniye

A = binanın, odanın ya da kompartımanın zemin alanı, m²

w_f = yangının çevresel uzunluğu, m

y = dumansız bölge yüksekliği (duman katmanının alt seviyesi ile zemin arasındaki mesafe), m

h = binanın, odanın ya da kompartımanın yüksekliği, m

g = yerçekimi ivmesi, 9.81 m/s² dir.

Çizelge 2.2 (3 m x 3 m)'lik bir yangında üretilen dumanın binayı zeminden verilen uzaklıklara kadar dolduracağı tahmini süreler [3]

Bina yüksekliği (m)	Bina alanı: 100 m ² Dumanın zeminden uzaklığı (m)			Bina alanı: 1000 m ² Dumanın zeminden uzaklığı (m)			Bina alanı: 10000 m ² Dumanın zeminden uzaklığı (m)		
	3	2	1.5	3	2	1.5	3	2	1.5
	Süre (saniye)			Süre (dakika)			Süre (dakika)		
4	4	11	17	0.7	1.8	2.8	6.9	18.4	28
5	7	14	20	1.2	2.3	3.3	11.5	23	33
6	9	16	22	1.5	2.6	3.6	15	26.5	36
8	12	19	25	2.0	3.1	4.1	20	31	41
10	14	21	27	2.3	3.5	4.4	23	35	44
15	17	24	30	2.8	4.0	4.9	28	40	49.5

2.4 Duman Karartması

Belirli bir mesafedeki dumanlı ortamdan geçen ışık parçasına *geçirgenlik* denir ve

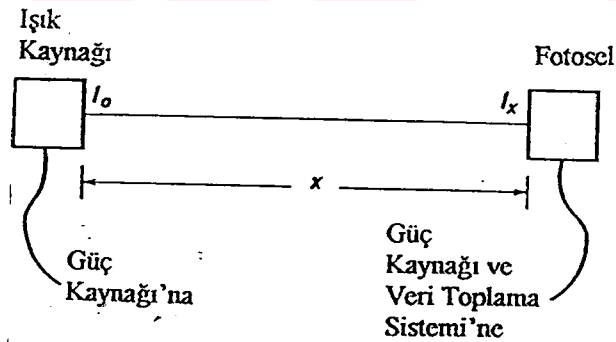
$$T = \frac{I_x}{I_0} \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir [10]. Burada;

T = geçirgenlik, boyutsuz;

I_0 = girişteki ışık yoğunluğu;

I_x = çıkıştaki ışık yoğunluğu'dur.



Şekil 2.3 Duman karartmasını ölçmekte kullanılan duman ölçer [10]

Geçirgenlik, Şekil 2.3'te gösterildiği şekliyle dumanın içinde belirli bir x mesafesini kat eden ışıdaki azalmayı gözlemleyerek ölçülür. Işık, sütun şeklinde saçılan bir kaynaktan ya da laserden sağlanır. Atmosfer *dumansız* olduğu zaman belirli bir x mesafesini kat eden ışının yolun sonundaki yoğunluğu yolun başlangıcındaki yoğunluğu ile tamamen aynıdır ve geçirgenlik 1 (bir)'dir. Fakat, *görünür dumanın* içinden geçen ışının geçirgenliği 1 (bir)'den

azdır. Burada kullanılan ışık ölçerleri kalibre etmek için sadece spesifik bir ışık parçasının geçmesine izin veren nötral yoğunluk filtreleri kullanılır. Böylece, fotoselden gerilim (veya akım) çıktısı doğrudan geçirgenliği verecek şekilde kalibre edilebilir.

Geçirgenlik açısından dumanın özellikleri çoğunlukla *optik yoğunluk* ya da *azalma katsayısı* olarak ifade edilir. Örneğin, 1 m uzunluğunda dumanlı ortam içinden geçtiğinde paralel ışının şiddeti %50 düşmüşse, bu aynı ışın ikinci kez 1 m'lik dumanlı ortamdan geçerse şiddeti %50'nin %50'si kadar, yani ilk gelen ışının %25'i kadar olacaktır. Bu aynı ışın bir üçüncü kez 1 m'lik dumanlı ortamdan geçerse şiddeti ilk gelen ışın şiddetinin %25'inin %50'si kadar, yani %12.5'i olacaktır. Yani, x mesafelik dumanlı ortamı kat eden ışık parçasının (10 tabanında) negatif logaritması, optik yoğunluğu ifade etmekte kullanılır. Kısaca optik yoğunluk,

$$\delta = - \frac{\log_{10} T}{x} \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır [10]. Burada;

δ = birim mesafe başına optik yoğunluk, m^{-1} ;

T = geçirgenlik, boyutsuz;

x = ışığın kat ettiği mesafe ya da yolun uzunluğu, m'dir.

Optik yoğunluğun 1.0'a eşit olması, gelen ışının %90'ının duman tarafından tutulması, sadece %10'unun geçmesi demektir. Birim mesafe başına azalma katsayısı ise,

$$\alpha = - \frac{\log_e T}{x} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir [10]. Burada; α , m^{-1} olarak birim mesafe başına azalma katsayısını göstermektedir. Buna göre % *karartma* ya da *duman karartması* ise,

$$\lambda = 100(1 - T) \quad (2.7)$$

ile formüle edilir ki burada; λ , boyutsuz % karartmayı ifade eder [10]. Çizelge 2.3, farklı yol uzunluklarında optik yoğunluğu, azalma katsayısını ve % karartmayı listelemektedir. Logaritmadaki taban değiştirme [$\log_a x = (\log_b x)/(\log_b a)$] kuralı, $\log_{10} T$ için uygulanır ve (2.5) ve (2.6) nolu eşitliklerdeki x'ler eşitlenirse α ile δ arasında

$$\alpha = 2.303 \delta \quad (2.8)$$

şeklinde bir bağıntı kurulmuş olur. Bu bağıntı,

$$\delta = 0.4343 \alpha \quad (2.9)$$

olarak da yazılabilir.

Çizelge 2.3 Duman karartmasını ifade eden farklı yöntemlerin karşılaştırılması [10]

Geçirgenlik T	% Karartma λ	Işığın Katettiği Mesafe x, m	Optik Yoğunluk δ, m^{-1}	Azalma Katsayısı α, m^{-1}
1.00	0	1	0	0
0.90	10	1	0.0458	0.105
		10	0.00458	0.0105
0.60	40	1	0.222	0.511
		10	0.0222	0.0511
0.30	70	1	0.523	1.20
		10	0.0523	0.12
0.10	90	1	1.00	2.30
		10	0.10	0.23
		30	0.0333	0.0767
0.01	99	1	2.00	4.61
		10	0.20	0.461
		30	0.0666	0.154

(2.7) nolu eşitlikteki T'yi çekip (2.5) nolu eşitlikte yerine koyarsak

$$\delta = - \frac{\log_{10}(1 - \lambda / 100)}{x} \quad (2.10)$$

şeklinde optik yoğunluk ifadesi % karartma cinsinden bulunur. Benzer şekilde,

$$\alpha = - \frac{\log_e(1 - \lambda / 100)}{x} \quad (2.11)$$

azalma katsayısı da % karartma cinsinden yazılabilir. (2.5) nolu eşitlikteki ($T = 10^{-\delta x}$)'yi çekip (2.7) nolu eşitlikte yerine koyarsak,

$$\lambda = 100(1 - 10^{-\delta x}) \quad (2.12)$$

şeklinde % karartmayı, optik yoğunluk ve ışığın kat ettiği mesafe cinsinden bulabiliriz.

Benzer şekilde (2.6) nolu eşitlikteki ($T = e^{-\alpha x}$)'yi çekip (2.7) nolu eşitlikte yerine koyarsak

$$\lambda = 100(1 - e^{-\alpha x}) \quad (2.13)$$

şeklinde % karartmayı, azalma katsayısı ve ışığın kat ettiği mesafe cinsinden yazabiliriz.

2.5 Görüş Mesafesi

Görüş (ya da görülme) mesafesi, karartma başlangıcıdır, ki bu bir nesnenin tam olarak görülebildiği uzaklıktır. Çeşitli malzemelerin yanması sonucu oluşan dumanlı ortam içindeki

görüş mesafelerinin tespitine yönelik pek çok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesinde 1250 ft³ (35 m³)'lük hacme sahip küçük bir mahalde 0.5 kg'lık tahta parçalarının yanması sonucu görüş mesafesini yaklaşık 3 ft (1 m)'ye düşürecek kadar duman üretildiği tespit edilmiştir [3]. Bu durumda gerilmiş bir kolun ucunu bile görmek imkansızdır. Bu çok küçük bir odun yığınıdır ve bu miktara; 0.07 kg'lık polistren, 0.1 kg'lık kauçuk köpük, 0.5 kg'lık poliüretan köpük ya da 0.3 litre'lik gazyağı eşdeğerdir [3]. Benzer bir karşılaştırma Çizelge 2.4'te yapı malzemesi olarak kullanılan 220 x 220 mm'lik çeşitli levhaların 34 m³'lük bir mahalde yakılmaları sonucundaki görüş mesafeleri verilmiştir. Burada, duman üretimindeki farklılıkların sadece yanan malzeme cinsine değil, aynı zamanda malzemenin yanış şekline de bağlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.4 Çeşitli yapı malzemelerinin yanması sonucu üretilen duman [3]

Malzeme cinsi	Kalınlık (mm)	Görüş mesafesi (m)	
		Numunenin alevli yanması	Numunenin tüte-rek yanması
Alçı levha	9.5	17	15
Elyafli izolasyon levhası	10.7	18	2.7
Sunta	12.7	2.7	1.5
Kayın kontraplak	6.4	4.2	2.3
Elyaf levhası	3.7	4.2	2.2
Melamin kaplı elyaf levhası	3.2	4	3.3
PVC kaplı elyaf levhası	5.7	3	3.8
Katı PVC	1.6	2.8	3
Poliüretan sandviç levha	13	4.7	4
Cam elyafı takviyeli polyeester (alev geciktirici)	3.3	1.5	1.6

Bu gibi deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında çeşitli araştırmacılar tarafından görüş mesafesinin matematiksel formülasyonu oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu araştırmacılardan biri olan Jin, görüş mesafesi ile duman karartması arasındaki genel bağıntıyı,

$$V_{is} = K/\alpha \quad (2.14)$$

olarak vermiştir [10]. Burada;

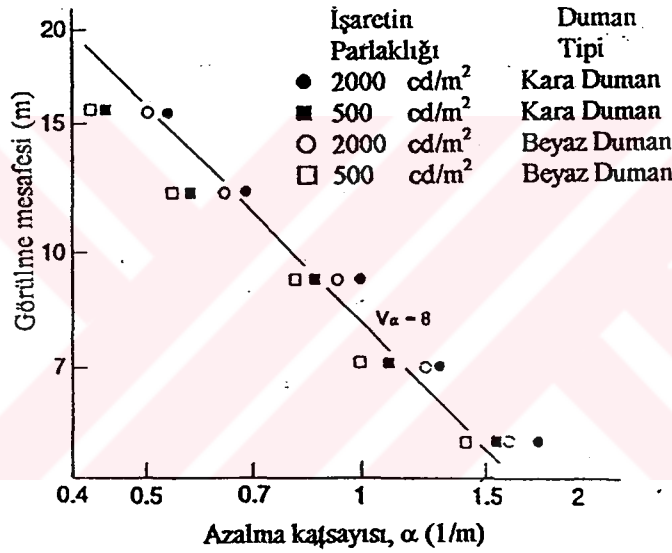
α = birim mesafe başına azalma katsayısı, m⁻¹;

V_{is} = görülme mesafesi, m;

K = orantı sabiti (Çizelge 2.5)'dir.

Bu formüldeki orantı sabiti; dumanın rengine, nesnenin aydınlığına ve gözlemcinin görsel

keskinliğine ve ruhsal durumuna (laboratuvar incelemesinde olduğu gibi kontrollü şartlar altında mı, yoksa gerçek yangın anında panik ya da yakın-panik durumunda mı) vs. bağlıdır. Dumanla dolu bir odada ışığı emen ve yansıtan işaretlerin dışarıdan pencereden gözlemlenmesi şeklinde yapılan testler (Jin, 1974, 1975, 1985) sonucunda ışıklı işaretler ile ilgili sonuçlar Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Bu testlerde, tüterek yanan yangınlardan beyaz duman ve alevli yanan yangınlardan da kara duman üretilmiştir. Bu testlere göre orantı sabiti; ışığı emen işaretler için 5 ila 10 arasında, ışığı yansıtan işaretler içinse 2 ila 4 arasında değişmektedir. Duvarlar, döşemeler, kapılar, merdivenler gibi nesnelerin görülme mesafesi, ışığı yansıtan işaretlerin görülme mesafesinin en küçük değeridir. Elde edilen K değerleri Çizelge 2.5'te listelenmiştir.



Şekil 2.4 Duman karartması ve ışığı emen işaretlerin görülme mesafesi arasındaki ilişki [10]

Çizelge 2.5 Görülme mesafesi için önerilen orantı sabiti değerleri [10]

Durum	K
Elektrikle aydınlatılmış işaretler	6
Işığı yansıtan işaretler	2
Yansıyan ışıktaki yapı bileşenleri	2

Elektrikle aydınlatılmış işaretlerin görülme mesafeleri ile ilgili bir başka bağıntı;

$$Vis = K \delta^{-0.69} \quad (2.15)$$

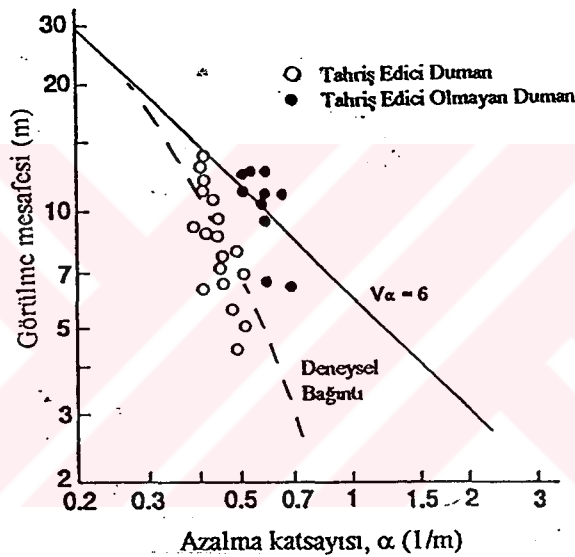
şeklinde Heskestad (1989) tarafından formüle edilmiştir [10]. Burada;

δ = birim mesafe başına optik yoğunluk, m^{-1} ;

Vis= görülme mesafesi, m;

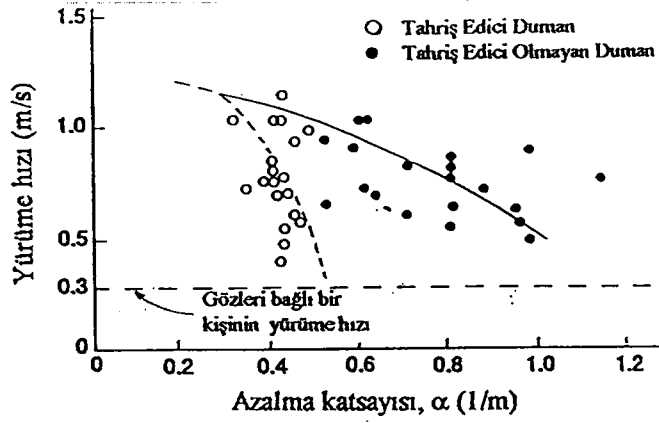
K = orantı sabiti, 2.0 'dır.

Farklı azalma katsayılarına sahip tahriş edici dumana maruz bırakılan deneklerin yürüme hızları ve görülme mesafeleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan testler (Jin, 1985) de yapılmıştır. Şekil 2.5, ışığı emen bir işaret için tahriş edici olan ve tahriş edici olmayan dumanda görülme mesafesi ve karartma arasındaki ilişkiyi göstermektedir. (2.14) ve (2.15) nolu görülme mesafesi bağıntıları, denekler tahriş edici dumana maruz bırakıldıklarında doğru sonuç vermemektedir. Çünkü yoğun ve tahriş edici dumanda denekler işareti okumak için yeterince uzun müddet gözlerini açık tutamamışlardır.



Şekil 2.5 Tahriş edici ve tahriş edici olmayan dumanda ışığı emen işaretlerin görülme mesafesi ve duman karartması arasındaki ilişki [10]

Şekil 2.6 ise tahriş edici olan ve tahriş edici olmayan dumanda koridorda yürüyen insanların yürüme hızları ile duman karartması arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Hem gözlerdeki tahriş, hem de dumanın yoğunluğu yürüme hızını etkilemektedir. Yürüme hızı, farklı azalma katsayıları için her iki dumanda da düşmektedir, fakat tahriş edici duman için bu düşüş çok daha fazladır. 0.4 m^{-1} lik azalma katsayısı için tahriş edici dumandaki yürüme hızı, tahriş edici olmayan dumandakinin yaklaşık % 70'i olmuştur. 0.5 m^{-1} 'den daha büyük azalma katsayısı için ise yürüme hızı, gözleri bağlı bir insanın yürüme hızı olan yaklaşık 0.3 m/s 'ye düşmüştür. Yürüme hızındaki düşüş, deneklerin gözlerini açık tutamamış, zig-zag çizerek ya da yan duvara tutunup sakınarak yürümüş olmalarındandır.



Şekil 2.6 Tahrış edici ve tahrış edici olmayan dumanda yürüme hızı [10]

Jin (1985), tahrış edici dumanda görülme mesafesini ise

$$V_{is} = \frac{K}{\alpha} (0.133 - 1.47 \log_{10} \alpha) \quad (2.16)$$

şeklinde vermektedir [10]. Bu formül sadece $\alpha \geq 0.25 \text{ m}^{-1}$ değerlerinde geçerli olup formüldeki,

α = birim mesafe başına azalma katsayısı, m^{-1} ;

V_{is} = görülme mesafesi, m;

K = orantı sabiti (Çizelge 2.5'te verilen)'dir.

2.6 Duman İçindeki Zehirli Gazlar

Bütün yangınlarda çıkan dumanda toksik özellikte gazlar bulunur ve bu dumana belirli bir süre maruz kalındığında etkisi ölümcül olabilir. Bununla birlikte, bazı durumlarda kısa süreli dumana maruz kalmak da ölümcül sonuçlar doğurabilir. Yangınlarda ortaya çıkan dumanda karbon monoksit (CO) daima bulunur ve pek çok otopsi incelemelerinde ölümcül miktarlarda (%40'lara kadar) bu gaza rastlanmıştır [3]. CO, dumanda bulunan toksik gazlardan sadece biri olmakla beraber duman içinde diğer toksik gazlardan genellikle daha büyük konsantrasyonlarda bulunur ve bu yüzden çoğu ölümlerin nedeni CO zehirlenmesidir. Yangından kaynaklanan ölümlerin nedenleri üzerinde yapılan araştırmalara göre CO zehirlenmesi, bütün ölümlerin aşağı yukarı yarısını oluşturmaktadır [10]. Kalan yarısını ise doğrudan yanıklar, patlama basınçları ve diğer toksik gazlar oluşturmaktadır. Ancak, yanma olaylarında kişinin elbisesi alev alsa bile yanıklardan dolayı ani ölüm olayları enderdir, oysa ki zehirli gazlardan kısa sürede ölümlere sıkça rastlanır. Vücudun %80'inde meydana gelen

2., 3. derece yanıklardan bir kaç gün içinde gelen ölüm olayları bir tarafa bırakılırsa yanmış olan kişilerin bile daha önce nefes alamama nedeniyle ölmüş olmaları ihtimali çok yüksektir.

Çizelge 2.6 yangın anında yanan malzeme cinsine göre ortaya çıkan duman içinde bulunan toksik gazları ve tehlike sınırlarını listelemektedir.

Çizelge 2.6 Çeşitli malzemelerin yanmasıyla ortaya çıkan toksik bileşikler [3,14]

Toksik gaz ya da buharı	Kimyasal formülü	Tehlike sınırı (ppm) (mg/m ³)		Kaynak malzeme
Karbon monoksit Karbon dioksit	CO CO ₂	50	55	Karbon içeren bütün yanıcı malzemeler (ahşap, kağıt, pamuk, yün, plastik, kauçuk vs.)
Azot oksitler: (azot monoksit azot dioksit azot tetraoksit)	NO NO ₂ N ₂ O ₄	5	9	Selüloit, poliüretan, plastikler
Hidrojen siyanür	HCN	10	11	Yün, ipek, deri, azot içeren plastikler, selülozik malzemeler, selülozik plastikler, suni ipek
Akrolein	C ₃ H ₅ O	-	-	Odun, kağıt
Kükürt dioksit	SO ₂	5	13	Kauçuk, yün
Halogen asitleri: (hidroklorik asit, hidrobromik asit, hidroflorik asit, fosgen)	HCl HBr HF COCl ₂	5	7	PVC (polivinilklorür), yangın geciktirici plastikler, florlu plastikler
Amonyak	NH ₃	25	18	Melamin, naylon, üre formaldehit reçinesi, ipek
Aldehitler: (formaldehit, asetaldehit)	HCHO CH ₃ COH	2	3	Fenol formaldehit, odun, naylon, polyester reçinesi, kağıt, pamuk
Benzen	-	-	-	Polistren
Formik asit	HCOOH	5	20	Ahşap, kağıt, pamuk
Metil alkol	CH ₃ OH	200	260	Kağıt, ahşap, pamuk
Hidrojen sülfür	H ₂ S	10	15	Kauçuk, yün
Asetik asit	CH ₃ COOH	10	25	Pamuk, kağıt, pamuk

Çizelge 2.6'da verilen değerler tahmini değerlerdir. Çünkü yangın anında neşredilen çeşitli toksik bileşiklerin insan üzerindeki aktüel etkileri ile ilgili mevcut bilgiler azdır ve bu tür bilgiler hayvanlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilmiştir. Bu nedenle, toksik gazların insan üzerindeki ölümcül etkilerinin başlangıç limitlerini ifade eden tehlike sınırları farklı kaynaklarda farklı olmaktadır. Bununla beraber, Çizelge 2.6'daki değerlere tamamlayıcı olmak üzere çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen değerler Çizelge 2.7'de verilmiştir. Burada ppm olarak verilen LC₅₀ değerleri, belli bir süre zarfında toksik gaza maruz kalan deneklerden %50'sinin ölümüne yol açan konsantrasyonları ve LC₀ değerleri ise, ilk

ölümcül etkilerin gözlemlendiği konsantrasyonları ifade etmektedir.

Çizelge 2.7. Başlıca zehirli gazların LC₅₀ değerleri [10]

Kimyasal formülü	Gaz	Kabul edilen LC ₅₀ (insanlar için)		Referans	Referans Verisi (ttr, dakika) h = insan, r = sıçan, m = fare, p = primat, gpg = Gine domuzu, ham = hamster, röt = tavşan
		5 dakika (ppm)	30 dakika (ppm)		
CH ₃ CHO	asetaldehit		20000	Sax (1984) ACGIH (1987b)	LC(m,240)=1500 LC ₀ (r,240)=4000 LC(ham,250)=17000 LC(r,30)=20000 LC(r,420)=16000
CH ₃ COOH	asetik asit		11000	Levin vd. (1987b)	LC(m,60)=5620
HCl	hidroklorik asit	16000	3700	Higgins vd. (1972)	LC(r,5)=40989
CO	karbon monoksit		3000	Levin vd. (1987b) Kimmerle (1974)	LC(r,30)=4600 LC(h,30)=3000
HBr	hidrobromik asit		3000	Sax (1984)	LC(m,60)=814 LC(r,60)=2858
NO	azot monoksit	10000	2500	ACGIH (1980)	NO ₂ 'nin 1/5'i kadar zehirli LC(h,1)=15000
H ₂ S	hidrojen sülfür		2000	Sax (1984)	LC(m,60)=673 LC ₀ (h,30)=600 LC ₀ (ham,5)=800 LC(h,30)=2000
HF	hidrojen florür	10000	2000	Sax (1984)	LC(gpg,15)=4327 LC(p,60)=1774 LC ₀ (h,30)=50 LC(m,60)=456 LC(r,60)=1276 LC(r,5)=18200
C ₃ H ₄ N	akrilonitril		2000	Sax (1984)	LC(gpg,2)=300 LC(m,5)=6247 LC(r,5)=18200
COF ₂	karbonil florür		750	ACGIH (1980)	LC(gpg,240)=576 LC(r,240)=500 LC(r,60)=360
NO ₂	azot dioksit	5000	500	Higgins (1972)	LC(m,5)=83331 LC(r,5)=1880
C ₃ H ₂ O	akrolein	750	300	Sax (1984)	LC(m,360)=66 LC ₀ (p,10)=153
HCHO	formaldehit		250	Sax (1984) Kimmerle (1974) ACGIH (1980)	LC ₀ (r,240)=250 LC(r,30)=250 LC(kedi,480)=700 LC(m,120)=700
SO ₂	kükürt dioksit	500		Sax (1984)	LC ₀ (m,300)=6000
HCN	hidrojen siyanür	280	185	Levin vd. (1987b) Higgins vd. (1972) Kimmerle (1974)	LC(r,5)=570 LC(r,30)=110 LC(r,5)=503 LC(m,5)=323 LC(h,30)=135 LC(h,5)=280
C ₆ H ₆ O ₂ N ₂	toluen disokyanat		≈100	Sax (1984)	LC(gpg,240)=13 LC(rbt,180)=1500 LC(r,360)=600 LC(m,240)=10
COCl ₂	fosgen	50	90	Clayton ve Clayton (1982)	LC(h,30)=90
C ₄ F ₈	perfluoroisobütülen	28	6	Sax (1984)	LC(r,10)=17 LC(r,5)=28

2.7 Zehirli Gazların Sınıflandırılması

Yangın mahalinde çok farklı maddeler birarada bulunur ve normal şartlarda zararsız olan bu maddelerin yangın esnasında tutuşarak yanmaları neticesinde neşrettikleri gazların zehirleyici etkileri hem yangınzedelerin ve hem de yangına müdahale edenlerin zarar görmesine neden olur. Zehirli gazların cins itibariyle; ya solunum ya deri yoluyla, ya da hem solunum hem deri yoluyla vücuda girmeleri ve yine cins itibariyle; ya boğucu, ya tahriş ve tahrip edici, ya uyuşturucu, ya da bunların kombinesi şeklinde tesir etmeleri neticesinde;

- ✓ insan vücudundan oksijeni alarak boğulmaya neden olabilirler,
- ✓ nefes yollarını tahriş ve tahrip edebilir, akciğerleri zedeleyebilirler,
- ✓ kanda, sinir sisteminde ve hücrelerde tahribata yol açabilirler.

Zehirli gazların en iyi şekilde sınıflandırılması vücudumuz üzerindeki etkilerine göre yapılanıdır. Bu sayede, karşılaşıldığı zaman tesirlerine göre hangisi ile karşılaşıldığını anlayıp ona göre hareket etmek ve korunmak mümkün olabilir. Vücudumuza yaptıkları tesirlere göre zehirli gazları dört sınıfa ayırabiliriz:

- ✓ tahriş edici gazlar,
- ✓ boğucu gazlar,
- ✓ yakıcı gazlar,
- ✓ öldürücü gazlar.

Yapılan bu sınıflandırmaya rağmen gazların tesir itibariyle birbirlerinden tamamiyle ayrılmasının mümkün olmadığını da unutmamak gerekir. Bir gaz aynı zamanda hem gözleri yakabilir, hem aksırtarak solunum sistemini tahriş edebilir, hem de boğucu etkisini gösterebilir. Ayrıca, hem cildi kabartan hem de gözü tahriş edenleri de olabilir.

2.7.1 Tahriş edici gazlar

Bu gruptaki gazlar solunum yollarına etki yapar, göz ve deride tahrişlere yol açar. Bu gazların tesirleri çoğu zaman geç farkedilir. İlk belirtileri; öksürme, göz yaşarması, burun akıntısı ve bunalma hissidir. Tahriş edici gazlara örnek olarak; amonyak (NH_3), klor (Cl_2), halogenler (hidroklorik asit (HCl), hidrojen florür (HF), fosgen (COCl_2)), kükürt dioksit

(SO₂), triklorik fosfor (PCl₃), azot oksitler (azot dioksit (NO₂) ve azot tetraoksit (N₂O₄)) ve benzol (C₆H₆) gösterilebilir.

Bu sınıfa giren gazlardan birine maruz kalan kazazedeler kaza yerinden derhal uzaklaştırılmalı, yatırılmalı, rahat nefes almaları sağlanmalı ve saf oksijen verilmelidir. Derhal doktor yardımı istenmeli ve taşıma esnasında kişi sarsılmamalıdır.

2.7.1.1 Amonyak

Renksiz ve ısırcı kokan bir gazdır. NH₃, nitrik asit (HNO₃) üretiminde, gübre sanayiinde ve iyi ısı özelliklere sahip olması sebebiyle büyük soğuk depoculukta, buz üretiminde, buz pateni sahalarında ve donmuş paketleme uygulamalarında soğutma gazı olarak kullanılır. NH₃, organik maddelerin çürümesinde görülür ve lağım gazlarının bir parçasıdır. Azotlu malzemelerin yanması sonucu ortaya çıkan NH₃ gazı da zehirleyicidir. Tehlike sınırı 25 ppm ya da 18 mg/m³ olan NH₃'ün hafif zehirlenmeleri geçicidir [14]. Bununla birlikte, NH₃'ün küçük dozajları bile gözlerin ve burun mukozasının zedelenmesine, yüz kızarıklığına ve nabız yükselmesine yol açar. 1700 ppm yoğunlukta yarım saat teneffüs edildiğinde ölüm tehlikesi vardır [2]. NH₃ buharı püskürtme su ile imha edilmelidir. NH₃'ün tesirinden sonra vücut bol su veya sirke suyu ile temizlenmeli, sirke buharı solunmalıdır.

2.7.1.2 Hidroklorik asit

İnşaatlarda, kablo ve mobilyada kullanılan PVC'nin ortam sıcaklığı 400°C'yi geçtiği zaman içindeki klorun tamamı HCl olarak ortaya çıkar. Zehirlilik tehlike sınırı 5 ppm ya da 7 mg/m³ olan HCl, CO'ten 10 kat daha zehirleyicidir [14]. Ayrıca, HCl gazı 2000 ppm olduğunda kısa süre teneffüs edilse dahi çok tehlikeli olmaktadır [2].

2.7.1.3 Kükürt dioksit

Bütün kükürt içeren malzemelerin, özellikle kauçuk kökenli malzemelerin yanmasıyla SO₂ ortaya çıkar. Tehlike sınırı 5 ppm ya da 13 mg/m³ olan SO₂'nin ortam havasındaki miktarı 500 ppm'e ulaştığında yarım saat ile bir saat arasında teneffüs edilirse ölüm tehlikesi söz

konusudur [2,14].

2.7.1.4 Benzol

Taşkömürü ziftinin destilasyonundan elde edilen, kolay hareket edebilen, su renginde bir sıvıdır. Buharı havadan daha ağırdır. Benzinden 60 kat daha zehirlidir [9]. Deri tarafından emilebilir. Bu nedenle benzol veya benzol karışımı sıvılarda el yıkanmamalıdır. C₆H₆ kaynaklı zehirlenme, deride tahriş ve baygınlık vaziyeti ile belli olur. Tesirini çok geç gösterebilir.

2.7.2 Boğucu gazlar

İsminden de anlaşılacağı üzere, teneffüs yolu ile vücuda girerek akciğerleri tahrip eden, hava keseciklerini yırtan ve teneffüs etmeyi önleyerek boğan gazlardır. Nefes alma esnasında keseciklere kadar giden havanın içindeki oksijen akciğerlerdeki keseciklerin duvarlarına kadar gelen kirli kanın temizlenmesini sağlar, bu keseciklerin içini döşeyen ince zardan havanın oksijeni kana geçerken kirli kandaki karbonik asit de yine bu zardan geçerek keseciklere, oradan da nefes verme esnasında dışarı atılır. Boğucu gazlar teneffüs edilince bu kesecikler zehirli gazla dolar. Keseciklerin zarını tahriş ederek inceltir, bu şekilde incelmış zardan kanın su kısmı keseciklerin içine sızmaya başlar, havanın oksijen bırakma alanı gittikçe daralır ve keseler doldukça vücuda oksijen giremez; vücuttan karbonik asiti alarak temizlenmeye gelen kan temizlenmeden oksijensiz olarak tekrar vücuda gider. Hava keseciklerinin kanın suyu ile dolmasına *akciğer ödemi* denir. Akciğer ödemi fazlalaştıkça insan nefes alamamaya ve sanki boğazı sıkılıyormuş gibi havasızlıktan boğulmaya başlar. Boğucu gazlarla zehirlenenlerin yüzü ya kül rengi gibidir, ki böyleleri süratle ölürlere ya da mosmor olur, ki bu oksijen alamayan siyah kanın kırmızı kan haline geçemediğini gösterir.

Tahriş eden boğucu gazlardan en önemlisi klor (Cl₂)'dur. Tahriş etmeyen boğucu gazlardan en önemlisi ise fosgen (COCl₂)'dir. Boğucu gazların tahriş eden ve etmeyen cinslerinin hepsinin terkiibinde klor vardır. Bunların hepsi de renksiz sıvı halindedir, hepsinin kendilerine özgü kokuları vardır. Klor ve fosgenden başka karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), amonyak (NH₃), metan (CH₄), etan (C₂H₆), helyum (He), anilin ve hidrojen

siyanür (HCN) de boğucu gazlar arasında gösterilebilir.

Boğucu gazların tesiri altında kalan insanların buldukları ortam havasını derhal havalandırmak gerekir. Kazazedeler bir an önce bu odalardan çıkarılmalı ve oksijen verilmelidir. Bu kişileri yatırmalı ve rahat nefes almaları için elbiselerinin kol ve yaka kısımları gevşetilmeli, yaşam belirtileri görülmeyen kazazedeleri tekrar hayata döndürebilmek için ağızdan ağıza ya da burundan suni teneffüs yapılmalıdır. Kazazedenin vücut sıcaklığını aynı seviyede tutabilmek için üstü örtülerek sıcak tutulması sağlanmalı, bir an önce hastaneye kaldırılmalıdır.

2.7.2.1 Klor

Cl_2 , havadan daha ağır, sarı-yeşil renginde ve kendine has kokusu olan bir gazdır. Cl_2 , basınçlandırma ve soğutma yolu ile çok kolay ve yeşilimsi sarı bir sıvıya dönüştürülebilir. Cl_2 , genel olarak üst solunum yollarını tahriş edici bir gaz olmasına rağmen gözde de tahriş etkisi yapar. 100 ppm konsantrasyonda bu gaz solunduğu zaman solunum yollarının yukarı kısımlarında tahriş belirtileri görülür, sonra boğulma hissi duyulur [11]. Daha yüksek dozajlarda sinir sistemini felce uğratar ve şiddetli öksürük, nefes darlığı ve süratli ölümlere sebep olur. Ayrıca, deriyi tahriş ederek su toplamasına yol açar. Cl_2 , hemen tesir edebilen, bekleme süresi olmayan bir gazdır ve püskürtme suyuyla indirgenebilir. Klorla zehirlenmiş kişilerin klor bulaşmış elbiseleri derhal çıkartılmalı, su ve alkol buharı içe çekilmeli ve gözler su ile yıkanmalıdır.

2.7.2.2 Fosgen

Çok kullanılan polivinilklorürün (PVC) yanmasıyla ortaya çıkan fosgen ve hidroklorik asit (HCl) gazları, karbon monoksit (CO)'ten daha zehirlidir. Fosgen, kolaylıkla gaz haline geçen, renksiz bir sıvıdır. Taze mısır püskülü, çürük saman ya da ham elma gibi kokar. Fosgen, boğucu gazların en şiddetlisidir. Zehirleyici tehlike sınırı 0,1 ppm olan fosgen, zehirleyici tehlike sınırı 50 ppm olan karbon monoksitten 500 kat daha zehirleyicidir [2]. Az konsantrasyonda olduğu zaman varlığını hiç belli etmez. Kişi uzun müddet bu gazı hiçbir şeyin farkına varmadan solur. Fazla konsantrasyonda olduğu zaman yaptığı tahriş; biraz

gözleri ve boğazı yakma, gözlerden yaş getirme ve hafif öksürtmeden ibarettir. Fakat, kısa bir süre sonra asıl toksik etkisi olan boğma tesiri görülür.

2.7.2.3 Karbon dioksit

Karbonun tam yanmasından ya da kirecin asit ile yakılmasından CO₂ meydana gelir. Hafif ekşimsi kokan, renksiz ve yanıcı olmayan bir gazdır. Şarap mahzenlerinde, soğutucularda, söndürücülerde ve haşerelerle mücadelede kullanılır. Bir çok madde ile reaksiyona girmez. Elektriği iletmez. CO₂'in fizyolojik etkileri; nefes alma hızındaki artış, kanın pH'sındaki düşüş ve metabolik asidoz (kanın asitli hale gelmesi) oluşumudur. Normal atmosferik koşullarda 300 ppm (%0,03) oranında var olan CO₂ gazı, hava içinde %8 oranında bulunursa boğucu etki gösterir ve yeterli oksijen olsa bile zarar verir [9]. Havada %12 oranında yer aldığı takdirde solunum sisteminin paralizisi sonucu bir kaç dakikada ölüme sebep olabilmektedir [2].

2.7.2.4 Azot oksitler

Azot oksitlerin en tehlikelileri azot dioksit (NO₂) ve azot tetraoksit (N₂O₄)'tir. Azot oksitler, nitrik asit (HNO₃)'in organik maddelerle veya metalle temas etmesinden oluşur. Ayrıca, azot oksitler küçük ve kapalı yerlerde elektrik veya oksijen kaynağı ile çalışıldığı zaman oluşabilir. Azot oksitler genellikle selülozun, patlayıcı maddelerin ve azot gübrelerinin alevsiz parçalanmasında ortaya çıkarlar. NO₂, sarı ile kırmızı ve kahverengi arasında değişebilen gaz bulutu olarak görülür. Azot oksitler bazen kan zehirlenmelerine yol açar. Asit tesirleri ile solunum organlarını tahriş ederler. Bu gazların ilk tesirleri; baş ağrısı, kusma ve kasılmadır. Bunları akciğer ödemi ve ölüm takip eder. NO₂ ve N₂O₄'e ilaveten selüloitte rastlanan azot monoksit (NO) ise oyuncak fabrikası ve sinema gösteri kabinlerinde çıkan yangınlarda çok tehlikeli olabilir. Azot buharlarının iki fizyolojik zararı vardır. Birincisi, akciğer mukozasına temas edince nitrik asit (HNO₃) içerdiklerinden soluma güçlüğü, ardından mukozada ödeme neden olmalarıdır. İkincisi ise, kandaki hemoglobini meteglobine çevirmeleridir. Meteglobin ise oksijen sabitleyen bir pigmenttir. Bu iki etmenden dolayı insan boğularak ölür.

2.7.3 Yakıcı gazlar

İnsan cildini yakan, kabartan bu gazların hepsi de sıvıdır. Yakıcı gazlar kumaştan, köseleden hatta lastikten bile geçerler. Bazen gaz haline geçtikleri zaman teneffüs edildikleri takdirde nefes yollarını da yakarak yaralar açarlar. Sıvı halinde buldukları müddetçe bunlara karşı korunmak çok güçtür. Sıvı halde iken cilde temas edince bir süre sonra bir kaşıntı başlar, sonra o bölge iltihaplanır ve yaraya dönüşür. Genellikle bu açık yaraların mikrop kapma olasılığı fazla olduğundan hastaların tedavisi uzun sürer. Yakıcı gazların en önemlileri; iperit, levizit ve dik'tir. Fakat bu gazlar yangın mahallinde yanma ürünleri arasında dumanda bulunmazlar. Çünkü bu üç gaz kimyasal/biyolojik savaşta kullanılmaktadır. Sadece konuyu tamamlama açısından burada bahsedilmiştir.

2.7.4 Öldürücü gazlar

Teneffüs edildiği zaman hiçbir uzvu tahriş etmeden vücuda giren, en yüksek konsantrasyonlarda bile kendini belli etmeyen ve aniden öldüren bu gazların tesirleri iki türlüdür; ya sinirleri tahrip ederler, yahut da kanı zehirlerler. Sinirleri tahrip etme kabiliyeti özellikle beyindeki teneffüs merkezi üzerindedir. Teneffüs merkezini uyuştururlar, bu uyuşukluk dolayısıyla akciğerler işlev dışı kalır, bu duruma maruz kalan canlılar hareket edemezler ve ani olarak ölürler. Kanı zehirleyen gazlar ise, kanın ter kibini bozduğundan bunları teneffüs edenlerde baş ağrısı, bulantı, kuvvetsizlik ve halsizlik görülür, derin bir uyuşukluğa düşerler ve bir daha uyanamazlar. Sinir zehiri olanların başında hidrojen siyanür (HCN) ve kan zehiri olanların başında ise karbon monoksit (CO) gelmektedir. Ayrıca asetilen (C₂H₂), karbon sülfür (CS₂) ve etilen (C₂H₄) de merkezi sinir sistemini baskı altına alan, bilinçsizliğe yol açan tehlikeli gazlardandır.

Bu tip gazlara maruz kalan kişiler gazın bulunduğu mahalden derhal çıkartılmalı ve yere yatırılmalıdır. Elbiseleri gevşetilmeli ve hastanın bol ve temiz hava alması sağlanmalıdır. Bu yapılamıyorsa derhal zaman solunum cihazları ile saf oksijen verilerek tedaviye çalışılmalıdır. Bu şekilde, tedavi edilen hastalar üzerinde bu öldürücü gazlar hiçbir iz bırakmadan geçerler. Şüpheli durumlarda her zaman teneffüs cihazları kullanılmalıdır.

2.7.4.1 Hidrojen siyanür

CO'ten beş misli daha zehirleyici olan hidrojen siyanür azotlu maddelerin yüksek sıcaklıkta karbonla birleşmesinden meydana gelir. HCN, acıbadem kokulu, renksiz bir sıvıdır. Yün, deri, poliüretan, poliamid gibi günlük yaşamımızda sıkça karşılaşılan mobilyalarda kullanılan bir çok maddenin yanma gazlarında hidrojen siyanür veya siyanojen gazlarına rastlanır. Halılardaki yün ve naylon da azot içerdiğinden HCN gazı çıkarır. Dokuların oksijeni kullanmasını önleyen HCN'nin zehirlilik tehlike sınırı 10 ppm ya da 11 mg/m³'tür [14]. Hidrojen siyanür miktarı 1 m³ havada 300 mg'ı bulduğu takdirde ortamdaki canlıları hızla öldürür [2].

Çizelge 2.8'de çeşitli malzemelerin 1 kg'larının yanması sonucu neşredilen hidrojen siyanür gazının tahmini kütleleri ve hacimleri verilmiştir. Şunu da unutmamak gerekir, ki yangın esnasında mevcut şartlardaki değişiklik bu verileri değiştirir. Ayrıca, yangın mahalinde çizelgedeki malzemeler 1 kg'dan daha büyük miktarlarda bulunabileceğinden bu rakamlar hızla aşılır.

Çizelge 2.8 Çeşitli malzemelerin yanması sonucu neşredilen HCN miktarları [3]

Malzeme	Hidrojen siyanür		
	kg	20°C'de m ³	300°C'de m ³
Selüloz (pamuk)	-	-	-
Yün	0.12	0.10	0.19
Naylon	0.11	0.09	0.18
Akrilik elyaf	0.26	0.21	0.42
Poliüretan köpük	0.35	0.28	0.56

2.7.4.2 Karbon monoksit

Yanma gazlarının en bilineni olan CO, organik maddelerin tam yanmamaları halinde ortaya çıkar. Saf durumunda tatsız, renksiz, kokusuz, havadan daha hafif, toksik bir gazdır. Selülozun alevsiz yanmasında çok miktarda CO gazı çıkar. Kimyasal boğucu bir etkiye sahiptir. Ağzı içi ve solunum yolları gibi yumuşak dokulardan doğrudan kana geçebilir. CO, dolaşım sistemi üzerinde bilhassa, kapiler damar cidarlarında dejeneratif etki yaparak permeabiliteyi bozar böylece, kanamalara ve şiddetli ödemlere neden olur [14].

CO, aslında bir kan zehiridir. CO, kandaki hemoglobin ile oksijene nazaran 200 kattan fazla birleşme kabiliyetine sahiptir [14]. Bu özelliğinden dolayı, havada CO bulunduğu takdirde ($CO + O_2Hb \leftrightarrow COHb + O_2$) şeklinde tersinir reaksiyona göre oksihemoglobindeki (O_2Hb) oksijenin yerini alarak karboksihemoglobin ($COHb$) meydana getirir ve dokulara oksijen naklini önler. Dolayısıyla, dokular yeterince oksijen alamayınca kişi oksijensizlikten ölür. Karbon monoksitin hemoglobinle birleşmesi 1/3 oranında olursa zehirlenme olayı meydana gelir, 2/3 oranında birleşirse ölüm muhakkaktır. Diğer taraftan, 3/3 birleşme anında kişi zaten ölmüş olduğundan CO hiçbir zaman hemoglobinin 3/3'üyle birleşmez [14].

Zehirlenmenin şiddeti havadaki CO konsantrasyonuna ve kişinin solunum süresine göre değişir. Diğer taraftan, CO yoluyla zehirlenmenin hızı insandan insana da farklılık gösterir. Yaş, sağlık durumu, sigara alışkanlığı vb. etkiler bu hızı etkilemektedir. Buna göre, havada %0.7 CO miktarı; dinlenmekte olan bir kişiyi 5 saatte, yürüyen bir kişiyi 2.5 saatte, çalışan bir kişiyi ise 40 dakikada öldürmektedir. Zaten, Adli Tıp kaynaklarında da %0.7 CO ortamında hareket halindeki bir insanın yaşama süresi 40 dakika olarak belirtilmiştir [14].

CO, yaşayan kişilerin vücudundan yavaş yavaş kaybolur. Bu kaybolma alınan oksijen miktarı ile doğru orantılıdır. Özellikle kazaya uğrayan kişiye saf oksijen verilecek olursa vücuttan karbon monoksitin atılması daha hızlanır.

Çizelge 2.9'da çeşitli malzemelerin 1 kg'larının yanması sonucu neşredilen karbon monoksitin tahmini kütleleri ve hacimleri verilmiştir. Şunu da unutmamak gerekir, ki yangın esnasında mevcut şartlardaki değişiklik bu verileri değiştirir. Ayrıca, yangın mahalinde çizelgedeki malzemeler 1 kg'dan daha büyük miktarlarda bulunabileceğinden bu rakamlar hızla aşılır.

Çizelge 2.9 Çeşitli malzemelerin yanması sonucu neşredilen CO miktarları [3]

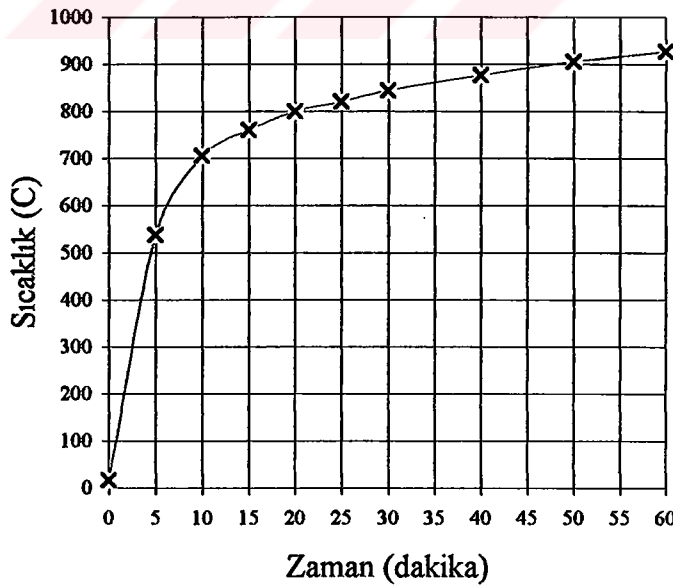
Malzeme	Karbon monoksit		
	kg	20°C'de m ³	300°C'de m ³
Selüloz (pamuk)	0.50	0.40	0.80
Yün	0.23	0.18	0.37
Naylon	0.44	0.35	0.70
Akrilik elyaf	0.30	0.24	0.47
Poliüretan köpük	0.55	0.44	0.88

2.7.4.3 Karbon sülfür

Suni ipek ve yün sanayiinde kullanılmasının yanısıra karışım maddesi olarak ve de haşerelerle mücadelede kullanılır. CS_2 renksiz veya sarımtırak renkte, çürümüş turp gibi kokan bir sıvıdır. Buharı havadan daha ağırdır. CS_2 bir sinir zehiridir ve baş ağrısı, şuur bozukluğu, baygınlık ve solunum felcinin yanı sıra ölüme de sebep olur.

2.8 Sıcaklık

Yangın başlangıcından itibaren yangın mahallinde sıcaklık çok süratli bir şekilde yükselir. Bunun için yangınlarda ilk dakikalar, hatta saniyeler çok önemlidir. Zira, yangınlarda ilk 5 dakikada ortam sıcaklığı $500^{\circ}C$ 'nin üzerine çıkmaktadır [14]. Çizelge 2.10 ve bu çizelgeye göre oluşturulan Şekil 2.7'de yangın mahalinde sıcaklığın zamanın fonksiyonu olarak değişimi verilmiştir. Buna göre, 1 saat içerisinde ortam sıcaklığı $927^{\circ}C$ 'ye yükselmektedir [14]. Ancak burada en büyük artış ilk 5 dakikaya karşılık gelmektedir. İşte, yangınlarda ilk 5 dakikanın önemi buradan kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.7 Yangın mahalinde sıcaklığın zamanla değişimi [14].

Çizelge 2.10 Yangın mahalinde sıcaklığın zamanla değişimi [14]

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
5	538
10	705
15	760
20	800
25	820
30	844
40	877
50	905
60	927

Aşırı sıcak bir ortama maruz kalmak yanıklara, vücut ya da kan sıcaklığının artmasına neden olabilir. Genellikle, vücudun ısı kapasitesi nedeniyle kısa bir süre aşırı sıcaklığa maruz kalmak, vücut sıcaklığında önemli bir artışa neden olmamakla birlikte, kan sıcaklığında sezilebilir bir artışa ve deri dokusunda ya da solunum sisteminde yanıklara neden olabilir. Derinin yanması ile derinin hemen altında bulunan ter bezleri tahrip olur. Vücutta bulunan toksik maddeler ter bezleri yoluyla dışarı atılmazsa kan zehirlenmesi meydana gelir ve hayat sona erer. Ayrıca, yüksek sıcaklık dolayısıyla

- ✓ proteinler pıhtılaşmaya başlar,
- ✓ kan basıncının artması ile hayati organlarda iç kanamalar oluşabilir,
- ✓ kalbin ritmik temposu bozulur, aşırı su kaybı, solunum sıkışması ve zorluğu meydana gelir, ki bunun sonucu yine ölümdür.

Kuru hava için 120°C'lik sıcaklık, aşırı sıcak bir ortama maruz kalan kişinin vücudunda sıcaklık artışının "hyperthermia" mı olacağı, yoksa derisinde yanıklar mı oluşacağıнын tayininde belirleyici bir değerdir [10]. Genel olarak, yaklaşık 120°C'den daha az sıcaklıktaki kuru havaya maruz kalmak, sadece hyperthermiaya yol açar. Deri yanıkları ise 120°C'den daha yüksek sıcaklıklardaki kuru havaya maruz kalındığında oluşur.

Yapılan araştırmalar sonucunda 120°C'lik sınır değer havanın nem miktarı ile ters orantılı olduğu ve bu değer doymuş hava için 80°C'ye düştüğü tespit edilmiştir [10]. Ayrıca, yaklaşık 350°C sıcaklıktaki kuru havanın solunmasının, sadece gırtlak ve nefes borusunda hasara yol açtığı bulunmuş, solunum sistemine yönelik herhangi bir hasarı önlemek amacıyla 204°C'lik sıcaklık sınırı önerilmiştir [10].

Kişinin üzerindeki elbiseler, aşırı sıcaklığa dayanıklılığını etkileyen bir diğer faktördür. Terleme, aşırı sıcak bir ortama maruz kalındığı zaman görülen etkilere karşı vücudun gösterdiği bir reaksiyondur. Elbiseler, bir yandan bu doğal soğuma prosesinin verimliliğini düşürürken diğer yandan, deriyi yanmaktan korumak için aşırı sıcak ortamda yalıtım görevi görür. Dolayısıyla, 120°C'den fazla sıcaklıklarda (ki bu sıcaklıklarda deri yanıklarının oluşumu ağır basar) elbiselerin yararlı olduğu düşünülebilir. Diğer taraftan, hyperthermia'nın ağır bastığı düşük sıcaklıklarda elbiseler zararlıdır.

Aşırı sıcak ortamın insan üzerindeki etkileri şu şekilde özetlenebilir [10]:

- ✓ Ortam sıcaklığı ve nemi yüz derisinde yanıklara neden olacak kadar yüksek olmadıkça solunum sisteminde aşırı ısı nedeniyle yanıklar oluşmaz.
- ✓ 300°C civarındaki kuru havanın teneffüs edilmesinden bir kaç dakika sonra gırtlakta yanıklar oluşabilir ve eğer tedavi edilmezse, bir saat içinde gırtlakta hayati tehlike teşkil edecek şekilde ödem oluşabilir. Maruz kalınan süreye de bağlı olarak yaklaşık 120°C'ye kadar düşük sıcaklıklarda bu tür gırtlak yanıklarının meydana gelmesi olasıdır ve bu sıcaklıklarda kuru havayı teneffüs etmek ıstırap verir. Ardından ödem ile sonuçlanan gırtlak yanıkları, yangınzedelerde görülen yaygın bulgular olup, yangın esnasında ve hemen sonrasında görülen halsizlik ve ölümün başlıca nedenidir.
- ✓ Yaklaşık 100°C'deki nemli hava, buhar ya da yüksek ısı kapasite veya gizli ısıya haiz dumanın solunmasıyla solunum sisteminin genelinde yanıklar oluşabilir.

2.8.1 Halsizlik zamanı

Yangın esnasında nemli ve kuru havaya maruz kalındığında görülen halsizlik;

$$t = \exp(C_1 - C_2 T') \quad (2.17)$$

şeklinde Purser (1988) tarafından önerilen formülden çıkan zaman sonra görülmeye başlanmaktadır [10]. Burada;

t = halsizlik zamanı, dk;

C₁ = katsayı, 5.185;

C₂ = katsayı, 0.0273;

T' = hava sıcaklığı, °C'dir.

Halsizlik zamanı ile ilgili bir başka formül;

$$t = \frac{C_1}{(T' - C_2)^3 61} \quad (2.18)$$

şeklinde Crane (1978) tarafından önerilmiştir [10]. Burada;

t = halsizlik zamanı, san;

C_1 = katsayı, 2.46×10^{10} ;

C_2 = katsayı, 0;

T' = kuru hava sıcaklığı, °C'dir.

Bu ilişki, sıcak, kuru havaya maruz bırakılan elbise giymiş, yetişkin erkekler üzerinde gözlemlenen etkiler baz alınarak elde edilmiştir. Aktüel gözlemlerle kıyaslandığında, 149°C'lik ortam için (2.18) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanan zaman, (2.17) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanan zamandan daha yakın sonuç vermiştir. Bununla birlikte, 93°C'lik düşük sıcaklıklarda (2.18) nolu eşitlikle elde edilen sonuçlar, gözlemlerden elde edilen sonuçlara uzaktır. (2.18) nolu eşitliğin yüksek sıcaklıklarda gözlemlere yakın sonuç vermesi, bu eşitliğin "kuru hava"ya dayandırılması nedeniyledir. Deri yanıklarının baskın olarak görüldüğü yüksek sıcaklıklarda nemlilik, düşük sıcaklıklardaki kadar önemli bir etken değildir. Nemlilik nedeniyle (2.17) nolu eşitlik, düşük sıcaklıklarda gözlemlere daha yakın sonuç vermektedir.

Eğer mahal sıcaklığı zamanla değişmiyorsa (2.17) ya da (2.18) nolu eşitlik kullanılabilir. Fakat, bazı yangınlarda duman tabakasının sıcaklığı zamanla artabilir. Bu şekilde artan sıcaklığa sahip bir ortamda dayanma sınırlarını doğru bir şekilde tespit etmek için *kısmi halsizlik dozu* olarak tanımlanabilen bir kavram uygulanmaktadır. Buna göre, küçük bir zaman adımında duman tabakası sıcaklığı sabittir. Bu yöntemde, maruz kalınan süreyi teşkil eden zaman periyotlarından her birinin F_i kısmi halsizlik dozları toplanarak F_T toplam doz tahmin edilir. Herhangi bir zaman adımındaki halsizlik dozu;

$$F_i = \frac{t}{t_i} \quad (2.19)$$

olarak verilir [10]. Burada;

F_i = i zaman adımında alınan ısı etkinin kısmi dozu;

t_i = zaman adımı, dk;

t = halsizlik zamanı ([2.17] ya da [2.18] nolu eşitliğe bakınız), dk'dır.

Eğer toplam doz 1 (bir)'den az ise kişide halsizlik görülmez. Bu durum,

$$\sum_{i=1}^n F_i \leq 1 \quad (2.20)$$

şeklinde ifade edilir. (2.19) nolu eşitlikteki F_i 'yi (2.20) nolu bağıntıda yerine koyarsak

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{t}{t_i} \right) \leq 1 \quad (2.21)$$

elde edilir. (2.17) nolu eşitlikte verilen t_i ifadesini (2.21) nolu bağıntıda yerine koyarsak

$$\sum_{i=1}^n \left[\frac{t}{\exp(C_1 - C_2 T_i)} \right] \leq 1 \quad (2.22)$$

bağıntısı bulunur. Diğer taraftan, (2.18) nolu eşitlikte verilen t_i ifadesini (2.21) nolu bağıntıda yerine koyarsak

$$\sum_{i=1}^n \left[\frac{t (T_i - C_2)^3 61}{C_1} \right] \leq 1 \quad (2.23)$$

şeklinde bir sonuç bağıntı elde edilir. Gerek (2.22) ve gerekse de (2.23) nolu bağıntılardaki eşitsizlik gerçekleşirse kişide halsizlik görülmez.

2.8.2 Kısmi halsizlik dozu hesap örneği

İlk dakika esnasında ortalama duman katmanı sıcaklığının 52°C olduğu bir duman katmanı içinde bulunan bir kişide halsizliğin görülüp görülmeyeceğini belirleyiniz. Sonraki dört dakikanın her birinde duman katmanı sıcaklığı 14°C artmaktadır.

1. Adım: Duman katmanı sıcaklığını zamanın fonksiyonu olarak veren bir çizelge yapılır.
2. Adım: 120°C 'den az bütün sıcaklıklarda geçerli olmak üzere, seçilen duman sıcaklıklarındaki t_i değerini belirlemek için (2.17) nolu eşitlik kullanılır.
3. Adım: (2.19) nolu eşitlik kullanılarak bir dakikalık her bir zaman adımı için F_i değeri belirlenir.
4. Adım: Çizelge 2.11'de gösterildiği gibi, F_T değerini belirlemek için her bir zaman adımının sonundaki F_i değerleri toplanır.

F_T değeri 1.0'ın çok altında olduğundan kişide halsizlik görülmez.

Çizelge 2.11 Kısmi halsizlik dozu hesaplamaları

Zaman (dk)	Sıcaklık (°C)	t_i	F_i	F_T
1	52	43.18	0.023	0.023
2	66	29.46	0.034	0.057
3	80	20.1	0.05	0.107
4	94	13.72	0.073	0.18
5	108	9.36	0.1	0.28

3. DUMAN KONTROLUNUN OLMADIĞI BİNALARDA VANTİLYASYON

3.1 Giriş

Vantilasyon; sıcak havanın, dumanın ve gazların binanın içinden sistematik bir şekilde uzaklaştırılması ve soğuk hava ile yer değiştirilmesidir. Soğuk hava, kurtarma ve diğer yangın söndürme çalışmaları için itfaiyecilerin binaya girişini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, vantilasyonun önemi gözardı edilemez.

Modern teknolojiye vantilasyon büyük bir öneme sahiptir. Plastiklerin ve diğer sentetik malzemelerin her geçen gün artan oranda kullanımının bir sonucu olarak bütün meskenlerdeki yakıt yükü artmakta, dolayısıyla yangın esnasında oluşan yanma ürünleri eskiye kıyasla çok daha tehlikeli ve büyük miktarlardadır. Çabuk ve uygun bir vantilasyon; can kurtarma, yangının kontrol altında tutulması ve olası hasarın azaltılması açısından her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

Çok miktarda izolasyonun kullanıldığı enerjinin korunumuna yönelik modern binalar, ilave vantilasyon problemlerine yol açabilmektedir. İyi izole edilmiş bir bina, ısıyı iyi izole edilmemiş, eski bir binadan çok daha iyi muhafaza etmektedir. Dolayısıyla, yangın sonucu ortaya çıkan ısı çok daha iyi tutulmakta ve parlama (flashover), iyi izole edilmemiş bir binaya kıyasla çok daha hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Yangın tehlikesi göz önüne alınarak inşa edilen çatı konstrüksiyonunda çatı kaplamaları üzerine uygulanan izolasyon, ısıyı etkili bir şekilde tutabilmekte, fakat diğer taraftan, çatının erkenden çökmesine neden olabilmektedir. Bu yüzden, vantilasyona olan gereksinim artmıştır ve mümkün olan en kısa bir sürede uygulanmalıdır.

Vantilasyonun gerekliliğine karar verildiği zaman, hem yangını kontrol etmede gerekli olan önlemler göz önünde bulundurulmalı hem de vantilasyonu gerçekleştiren itfaiyecilerin güvenliği garantilenmelidir. Vantilasyon öncesinde, esnasında ve sonrasında yangının binanın geneline yayılma olasılığı ve cephe yangınları tehlikesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bölümde duman kontrolünün olmadığı binalarda yangın anında uygulanan ventilasyon çalışmalarının esasları incelenmektedir. Doğru ventilasyonun sağlayacağı avantajlar belirtilmekte, ventilasyonun yapılıp yapılmayacağını, eğer yapılacaksa, nereden yapılacağını belirleyen kriterler verilmektedir. Aynı zamanda dikey (çatıdan veya tepeden ventilasyon), yatay (kapı veya pencere gibi duvar açıklıklarının kullanılması) ve cebri ventilasyon uygulamaları irdelenmektedir.

3.2 Ventilasyonun Avantajları

Yangının söndürülmesi esnasındaki ventilasyon, yangın söndürmede amaçlanan hedeflere ulaşmaya yardım eder. Doğru ventilasyonun getirdiği belli avantajlar vardır. Bu bölümde, yangın söndürme çalışmalarının çeşitli kısımlarına yönelik doğru ventilasyonun sağladığı bir takım avantajlar verilmektedir.

3.2.1 Kurtarma çalışmaları

Doğru ventilasyon, kapana kısılmış veya bilinci yerinde olmayan bina sakinlerini tehlikeye atan duman ve gazları uzaklaştırarak kurtarma çalışmalarını kolaylaştırıp hızlandırır. Isının, dumanın ve gazların soğuk, taze hava ile yer değiştirmesi, kurbanların daha iyi nefes almalarına yardımcı olur. Doğru ventilasyon, aynı zamanda itfaiyeciler için koşulları daha güvenli hale getirir ve bilinci yerinde olmayan kurbanlarının yerlerinin daha kolay belirlenebilmesi için görüş mesafesini artırır.

3.2.2 Yangına müdahale ve yangın söndürme

Binanın üst kısımlarında ventilasyon deliği açıldığı zaman binanın bütünündeki hava akımlarını deliğe doğru çeken baca etkisi oluşur. Bu deliğin doğrudan yangının üzerinde açılması yangının diğer bölgelere yayılmadan belirli bir bölgede tutulmasına yardımcı olurken, başka bir yerde açılması yangın yayılımına katkıda bulunur. Doğru yerde açılmış bir deliğin neden olduğu kanal etkisi dumanın, gazların ve ısının binadan uzaklaştırılmasına yardımcı olur, ki böylece itfaiyecilerin çok daha hızlı bir şekilde yangın yerini belirleyip söndürme çalışmalarına devam etmeleri mümkün olur. Aynı zamanda, su buhara dönüştüğü

zaman itfaiyecilerin buhar yangınlarına maruz kalma olasılığı düşer. Doğru ventilasyon, sınırlı görüş mesafesi ve aşırı sıcaklık gibi itfaiyeciler yangın söndürme, eşya ve insan kurtarma ve kontrol çalışmalarını güçleştiren engelleri azaltır.

3.2.3 Eşyaların korunması

Yangının hızlı bir şekilde söndürülmesi su, ısı ve dumanın yol açtığı hasarı azaltır. Doğru ventilasyon bu hasarın azaltılmasına yardımcı olur. Ventilasyonun etkili yöntemlerinden biri, suyun sis veya sprey formunda sıcak mahale uygulanmasıdır. Suyun buhara dönüşerek hızla genişmesi ile gazlar ve duman dağıtılır, absorbe edilir ya da atılır. Bu yöntem gazların, dumanın ve ısının uzaklaştırılmasına ilaveten yangının söndürülmesi için gereken su miktarını da azaltır. Duman, yanan binadan ya ısı akımlarının kontrol edilmesiyle, ya su buhara dönüştüğünde genişmesi neticesinde dağıtılarak ya da mekanik prosesler yardımıyla atılabilir. Mekanik proseslerde vantilatör ve aspiratörler kullanılmaktadır. Hangi tip ventilasyon uygulanırsa uygulansın ventilasyon, dumanın yol açtığı hasarı azaltır, çünkü ortamdan yanıcı madde buharları ve karbon partikülleri uzaklaştırılmaktadır. Duman, gazlar ve ısı yanan binadan uzaklaştırıldığı zaman yangın hızlı bir şekilde belli bir mahalde kontrol altında tutulabilir. Bu, yangın kontrolü gerçekleştirilirken bile, etkili bir biçimde mahaldeki eşyaların korunmasına yönelik çalışmaların başlatılmasını mümkün kılar.

3.2.4 Yangın yayılımı kontrolü

Konveksiyon; ısı, duman ve yangın gazlarının çatı veya tavana ulaşınca kadar mahaldeki en üst noktaya doğru hareket etmesine neden olur. Isı, duman ve yangın gazları çatı/tavana ulaştığı ve birikmeye başladığı zaman aşağı doğru yönelir, yanlara doğru yayılarak binanın diğer kısımlarını da kaplar. Bu işlem genellikle *mantarlaşma* olarak adlandırılır.

Yangın esnasında binanın doğru ventilasyonu mantarlaşma ihtimalini düşürür. Bu sırasıyla, yükselen sıcak gazlar için en azından kısa bir süre için bir kaçış sağlayarak mahaldeki yangın yayılım hızını düşürür. Bununla birlikte, doğru ventilasyonla bile, ventilasyondan hemen sonra yangın söndürülmezse içeri giren ilave taze hava yangını besler ve sonunda büyümesine yol açar. Bu yüzden, ventilasyon müdahale ekibi içeri girmeye ve yangınla

mücadeleye hazır olduğu zaman yapılmalıdır.

3.2.5 Parlama (flashover) ihtimalinin düşürülmesi

Parlama ya da flashover, aşırı miktarda ısı nedeniyle meydana gelen bir durumdur. Yangın devam ettikçe odadaki yanıcı maddeler tutuşma sıcaklıklarına kadar ısınır. Tutuşma sıcaklıklarına ulaşılmaz bütün oda alevlerle kaplanır, ki bu durum odadaki herkes için korkunç sonuçlar doğurur. Ventilasyon, mahaldeki ısıyı toplu tutuşma için gerekli seviyelere ulaşmadan önce ortamdan uzaklaştırdığı için bu durumun oluşma ihtimalini azaltır. Bu konu ile ilgili daha detaylı bilgi Bölüm 1.5.2.1’de verilmiştir.

3.2.6 Alev kapanı (backdraft) ihtimalinin düşürülmesi

Bir mahalde yeterli miktarda ısı tutulduğu zaman yanıcı malzemelerin sıcaklıkları kendi tutuşma sıcaklıklarına yükselir. Bununla birlikte, yanmayı destekleyecek yeterli miktarda oksijen olmadığı sürece bu malzemeler tutuşmazlar. Bu durumda yanlış bir kararla ortamın havalandırılması çok tehlikeli bir hal meydana gelir. Çünkü havanın (ki gerekli oksijeni sağlar) içeri alınışı, aşırı derecede ısınmış olan mahali bir anda cehenneme çevirmek için gerekli olan tek şeydir. Bu ani tutuşma alev kapanı ya da backdraft olarak adlandırılır. Bu kritik durumun oluşmasını önlemek için aşırı ısınmış yangın gazlarının ve dumanın tahliyesini sağlayacak üstten ventilasyon uygulanmalıdır.

Yangın söndürme ekipleri bu ani patlama ihtimaline karşı tedbirli olmalı ve aşırı miktarda ısının biriktiği mahallerde çok dikkatli hareket etmelidirler. Daha önceden Bölüm 1.5.3.1’de verilen olası alev kapanı belirtilerine karşı çok ihtiyatlı olunmalıdır. Alev kapanının herhangi bir belirtisi mevcut ise dikey ventilasyon, durumun ciddiyetini azaltana kadar pencere ve kapılardan uzak durulmalıdır.

3.3 Ventilasyonun Yapılması Kararını Etkileyen Kriterler

Öncelikle, ventilasyon gereksinimine has bir seri karar alınmalıdır. Bu kararlar, yangın koşullarının tabiatına göre aşağıdaki sıra çerçevesinde olmalıdır:

- ✓ *O an vantilyasyona ihtiyaç var mı?* İhtiyaç; binadaki ısı, duman ve gaz koşullarına, yapısal koşullara ve hayati tehlikeye göre olmalıdır.
- ✓ *Vantilyasyon nerede gerekli?* Bu, binanın yapısal özelliklerini, içindekileri, yönünü, rüzgar yönünü, yangının Őiddetini, yangının konumunu, tepe veya dikey açıklıkları, çapraz veya yatay açıklıkları kapsamaktadır.
- ✓ *Ne tip bir vantilyasyon uygulanmalıdır?* Yatay (doğal veya mekanik)? Dikey (doğal veya mekanik)?

3.3.1 Can güvenliğine yönelik tehlikeler

İnsan hayatına yönelik tehlikelerle uğraşmak son derece büyük bir öneme haizdir. İlk kriter, itfaiyecilerin ve bina sakinlerinin güvenliğidir. Eğer bina sakinleri uyumuyorsa hayati tehlike genellikle düşüktür. Bununla birlikte, yangın başladığı zaman eğer bina sakinleri uyuyorsa ve hala binanın iindeyseler iki durumdan biri beklenebilir. Birincisi, bina sakinleri duman ve gazlardan etkilenmiş olabilirler. İkincisi, bina içinde kaybolmuş ve muhtemelen panik içinde olabilirler. Her iki durumda da, kurtarma çalışmaları ile birlikte doğru vantilyasyona ihtiyaç duyulur. Yangın koşullarına bağlı olarak, kurtarma çalışmalarının başlamasından önce vantilyasyonun yapılmasına gerek duyulabilir ya da eğer koşullar izin verirse, öncelikle yayılan alevlere müdahalede bulunmak gerekebilir. Bazı durumlarda her ikisinin de eş zamanlı olarak uygulanması gerekir.

Bina sakinlerini tehlikeye atan risklere ilaveten, itfaiyecilere ve kurtarma ekibine yönelik potansiyel tehlikeler de mevcuttur. Yanan binanın tipi, doğal açıklıkların yeterli olup olmadığı, çatıyı, duvarları veya döşemeyi kesmenin gerekip gerekmediği gibi hususlar, karar verme anında göz önünde bulundurulması gereken birçok problemleri ortaya çıkarır.

Duman ve gazların bina içinde birikmesinden beklenebilecek tehlikeler şunlardır:

- ✓ yoğun dumanın neden olduğu karartma,
- ✓ zehirli gazların varlığı,
- ✓ oksijen yetersizliği,
- ✓ yanıcı gazların varlığı.

Yangın söndürme ekibinin karşılaştığı bir diğer sorun ise binanın içindeki malzemeler ve bunların yanabilirliğidir. Yanıcı malzemeler tutuşma sıcaklıklarına kadar ısıtıldıkları halde oksijen yetersizliğinden dolayı yanmayabilirler. Tehlike, ön ısıtılmış bu yanıcı malzemelerin taze hava ile temas ettiklerinde alevli yanma safhasına geçmelerinde saklıdır.

3.3.2 Görünür duman koşulları

Yangın mahalline varıldığında yangın söndürme ekibi vantilasyonla ilgili görünür duman koşullarına dayanan bazı taktik kararlar verebilir. Duman, yanma sonucunda ortaya çıkar ve yanan malzemenin cinsine göre büyük oranda değişir. Dumanın yoğunluğu ve rengi, asılı partiküllerin miktarıyla doğru orantılıdır. Duman koşulları yanmanın gelişimine göre değişir. Alevli yanma safhasındaki bir yangına, korlaşma safhasındaki bir yangından daha farklı muamele edilmelidir. Yeni başlayan ve odun, kumaş ve diğer sıradan mobilyaların yandığı yangın, genellikle büyük, yoğunluğu olmayan, gri-beyaz veya mavi-beyaz renkte duman yayar. Yanma ilerleyip yoğunluk arttıkça duman, büyük miktarlardaki karbon partiküllerinin varlığı nedeniyle daha koyu olur.

Kara duman genellikle lastik, katran ya da diğer yanıcı sıvıların yanması sonucu ortaya çıkar. Kahverengi duman, azot oksit buharlarını işaret ederken gri-sarı duman, yaklaşan alev kapanının tehlike sinyalidir. Dumanın rengi neyin yandığını belirlemede bir kriter olsa da, her zaman güvenilir değildir. Çünkü duman çıkararak yanan malzemeler ancak kimyasal analizle belirlenebilir.

3.3.3 Yanan bina

Yanan bina ile ilgili bilgiler vantilasyonla ilgili kararların verilmesinde büyük bir değere sahiptir. Binanın tipi ve tasarımı, yatay mı yoksa dikey mi vantilasyon uygulanacağını belirlemede göz önünde bulundurulacak ilk faktörlerdir. Karar vermede etkili olan diğer faktörler şunlardır:

- ✓ duvar açıklıklarının sayısı ve ebadı,
- ✓ katların, merdivenlerin, şaftların, yemek asansörlerinin, havalandırma kanallarının ve çatı açıklıklarının sayısı,

✓ bina dışındaki yangın kaçışlarının kullanıma hazır olup olmayışları ve yönleri.

Binanın komşu binalara yakınlığı da vantilasyonun yapılmasına yönelik kararda bir diğer etkindir. Bina sakinlerine yönelik ısı ve dumanın neden olduğu tehlike yüksek binalarda göz önünde bulundurulması gereken ana kriteri teşkil etmektedir. Yüksek binalar çoğunlukla hastane, hotel, büro ve apartman daireleri olarak kullanılmaktadır. Her durumda, çok miktarda insan tehlike ile karşı karşıya kalabilir.

Yangın ve duman; tesisat şaftları, merdivenler, asansör boşlukları, klima sistemleri ve diğer dikey açıklıklar içinden hızlı bir şekilde yayılabilir. Bu açıklıklar yukarı doğru bir çekim yaratarak baca etkisine iştirak edip tahliye ve vantilasyon çalışmalarını zorlaştırır. Havalandırılmayan çok katlı binalarda en üst katın altındaki katlarda yangın gazları ve duman katmanlarının oluşması mümkündür. Duman ve yangın gazlarının sıcaklıkları çevre havasının sıcaklığına düşünceye kadar duman ve yangın gazları bina içinde yayılır. Sıcaklıkta kararlılık meydana geldiğinde duman ve yangın gazları, bina içinde katmanlar ve bulutlar oluşturur.

Yüksek binalarda tepeden vantilasyon binanın proje safhasında yapılacak planlamada göz önünde bulundurulmalıdır. Bir çok binada, sadece bir tane merdiven çatıya açılır. Bu dikey baca; dumanın, ısının ve yangın gazlarının çeşitli katlardan dışarı atımında kullanılmalıdır. Yangın katlarındaki girişler açılmadan ve merdiven şaftı havalandırılmadan önce çatıya açılan kapı kapanmayacak şekilde açık bırakılmalı ya da menteşelerinden sökülmelidir. Şaftın tepesindeki kapının sökülmesi onun bir daha kapanmamasını ve vantilasyon taktikleri başlatıldıktan sonra şaftın aşırı ısınmış gazlarla dolmasını mümkün kılar. Çoğu asansör boşlukları çatıya açılır ve bu yüzden, vantilasyon amaçlı kullanılabilirler.

Bodrum katı yangınları, yangın söndürme ekipleri açısından en zor yangınlardan biridir. Bodrum katına girmek zordur, çünkü itfaiyeciler yangının orjinine ulaşmak için duman ve ısının en şiddetli koşulları içinde çömelerek ilerlemek zorundadır. Bodrum katına bina içindeki veya dışındaki merdivenlerden, dış pencerelerden ya da asansör boşluklarından girilebilir. Bodrum katına açılan dış girişlerin çoğu dış hava koşullarına ve hırsızlara karşı korunma amacıyla demir ızgaralarla, çelik sürgülerle, ahşap kapılarla ya da bunların bir

kombinasyonu ile kapatılmış olabilir. Bütün bu özellikler doğal vantilasyona yönelik girişimleri engeller.

Çoğu binaların, özellikle işyerlerinin bulunduğu bölgedekilerin duvarları penceresizdir. Pencereless yanandan kaçışta en çok arzu edilen yol olup vantilasyon açısından da çok büyük bir öneme sahiptirler. Penceresiz bina tasarımları yangınla mücadelede ve vantilasyon operasyonlarında ters etki yaratır. Penceresiz bir binanın vantilasyonu uzun bir süre gecikebilir, ki bu süre zarfında yangının ilerlemesi ve alev kapanı koşullarının oluşması mümkündür. Penceresiz binalarda dumanın atılması için genellikle mekanik vantilasyon gereklidir. Bu tipteki binaların çoğu havalandırma kanalları aracılığı ile otomatik olarak soğutulur ve ısıtılır. Mekanik vantilasyon cihazı bazen etkili bir şekilde dumanın bulunduğu alanı temizleyebilir. Diğer taraftan, havalandırma kanallarında duman ya da yangın damperlerinin bulunmaması durumunda yangın ve duman binanın diğer bölümlerine de taşınabilir.

3.3.4 Yangın mahali ve şiddeti

İtfaiyeciler gelinceye kadar yangın binanın genelinde bir çok yere yayılmış olabilir. Bu yüzden, ehemmiyet yangın mahaline olduğu kadar yangının şiddetine de verilmelidir. Yangın mahali tam olarak belirlenmeden önce vantilasyonun başlatılması, yangını binanın yangından etkilenmesi beklenmeyen kısımlarına da yayılmasına neden olabilir. Yangının şiddeti ve büyüklüğü genellikle yanıcı madde tipine, binanın yanma süresine, binaya yerleştirilen yangından korunmaya yönelik cihazlara ve de yangının çıktığı alanın büyüklüğüne bağlıdır. Yangının içinde bulunduğu safha, vantilasyon kararlarını vermede göz önünde bulundurululan başlıca faktördür. Dikey yayılımın meydana geldiği bazı yerler aşağıda verilmiştir:

- ✓ direkt alev temasının ya da hava akımlarının olduğu merdiven boşluğu, asansör ve şaftlarda,
- ✓ alevin dış açıklıklardan sıçrayıp üst katlara girdiği pencere ve dış duvarlarda,
- ✓ bir kattan diğerine uzanan giriş, boru ve diğer nesnelere yardımıyla ısının konduksiyonla taşındığı tavan ve katlarda,
- ✓ kıvılcım ve yanıcı malzemelerin alt katlara düştüğü döşeme ve tavandaki açıklıklarda,

- ✓ döşeme ve çatıların çöküşünde.

3.3.5 Vantilasyonun yapılacağı yerin seçimi

Çatıda açılacak havalandırma deliğinin doğru yerinin seçiminde yaklaşık hesap uygulanmaz. Vantilasyonun nereden yapılacağı hususunda birçok faktör söz konusudur. Bu faktörlerden bazıları:

- ✓ çatıdaki pencerelerin ya da kapakların kullanıma hazır olup olmayışı,
- ✓ yangının yeri ve çekilmesi istenilen yön,
- ✓ bina tipi,
- ✓ rüzgar yönü,
- ✓ yangının şiddeti, binanın ve içindekilerin durumu,
- ✓ çatının yapısal bütünlüğünü azaltan belirtiler,
- ✓ vantilasyonun yangın üzerindeki etkisi,
- ✓ duman, ısı ve zehirli gazların dışarı atılmasının bina cephelerine etkisi,
- ✓ müdahale ekibinin müdahaleye hazır olup olmayışı.

Vantilasyon başladığında yangının yoğunluğu aniden artabileceğinden söz konusu binada vantilasyondan önce yeterli personel ve yangın kontrol teçhizatı hazır bulundurulmalıdır. Ayrıca, yangının sıçrayabileceği diğer binalar için gerekli tedbirler alınmalıdır. Sıcak gazların ve dumanın dışarı atımı için binada havalandırmaya başlanır başlanmaz, mümkünse, yangın merkezine varmak ve yangını söndürmek için gerekli çabalar hemen sarfedilmelidir. Eğer rüzgar yönü de uygunsa mümkün olduğunca yangına yakın bir yerden binaya girilmelidir. Bu yerde şiddetli bir yanma ya da patlamaya karşı müdahale ekibinin önceden hazır bulunmalıdır.

3.4 Dikey Vantilasyon

Dikey vantilasyonda sıcak gazların ve dumanın atmosfere atılmalarını sağlamak için çatıda tahliye delikleri açılır ya da bu amaç için çatıdaki mevcut açıklıklar kullanılır. Kapaklar, pencereler ya da merdiven kapıları gibi değişik açıklıklar çatılarda bulunabilir. Kapaklar normalde kare şeklinde olup bir insanın içinden geçip çatıya çıkmasına yetecek kadar

geniştir. Bu kapaklar metal ya da tahtadan yapılırlar ve genellikle vantilasyonu gerçekleştirmek için yeterli büyüklükte değildirler. Diğer taraftan, çatı pencereleri kırılarak, merdiven kapıları açılarak ya da menteşelerinden sökülerek havalandırma işleminde kullanılabilir. Genellikle, mevcut açıklıklardan birini açmak, çatıda yeni bir delik açmaktan çok daha hızlıdır. Bu yüzden, mevcut açıklıklar mümkün olan yerlerde dikey vantilasyon için kullanılmalıdır. Bununla birlikte, bu açıklıklar nadiren vantilasyon için uygun yerde ve genişliktedirler ve çoğunlukla, vantilasyonu tamamlayıcı (yardımcı) işlevleri vardır.

Vantilasyon yapılmadan önce;

- ✓ yanan binanın tipini dikkate alınmalı,
- ✓ yangının yeri ve şiddeti göz önünde bulundurmalı,
- ✓ gerekli personel ve aletler çatıya taşınmalı,
- ✓ güvenlik önlemlerine dikkat edilmeli,
- ✓ vantilasyonun yapılacağı yer seçilmelidir.

Bundan sonra, çatının balta ya da elektrikli kesme aletleri (dönel testereler, karbit uçlu zincir testereler vs.) ile yarılarak oluşturulan açıklıklar yardımıyla binadan ısı ve dumanın dışarı atılması sağlanır. Çatıyı keserken daha sonra yapılacak tamirleri kolaylaştırmak açısından delik, dikdörtgen ya da kare şeklinde açılmalıdır. Bunun yanısıra, açılacak deliğin büyüklüğü en azından 1.2 x 1.2 m olmalıdır, çünkü bu ebatta bir tane geniş delik, bir kaç tane küçük delikten çok daha iyidir [19]. Çatı konstrüksiyonunda kullanılan malzemenin cinsi delik açmak için ne tür bir cihazın gerektiğini belirlemeye yardım eder. Metal ya da teneke kaplı çatılar elektrikli testereler ile dilimlenerek açılabilirler gibi teneke makasları ya da konserve açacağına benzer büyük kesme aletleriyle geriye doğru sıyrıltılarak da açılabilirler. Ayrıca, bazı çatı konstrüksiyonlarında dökme beton yerine prefabrike beton kullanılır. Fakat ister prefabrike ister betonarme olsun bu tür çatıları kırmak oldukça zordur ve mümkün olan yerlerde bunlarda delik açmaktan kaçınılmalıdır. Çok fazla beton çatıların kullanıldığı binalarda doğal çatı açıklıkları ve yatay açıklıklar kullanılmalıdır.

Dikey vantilasyon gerçekleştirildiği zaman sıcak gazların neden olduğu doğal konveksiyon, yukarı doğru akımlar yaratır, ki bu akımlar yangın ve ısıyı üst katlardaki açıklıklara doğru çeker. Isı ve dumanın binanın bütününde dikey olarak doğal hareketi baca etkisi olarak

adlandırılır. Yangın söndürme ekipleri yangına müdahale etmek için alt katlardaki artan görüş mesafesi ve az kirlenmiş atmosferden yararlanırlar. Eğer baca etkisi kesilirse ısı, duman ve buhar geri döner ve söndürme çalışmalarını engeller. Baca etkisinin büyüklüğü iç hava ve dış hava arasındaki sıcaklık ve yoğunluk farklarıncaya belirlenir. Ventilasyonun etkinliğini bozan bazı etkenler şunlardır:

- ✓ cebri ventilasyonun yanlış kullanımı,
- ✓ aşırı derecede cam kırılması,
- ✓ havalandırma deliğine yönlendirilen hortumdan püskürtülen sular,
- ✓ patlamalar olup bu problemler, genellikle yangın mahallinde birbirleriyle iyi koordineli bir şekilde çalışan iyi eğitilmiş itfaiyeciler yardımıyla halledilir.

Dikey ventilasyonun bir başka şekli olan *hendek ventilasyonu* (ya da *şerit ventilasyonu*) daha önceden tarif edilen standart dikey ventilasyondan çok az farklıdır. Standart dikey ventilasyon temelde sıcak duman ve gazları yapıdan uzaklaştırmada kullanılır ve en iyi şekilde doğrudan doğruya yangının üzerinde uygulanır. Hendek ventilasyonu ise yangın yayılımını uzun, dar bir yapıda durdurmak için yapılır. Hendek ventilasyonu en az 1.3 m genişliğinde ve bir dış duvardan bunun tam karşısındaki dış duvara kadar uzanan geniş bir yarık açmak suretiyle uygulanır [19]. Bu yarık, yangın yayılımını durdurmak amacıyla ilerleyen yangının genellikle tam önünde açılır. Bu metod yaygın olarak okullar, alışveriş merkezleri ve moteller gibi alçak, geniş bir alana yayılan meskenlerde uygulanır.

3.5 Yatay Ventilasyon

Yatay ventilasyon; ısı, duman ve gazların pencere ve kapılar gibi duvarlardaki açıklıklar içinden dışarı atılmasıdır. Yatay ventilasyonun uygulanabildiği yapılar şunlardır:

- ✓ yangının tavan arasında çıkmadığı mesken tipi binalar,
- ✓ yangının en üst katın altındaki katlarda çıktığı çok katlı yapılar ya da tavan arasında yangın çıkmamış olması şartıyla en üst katlar,
- ✓ yanma nedeniyle yapısal mukavemetin düştüğü, çatının altında geniş, açık alanlara sahip binalar.

Dikey ventilasyonun çoğu safhası yatay ventilasyonda da uygulanır. Bununla birlikte, oda,

kat, tavan arası ve bodrum katlarının havalandırılmasında farklı bir prosedür takip edilir. Takip edilecek prosedür yangının yeri ve şiddetine göre belirlenir. Yatay yayılımın meydana geldiği bazı yerler aşağıda verilmiştir:

- ✓ direkt alev temasının ya da hava akımlarının olduğu duvar açıklıklarında,
- ✓ hava akımlarının, radyasyonun ve alev temasının olduğu koridorlar, salonlar veya geçitlerde,
- ✓ radyasyon ısısının ve hava akımlarının olduğu açık alanlarda,
- ✓ yangın gazlarının, yanıcı buharların ve tozların birden parlayarak yanması ya da patlaması ile bütün yönlerde,
- ✓ direkt alev temasının olduğu duvarlar ve iç bölmelerde,
- ✓ duvarlar arasında uzanan kiriş, boru ve diğer nesnelere yardımıyla ısının kondüksiyonla taşındığı duvarlarda.

Dış hava koşulları doğru vantilasyon prosedürünü belirlemede her zaman bir kriter olmuştur. Rüzgar, vantilasyonda önemli bir rol oynar. Yönü ise rüzgarüstü ya da rüzgaraltı olarak adlandırılır. Rüzgarın binaya çarptığı yan rüzgarüstü, tam karşısı ise rüzgaraltı yönüdür. Belli koşullar altında, rüzgar esmediği zaman dumanı uzaklaştıracak kuvvet mevcut olmadığından doğal yatay vantilasyon az etkindir. Diğer durumlarda, cepheye doğru kuvvetli bir şekilde esen ve yangına oksijen besleyen rüzgar tehlikesi nedeniyle doğal yatay vantilasyon gerçekleştirilemez.

Yatay vantilasyon, normalde ısı ve dumanı doğrudan yangının üzerinde bırakmadığından bazı yönlendirmelere ihtiyaç vardır. Bu yüzden, iç cepheler olduğu kadar dış cepheler de iyi bilinmelidir. Duman ve sıcak gazların dışarı atılmasında izlenecek rotalar bina sakinlerinin acil tahliye işlemi sırasında kullanacakları aynı koridor ve geçitler olabilir. Bu yüzden, öncelikle bina sakinleri ve kurtarma prosedürlerini dikkate almadan yapılacak yatay vantilasyon, bina sakinlerinin kaçışlarını engelleyebilir. Dikey vantilasyonda olduğu gibi yatay vantilasyonda da duman ve ısının tahliyesi, yangınla mücadele ve hasarın azaltılmasına yardım eder.

Yatay vantilasyon, dikey vantilasyonda olduğu gibi, binanın en yüksek noktasından gerçekleştirilmediğinden sıcak gazlar tahliye edilirken binanın üst kısımlarının da tutuşma

tehlikesi her zaman mevcuttur. İşlem sırasında komşu yapıların saçakları tutuşabilir ya da duman, tahliye noktalarının üzerindeki açık pencerelerden tekrar bina içine çekilebilir. Özellikle kurtarma çalışmalarına yardım etmeye yönelik olmadıkça müdahale ekibi müdahale giriş noktasında, yangının yayılmasının beklendiği binanın orta noktalarında ve de binanın diğer cephelerinde konumlanana kadar bina havalandırılmamalıdır.

Yatay vantilasyonda, ilk olarak binanın rüzgaraltı tarafındaki kapıyı açmadan rüzgarüstü tarafındaki kapı veya pencereyi açmak binayı basınçlandırabilir ve normal ısı katmanlaşma prosesini bozabilir. Mevcut hava akımları kapı, pencere vs. hava giriş açıklıklarında bulunan itfaiyeci ya da başka bir engelle kesilirse bina içindeki duman ve ısı miktarı artar. Bu yüzden, gerek hava giriş ve gerek duman çıkış açıklıklarını tıkararak doğal yatay hava akımını bozacak her türlü engel ortamdaki uzaklaştırılmalıdır.

3.6 Cebri Vantilasyon

Bu noktaya kadar vantilasyon, doğal hava akımları ya da yangından kaynaklanan akımlar açısından ele alındı. Cebri vantilasyonda ise işlem ya mekanik (vantilatör ya da aspiratörler ile) ya da hidrolik (suyun sis bulutu halinde püskürtülmesi ile) olarak gerçekleştirilir. Diğer metodların yeterli olmadığı durumlarda cebri vantilasyonun duman ve ısının dışarı atılmasındaki etkinliği cebri vantilasyonun önem ve değerini göstermektedir.

Cebri vantilasyonda kullanılan ekipmanları belirli bir tipte sınıflandırmak güçtür. Uygulanan prensip büyük miktarlarda hava ve dumanı nakletmeye yöneliktir. Bu portatif vantilatör ve aspiratörler elektrik motorları ya da benzin motorları ile çalıştırılır. Bu cihazlar yanıcı bir atmosferde kullanıldığı zaman motorları daima patlamalara dayanıklı olmalı ve bağlantılarda kuvvetli akım kabloları kullanılmalıdır. Taşınmaları esnasında kapatılmalı, özel olarak yapılmış kollardan tutularak taşınmalı, çalıştırılmadan önce hiç kimse pervanelere yakın olmamalıdır. Ayrıca, elbise ya da perde gibi kumaşların fan tarafından çekilebilecek vaziyette olmadıklarından emin olunmalıdır. Bu cihazlar tarafından toplanıp üflenebilecek partiküller nedeniyle deşarj hava akımından sakınılmalıdır.

Yangın söndürüldükten sonra bile mahalde bulunan kirlenmiş hava tamamen ve hızlı bir

şekilde temizlenmelidir. Cebri ventilasyon kirlenmiş havayı temizlemenin tek yolu olmasa da daima normal ventilasyona iyi bir katkı sağlar. Mekanik veya cebri ventilasyon uygulamanın nedenlerinden bazıları şunlardır:

- ✓ doğal ventilasyonu tamamlar;
- ✓ duman vs. ortamda bulunan kirleticilerin dışarı atılmasını hızlandırır, ki böylece daha güvenli koşullar altında kurtarma çalışmaları daha hızlı bir şekilde yapılabilir;
- ✓ dumanın yol açtığı hasarı azaltır.

Bununla birlikte, mekanik veya cebri ventilasyon yanlış tatbik edilirse çok büyük miktarda zarara neden olabilir. Kullanılan mekanik kuvvet nedeniyle cebri ventilasyonun iyi bir şekilde denetlenmesi gerekir. Cebri ventilasyonun dezavantajlarından bazıları şunlardır:

- ✓ büyük hacimlerde havanın içeri alınması, yangının artmasına ve yayılmasına neden olabilir;
- ✓ güç kaynağına bağımlıdır;
- ✓ özel ekipman gerektirir.

3.6.1 Negatif-basınç ventilasyonu

Negatif-basınç ventilasyonu, mekanik ya da cebri ventilasyon tekniklerinden en eskisidir. Bu teknikte yapay bir sirkülasyon yaratmak ve dumanı yapının dışına atmak için duman aspiratörleri kullanılmaktadır. Duman aspiratörleri pencere, kapı ve çatıdaki havalandırma deliklerine yerleştirilir, böylece duman, ısı ve gazlar binanın içinden çekilerek dışarı atılır.

Aspiratörler mevcut rüzgarla aynı yönde egzost edecek şekilde yerleştirilmelidir. Binanın içinden çekilen havanın yerini alan taze havayı tedarik ederek dışarı atma prosesine yardımcı olurlar. Eğer mevcut rüzgarın şiddeti etkin olamayacak kadar az ise binanın bir tarafındaki duman aspiratörleri havayı binanın içine üfleyecek şekilde yerleştirilebilir. Binanın diğer tarafındaki aspiratörler ise söz konusu bina içinden gelen duman ve diğer yanma ürünlerini egzost edecek şekilde çevrilir.

Duman aspiratörünün yerleştirildiği pencere, kapı vs. açıklığın etrafında resirküle eden hava bir problem olabilir. Havanın duman aspiratörü civarında resirküle etmesine izin verilirse

verimlilik azalır. Cihazın arkasında negatif, önünde ise pozitif basınç yaratılarak dumanın mahalden dışarı atılması sağlanır. Fakat dikkat edilmezse duman, cihazın yerleştirildiği kapının altındaki boşluktan tekrar odanın içine itilir. Havanın bu şekilde sirküle etmesini önlemek için cihazın etrafındaki açıklıkların örtü veya perde gibi malzemelerle örtülmesi gerekir.

Arzu edilen çekiş mesafesini ayarlamak ve hava akışını mümkün olduğunca düz bir çizgi halinde tutmak gerekir. Her bir köşe türbülansa neden olur ve verimliliği düşürür. Sirkülasyonu kesinlikle arttırmadığı sürece çalışır haldeki duman aspiratörünün yakınındaki kapı ve pencereleri açmaktan sakınılmalı, hava akımını engelleyen bütün engeller ortadan kaldırılmalıdır. Penceredeki perdeler bile etkili bir egzost işlemi büyük ölçüde azaltır. Bu nedenle, duman aspiratörünün giriş tarafındaki perde, tül gibi hava giriş miktarını azaltabilecek engeller uzaklaştırılmalıdır.

3.6.2 Pozitif-basınç vantilasyonu

Pozitif-basınç vantilasyonu, basınç farkları yaratma prensibinin uygulandığı bir diğer cebri vantilasyon tekniğidir. Yüksek debi üfleyen vantilatörler kullanarak binanın içinde dış havadakinden daha yüksek bir basınç oluşturulur. Binanın içindeki basınç daha yüksek olduğu sürece bina içindeki duman daha düşük basınçlı bölgeye doğru bir çıkış arayacaktır, ki bu çıkışlar yangın söndürme ekipleri tarafından kontrol edilmektedir. Pozitif-basınç vantilasyonunun avantajları şunlardır:

- ✓ itfaiyeciler dumanla dolmuş ortama girmeksizin cebri vantilasyon prosedürlerini başlatabilirler;
- ✓ pozitif-basınç vantilasyonu yalnızca doğal vantilasyon akımlarını tamamladığından yatay ve dikey vantilyonda eşit derecede etkindir;
- ✓ yapıdan ısı ve duman daha verimli bir şekilde dışarı atılabilir;
- ✓ bina içindeki toplam hava değişimi, negatif-basınç vantilasyonundan daha hızlıdır;
- ✓ vantilatörlerin yerleştirilmesi giriş-çıkışa mani olmaz;
- ✓ vantilatörlerin temizlenmesi ve bakımı duman aspiratörlerine kıyasla oldukça düşüktür;
- ✓ bu sistem her türlü bina tipine uygulanabilir ve özellikle negatif-basınç vantilasyonunun etkisiz olduğu geniş, yüksek tavanlı alanlardan dumanı uzaklaştırmada etkilidir;

- ✓ Isı ve duman yanmamış alanlardan ya da kaçış yollarından uzak tutulabilir.

Pozitif basınç, yapının içine taze havayı üfleyecek yüksek debili vantilatörler kullanılarak oluşturulur. Bunun yapılacağı yer, genellikle binaya giriş noktası olan dış kapıdır. Vantilatör, hava konisinin kapı açıklığının tamamını kapsaması için kapının bir kaç metre dışına yerleştirilir. Duman daha sonra yapının diğer tarafındaki başka bir açıklıktan dışarı atılır. Maksimum verimlilik için çıkış açıklığının giriş açıklığının %75 ila %150'si kadar olması gerekir [19]. Pozitif-basınç işlemi gerçekleştirilirken başka hiçbir dış pencere ya da kapı gibi açıklığın açılmaması son derece önemlidir.

Bina içindeki kapıları kapatıp odaları ya da hacimleri birer birer basınçlandırarak dumanı uzaklaştırma hava hızı arttığından prosesi hızlandırılır. İşlem, giriş noktasına ilave vantilatörler yerleştirilerek de hızlandırılabilir. Binanın içindeki kapıların hiçbiri sistematik olarak açılıp kapatılmasa bile vantilasyon gerçekleşir, fakat daha fazla zaman alır. Bununla birlikte, pozitif basıncın uygun katlara yönlendirilmesi için bina içi yangın kapılarının daha fazla eşgüdümü gerekmektedir. Binanın bir çok katından dumanı uzaklaştırmak için pozitif basınç kullanıldığı zaman pozitif basıncı bir ya da daha çok vantilatör kullanımı ile binada yer seviyesinde uygulamak genellikle en iyisidir [19]. Duman daha sonra en yoğun olduğu kattan itibaren başlanılarak sistematik bir şekilde katlardan birer birer uzaklaştırılabilir. İtfaiyeciler tarafından seçilen açıklık içinden binanın tamamındaki duman dışarı atılana kadar kapıları açıp kapatarak binanın geneline pozitif basınç yönlendirilir.

Etkili bir pozitif-basınç vantilasyon operasyonu yapabilmek için aşağıdaki noktalar göz önünde bulundurulmalıdır:

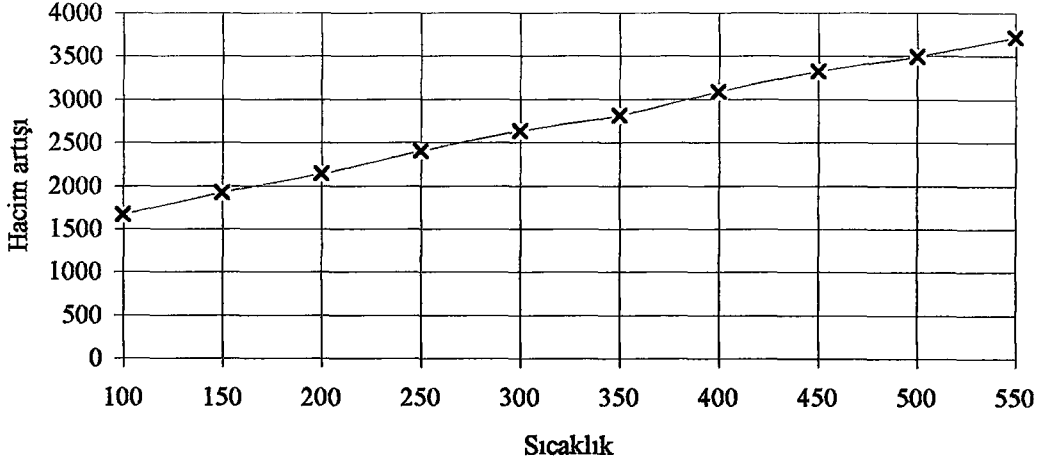
- ✓ mevcut rüzgar koşullarından yararlanılmalı;
- ✓ vantilatör hava konisinin bütün giriş açıklığını kapsaması sağlanmalı;
- ✓ prosesi hızlandırmak için sistematik bir şekilde kapıları açıp kapatarak ya da vantilatör sayısını artırarak basınçlandırılan mahallin hacmini düşürülmeli;
- ✓ çıkış açıklığı ebatlarının giriş açıklığına oranlı olması sağlanmalıdır.

3.6.3 Hidrolik vantilasyon

Hidrolik vantilasyon cebri vantilasyonun diğer tiplerinin kullanılmadığı durumlarda uygulanabilir. Hidrolik vantilasyon yangının üzerine bina içinde müdahale eden yangın hortumlu ekiplerce gerçekleştirilir. Bu teknikte su, yangın hortumlarından sis bulutu şeklinde püskürtülür. Su, buhara dönüştüğünde genişerek ısı ve dumanı yangın mahalinden uzaklaştırır. 1 bar, 20°C'deki suyun özgül hacmi, 1.0018 dm³/kg'dır. Bu su 100°C'de buhara dönüştüğünde özgül hacmi, 1673 dm³/kg olmaktadır. Yani, su buhara dönüştüğünde 1670 kat genişerek yangın ortamındaki yüksek hararettaki dumanı ve zehirli gazları tahliye etmekte ve itfaiyeciler için daha rahat bir çalışma ortamı meydana getirmektedir. Yangın anında mahal sıcaklıklarının 100°C'nin çok üstünde yaklaşık 550°C'lere kadar çıkabildiği daha önceden belirtilmişti. Dolayısıyla, yangın anında suyun hacmi bu değerden daha fazla olacaktır. Bu nedenle, su itfaiyecilikte gerek söndürme gerekse vantilasyon aracı olarak yaygın bir biçimde kullanılır. Çizelge 3.1'de Mollier diyagramından yararlanılarak değişik sıcaklıklardaki su buharı özgül hacimleri ve 20°C'deki suya göre hacim artışları verilmekte, Şekil 3.1'de ise bu veriler grafiğe dönüştürülmüştür. Suyun bu faz değişimi çok seri olduğundan yeterli miktarda havalandırma deliğinin açılması halinde ortamdaki zehirli gazlar ve duman süratle dışarı sürülerek yerini buhara bırakır. Bu olay aynı zamanda ortamda soğutma etkisi yaratır. Su, ortamı hem soğutur hem de yangını boğarak söndürür. Boğma olayı, buharın genişerek mahaldeki oksijeni sürmesiyle meydana gelir. Fakat ortamda yine yeterli havalandırma deliğinin bulunması gerekir. Aksi takdirde, buhar veya alev geri teperek müdahale ekibinin riske girmesine neden olabilir.

Çizelge 3.1 Değişik sıcaklıklardaki su buharı özgül hacimleri ve 20°C'deki suya göre hacim artışları

Sıcaklık t (°C)	Özgül hacim (dm ³ /kg)	Hacim artışı
100	1673	1670
150	1925	1921.5
200	2147	2143.1
250	2412	2407.6
300	2643	2638.2
350	2821	2815.9
400	3091	3085.4
450	3333	3327.0
500	3500	3493.7
550	3725	3718.3



Şekil 3.1 Sıcaklık - hacim artışı grafiği

Yukarıda belirtilen avantajlarının yanısıra hidrolik vantilyasyonda sis bulutlarının kullanımının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

- ✓ binanın içinde sudan kaynaklanan hasar miktarında artış olabilir;
- ✓ kullanılabilir su kaynaklarında bir azalma (tüketim) söz konusudur, ki özellikle mobil su tanklarının kullanıldığı kırsal bölgelerde yangın söndürme çalışmaları açısından bu durum çok önemlidir;
- ✓ donma sıcaklıklarının görüldüğü iklimlerde binayı çevreleyen alanda buz probleminde bir artış söz konusudur;
- ✓ yangın hortumunu kullanan itfaiyeciler bütün işlem boyunca sıcak, kirli atmosfer içinde kalmak zorundadır;
- ✓ yangın hortumunu kullanan itfaiyeciler yeni (kullanılmamış) solunum tüplerini almaya gittiklerinde işleme ara vermek zorunda kalınabilir.

4. TEK KATLI BİNALARDA DOĞAL VANTİLASYON İLE ÇATIDAN DUMAN ATIMI

4.1 Giriş

Binanın içini yangına dayanıklı duvarlarla bölümlendirmenin yangının bina genelinde yatay olarak yayılımını geciktirdiği uzun zamandan beri bilinmektedir. Bununla birlikte, otomotiv endüstrisinde olduğu gibi çok büyük boyutlarda montaj hatlarının yapımı dolayısıyla bölümlendirilmemiş, büyük hacimlere ihtiyaç duyulmakta ve bu yüzden, fabrikalar on binlerce m²'lik alanlar kaplayacak şekilde inşa edilmektedir. Bina boyutları büyüdükçe ve kullanım amaçları daha karmaşık oldukça çok büyük, açık-plan (bölümlendirilmemiş) ticari mahallerde duman ve yangın yayılımını sınırlamak amacıyla uygulanan klasik yöntem olan yangına dayanıklı bölme duvarlarının kullanımı uygun değildir. Bu tür büyük bir binada yangın çıkması durumunda, ısı ve duman tavanın altında sıkışıp kalmış olacağından ve de bütün mahale çok hızlı bir şekilde yayılabileceğinden yangın söndürme işlemi zor ve tehlikelidir. Yangının çıkış yerinin bu sıcak ve dumanlı atmosfer nedeniyle tam olarak tespit edilememesi suyun doğru yere tatbikini imkansız kılmakta ve bu tür yangın söndürme işlemi yangının büyümesini kontrol edememektedir.

Yangın yeterince büyük (6 m yükseklikteki bir bina için 3 m x 3 m) olduğu zaman alevler tavana erişir ve tavanın altında yatay doğrultuda ilerler. Çatıya verilen zararın yanısıra, çatıdan zemindeki yanıcı maddelerin üzerine radyasyonla yayılan ısı, zemindeki yangın yayılımını arttırabilir. Çatıdaki hasar; konstrüksiyon tipine ve de çatı kaplamasına göre değişir. Eğer çatı yanıcı ya da çabuk alev alan malzemeyle döşenmişse, yangın çatının altında süratle yayılır ve çatıdan yere düşen yanan parçacıklar zeminde yangın yayılımını arttırır. Bu durum, yangını söndürmeye çalışan itfaiyecilere de ilave bir tehlike teşkil eder. Eğer çatı yangına karşı herhangi bir önlemin alınmadığı metal konstrüksiyonlar üzerine kurulmuşsa çatı altındaki yüksek ısı nedeniyle metal aksam yumuşamaya başlar ve çatı çöker. Genellikle, yaklaşık 900°F (482°C)'de çelik konstrüksiyonun çökebileceği kabul edilir [16].

Yangın mahalinde çok büyük miktarlarda alev alabilen malzemelerin bulunması durumunda, yanmamış alevlenebilen bu gazlar tavanın altında birikir. Örneğin, çatıdaki bir pencerenin

kırılması neticesinde hava ile karışırlarsa ani bir patlama ya da hızla yanmaları, binanın tamamının alevler içinde kalmasına neden olabilir.

Bu konuya bir örnek, 1953 yılında ABD'nin Michigan eyaletindeki General Motors fabrikası yangınıdır. Bu fabrikada çıkan yangın duman tahliye kapakları olmayan çatı altında ilerleyerek bütün fabrikaya yayılmış çok büyük maddi zarara yol açmıştı [12]. Görüldüğü gibi, bu gibi tehlikelerin tamamı yangının üzerinde çatının varlığı nedeniyledir ve çatıya yerleştirilecek duman tahliye kapaklarının açılması ile sıcak gazların bir kısmı dışarı atılabilir, böylece bu gibi tehlikeler azaltılabilir ya da ortadan kaldırılabılır. Bu tür havalandırmanın gayesi zemin hizasında sıcak gazların ve dumanın olmadığı temiz bir bölge yaratmaktır. Bu nedenden ötürü, çatıya eriyebilir bir bağlantı elemanı ile kontrol edilen ve yangın anında otomatik olarak açılacak şekilde tasarlanan duman tahliye kapakları yerleştirilmelidir. Bu kapaklar aynı zamanda konfor havalandırması için de kullanılabilir.

4.2 Çatıdan Havalandırma Sistemlerinin Tasarımındaki Faktörler

Yangında üretilen sıcak gazların miktarı ve bina içindeki hareketleri; yangının büyüklüğü, binanın şekli, yüksekliği ve büyüklüğü, bina içine ve dışına açılan açıklıkların yerleri ve büyüklükleri gibi bir kaç faktöre bağlıdır. Bununla birlikte bu faktörlerin çoğu söz konusu binanın fonksiyonudur ve bu faktörlerin büyüklükleri sabit olduğundan herhangi bir tasarımda bu değerlerin bilindiği kabul edilebilir. Bilinmeyen faktör ise sadece yangının büyüklüğüdür. Gerçek yangınlar büyürken hem kapladıkları zemin alanı artar hem de mevcut gaz akışına neden olan faktörler değişir. Yangın mahalindeki sıcak gazların kendi hareketlerini belirleyen faktörlerdeki değişikliklere tepki vermeleri çok kısa da olsa bir zaman almaktadır. Bu nedenle, büyüyen bir yangının “küçük yangın”, “büyük, fakat tam gelişmemiş yangın” ve “tam gelişmiş yangın” şeklinde seri halde üç safhadan oluştuğu göz önüne alınmıştır.

4.2.1 Küçük yangın

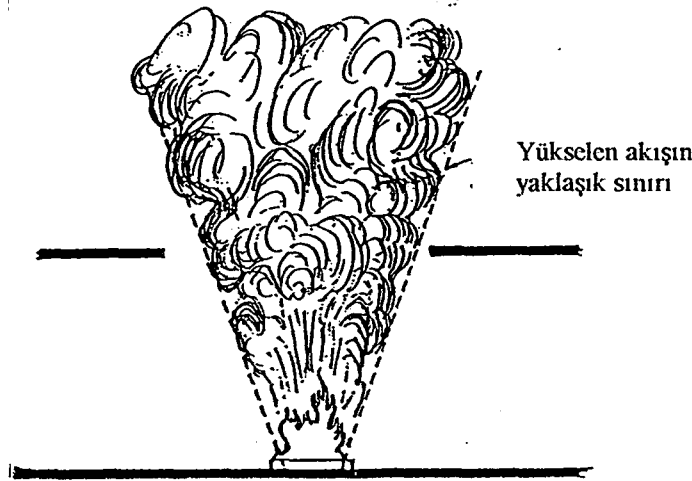
Küçük yangın;

- ✓ binanın toplam zemin alanının sadece küçük bir kısmını kaplayan,

✓ binanın yüksekliği ile kıyaslandığında alev boyu kısa olan yangın olarak tanımlanır. Bu tanım, yangının tespit edilip söndürme çalışmalarının (alarm verilmesi, duman tahliye kapaklarının açılması, sprinklerlerin devreye sokulması vs.) başlatıldığı noktaya kadar hemen hemen bütün yangınların ilk safhalarına atfedilir.

Yangından çıkan sıcak yanma ürünleri yükselirken soğuk hava bu akışın içine sürüklenir. Alevlerin boyu kısa olduğundan duman katmanı içine yükselen bu akış aracılığıyla daha fazla ısı girmez ve gazların sıcaklığı, genellikle kütlesi yangında yayılan gazların kütlesinden çok daha fazla olan sürüklenen havanın gaz katmanı içine girmesi neticesinde düşer. Yükselen sıcak gazlar tavana ulaşır ve eğer duman tahliye kapakları yoksa tavanın altında yatay olarak yayılarak bir duman tabakası oluşturur. Zemin civarında soğuk hava üzerinde biriken bu duman tabakası soğuk hava ile çok yavaş bir şekilde karışır. Bununla birlikte, bina tamamen dumanla dolana kadar bu duman katmanının kalınlığı gittikçe artar.

Yangın küçük olduğundan sıcak gazların tamamının ya da hemen hemen tamamının içinden direkt olarak dışarı atılmasına olanak sağlayacak büyüklükte, yangının tam üzerinde çatıya yerleştirilen duman tahliye kapaklarını açarak binanın dumanla dolmasını önlemek mümkündür (Şekil 4.1). Eğer zemindeki bir yangın, bina yüksekliği ile mukayese edildiğinde çok küçükse sıcak gazların yaklaşık %90'ı, üretilen ısı miktarına bakılmaksızın, bina yüksekliğinin 1/3'üne eşit çaptaki duman tahliye kapağı içinden direkt olarak geçip dışarıya atılabilir [3,16].

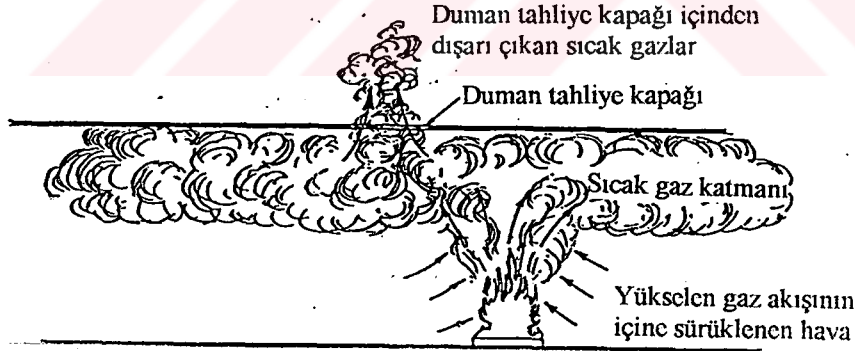


Şekil 4.1 Büyük bir açıklık içinden geçen sıcak gaz akışı [16]

Ancak, iki nedenden ötürü bu pratik ve uygun bir çözüm değildir:

- ✓ duman tahliye kapakları çok büyük olduklarından ekonomik değildir,
- ✓ yangının nerede çıkacağı önceden bilinemediğinden duman tahliye kapakları her zaman yangının tam üzerinde olmaz.

Sistem tasarımında duman ve sıcak gaz katmanının tavanın altında oluşacağı kabul edilir, fakat bu tabaka dumanı dışarı itecek basıncı oluşturacağından duman tahliye kapağında dışarı atılan duman miktarı artar. Diğer taraftan, yangının üzerindeki dumansız bölge yüksekliği azalacağından duman üretim hızı da düşer (Şekil 4.2). Çatıdan havalandırma sisteminin tasarımı; yangından üretilip duman katmanı içine giren duman miktarı ile duman tahliye kapaklarından dışarı atılan duman miktarı, tavanın (ya da çatının) altındaki duman havuzunun daha önceden kararlaştırılan maksimum derinliğini geçmeyecek şekilde, birbirlerini dengeleyecek tarzda olmalıdır. Duman tahliye kapağında atılan duman debisi duman üretimine eşit olduğunda dengeye varılır. Bu durumda, kapaklardan dışarı atılan dumanın yerini zemin hizasında bina içine çekilen soğuk hava alır. Bu amaç için çatıya yerleştirilen duman tahliye kapağı yeterli büyüklükte değilse kapağın havalandırma kapasitesinden maksimum düzeyde faydalanılamaz.



Şekil 4.2 Sıcak gaz katmanının oluşumu [16]

Abak 4.1 ve Abak 4.2, küçük yangınlarda (ortalama çapının, üzerindeki dumansız bölge yüksekliğinin yarısından az olduğu yangın, *küçük yangın* olarak tanımlanır) üretilen sıcak gazları egzost etmek için gerekli duman tahliye kapağı alanını hesaplamakta kullanılır. Abak 4.1'i kullanmak için öncelikle, yangında ısının çıktığı kabul edilen başlangıç noktası belirlenmelidir. Buna karşın, büyük yangınların başlangıç noktası belirlenemediğinden yangının belli bir mesafe altında buna denk başlangıç noktası tanımlanır, ki bu nokta

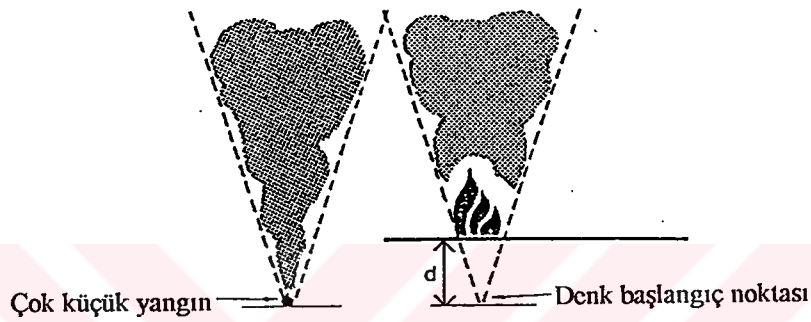
yangının büyüklüğüne bağlıdır (Şekil 4.3). Abakta bina yüksekliği, zeminden değil de başlangıç noktasından itibaren ölçülen yükseklik olarak kabul edilir. Yangının belli bir mesafe altındaki bu hayali başlangıç noktası,

$$d = 1.5 \sqrt{A_f} \quad (4.1)$$

formülü ile hesaplanır [3]. Burada;

d = yangın zemini ile efektif başlangıç noktası arasındaki hayali mesafe,

A_f = yangının zemin alanı'dır.



Şekil 4.3 Küçük bir yangının denk başlangıç noktası: yangının belli bir mesafe üstünde iki akış da aynı şekilde davranır [3].

4.2.2 Büyük, fakat tam gelişmemiş yangın

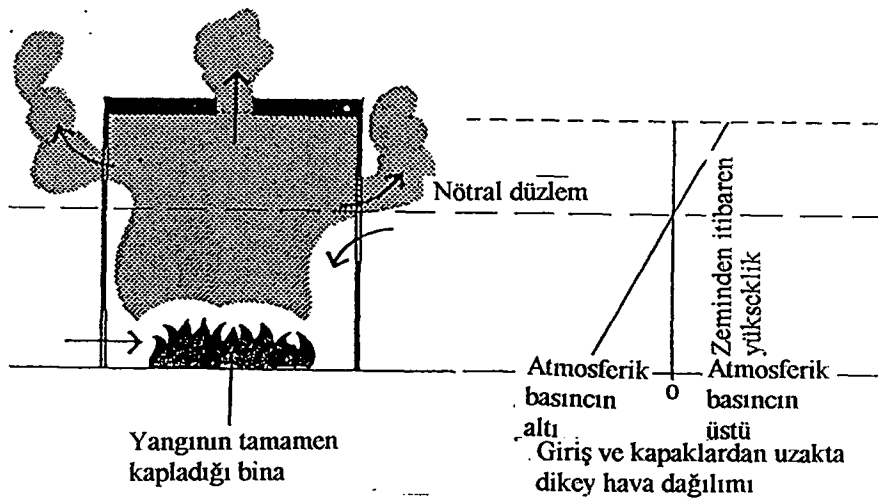
Küçük yangın teorisi genellikle başlangıç safhalarındaki yangınlara atfedilir. Fakat, itfaiye ekibi yangın mahaline ulaşana kadar yangının taban alanı, küçük yangın teorisinde farzedilen taban alanından daha büyük olur. Dolayısıyla, kapladığı alan artar. Alevleri daha uzun olsa ve muhtemelen tavana (ya da tavan yakınına) ulaşsa bile sıcak gaz katmanı oluşumu ve tahliye kapakların açılması ile derinliğinin kontrolü burada da uygulanır. Bununla birlikte, ısının çıktığı kabul edilen başlangıç noktası artık dikkate alınmaz. Bunun yerine, başka bir teori geliştirilmiştir. Bu teoriye göre; büyük, fakat tam gelişmemiş yangınlarda yangın, dört tarafından perdelerle binanın geri kalanından izole edilen çatı kompartımanının altındaki bütün alana yayılabilir, fakat kompartımanın tamamını kaplamaz. Bu safhada, havanın alevlerin içine girdiği dikey sürüklenme alanı (ki yangının olduğu binanın alt kotlarındaki açıklıkların alanıdır ya da yangının çevresel uzunluğu ile dumansız bölge yüksekliğinin çarpımı sonucu elde edilen alandır), yangın alanına oranla küçüktür. Yangın alanının sürüklenme alanına oranı en az 2:1 olmalıdır. Bu tür yangınlarda gerekli duman tahliye

kapağı alanı Abak 4.3 yardımıyla hesaplanır.

4.2.3 Tam gelişmiş yangın

Yangın binayı ya da binanın bir bölümünü tamamen kapladığı zaman personelin söndürme çalışmalarına başlamasını ya da kaçmasını sağlayan dumansız bölgeyi oluşturmada çatıdan havalandırma yöntemi kullanılmaz. Fakat, bu yöntemle duvardaki açıklıklardan bina içine sadece hava girişi ve çatıdaki tahliye kapaklarından da dışarı sadece duman ve sıcak gazların atılması sağlanır.

Yangının binanın tamamını kapladığı durumda binadaki basınç dağılımı Şekil 4.4'te gösterilen çizgi üzerindeki gibi olur. Yer seviyesine yakın yerlerde basınç atmosferik basıncın altında olacağından hava bina içine çekilir ve tavana yakın yerlerde de atmosfer basıncının üstünde bir basınç oluşacağından duman ve sıcak gazlar dışarı atılır. Bu iki kot arasında bir yerde yangın mahalindeki basınç atmosfer basıncına eşit olur, bu kottaki düzleme *nötral düzlem* denir ve o zaman, ne hava içeri girer ne de duman dışarı çıkar (Şekil 4.4). Çatıdaki duman tahliye kapaklarının açılması nötral düzlemi yukarı çekerken alt kotlardaki açıklıkların açılması nötral düzlemi aşağı çeker. Çatıdan havalandırmada (duman atımında) amaç, ne dumanın ne de alevlerin binayı bölmelere ayırmada kullanılan duvarlar içindeki açıklıklardan komşu bölümlere girmesini engellemek için, alt kotlardaki açıklıklar ile çatıdaki duman tahliye kapaklarının alanlarının doğru bir şekilde hesaplamaktır.



Şekil 4.4 Küçük açıklıkları olan bir binadaki basınç dağılımı [3]

Abak 4.4 (a) ve (b) bu amaç için gerekli duman tahliye kapağı alanını hesaplamakta kullanılır. Havalandırılan bölmenin alt kotlarındaki açıklarının tamamı (binanın dokusundaki sızıntı alanları da dahil) hesaba katılmalıdır.

4.2.4 Yangın büyüklüğünün tayini

Çatıdan havalandırma (duman atımı) sistemlerinin tasarımıyla ilgili en büyük zorluk, tasarım hesaplarında belli bir yangın büyüklüğünün kabul edilmesidir. Bu problemin üstesinden gelmede en tatmin edici yöntem sprinkler sisteminin tesisidir. Bu tür bir tesisat yangını büyüklük açısından sınırlandırır. Bununla birlikte, duman kontrol hesaplarında, sprinklerli bir binada yangının sınır büyüklüğü 3 m x 3 m olarak kabul edilir [3,13,16].

Tasarım hesaplarında kullanılacak yangın büyüklüğü aşağıdaki kriterlere göre belirlenebilir:

- ✓ Sprinkler sistemi döşenmişse yangının 3 m x 3 m büyüklükte sınırlandırılacağı kabul edilir.
- ✓ Eğer sprinkler tesisatı döşenmemişse, fakat dükkan ya da fabrikanın zeminindeki yanıcı malzemeler birbirleri arasında mesafe olan ayrı bölmelere yerleştirilmişse, o zaman en küçük yangın büyüklüğü, (ambalaj sandığı yığını ya da yanıcı sıvı tankı gibi) en büyük yanıcı malzeme yığınının azıdır.
- ✓ Yukarıda verilen teknikleri göz önünde bulundurarak yangının büyüklüğünü tayin etmek zorsa başka bir yaklaşımda bulunulmalıdır. Buna göre, zeminden itibaren kabul edilebilir minimum dumansız bölge yüksekliği kararlaştırılır ve söz konusu binaya önerilen çatıdan havalandırma sistemi için kabul edilecek yangın büyüklüğü belirlenir. Bu bağlamda kabul edilebilir minimum yükseklik, zeminden itibaren 3 m ya da komşu mahale açılan bir açıklığın (kapı vs.) en üst hizasının 500 mm üzeri ya da depolanmış malzeme yüksekliğinin 500 mm üzeri alınmalıdır [13].

Bu kriterlerin de yeterli gelmemesi durumunda mevcut standartlardaki yangın büyüklüğü değerleri kullanılmalıdır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Çeşitli binaların yangın büyüklükleri [13,17]

Tehlike	Yangının büyüklüğü (m x m)	Yangının çevresel uzunluğu (m)	Yangın alanı (m ²)	Bina tipi
Grup 1	3.0 x3.0	12	9	Bira üretim yerleri
Grup 2	4.5 x4.5	18	20-25	Fırınlara
Grup 3	6.0 x6.0	24	36	Pamuk üretim yerleri
Grup 4	9.0 x9.0	36	81	Boya imalatçıları
Grup 5/1	3.0 x3.0	12	9	Elektriksel malzeme depoları
Grup 5/2	4.5 x4.5	18	20-25	Tıbbi malzeme depoları
Grup 5/3	6.0 x6.0	24	36	Kağıt depoları
Grup 5/4	9.0 x9.0	36	81	Plastik malzeme depoları

4.2.5 Sıcak duman katmanı sıcaklığı

Sıcak gaz katmanı sıcaklığının bilinmesi, bu katmanın bina konstrüksiyonunda kullanılan malzeme üzerindeki etkisi açısından önemlidir. Örneğin, yapısında yanıcı malzemeler kullanılan tavanlarda bu konu önem kazanmaktadır.

Çizelge 4.2 Sıcak gaz katmanının sıcaklığı [3]

Yangında birim alandan yayılan konveksiyon ısı	Yangının alanı	Dumansız bölge yüksekliği (m)	Sıcak katmanın sıcaklığı °C (ortamın üstünde)
1 MW/m ² (88 Btu/ft ² s)	3 m x 3 m	10	82
		7	143
		5	227
		4	>300
		3	>300
	2 m x 2 m	10	52
		7	96
		5	160
		4	232
		3	>300
	1 m x 1 m	10	10
		7	35
		5	68
		4	104
		3	173
200 kW/m ² (17.5 Btu/ft ² s)	3 m x 3 m	10	13
		7	29
		5	49
		4	65
		3	90
	2 m x 2 m	10	<10
		7	15
		5	32
		4	46
		3	65
	1 m x 1 m	5	<10
		4	15
		3	38

Yangın küçük ve sıcak gaz katmanının alt seviyesi, alevlerin ucunun tam üstünde ise katmanın sıcaklığı; yangında yayılan ısı miktarına ve katmanın alt seviyesi ile yangının efektif başlangıç noktası arasındaki mesafeye bağlıdır. Katmanın sıcaklığı, 260°C (500°F)'nin

altında olması şartıyla Abak 4.2'den bulunabilir. Buna göre bir kaç örnek Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Radyasyonla yayılan ısı miktarı büyük (daha büyük yangınlarda) olduğunda ve tavan iyi ısı yalıtım özelliğine sahip malzemedan yapılmışsa tavan yüzeyindeki sıcaklık Çizelge 4.2'de verilen değerlerden daha yüksek olabilir.

4.2.6 Soğuk hava girişleri

Soğuk havanın bina içine girerek sıcak gazların yerini alması ve onları çatıdaki kapaklardan dışarı atabilmesi mümkün olmadıkça havalandırma etkili olmaz. Dolayısıyla, yeterli miktarda soğuk hava girişi temin edilmelidir. Eğer toplam soğuk hava giriş alanı çok küçük ise çatıdaki kapaklar, boyutları küçülmüş gibi davranır. Şekil 4.5, soğuk hava giriş alanının duman tahliye kapaklarının etkinliğini nasıl etkilediğini göstermektedir. Duman tahliye kapağının etkinliğinin hesaplanan değerinin en az %90'ı olması için soğuk hava giriş alanının, duman tahliye kapağı alanına oranı;

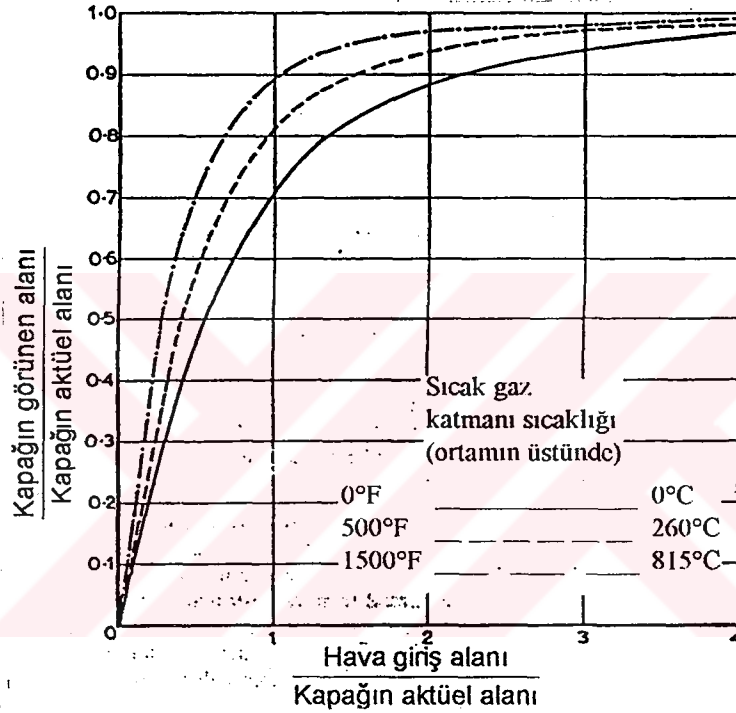
- ✓ 2'nin üstünde (eğer tavanın altındaki gaz katmanı soğuk ise),
- ✓ 1.5 (gaz katmanı sıcaklığı, 260°C (500°F) ortamdan fazla ise),
- ✓ 1 (eğer gaz katmanı sıcaklığı, 815°C (1500°F) ortamdan fazla ise) olmalıdır [16].

Sıcak gaz katmanının sıcaklığı; yangının büyüklüğü, binanın boyutları, istenen duman seviyesi ve buna karşılık gelen hava girişi büyüklüğüne göre tayin edilmelidir, ki bu girişler sıcak gaz katmanının alt hizasının çok altında, mümkün olduğunca zemine yakın olmalıdır. Aksi takdirde, binanın içine giren soğuk hava duman katmanından gelen dumanla beraber yangının içine sürüklenebilir ve dolayısıyla, zemine yakın yerler de dumanla dolabilir.

Bu girişlerin binanın genelinde eşit biçimde dağılmış bulunması tercih edilir. Sadece bir ya da iki çatı kapağının açık olduğu yangının erken safhalarında mevcut kapı ve pencerelerden sızıntıyla giren hava miktarı yeterli olabilir, fakat yangın büyüdükçe daha fazla hava giriş alanı gerekir. Bu da elle ya da otomatik olarak açılan açıklıklar ile sağlanabilir.

Bazen yangından uzaktaki duman tahliye kapakları ya da diğer açıklıklar da hava giriş

açıklıkları olarak kullanılabilir. Fakat bu durumda, çatıdaki bu açıklıklardan giren hava duman tabakasını kendisiyle beraber sürükleyebilir ve zemine yakın yerlerin dumanla dolmasına neden olabilir. Bununla birlikte, eğer çatının altı duman perdeleriyle bölünür ve dumanın çatı altındaki bütün hacime yayılması yerine sadece bir duman rezervuarında hapsedilmesi sağlanırsa yukarıda ifade edilen olumsuz durum (zemine yakın yerlerin dumanla dolması) gerçekleşmez. Ancak, bundan sonra çatıda yangına uzak yerlerdeki duman tahliye kapakları, bina içine hava giriş miktarını arttırmak amacıyla açılabilir.



Şekil 4.5 Soğuk hava giriş alanının duman kapağı görünür alanı üzerindeki etkisi [16]

4.2.7 Eğimli çatılarda duman tahliye kapaklarının yeri

Sıcak gaz katmanının efektif derinliği, her zaman kapakların merkezi ile duman katmanının alt seviyesi arasındadır. Dolayısıyla, binanın durumu göz önüne alınarak belli bir duman tabakası alt seviyesi kabul edildiği durumda, kapak ne kadar yukarı yerleştirilirse efektif derinlik o kadar artacak ve çatıdan duman atımı sisteminin kapasitesi o oranda artacaktır. Yani, genel bir kural olarak, sıcak gaz katmanının maksimum derinliğini sağlamak için kapaklar mümkün olan en üst yere yerleştirilmelidir.

kapaktan dışarı daha çok duman atılır. Bununla birlikte, yangının tam olarak nerede çıkacağı bilinmediğinden kapakları muhtemel yangın alanının genelinde, çatının değişik yerlerine dağıtmak tercih edilir. Böylece, en azından bir veya ikisi çıkacak bir yangına yakın olur ve yangının erken safhalarında süratle açılarak duman atımında etkili olur. Fakat, yakıt tankı vs. gibi yangının çıkabileceği yerlerin bilinmesi durumunda duman tahliye kapağı söz konusu tankın tam üzerine yerleştirilmelidir.

✓ Yangın büyür ve alevlerin kapaktan dışarı çıktığı bir safhaya gelirse küçük kapaklardan çıkan alevlerin yüksekliği büyük kapaktakilere oranla daha küçük olur, ki böylece, çatının dış kaplama malzemeleri ve komşu binalar daha az zarar görür.

4.2.9 Çatıyı kompartımanlara ayırarak yatay yayılımı sınırlamak

Çatıdan havalandırma (duman atımı) sistemlerinin tasarımında genellikle tavan ya da çatının altında duman havuzları (kompartımanları) oluşturulması önerilir. Küçük binalarda bu gerekli olmayabilir, fakat büyük binalarda sıcak gazların yatay yayılımının sınırlanması arzu edilir. Bunun iki nedeni vardır:

- ✓ Sıcak gazların sıcaklığı yüksekse gazların yayılabileceği ve tavan döşemesinde kullanılan yanıcı malzemelerin tutuşmasına neden olabileceği alanın sınırlanması arzu edilir.
- ✓ Sıcaklık yüksek olmasa bile yatay yönde yayılım sonucu duman katmanı (soğuk havanın karışması nedeniyle) nispeten soğuk ve sık olur. Bu durumda çatıdaki kapakların verimliliği düşer. Çünkü gaz sıcaklığı yüksek ve kapak altındaki katman derin olduğu zaman, yani sıcak gazları kapağın içinden dışarı atacak bir basınç farkı olduğu zaman kapak etkinliği en yüksek mertebede olur.

Duman havuzları şeklinde çatının altında duman perdeleriyle ayrılan hacmin boyutları;

- ✓ yangın büyüklüğü,
- ✓ sıcak gaz katmanı derinliği,
- ✓ bina yüksekliğine bağlıdır. Herhangi bir bina için duman perdesinin (dolayısıyla sıcak gaz katmanının) derinliği belli ise sıcak gazları içinde hapsedecek söz konusu havuzun alanı, sadece *yangının büyüklüğü*'ne bağlı olur. Diğer taraftan, çatıdan havalandırma ile ilgili tasarım hesaplarında muhtemel yangın büyüklüğü kabul edilir. Sonuç olarak, çatıdan havalandırma sistemi tasarımında verilen kriterler kullanılarak duman havuzunun büyüklüğü

tayin edilebilir.

Bu bölümde verilen abaklar kullanılarak kararlaştırılan büyüklükteki duman havuzunda tutulacak sıcak gazların çıkacağı maksimum yangın büyüklüğünü hesaplamak mümkündür. Bununla ilgili örnekler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Duman havuzunun büyüklüğünü tayin etmede yeterli tasarım verisinin bulunmaması durumunda standartlarda duman havuzu alanının 2000 ila 3000 m² ve maksimum kenar uzunluğunun ise 60 m olması gerektiği belirtilmektedir [13]. Bununla birlikte, uygulamada hesaplar maksimum duman havuzu büyüklüğü 2500 m² (50 m x 50 m) olacak şekilde yapılır [4].

Çizelge 4.3 Tek bir çatı kompartımanında tutulacak kare şeklindeki yangının maksimum kenar uzunluğu [3]

Havuz alanı	Bina yük-sekliği	(Havuz alanının %...) büyüklükteki kapaklar ile tutulacak duman ve sıcak gazların yayıldığı kare şeklindeki yangının maksimum kenar uzunluğu (metre)											
		% 0.5			% 1.0			% 2			% 5		
		Duman perdesi derinliği											
		1 m	2 m	3 m	1 m	2 m	3 m	1 m	2 m	3 m	1 m	2 m	3 m
(20 x 20) 400 m ²	3 m	1.3	4.1	-	2.5	8.2	-	5.1	16.5	-	13	-	-
	6 m	0.3	0.5	1.2	0.6	1.0	2.4	1.3	1.9	4.7	3.2	4.8	12
	9 m	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	0.8	0.6	1.1	1.6	1.6	2.7	4.0
(40 x 40) 1600 m ²	3 m	5.1	16.5	-	10	33	-	20.3	-	-	-	-	-
	6 m	1.3	1.9	4.7	2.6	3.9	9.5	5.2	7.7	19	13	19	-
	9 m	0.7	1.1	1.6	1.3	2.1	3.2	2.6	4.2	6.4	6.6	10.6	16
(60 x 60) 3600 m ²	3 m	11	37	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-
	6 m	3	4.4	10.6	5.8	8.7	21	12	17	-	29	-	-
	9 m	1.5	2.4	3.6	2.9	4.8	7.2	5.9	9.6	14	15	24	36

4.2.10 Duman havuzu oluşturmada kullanılan perdelerin özellikleri

Çatıdan ya da tavandan aşağı sarkarak duman havuzu oluşturmada kullanılan perdelerin yapıldığı malzeme yanıcı özellikte olmamalı ve gaz sızdırmaz olmalıdır. Çatıda kullanılan malzemeler gibi bunların da yangına dayanıklı olmaları tercih edilir. Boruların geçtiği yerlerde perde üzerinde açılan boşluk ve delikler mümkün olduğunca küçük ve sayıca fazla olmadıkları sürece çok önemli değildir.

Perdeler mümkün olduğunca derin olmalıdır. Standartlarda duman perdelerinin, duman katmanının alt seviyesinin 500 mm altında bitmesi gerektiği belirtilmektedir [13]. Çünkü böyle perdeler duman atımının etkinliğini arttırmakla beraber daha büyük yangınların

tutulmasını mümkün kılar. Aynı zamanda, dumanın perde altından komşu kompartımanlara taşma zamanını da geciktirir. Herhangi bir havuzdan taşan dumanı riski yüksek alanlardan uzaklara yönlendirmek dumanın vereceği hasardan kaçınmak açısından avantaj sağlar. Bu işlem duman havuzunun dumanın hasar vermemesi istenen alana bakan taraftaki perdesinin daha derin tutulması şeklinde yapılabilir.

4.2.11 Kötü hava koşullarının etkisi

Çatıdaki duman tahliye kapakları ve soğuk hava girişlerinin binanın neresinde olacağı belirlenirken kötü hava koşulları da dikkate alınmalıdır. Rüzgarın neden olduğu basınç, duman tahliye kapakları içinde dumanın dışarı atılmasını sağlayan basınçtan büyük olabilir, ki bu durumda soğuk hava dışarı atılması istenen dumanı beraberinde taşıyarak çatıdaki kapaktan bina içine girer. Bu şekilde, duman bina içinde aşağılara doğru taşınır ve dumansız kalması amaçlanan zemine yakın bölgeler dumanla dolar.

Çatıdaki kapakta rüzgardan kaynaklanan basınç; kapağın durumuna, çatının şekline ve zemine yakın yerlerdeki hava girişlerinin konumlarına bağlıdır. Eğer duman tahliye kapağı dumanı dikey doğrultuda dışarı atıyorsa çatının üstünde esen rüzgarın yaratacağı emiş etkisi ile her zaman kapaktan dışarı duman atımına yardımcı olur. Bununla birlikte, kapağın çatı yüzeyine paralel olarak yerleştirildiği (40°'den büyük) eğimli çatıların rüzgaraltı tarafında rüzgardan kaynaklanan bir emiş etkisi olsa da, rüzgarüstü tarafındaki basınç kapaktan dışarı duman akışına karşı koyar. Eğimli çatıları olan binalarda, mümkün olduğunda, istenmeyen rüzgar etkisi nedeniyle duman tahliye kapakları çatının dik meyilli yüzeyine yerleştirilmemelidir. Eğer bu yapılamıyorsa rüzgarın her zaman emiş etkisi yaratacağı şekilde tasarlanan duman tahliye kapakları ya da duman fanları kullanılmalıdır.

Zemine yakın yerlerdeki hava girişlerinden bina içine esen rüzgar çatıdaki kapaklardan sıcak gazların dışarı atılmasına yardımcı olur. Benzer şekilde, rüzgaraltı tarafındaki girişler emiş etkisi yaratarak havanın bina içine girmesini engellemekte, dolayısıyla duman atımını zorlaştırmaktadır. Bu nedenden ötürü, hava giriş açıklıkları eşit olarak binada çepeçevre dağılı olmalıdır ve sadece rüzgarüstü yönündeki hava girişlerinin açılmasını temin edecek sorumlu kişilerin bulunmasında yarar vardır.

4.3 Abaklar

4.3.1 Abakların kullanımı

Abakları kullanırken aşağıdaki tanımların bilinmesi gerekir.

Duman tahliye kapağı: Yangından yayılan duman ve sıcak gazları dışarı atmada kullanılan ve binanın çatısına yerleştirilen açıklık.

Duman tahliye kapaklarının merkezi: Kapağın üst yüzeyinin geometrik merkezi.

Sıcak gaz katmanının alt seviyesi: Sıcak gaz katmanının en alt hizası. Bu hizanın düz ve sıcaklığının üniform olduğu kabul edilir. Düz olmadığı durumlarda ortalama bir değer alınmalıdır.

Efektif tavan yüksekliği (h_e): Zemin ile kapakların merkezi arasındaki mesafe.

Sıcak gaz katmanının efektif derinliği (d_b): Kapakların merkezi ile duman katmanının efektif alt seviyesi arasındaki mesafe. Bu mesafe genellikle ya;

- ✓ duman tabakasının yatay olarak yayılmasını sınırlamak için kullanılan duman perdelerinin efektif derinliğine eşittir, ya da
- ✓ zemin üstündeki dumansız bölgenin üst kotuna kadardır.

Duman perdesi: Binanın çatısından zemine belli bir mesafeye kadar sarkıtılan, sabit ya da hareket ettirilebilen perde. Amacı, çatının altındaki bir yangından neşredilen sıcak gazların yatay olarak yayılımını sınırlandırmaktır.

Duman kompartmanı (duman havuzu ya da duman rezervuarı): Zemin ile çatı arasında bulunan ve duman perdeleri ile diğer bölümlerden ayrılan hacmi ifade eder. Diğer bir deyişle, duman perdelerinin sınırlandırdığı, dumansız bölge üzerindeki hacimdir.

Duman perdesinin efektif derinliği: Perdenin alt kenarı ile kapakların merkezi arasındaki mesafe.

Kayıp katsayısı (C_v): Duman tahliye kapağının şekli nedeniyle sahip olduğu kayıp katsayısı değeridir. Genellikle 0.6 olarak kabul edilir [3,16].

Duman tahliye kapağı alanı (A_v): Kapağın serbest açıklık alanı.

Duman tahliye kapağı aerodinamik alanı ($A_v C_v$): Kapağın ölçülen serbest alanı ile kayıp katsayısının çarpımı. Kapak, kayıp katsayısı nedeniyle ölçülen alanından daha küçük bir alana sahip kapak gibi davranır.

Küçük yangının efektif başlangıç noktası (d): Kare ya da daire şeklindeki yangınların

merkezinin genellikle yangın tabanının belli bir mesafe altındaki efektif başlangıç noktası olduğu kabul edilir, ki bu mesafe, (4.1) nolu eşitlikte belirtildiği gibi $d = 1.5 \sqrt{A_f}$ şeklindedir [3]. Burada; A_f , yangın alanıdır.

Yangının çevresel uzunluğu (w_f): Kare ya da daire şeklindeki yangın tabanının çevresi.

Çizelge 4.4 Çeşitli abakların kullanıldığı şartlar [3]

Yangının büyüklüğü	Yangın büyüklüğünün tanımı	Gerekli soğuk hava şartları	Abak no
Küçük yangın	Yangının ortalama çapı, dumansız bölge yüksekliğinin yarısından az	Sürüklenme alanı, yangın alanının yarısından büyük	4.1 4.2
Büyük, fakat tam gelişmemiş yangın	Yangının ortalama çapı, dumansız bölge yüksekliğinden büyük	Sürüklenme alanı, yangın alanının yarısından büyük	4.3
Tam gelişmiş yangın	Binayı ya da binanın bölmesini tamamen doldurur, dumansız bölge yok	Alt kotlardaki açıklıkların toplam alanı, yangın alanının 1/20'sinden az	4.4

Her bir abakın kullanıldığı yangın şartları Çizelge 4.4'de özetlenmiştir. Abak 4.5, özellikle yangının gelişme safhası ile ilgilidir ve sadece bu şartlar için kullanılmalıdır. Bu yüzden, küçük yangınlar ile büyük, fakat tam gelişmemiş yangınlarda kullanılır.

4.3.2 Abak 4.1: küçük yangınların havalandırılması

Bu abak yardımıyla küçük yangınlar için gerekli kapak alanı bulunabilir. Bu abak;

a) tavanın ya da çatının altındaki sıcak gaz katmanının efektif derinliği (d_b) (duman tahliye kapaklarının merkezi ile sıcak gaz katmanının alt seviyesi arasındaki mesafe olup duman katmanının alt hizası herhangi bir kapı/açıklığın 500 mm üzerinde ya da mahalde depolanmış malzemelerin 500 mm üzerinde olmalıdır [13]),

b) duman tahliye kapaklarının merkezi ile yangının hayali başlangıç noktası arasındaki mesafe (r_c) (Bu mesafe,

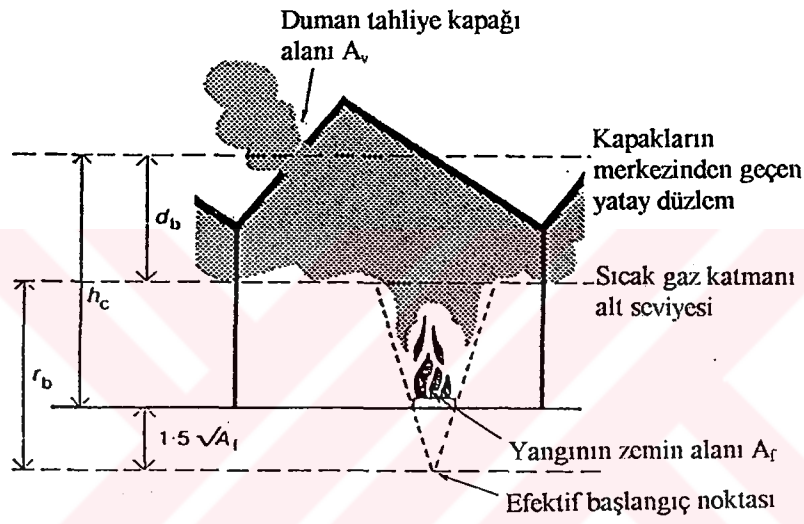
$$r_c = h_c + 1.5 \sqrt{A_f} \quad (4.2)$$

şeklinde formüle edilir [3]. Burada; h_c , zemin ile duman tahliye kapaklarının merkezi arasındaki mesafe (efektif tavan yüksekliği) ve A_f , yangının zemin alanıdır.) ve

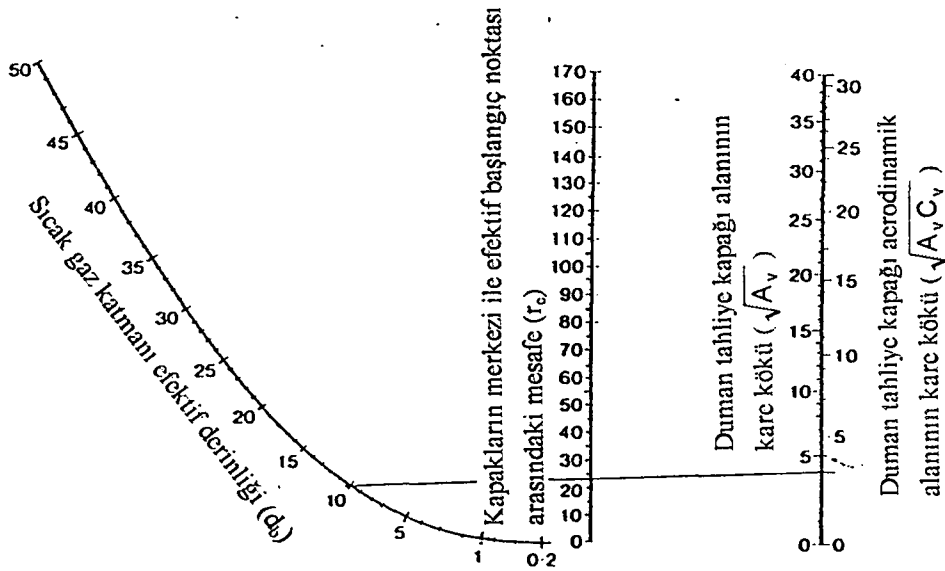
c) duman tahliye kapağı alanının kare kökü ($\sqrt{A_v}$) arasında ilişki kurar. Yani, eğer;

- (a) ve (b) biliniyorsa, gerekli duman tahliye kapağı alanı (c) belirlenebilir,
 (a) ve (c) biliniyorsa, bu faktörlerin belirlediği en büyük yangın bulunabilir (yükseklik, zemin ile kapakların merkezi arasındaki mesafenin bilinmesi şartıyla),
 (b) ve (c) biliniyorsa, duman katmanının derinliği belirlenebilir.

Not: Eğer abağın üzerinde hiçbir birim belirtilmemişse, her bir skalada aynı birimin kullanılması şartıyla herhangi bir birim kullanılabilir.



Şekil 4.7 Abak 4.1'de kullanılan sembollerin anlamı [3]



Abak 4.1 Küçük yangının havalandırılması [3]

4.3.3 Abak 4.2: küçük yangınlarda sıcak gaz katmanı sıcaklığının tayini

Bu abak ile çatının ya da tavanın altında biriken sıcak gaz ve dumanın oluşturduğu katmanın sıcaklığı belirlenebilir. Bu abak;

- ✓ efektif başlangıç noktası ile sıcak gaz katmanının alt seviyesi arasındaki mesafe (r_b),
- ✓ yangında ortaya çıkan ısı miktarı ve
- ✓ sıcak gaz katmanı sıcaklığı (θ_c) arasında bir ilişki kurar.

Abak 4.2 ile sıcak gaz katmanının sıcaklığını belirleyebilmek için yangında konveksiyonla neşredilen ısı miktarı bilinmelidir. Bu değer genellikle neşredilen toplam ısı miktarının $3/4$ 'ü kadardır, geri kalanı ise radyasyonla dağılır [3,16]. Bu değeri doğru bir şekilde tespit etmek zordur. Çünkü yanıcı maddenin birim yüzey alanının yanma hızı; yanıcı maddenin doğasına, kütlesine, ağırlığına, terkiğine ve bir dereceye kadar şekline, büyüklüğüne ve bulunduğu mahalın konstrüksiyonuna bağlıdır.

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da çeşitli yanıcı maddelerin birim yüzeylerinin yanmasıyla neşredilen ısı miktarları verilmiştir. Bu verilere ilaveten, Çizelge 4.7'de değişik mekanların birim alanlarından yayılan ısı miktarları verilmiştir. Bu değerler yaklaşık değerler olmakla beraber Abak 4.2'de yeralan yangındaki ısı neşri skalasında kullanılabilir.

Çizelge 4.5 Bazı yanıcı maddelerin yanmasıyla neşredilen ısı miktarları [3]

Malzeme	Isıl değer		Yanıcı maddenin birim yüzey alanının yanma hızı		Yanıcı maddenin birim yüzey alanından çıkan ısı miktarı	
	Btu/lb	MJ/kg	lb/ft ² s	kg/m ² s	Btu/ft ² s	MJ/m ² s
Tahta, elyafli izolasyon levhası, elyaf levhası ve benzer selülozik malzemeler	8000	18.6	1.75×10^{-3}	8.54×10^{-3}	14	0.16
Petrol	20000	46.5	7×10^{-3}	34.2×10^{-3}	140	1.6
Endüstriyel metil uçucular	12000	27.9	5.5×10^{-3}	26.8×10^{-3}	65	0.74
Hafif fuel-oil	18000	41.9	7×10^{-3}	34.2×10^{-3}	130	1.5

Çizelge 4.6 Bazı yanıcı malzemelerin yanmasıyla yayılan ısı miktarları [13,17,20]

Malzeme cinsi	Birim yüzeyden yayılan ısı miktarı (kW/m ²)
Sıkıştırılmış atık kağıt levha	85
Kitaplar	93
Mobilya	93
Sandıkta mobilya	100
Genel selüloz	160
Rulo poster	210
Araçlar/Petrol/Boya	260
Karton/Elektrikli eşyalar	310
İstiflenmiş posterler	320
İstiflenmiş kereste	390
Poster kartonları	630
Endüstriyel metil uçucular	740
Hafif fuel-oil	1475
Petrol	1590

Not: Yanıcı maddenin doğası hakkında yeterli bilgi yoksa ve de yukarıdaki sınıflardan birine girmiyorsa, o zaman duman tahliye kapaklarının kullanıldığı doğal vantilasyonlu sistemler için 250 kW/m², duman fanının kullanıldığı cebri vantilasyonlu sistemler için ise 500 kW/m² değeri kabul edilir [13].

Çizelge 4.7 Bazı mekanların birim alanlarından yayılan ısı miktarları [20]

Mekan	MW/m ²
Perakende dükkanı	0.5
Açık ofis	2.5
Tek ofis	1.0
Fabrika	2.5 ila 5.0
Tek yatak	1.0
Araba	2.5
Yüklü kamyon	7.0

4.3.4 Abak 4.1 ve Abak 4.2 ile yapılabilecek hesaplamalar

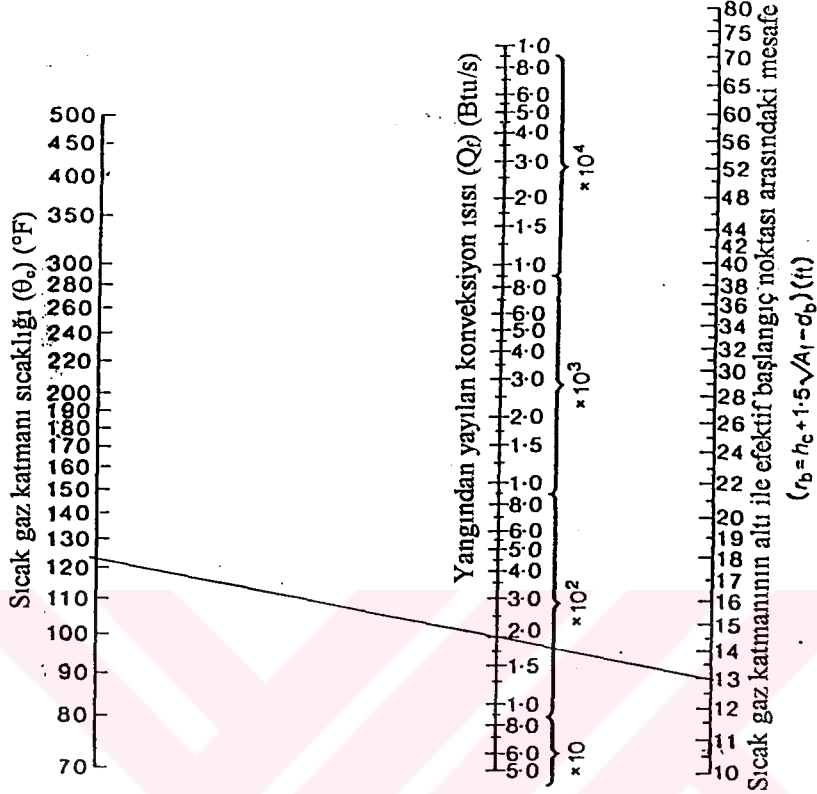
1. Sıcak gaz katmanını istenen derinlikte (d_b) tutmak için gerekli toplam duman tahliye kapağı alanının (A_v) bulunması. Bu hesap için;

d_b = sıcak gaz katmanının efektif derinliği,

A_f = yangının zemin alanı,

h_c = efektif tavan yüksekliği değerlerinin bilinmesi gerekir. Sonra, (4.2) nolu formül yardımıyla efektif başlangıç noktası ile tavan arasındaki mesafe (r_c) hesaplanır [3]. Abak

4.1'den r_c ve d_b yardımıyla $\sqrt{A_v}$ bulunur.



Abak 4.2 Küçük yangınlarda sıcak gaz katmanı sıcaklığı [3]

Not: Hesaplarda, $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1.8$; $\text{MJ/s} = 1.055 \times 10^{-3} \text{ Btu/s}$; $\text{m} = 0.305 \text{ ft}$ çevrim katsayıları kullanılabilir.

2. Sıcak gazların tavanın altında istenen derinlikte sınırlandırılacak en büyük yangının belirlenmesi. Bu hesap için;

d_b = sıcak gaz katmanının müsaade edilen (istenen) efektif derinliği,

A_v = toplam duman tahliye kapağı alanı,

h_c = efektif tavan yüksekliği değerlerinin bilinmesi gerekir. Abak 4.1'den h_c ve d_b yardımıyla r_c bulunur. Sonra,

$$A_f = \left(\frac{r_c - h_c}{1.5} \right)^2 \quad (4.3)$$

formülünden yangının zemin alanı hesaplanır [3].

3. Sıcak gaz katmanı sıcaklığının (θ_c) belirlenmesi. Bu hesap için;

d_b = sıcak gaz katmanı efektif derinliği,
 ya da A_v = toplam duman tahliye kapağı alanı,
 A_f = yangının zemin alanı,
 Q_f = yangından yayılan konveksiyon ısısı (Çizelge 4.5'e bakınız),
 h_c = efektif tavan yüksekliği değerlerinin bilinmesi gerekir. (4.2) nolu formülünden efektif başlangıç noktasının yeri (d_b) bulunur. Eğer d_b bilinmiyorsa Abak 4.1'den r_c ve $\sqrt{A_v}$ yardımıyla d_b bulunur. Sonra,

$$r_b = r_c - d_b \quad (4.4)$$

formülünden efektif başlangıç noktası ile sıcak gaz katmanının alt seviyesi arasındaki mesafe hesaplanır [3]. Yukarıda hesaplanan r_b ve Q_f değerlerini Abak 4.2'de kullanarak sıcak gaz katmanı sıcaklığı θ_c bulunur.

4. Sıcak gaz katmanı sıcaklığını (θ_c) sınırlamak için gerekli toplam duman tahliye kapağı alanının (A_v) belirlenmesi. Bu hesap için;

θ_c = sıcak gaz katmanının istenen sıcaklığı,
 A_f = yangının zemin alanı,
 Q_f = yangından çıkan konveksiyon ısısı (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7'ye bakınız),
 h_c = efektif tavan yüksekliği değerleri bilinmelidir. θ_c ve Q_f 'nin bilinen değerleri yardımıyla Abak 4.2'den r_b (efektif başlangıç noktası ile sıcak gaz katmanının alt seviyesi arasındaki mesafe) bulunur. Sonra,

$$d_b = 1.5 \sqrt{A_f} + h_c - r_b \quad (4.5)$$

formülünden d_b ve (4.2) nolu formülden de r_c hesaplanır [3]. Eğer d_b eksi çıkarsa çatıdan duman atımı yöntemi ile sıcak gaz katmanı sıcaklığı, θ_c sıcaklığında tutulamaz sonucuna varılır. Yukarıda hesaplanan r_c ve r_b değerleri ile Abak 4.1'den $\sqrt{A_f}$ bulunur.

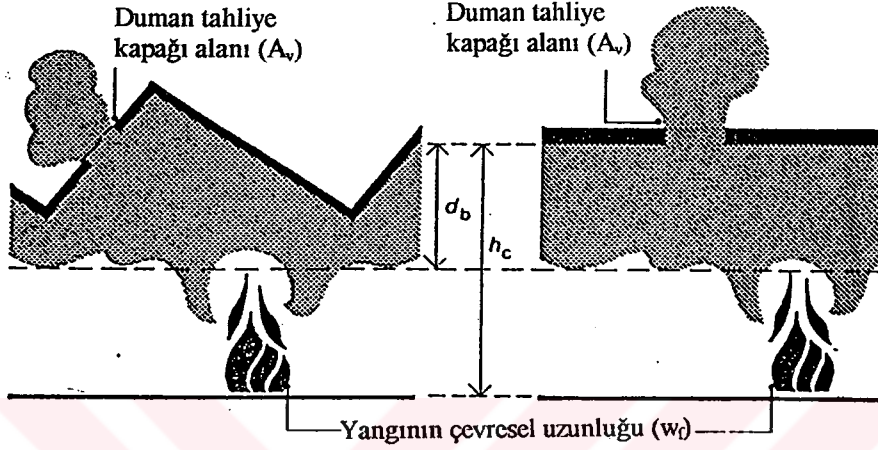
4.3.5 Abak 4.3: büyük, fakat tam gelişmemiş yangınların havalandırılması

Bu abak aşağıdaki büyüklükler arasında ilişki kurar (Şekil 4.8):

- ✓ efektif tavan yüksekliği (kapakların merkezine kadar ölçülen değer) h_c (ft biriminde),
- ✓ sıcak gaz katmanı efektif derinliği (kapakların merkezinden itibaren ölçülen değer) d_b (ft biriminde),

✓ oranlar:
$$\frac{\text{Duman tahliye kapağı alanı } (A_v) \text{ ft}^2}{\text{Yangının çevresel uzunluğu } (w_f) \text{ ft}} = F \quad (4.6)$$

$$\frac{\text{Duman tahliye kapağı aerodinamik alanı } (A_v C_v) \text{ ft}^2}{\text{Yangının çevresel uzunluğu } (w_f) \text{ ft}} = G \quad (4.7)$$



Şekil 4.8 Büyük, fakat tam gelişmemiş yangın için Abak 4.3'te kullanılan büyüklükler [1,3]

4.3.6 Abak 4.3 ile yapılabilecek hesaplamalar

1. Sıcak gaz katmanını istenen seviyede tutmak için gerekli olan toplam duman tahliye kapağı alanının (A_v) belirlenmesi. Bu hesap için;

d_b = sıcak gaz katmanının istenen efektif derinliği,

w_f = yangının çevresel uzunluğu,

h_c = tavanın efektif yüksekliği değerleri bilinmelidir. h_c ve d_b bilinen değerleri ile Abak 4.3'ten F değeri bulunur. Sonra, (4.6) nolu formülden A_v hesaplanır.

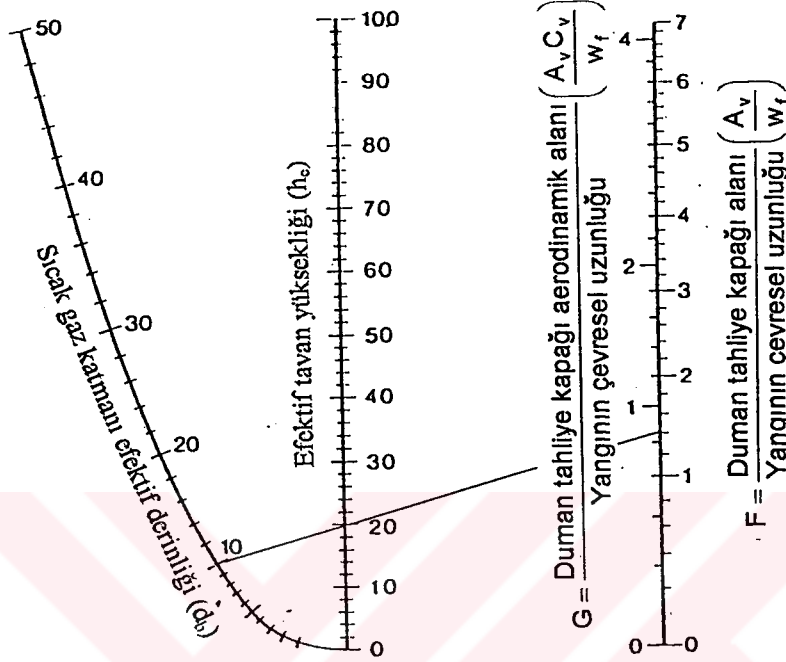
2. Önerilen kapak alanını kullanarak sıcak gazların tavanın altında istenen derinlikte sınırlandırılacak en büyük yangının belirlenmesi. Bu hesap için;

d_b = sıcak gaz katmanının istenen efektif derinliği,

A_v = önerilen toplam tahliye kapağı alanı,

h_c = efektif tavan yüksekliği değerlerinin bilinmesi gerekir. Abak 4.3'ten bilinen h_c ve d_b değerleri yardımıyla F oranı bulunur. Sonra, (4.6) nolu formül ile yangının çevresel uzunluğu (w_f) hesaplanır. Dolayısıyla, yangının büyüklüğü bulunur. Kare şeklindeki bir

yangının bir kenarının uzunluğu ($w_f/4$) ya da daire şeklindeki bir yangının yarıçapı ($w_f/2\pi$) formüllerinden hesaplanır.



Abak 4.3 Büyük, fakat tam gelişmemiş yangının havalandırılması [1,3]

4.3.7 Abak 4.4 (a) ve (b): tam gelişmiş yangınların havalandırılması

Yangın tam gelişmişse sıcak gaz katmanını seviyesini kontrol etmek mümkün değildir. Çünkü binanın (ya da binanın bölmesinin) tamamı duman ve yangın ile dolmuştur. Bu şartlar altında amaç;

- ✓ sıcak gazların binadaki yangın yayılımında bir araç olmamasını,
- ✓ duman ve sıcak gazların sadece çatıdaki kapaklardan dışarı atılmasını,
- ✓ taze havanın ise sadece alt kotlardaki açıklıklardan yangın alanı içine girmesini sağlamaktır. Her iki abakta yangın mahalinde bulunan yatay bir düzlem olarak tanımlanabilen *nötral düzlem* kavramı kullanılır, ki bu düzlemin üzerindeki basınç ortam basıncından yüksek olduğundan duman ve sıcak gazlar odanın dışına atılır ve bu düzlemin altındaki basınç ortam basıncından küçük olduğundan hava yangın alanının içine çekilir. Nötral düzlem hizasında yangın mahalindeki basınç atmosfer basıncına eşit olur, ki bundan dolayı, bu seviyede mahal içine ne hava girişi olur, ne de mahal dışına duman çıkışı olur.

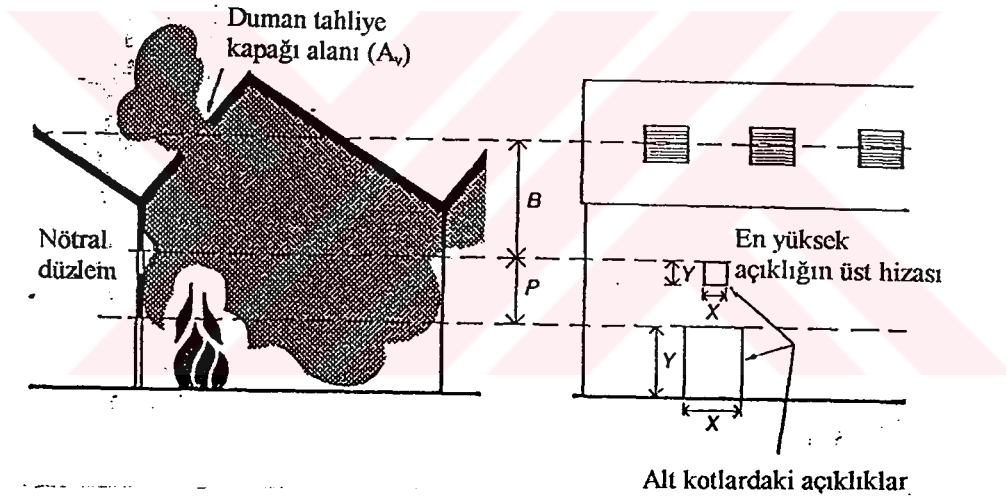
Abak 4.4'teki hem (a) hem de (b), nötral düzlemin yerini belirleyen faktörlerle ilgilidir. Dolayısıyla, bunların yardımıyla sıcak gazların nötral düzlemin altındaki açıklıklardan dışarı çıkmamasını sağlayacak gerekli kapak alanı bulunabilir. Bununla birlikte, 'alt kottardaki açıklıkların toplam alanı yangın alanının 1/20'sinden az olduğunda' bu iki abağın kullanılabilceğini vurgulamak gerekir. Kullanılan sembollerin anlamları Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Abaklarda kullanılan büyüklükler;

B = baca yüksekliği [nötral düzlem ile efektif tavan (duman tahliye kapaklarının merkezi) arasındaki mesafe],

P = nötral düzlem ile alt kotta bulunan her bir açıklığın üst hizası arasındaki mesafe,

X = alt kotta bulunan her bir açıklığın genişliği,

Y = alt kotta bulunan her bir açıklığın yüksekliği'dir.



Şekil 4.9 Tam gelişmiş yangınların havalandırılması için Abak 4.4'te (a) ve (b)'de kullanılan büyüklükler [3]

Hesaplama ilk adım Abak 4.4(a)'yı kullanarak nötral düzlemin altında bulunan her bir açıklığın (N) karakteristik parametresinin belirlenmesidir. Bu parametre; her bir açıklığın büyüklüğüne ve yerine bağlıdır. Abak 4.4(a)'da bu parametreyi bulmak için;

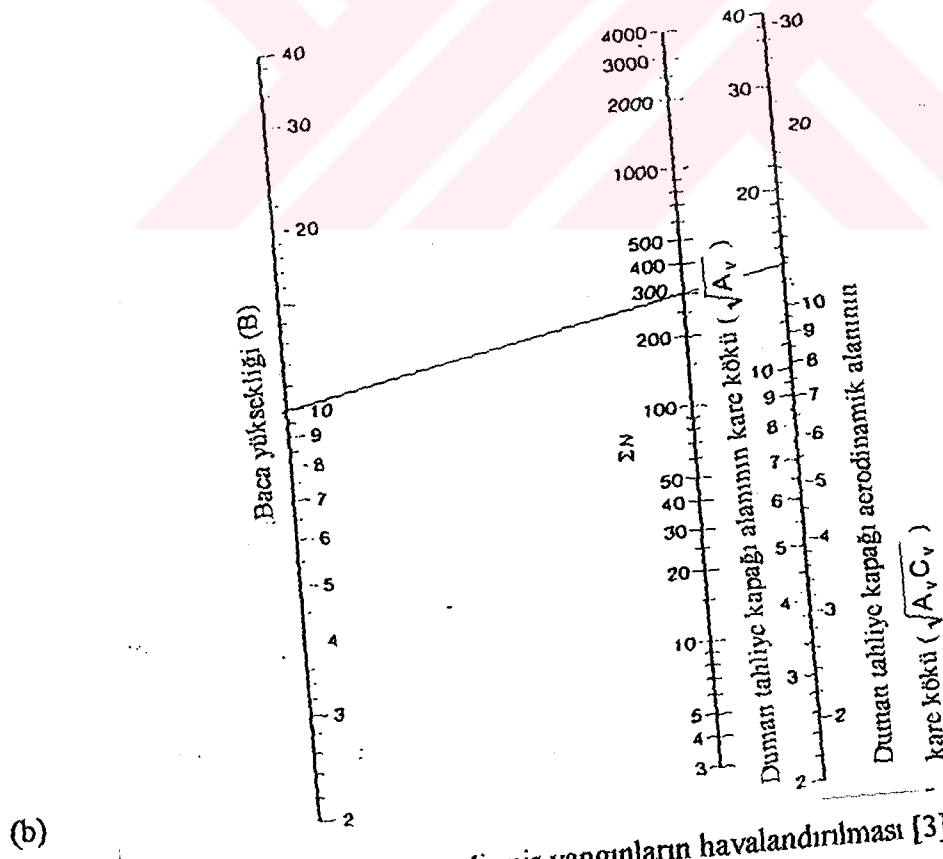
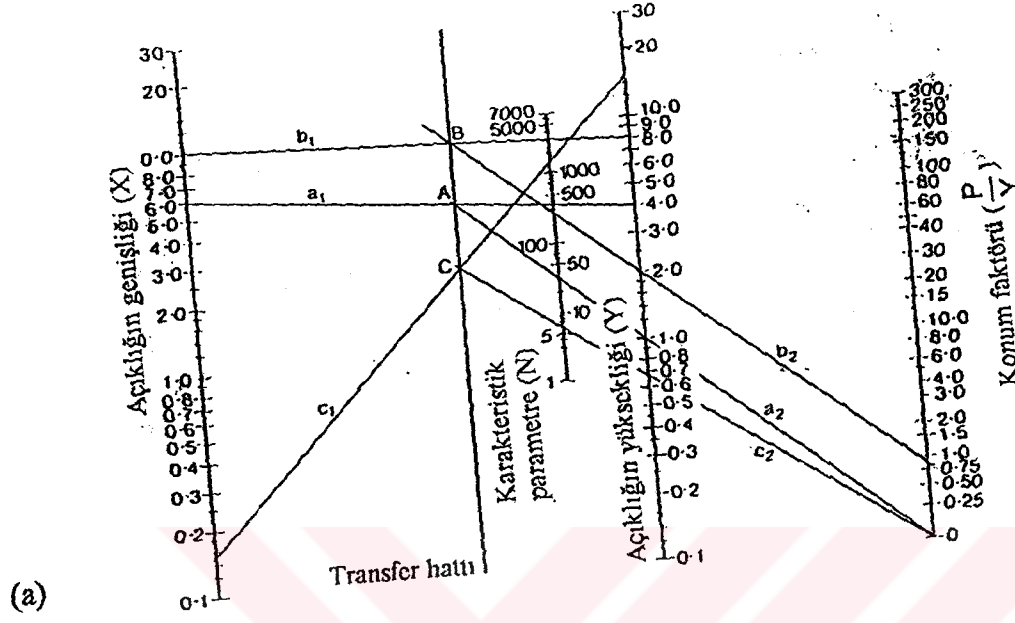
Y = her bir açıklığın yüksekliği,

X = her bir açıklığın genişliği,

P = nötral düzlemin istenen yeri ile her bir açıklığın en üst hizası arasındaki mesafe ve dolayısıyla,

P/Y = her bir açıklığın *konum faktörü*'nün bilinmesi gerekir.

Nötral düzlemin arzu edilen yeri en yüksek açıklığın en üst hizası ya da bunun biraz üstü olmalıdır [3,16].



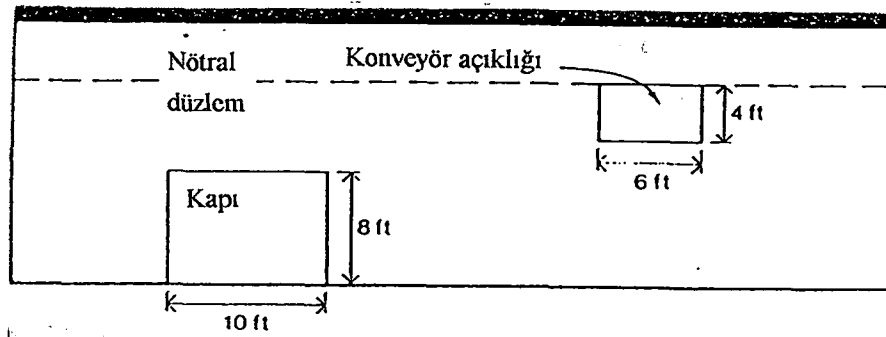
Abak 4.4 Tam gelişmiş yangınların havalandırılması [3]

Abak 4.4 (a)'da X değerinden Y değerine bir doğru çizilir. Bu doğrunun *transfer hattı*'nı kestiği nokta işaretlenir. Bu noktadan da P/Y değerine bir doğru çizilir. Bu doğrunun (N) karakteristik parametre (N) skalasını kestiği değer okunur. Bu işlem her bir açıklık için tekrarlanır, her birinde elde edilen N değerleri toplanır ve ΣN bulunur.

Abak 4.4 (b)'de çatıdaki duman tahliye kapakların merkezi ile nötral düzlem arasındaki mesafe olan B değeri en soldaki skala üzerinde işaretlenir. Ortadaki skalada ise yukarıda hesaplanan ΣN değeri işaretlenir. Bu iki noktadan geçen doğru en sağdaki skalayı kesecek şekilde uzatılır ve kestiği noktadaki kapak alanının kare kökü değeri okunur. Bu değer karesi alınarak uygun kapak alanı bulunur.

4.3.8 Abak 4.4 ile yapılan bir hesap örneği

25 ft (7.625 m) yüksekliğe sahip bina yangına dayanıklı ara duvar ile iki bölüme ayrılmıştır (Şekil 4.10). Bir bölümünün taban alanı 50 ft x 50 ft (15.25 x 15.25 m²) olup ara duvarda iki açıklık vardır: 10 ft (3 m) genişliğe, 8 ft (2.44 m) yüksekliğe sahip kapı açıklığı ve 4 ft (1.22 m) yüksekliğe, 6 ft (1.83 m) genişliğe sahip konveyör (servis) açıklığı. Konveyör açıklığının en üst noktasının zeminden uzaklığı 15 ft (4.575 m)'dir. Dış duvarlarda başka hiçbir açıklık yoktur. Fakat dış duvarlardaki sızıntı alanının, dış duvar alanının %0.1'i olduğu kabul edilmektedir. Nötral düzlemin yeri konveyör açıklığının üst kenarı hizasında yani, zeminden 15 ft (4.575 m) yukarıda olması istendiğine göre nötral düzlemi bu seviyede tutacak toplam duman tahliye kapağı alanını bulunuz.



Şekil 4.10 Ara duvar [3]

Çözüm: 1. Nötral düzlemin altında bulunan üç açıklığın ΣN değeri bulunur:

Açıklık 1 (konveyör açıklığı):

$$X = 4 \text{ ft (genişlik)}$$

$$Y = 6 \text{ ft (yükseklik)}$$

$$P = 0 \text{ (nötral düzlem, açıklığın üst kenarı ile aynı hizada)}$$

Dolayısıyla, $P/Y = 0$ bulunur. Abak 4.4 (a)'da a_1 ve a_2 doğruları çizilir ve konveyör açıklığı için $N_1 = 30$ olarak okunur.

Açıklık 2 (kapı):

$$X = 10 \text{ ft (genişlik)}$$

$$Y = 8 \text{ ft (yükseklik)}$$

$$P = 7 \text{ ft (nötral düzlem ile kapının üst kenarı arasındaki mesafe)}$$

Dolayısıyla, $P/Y = 7/8 = 0.875$ olarak bulunur. Abak 4.4 (a)'da b_1 ve b_2 doğruları çizilir ve kapı için $N_2 = 270$ olarak okunur.

Açıklık 3 (sızıntı alanı):

Dış duvarlardaki sızıntı alanı düzgün bir şekilde dağılmış bulunduğundan sızıntı alanı, nötral düzlem ile zemin arasında bulunan bir açıklık gibi ele alınır. Buna göre;

$$Y = 15 \text{ ft (sızıntı alanının yüksekliği) olur. Genişliği ise,}$$

$$X = \frac{3 \times (15 \times 50) \times 0.001}{15} = 0.15 \text{ ft olarak hesaplanır.}$$

$$P = 0 \text{ (sızıntı alanının üst kenarı, nötral düzlemle aynı hizada)}$$

Dolayısıyla, $P/Y = 0$ bulunur. Abak 4.4 (a)'da c_1 ve c_2 doğruları çizilir ve sızıntı alanı için $N_3 = 6$ olarak okunur. Buradan,

$$\Sigma N = N_1 + N_2 + N_3 = 30 + 270 + 6 = 306 \text{ olarak hesaplanır.}$$

2. Nötral düzlem ile çatıdaki duman tahliye kapaklarının merkezi arasındaki mesafe (B) belirlenir: Bu örnekte çatı düz olduğundan tavan ile duman tahliye kapağı merkezi çakışmaktadır. Tavan yüksekliği 25 ft ve nötral düzlemin zeminden yüksekliği 15 ft olduğundan $B = 10 \text{ ft (3 m)}$ olarak bulunur.

3. Abak 4.4 (b)'de yukarıdaki ΣN ve B değerleri yardımıyla gerekli duman tahliye kapağı

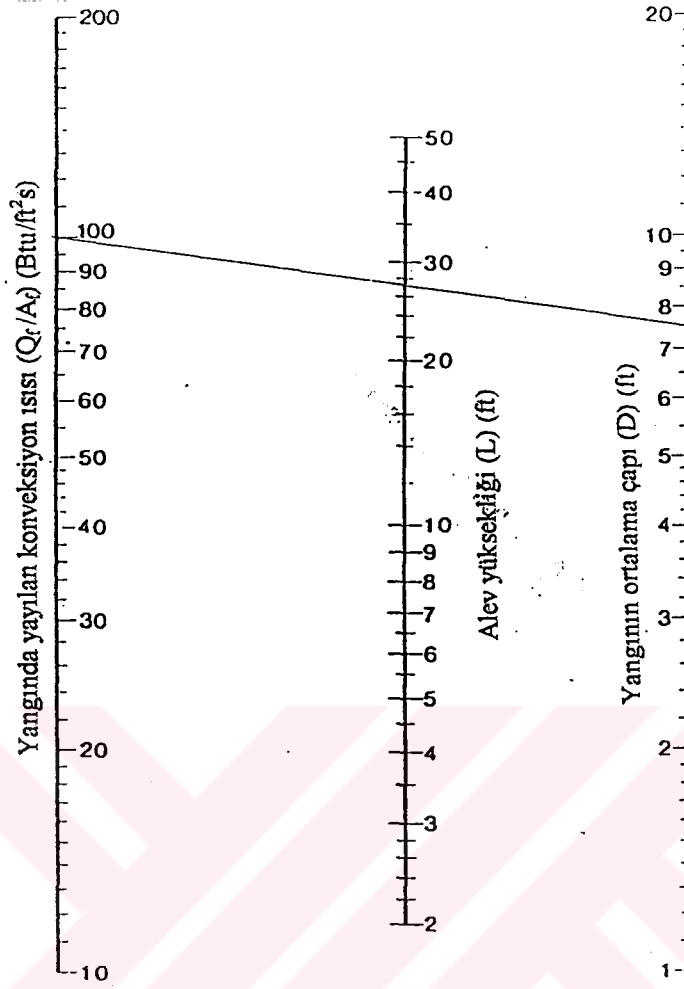
alanının kare kökü 15.1 olarak okunur. Dolayısıyla, gerekli (ölçülen) toplam kapak alanı; $15.1^2 = 228 \text{ ft}^2$ (21.21 m^2) olarak hesaplanır.

4.3.9 Abak 4.5: odun yangınlarındaki alev yüksekliği

Yanıcı bir malzeme aleve maruz kaldığında, sıcak yanma ürünlerine (ki sıcaklıkları, aleve yakın yerler haricinde, 950°F (510°C)'yi aşmaz [16]) maruz kaldığından daha fazla ısı neşreder ve sıcaklığı daha yüksek olur. Bu nedenle, alevler tavana ulaştıktan hemen sonra çatı konstrüksiyonu çökebilir. Duman tahliye kapaklarının açılmasıyla yapılan havalandırma, alevlerin tavan altında yayılmasını sınırlandırdığından çatının yangından uzak yerlerdeki kısımlarının daha az hasar görmesini sağlar. Duman tahliye kapakları alevler tavana varmadan önce açılmalıdır ve duman tahliye kapağı alanı, tavana henüz ulaşan alevleri ve yangından yayılan duman ve ısıyı dışarı atmaya yetecek büyüklükte olmalıdır.

Odunların yakılması sonucu elde edilen alev yüksekliklerinin gözlemlenmesi sonucu yapılan deneyler sonucunda Abak 4.5 oluşturulmuştur. Bu abak;

- ✓ alev yüksekliği, L (ft),
- ✓ yangının birim alanından yayılan konveksiyon ısı, Q_f / A_f ($\text{Btu}/\text{ft}^2\text{s}$) (birim alandan yayılan toplam ısının yaklaşık $3/4$ 'ü kadardır [3,16]),
- ✓ yangının ortalama çapı, D (ft) (kare şeklindeki yangının kenar uzunluğu da olabilir) arasında ilişki kurmaktadır. Dolayısıyla, yangın alanı ve neşredilen ısı miktarının bilinmesi durumunda oluşan alev yüksekliği bulunabilir.

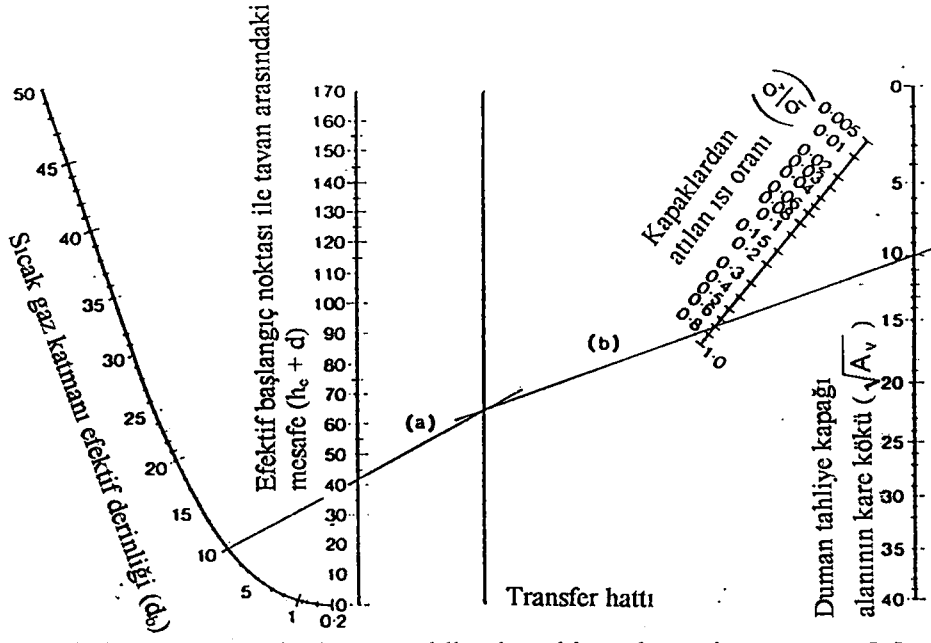


Abak 4.5 Odun yangınlarındaki alev yüksekliği [16]

4.3.10 Abak 4.6: yangında duman tahliye kapaklarından atılan ısı oranı

Bu abak;

- ✓ sıcak gaz katmanı efektif derinliği (d_b),
- ✓ efektif başlangıç noktasından duman tahliye kapaklarının merkezine kadar olan mesafe ($r_c = d + h_c$),
- ✓ duman tahliye kapaklarından atılan ısı oranı (Q_v/Q_f),
- ✓ duman tahliye kapağı alanının kökü ($\sqrt{A_v}$) arasında ilişki kurmaktadır. Küçük yangınlarda kullanılan bu abak ile önerilen kapak tasarımının, olası bir yangında yayılacak ısıyı dışarı atmada ne kadar etkili olacağı belirlenebilir. Abakta hiçbir birim gösterilmemiştir. Q_v/Q_f boyutsuzdur. Her bir skalada kullanılan birim sisteminin aynı olması şartıyla herhangi bir birim sistemi kullanılabilir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yangın ve neden olduğu tehlikelerle mücadele etmede ve bu tehlikelerin üstesinden gelmede belirleyici husus ilgili kişilerin bu konuda eğitilmeleridir. Dolayısıyla, yangının nasıl çıktığı, çıkış şartları, gelişim safhaları, bu safhalarda yol açtığı olası tehlikeler vs. konuların iyi anlaşılması gerekir.

Duman, yangın esnasında başlıca öldürücü etkidir. Dumanın çoğunlukla binanın yangın mahalinden başlayarak diğer bölümlere doğru süratle yayıldığı göz önüne alınırsa binanın dumanla dolması, yangının çıkış yerinin tam olarak tespitini oldukça zorlaştırır ve dolayısıyla, yangınla mücadele güçlüğüyle yapılır. Duman içinde bulunan zehirli gazların toksik etkileri, aşırı ortam sıcaklığı ve duman karartması neticesindeki görüş mesafesindeki düşüş hem itfaiye ekiplerinin hem de binada bulunan kişilerin hayatlarını tehlikeye sokmaktadır. Yangın anında yoğun duman ortamında bulunan kişiler etrafi göremediklerinden paniğe kapılıp sık sık yönlerini şaşırırlar. Binanın içinde fazla kalmaları neticesinde zehirli gazlara ve aşırı sıcaklıklara daha fazla maruz kalırlar.

Ülkemizdeki binaların büyük bir çoğunluğu duman kontrolü prensiplerine göre inşa edilmemiştir. Bu nedenle, olası bir yangında neşredilen dumanın mahalde bulunan kişilere ve eşyalara yönelik vereceği zarar, ancak yangın söndürme ekibinin uygun vantilasyon çalışmalarını başlatmasıyla azaltılabilir, önenebilir. Fakat, yangın söndürme ekibi yangın mahaline gelinceye kadar geçen süre zarfında mahalde bulunan kişilerin maruz kaldıkları tehlikeler (zehirli gazlar, duman karartması nedeniyle görüş mesafesindeki düşüş, aşırı sıcaklık, oksijen yetersizliği vs.) bu kişilerin hayatlarında belirleyici olacaktır. Bu nedenle, tıpkı yangın söndürmede olduğu gibi, dumanın yangın başladığı andan itibaren tahliye edilmeye başlanmasının gerek mahaldeki eşyalara, gerek ortamdaki kişilere ve gerekse yangın söndürme ekiplerine vereceği zararı minimuma çekeceği unutulmamalıdır.

Tek katlı binalarda doğal vantilasyon ile duman atımında zeminden itibaren belli yükseklikte bölgenin dumansız kalması sağlanarak yangın anında söndürme ve tahliye işlemleri için uygun ortam yaratılmaktadır. Doğal vantilasyon ile çatıdan duman atımının sağlayacağı faydalar şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ Binanın zemin alanının sadece bir kısmında çıkan yangından yayılan duman, tavana doğru yükselir ve tavanın altında bir tabaka oluşturur. Duman tahliye kapaklarının olmaması durumunda bu katman zemine doğru derinleşir. Bu olay itfaiye gelmeden önce meydana gelebilir. Dolayısıyla, yangının kesin çıkış yerinin belirlenmesi gecikir ve yangına çabuk müdahalede bulunulamaz.
- ✓ Duman tahliye kapaklarının açılması ile duman katmanı derinliği azalır ve sonuç olarak, zemine yakın yerdeki bölgenin dumansız ve serin olması sağlanır. Dolayısıyla, yangınla mücadele kolaylaşır. İlaveten, mahalde bulunan kişiler duman içindeki gazların toksik etkilerine ve aşırı sıcak ortamın olumsuzluklarına maruz kalmazlar.
- ✓ Oluşturulan dumansız bölge içinden mahaldeki insanların tahliyesi daha kolay ve hızlı yapılabilir. Bu şekilde, yangın mahalinde bulunan kişilerin dumanın içinde bulunan zehirli gazların toksik etkilerine ve aşırı ortam sıcaklığına maruz kalmadan dışarı çıkması mümkün olur, dolayısıyla can kaybı meydana gelmez.
- ✓ Yangının sınırlı bir alanı kapladığı ve alevlerinin duman katmanına girmediği varsayılırsa duman tahliye kapaklarının açılması ile duman katmanı sıcaklığı kontrol edilebilir ve sıcaklığı, çatının çelik konstrüksiyonunun deforme olmaya ya da yanıcı tavanın yanıcı gazlar neşretmeye başlayacağı sıcaklığın altında tutulabilir.
- ✓ Yanmamış yanıcı gazların duman havuzunda tavanın altında birikmesi önlenir. Bu sayede, bu gazların aniden tutuşarak tehlikeli sonuçlar doğurması engellenir.

Duman tahliye kapaklarının kullanımıyla yapılan vantilasyonda sağlanan avantajlar konunun önemini vurgulamaktadır. Bu nedenle, gerek insan hayatını korumak ve gerekse de olası zararı azaltmak açısından bu konuda çalışmaların hemen başlatılıp gerekli standartların oluşturulması ve binaların tasarımında duman kontrolünün da göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ball, D.B., Smoke Control and Ventilation in Special Structures, Colt International Ltd., Singapore.
- [2] Becan, A.S. (1996), "Yanma Gazları ve Zehirleyici Etkileri", İtfaiye 110 Dergisi, (5):9.
- [3] Butcher, E.G. ve Parnell, A.C. (1979), Smoke Control in Fire Safety Design, E.&F. N. Spon Ltd., London.
- [4] Can, İ. (1998), "Yangın Havalandırması Hesaplamaları Notları", Birikim Mühendislik, İstanbul.
- [5] Cengiz, M. (1995), "Yangının Kimyası ve Hareket Özellikleri", Yangın ve Güvenlik Dergisi, (22):60-65.
- [6] EN 2, (1992), "Classification of Fires", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [7] Genceli, O.F. (1997), Yakacaklar ve Yanma, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar: 2, İstanbul.
- [8] Karadaş, N. ve Şişman, N. (1996), "Söndürme Maddeleri ve Kullanım Özellikleri", İtfaiye 110 Dergisi, (3-4):32-33.
- [9] Kılıç, A. (1996), "Yangın Yerinde Zehirli Gazların Tehlikeleri", Yangın ve Güvenlik Dergisi, (25):20-22.
- [10] Klote, J.H. ve Milke, J.A. (1992), Design of Smoke Management Systems, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- [11] Korur, A. (1944), Zehirli Gazlar ve İlk Yardımlar, Başvekalet Devlet Matbaası, Ankara.
- [12] Özer, M. (1985), Endüstriyel Yangın Tehlikeleri ve Güvenlik Tedbirleri, Özer Yayınları, İstanbul.
- [13] Smoke Ventilation Association, (1991), "Issue 2: Guidance for the Design of Smoke Ventilation for Single Storey Industrial Buildings, including Those with Mezzanine Floors and High Racked Storage Warehouses", Federation of Environmental Trade Associations.
- [14] Soğukoğlu, M.M. (1996), "Yangınlarda İnsanları Etkileyen Faktörler", İtfaiye 110 Dergisi, (3-4):10-13.
- [15] Soğukoğlu, M.M. (1998), "Yangın Söndürme Maddesi Olarak Su", İtfaiye 110 Dergisi, (15):8-12.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	08.04.1974	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1988-1991	Maçka Akif Tuncel Endüstri Meslek Lisesi
Lisans	1991-1995	Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans	1995-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı
Çalıştığı kurum(lar)		
	1996-1997	Teshan Proje Mühendislik ve Taahhüt Ltd. Şti.
	1997	Raab Karcher Energy Services Türkiye Departmanı