

152288

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

152288

**YANGIN KAÇIŞ YOLLARINDA KULLANILAN DUMAN
PERDELERİNİN DUMAN HAREKETİNE ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Mimar Mustafa ÖZGÜNLER
(502942202)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Haziran 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Aralık 2004

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Zerrin YILMAZ

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Abdurrahman KILIÇ (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Vildan OK (İ.T.Ü.)

Prof. Güner YAVUZ (Y.T.Ü.)

Prof.Dr. Halit Yaşa ERSOY (M.S.Ü.)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Mimarlık eğitiminde, yangın güvenliği kavramına verilen önem maalesef henüz gereken değere ulaşamamıştır. Aynı şekilde tasarım ve uygulama aşamasında güvenlik açısından alınması gerekli önlemler, tüm dünyada belli yönetmelik ve standartlarla belirlenmiş olmasına rağmen Türkiye'nin bu konuda yeterli atılımları yaptığı söylenemez. Oysa konu ile ilgili yönetmeliğe 2002 yılında kavuşan ülkemizin, bu konudaki eksikliklerini kapatabilmek için; yangın tehdidi altındaki binaların yaratıcısı olan mimarların omuzlarına büyük yük bineceği ortadadır.

Bu derece önemli bir tehlikeyi geçerli çözümler getirerek ortadan kaldıracılabilmek için, tehdit unsuru olan faktörlerin ve bu faktörlerin bina tasarımını etkileyiş biçimlerinin bilinmesi, tasarlanan mekan geometrisi içinde meydana gelebilecek yangın dinamiğinin önceden tahmin edilebilmesi ve bu verilere göre uygun savunma stratejileri belirlenmesi gerekmektedir.

Bu noktadan hareket ederek hazırladığım bu çalışmada, beni özveri ve sabır ile destekleyen sayın tez danışmanım Prof. Dr. Zerrin YILMAZ 'a, yangın dinamiğinin akışkanlar dinamiği kuralları ile modellenebileceği fikrini veren Sn. Elton MALLEK'e, FDS programı kullanımına yönelik yardımcı e-maillerinden dolayı Sn. Kevin McGRATTAN'a, bilgisayar programlarının çalışabileceği bilgisayar temininde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Nuran ZEREN GÜLERSOY müdürlüğünde Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezine, Araş. Gör. İsmail KOÇAK'a, çalışmamın tamamlanmasında emeği geçen arkadaşlarıma ve beni her zaman her açıdan destekleyerek, moral veren aileme ve Araş. Gör. Seden ACUN'a teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN, 2004

Mustafa ÖZGÜNLER

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1 GİRİŞ	1
2 KAPALI HACİM YANGINLARI	4
2.1 Kapalı Hacim Yangınlarında Çift Tabaka Kuramı	7
2.1.1 Alev Gelişmesinin Analitik Olarak Tarifi	9
2.1.2 Alev ve Tavan Etkileşimi	10
2.1.3 Tavan Jeti ve Duvar Etkileşimi	12
2.1.4 Üstteki Tabakanın Gelişmesi ve Büyümesi	13
2.2 Yangın Büyümesinde Değişim Evresi	18
2.2.1 Genel Kavuşma Evresi	18
2.3 Yangın Mekanından Komşu Mekana Duman Dağılımı	19
2.3.1 Yangın mekanı ile komşu mekan arasındaki temiz hava ve duman alışverişi	20
2.3.2 Komşu mekanın dumanla dolması ve tavan jet olayı	23
2.4 Yanma Ortamındaki Dumanın Tüm Binaya Yayılması	24
2.4.1 Genleşme Etkisi	26
2.4.2 Kaldırma Kuvvetleri Etkisi	26
2.4.2.1 Baca Etkisi (Çekme Olayı)	27
2.4.3 Mekanik Havalandırma Sistemleri	28
2.4.4 Rüzgar Etkisi	29
3 YANGIN GÜVENLİĞİ AÇISINDAN YANGIN KAÇIŞ YOLLARININ ÖNEMİ	32
3.1 Yangın Tehlikesinin Analizi	32
3.2 Yangından Korunmanın Amaç ve Kapsamı	33

3.3 Yangın Kaçış Yolları Tasarımında Etkili Parametreler.....	35
3.3.1 Kaçış Yolları Boyutlandırılması.....	36
3.3.1.1 Kaçış Yolu Boyutlamada İnsan Parametresi Andropometri	36
3.3.1.2 Kaçış Yolu Boyutlamada Hız Parametresi	38
3.3.2 Kaçış Yollarında Malzeme Kontrolü	42
3.4 Kaçış Yollarının Performans Değerlendirmesi	43
3.5 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	46
3.5.1 Modellemeye Giriş	46
3.5.2 Yangın Modelleme Programları	49
3.5.2.1 NIST Fire Dynamics Simulator FDS	49
3.5.2.2 Jasmine (Analysis of Smoke Movement In Enclosures).....	50
3.5.2.3 Aloft-FT™ (A Large Outdoor Fire plume Trajectory model-Flat Terrain)	50
3.5.2.4 Ascots (Analysis of Smoke Control Systems)	51
3.5.2.5 Contam	51
3.5.2.6 Aset-B (Available Safe Egress Time-BASIC).....	51
3.5.2.7 Asmet (Atria Smoke Management Engineering Tools).....	51
3.5.2.8 Break1	51
3.5.2.9 CCFM (Consolidated Compartment Fire Model version VENTS)	52
3.5.2.10 CFAST.....	52
3.5.2.11 Detact-QS (DETECTOR ACTuation-Quasi Steady)	52
3.5.2.12 Elvac (Elevator Evacuation).....	52
3.5.2.13 Firedemnd.....	52
3.5.2.14 FIRST (FIRE Simulation Technique).....	53
3.5.2.15 FPETool.....	53
3.5.2.16 Lavent.....	53
3.5.3 Konu ile İlgili Olarak Yapılmış Deneysel Çalışmalar.....	54
3.5.3.1 Kaçış yollarında duman hareketi	54
3.5.3.2 Kaçış yollarını dumandan arındırılması	54
3.5.3.3 Kaçış yollarında basınçlandırma etkisi.....	54
3.5.3.4 Bina içi duman hareketinin hesaplanması	54
3.5.3.5 Kaçış yollarında duman kontrolü	55
3.5.3.6 Koridor ile bağlantılı odalarda deneysel yangın.....	55
3.5.3.7 Duvar ve köşe alevleri üzerinde bir araştırma.....	55
3.5.3.8 Havalandırmasız bir yangında CO üretimi	55
3.5.3.9 Düşey duvarlarda oluşan kaldırma kuvvetleri.....	55
3.5.3.10 Yangınlarda topluluk davranışı	56
3.5.3.11 Kaçış yollarında oluşan panik	56
4 KAÇIŞ YOLLARINDA DUMAN PERDELERİNİN DUMAN HAREKETİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YÖNTEM.....	57
4.1 Duman perdeleri.....	57
4.1.1 Duman üretimi.....	61
4.1.2 Duman miktarı.....	61

4.2 Duman Miktarının Tahmini.....	62
4.2.1 Zamana Bağlı Duman Üretim Miktarı	63
4.3 Duman perdelerinin duman doluş süresine etkisi.....	66
4.3.1 Duman doluş süresi hesaplama yönteminin diğer hesaplama yöntemleri ile karşılaştırılması	69
4.4 Duman perdelerinin duman yayılma hızına etkisi.....	74
4.4.1 Duman perdesi boyunun iz bölgesi boyuna etkisi.....	77
4.5 Duman perdelerinin sıcaklık dağılımına etkisi.....	86
5 ÖNERİLEN YÖNTEMİN ÖRNEK BİR PLANDA UYGULANMASI.....	90
5.1 Mekana Ait Bilgiler	90
5.1.1 Mekan Geometrisi	91
5.1.2 Malzeme Seçimi	95
5.1.3 Malzeme Özellikleri	95
5.2 Duman Perdelerinin Etkilerinin Belirlenmesi	96
5.2.1 Duman Doluş Sürelerinin Belirlenmesi	96
5.2.2 Duman Yayılma Hızının Belirlenmesi	101
5.2.3 Sıcaklık Değişimlerinin Belirlenmesi	104
5.3 Hesaplama Sonuçları	107
6 SONUÇ.....	108
KAYNAKLAR.....	112
EKLER.....	117
EK-A.....	118
EK-B.....	131
EK-C.....	135
ÖZGEÇMİŞ.....	137

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4. 1. Yangın gücüne göre kullanılabilecek ateş çevresi boyutları	63
Tablo 4. 2. Farklı iki yöntem ile hesaplanan zamana bağlı alt tabaka yükseklikleri	71
Tablo 4. 3. Aset-b CFast ve önerilen yöntem ile hesaplanmış alt tabaka yükseklikleri	72
Tablo 4. 4. Aset-b CFast ve önerilen yöntem ile hesaplanmış duman tabakası kalınlıkları	73
Tablo 4. 5. Duman perdeleri arasındaki mesafeye bağlı olarak akım çizgilerindeki değişimler	84
Tablo 4. 6. Duman Perdeleri Arasındaki Mesafeye Bağlı Olarak değişen farklı hazne boyutlarında hesaplanan sıcaklıklar	88
Tablo 5. 1. Mobilya malzeme ve boyutları	95
Tablo 5. 2. Malzemelerin ısı özellikleri	96
Tablo 5. 3. FDS programı ile hesaplanan doluş süreleri	100
Tablo 5. 4. FDS programı ile oda içerisinde hesaplanan sıcaklık eğrileri	105
Tablo 5. 5. FDS programı ile koridor orta aksında hesaplanan sıcaklık eğrileri	106
Tablo C. 1. Otel odası kapı aksında ölçülen oksijen yoğunlukları	135
Tablo C. 2. Otel odası içinde gerçekleşeceği varsayılan alev hareketleri	136

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1.	Yangın üçgeni ve yangın piramidi benzetimi.....	5
Şekil 2. 2.	Yanmakta olan bir cisimde meydana gelen birincil olaylar	6
Şekil 2. 3.	Alev gelişimi.....	10
Şekil 2. 4.	Alev ve tavan arasında tavan jet olayının oluşması	11
Şekil 2. 5.	Duvar Jetinin oluşması	12
Şekil 2. 6	Üst tabaka gelişimi	14
Şekil 2. 7.	Komşu mekana duman dolma süreci ve sızıntı başlangıcı	16
Şekil 2. 8.	Gelişme Süreci İçinde Yangının Farklı Evreleri	18
Şekil 2. 9.	Yangın mekanı ile komşu mekan arasındaki taze hava alış veriş.....	21
Şekil 2. 10.	Yangın mekanı ile komşu mekan arasındaki basınç değişimleri.....	21
Şekil 2. 11.	Karmaşık binalarda duman yayılma modellemesi konsepti	25
Şekil 2. 12.	Çekme hareketleri sonucu oluşan hava hareketlerinin yön ve gelişmesi	28
Şekil 2. 13.	Döşeme, duvar ve tavanlardaki gizli boşluk ve kanallarda ilerleyerek büyüyen bir yangın örneği	29
Şekil 2. 14.	Rüzgar etkisi ile " çekme " olayı sonucu oluşan hava hareketlerinin yön ve gelişmesi	30
Şekil 2. 15.	Zemin katta başlayan bir yangında duman dağılımı ve etkilenen kat alanları.	31
Şekil 3. 1.	Amaç, taktik matrisi.....	34
Şekil 3. 2.	İnsanın Andropometrik Boyutları (Bayan).....	36
Şekil 3. 3	İnsanın Andropometrik Boyutları (Bay).....	37
Şekil 3. 4	İnsanın Andropometrik Boyutları.....	37
Şekil 3. 5	Kaçış koridorlarında hız seviyesi.....	38
Şekil 3. 6	Merdiven genişliği ve trabzan yükseklik oranları	40
Şekil 4. 1.	Tavandan sarkan duman perdeleri ile oluşturulmuş duman haznesi ..	59
Şekil 4. 2.	Döşemenin yükseltilmesi ile oluşturulmuş duman haznesi.	59
Şekil 4. 3.	Dikdörtgen planlı bir koridorda duman perdeleri kullanılarak oluşturulmuş duman hazneleri.....	66
Şekil 4. 4.	Dikdörtgen planlı bir koridorda duman perdeleri kullanılarak oluşturulmuş duman haznelerinin kesit görünüşü	67
Şekil 4. 5.	Duman perdesi ve hız vektörleri.....	75
Şekil 4. 6.	Bina-rüzgar etkileşimi sonucu oluşan akım çizgileri.....	75
Şekil 4. 7.	Duman perdesi bina benzetişimi ile perde arkasında oluşacak iz bölgesi.....	76
Şekil 4. 8.	İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi rüzgar tüneline engel arka orta aksında yapılan ölçüm sonuçlarına göre engelden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren hız grafikleri	78
Şekil 4. 9.	İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi rüzgar tüneline yapılan ölçüm sonuçlarına göre engelden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren iz bölgesi.....	81
Şekil 4. 10.	Duman hareketinde iz bölgesine etki eden kaldırma kuvvetleri.....	81
Şekil 4. 11.	FDS programı ile yapılan modelleme sonuçlarına göre duman perdesinden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren iz bölgesi.....	82

Şekil 4. 12.	Duman perdesi boyu ile orantılı olarak perde altında oluşan girdap bölgesi derinlikleri	83
Şekil 4. 13.	Duman perdesi iz bölgesi sınırında bulunan diğer perdenin akım biçimlenişine etkisi.	85
Şekil 4. 14.	Aralarında 20d mesafe bulunan duman perdesi önünde duman tabakasında görülen alçalma.....	81
Şekil 5. 1.	Ele alınan otel binasının tipik kat planı ve örnekleme için seçilen oda	91
Şekil 5. 2.	Ele alınan otel binasının tipik oda planı	92
Şekil 5. 3.	Ele alınan otel odası kesiti	93
Şekil 5. 4.	Modelleme alanı içerisindeki sanal ölçüm düzeneği	94
Şekil 5. 5.	Kaçış koridoru, oda ve tefriş malzemelerinin üç boyutlu modeli.....	94
Şekil 5. 6.	Smokeyview programı ile görsel hale getirilmiş 7.7. saniyedeki duman hareketi.	97
Şekil 5. 7.	Duman perdesinin hemen arka aksında ve d uzaklığında hesaplanan hız değerleri	101
Şekil 5. 8.	Duman perdesinin arka aksında 2d-3d-4d uzaklıklarında hesaplanan hız değerleri	102
Şekil 5. 9.	Duman perdesinin arka aksında 5d-6d uzaklıklarında hesaplanan hız değerleri	103
Şekil 5. 10.	Duman perdesinin önünde d uzaklığında hesaplanan hız değerleri..	103
Şekil 5. 11.	Koridor orta aksında ilk 300 saniye içerisinde hesaplanan hızlar	104

SEMBOL LİSTESİ

A	: Alan
A_s	: Su damlacığı yüzey alanı
B	: Arrhenius reaksiyonu üstellik faktörü
C	: Sprinkler C faktörü
C_D	: Direnç katsayısı
C_s	: Smagorinsky sabiti (LES)
c_p	: Sabit basınçta özgül ısı
D	: Difüzyon katsayısı
d	: Duman perdesi yüksekliği
D_p	: Kişi yoğunluğu
E	: Aktivasyon enerjisi
F	: Kullanıcı akış hızı kişi/sn
f	: Dış güç vektörü (yer çekimi ivmesi hariç)
g	: Yerçekimi ivmesi
H_c	: Girdap bölgesi yüksekliği
H	: Yük
h	: Tavan yüksekliği
h	: Entalpi
h_i	: i türlerinin entalpisi
I	: Işınım yoğunluğu
I_b	: Koyu renk ışınım yoğunluğu
k	: Isı iletim katsayısı
M	: Gaz moleküler ağırlığı
M_i	: i türü gaz moleküler ağırlığı
$\dot{m}$	: Duman üretim oranı
$\dot{m}_f''$	: Kütle yakıt debisi
$\dot{m}_w''$	: Kütleli su debisi
$\dot{m}_w''$	: Birim alan su kütlesi
$\dot{m}_O''$	: Birim alan oksijen tüketim oranı
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Ateş çevresi
Pr	: Prandtl sayısı
p	: Toplam kullanıcı sayısı
p_0	: Arka plan basıncı
$\tilde{p}$	: İyonosferik basınç sarsımı
q_r	: Işınım ile ısı akış vektörü
$\dot{q}'''$	: Birim hacim ısı yayım oranı
$\dot{q}_r''$	: Katı yüzeye ışınlama ile ısı akışı
$\dot{q}_c''$	: Katı yüzeye iletimle ısı akışı
$\dot{Q}$	: Toplam ısı geçiş miktarı

Q^*	: Yangın boyut karakteristiği
Q_o	: Havanın yoğunluğu
R	: Evrensel gaz sabiti
Re	: Reynolds sayısı
r_d	: Su damlacığı yarı çapı
RTI	: Sprinkler RTI (çalışma zaman indeksi)
S	: Hız
s	: Işınım yoğunluğu doğrultusundaki birim vektör
Sc	: Schmidt sayısı
Sh	: Sherwood sayısı
T	: Sıcaklık
T_o	: Havanın mutlak sıcaklığı
t	: Zaman
t_b	: Termal eleman yanma zamanı (LES)
$u = (u, v, w)$	: Hız vektörü
V	: Hız
w	: Efektif merdiven genişliği
$\dot{W}_i^m$	: Birim hacimde i türü üretim oranı
We	: Weber sayısı
$x = (x, y, z)$	: Durum vektörü
X_i	: i türü hacim oranı
Y_i	: i türü kütle oranı
y	: Duman tabakası yüksekliği
Y_o^∞	: Ortamdaki oksijen kütle oranı
Y_F^f	: Yakıt kütle oranı
y_s	: Kurum üretimi
Z	: Karışım oranı
γ	: Özgül ısı oranı
ΔH	: Yanma ısısı
ΔH_o	: Oksijen birim kütle tüketimi ile oluşan ısı miktarı
δ	: Duvar kalınlığı
κ	: Yutma katsayısı
μ	: Dinamik viskozite
ν_i	: i türleri, stokiyometri katsayısı
Φ	: Disipasyon fonksiyonu
ρ	: Yoğunluk
τ	: Kayma gerilmesi
X_r	: Işınım kaybı oranı
σ	: Stefan – Boltzmann sabiti
$\omega = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$	: Girdap vektörü (vorticity)

YANGIN KAÇIŞ YOLLARINDA KULLANILAN DUMAN PERDELERİNİN DUMAN HAREKETİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ

ÖZET

Bina tasarımında uyulması gereken yönetmelik, standard ve tüm kurallar gerçek yangınlardan kazanılan deneyim ve laboratuvar ortamında yapılan deneylerden çıkartılmış minimum ihtiyaçların karşılanabilmesi için yapılması gerekenlerin listesini verirler. Ancak yangın güvenliği kavramı içerisinde ilgili mevzuata uygun projeler üretmek tam güvenlik kavramı için yeterli olmayabilir. Bu durumda mimarın görevi; çeşitli alternatifler deneyerek tasarladığı mekanın bu konudaki performansını arttırmaktır.

Bu amaç doğrultusunda yapılabilecek işlem, günümüz gelişen teknolojinin katkılarını kullanarak mekanı gerçeğe en yakın şekilde modelleyerek, farklı alternatiflerde yangın anında oluşacak ortamı önceden tahmin edebilmektir.

Tahmin için bire bir ölçekte modeller üzerinde gerçek yangın deneyleri ile alınan sonuçlar en doğru sonuçlardır. Ancak günümüz ihtiyaçları ile karmaşıklaşan ve teknolojinin sağladığı olanaklar ile büyüyen binaların; birebir ölçek dışında daha küçük ölçeklerde bile modellerini yaparak gerçek deneyler yapmak hem masraflı hem de vakit alan bir yaklaşımdır. Bu tip deneylerin yapılması bazı durumlarda mümkün olmamaktadır.

Bina performansının deneysel olarak laboratuvar ortamında belirlenemediği durumlarda devreye bilgisayar simülasyonları girmektedir. Havacılık, denizcilik gibi birçok alandaki eğitim sürecinin büyük bir bölümünü oluşturan bilgisayar yardımı ile modelleme (simülasyon) yakın bir gelecekte yangın tehlikesi ile mücadelede de önemli bir yer alacaktır.

Bu çalışmanın amacı yukarıdaki öngörüden yola çıkarak, bina içerisinde herhangi bir mekanda çıkacak yangınında oluşacak sıcak gaz ve dumanın yangının çıkmış olduğu hacmi doldurması ve komşu mekanlara dağılmasını çeşitli analitik yöntemler ve belirli modelleme programları ile modelleyerek, duman hareketine karşı kullanılan duman perdelerinin farklı konumlandırılmalarının duman dağılımına etkisini incelemektir. İnceleme sonunda çıkan sonuçlar; projelendirme aşamasında gerekli değişikliklerin yapılabilmesine olanak sağlayacaktır. Modellemede kullanılan mekanlar bir otel odası ve bu odaya komşu kaçışı sağlayacak koridor olarak seçilmiştir. Çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler ve içerikleri aşağıdaki gibidir.

Bölüm 1'de

Konunun öneminin anlatıldığı kısa bir giriş yapılmıştır.

Bölüm 2’de

Kapalı bir mekanda oluşan yangının büyümesi ve bina içinde yayılması ile ilgili genel kavramlar ve yangın tarafından oluşturulan dumanın bina içinde yayılma şekli anlatılmıştır.

Bölüm 3’de

Yangın tehlikesinin analizi yapılmış, insanı etkileyiş biçimleri irdelenmiş ve yangından korunmada önemli rol oynayan kaçış yollarına ait bazı bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler ışığında kaçış yolları tasarımında önemli olan kriterler irdelenmiş ve güvenlik açısından mimari anlamda alınabilecek önlemler, uyulması gereken kurallar sıralanmıştır.

Üçüncü bölümün dördüncü ve beşinci kısımlarında; anlatılan kurallara uygun olarak tasarlanmış bir mekanda yangın performans değerlendirme kriterleri ve bu konuda yapılan çalışmalar ile ilgili kısa bilgilerin yanı sıra; bu amaca hizmet eden. bilgisayar programları sıralanarak bu programlara ait kısa bilgiler de verilmiştir.

Bölüm 4’de

Duman perdeleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve duman perdesi uygulanmış bir mekanda perdelerin duman doluş süresine, duman yayılma hızına ve sıcaklık dağılımına etkileri çeşitli analitik yöntemler ve simülasyon programları ile incelenmiştir.

Bölüm 5’de

Bir otel projesi üzerinden seçilmiş bir oda ve kaçış yolu olarak kullanılan koridor mekanının FDS programı yardımı ile yangın modellemesi yapılmıştır. Bu modelleme ile koridor mekanında farklı konum ve boyutlarda yerleştirilmiş duman perdelerinin çıkabilecek bir yangında oluşan sıcak gaz ve duman hareketine etkileri araştırılmıştır. Bu bölümde kullanılan FDS programının algoritması ekler bölümünde verilmiştir.

Bölüm 6

Bu bölümde yapılan modelleme sonunda elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

A METHOD PROPOSAL FOR DETERMINATION OF THE EFFECTS OF SMOKE CURTAINS ON SMOKE MOVEMENT IN FIRE ESCAPE ROUTES

SUMMARY

Building regulations and standards provide a list of rules to meet the minimal needs that have been identified through laboratory tests and experiences in real fires. However, developing projects according to the concept of fire safety might not be enough to achieve the concept of full security. In this case, an architect's mission is to increase the building performance by evaluating different alternatives.

To accomplish this goal, one needs to model a building closer to real life norms through the use of today's advancing technologies so this make it possible to guess the effects of fire under different circumstances.

Fire tests done on full-scale models give the best predictive results. However, testing on both full and small-scale models of today's large and complicated buildings, is both expensive and time consuming. Usually, it is not possible to perform all these types of tests.

In the event of the impossibility of testing building fire performance in laboratory, computer simulations are used. In the near future simulation techniques will also be a part of fire testing like many sectors such as aviation and navigation.

The purpose of this study is to investigate the effects of smoke curtains with different dimensions and in different positions, on smoke filling time, smoke spread velocity in neighboring enclosures by modelling with the computers simulations programs and various analytical methods.

The results of this study will help architect to make the necessary changes at the beginning of the project.

The environment used in this model includes a hotel room and a neighboring hallway, used as an escape route. The study consists of six sections. These sections and their contents are as follows:

Section 1:

This section is an introduction which emphasize the dangerous effects of hot gas and smoke occurred in fire on users.

Section 2

This section details the expansion of a fire in a closed environment, highlights the general concepts of a fire spreading in a building and describes the formation of smoke spread in building.

Section 3

In this section, an analysis of a fire is done, the effects of a fire on humans are examined and information on fire escape routes, which play an important role in fire protection, is explained. In light of this information, important criteria to design

escape routes are examined, and the rules that need to be followed and possible security measures from an architectural point of view are listed.

Subsections four and five cover fire performance evaluation criteria in an environment that is designed according to the rules explained above, and information on computer programs helping this purpose is discussed.

Section 4

This section includes the general informations about smoke curtains are given and the effects of smoke curtains on smoke filling time, smoke spread velocity and the differences in temperature are investigated by using various analytical methods and computer programs.

Section 5

In this section, a fire simulation using a room and a hallway as an escape route taken from a sample hotel project is done by using the Fire Dynamics Simulator (FDS) program.

In this simulation, the effects of smoke curtains, that were placed in the hallway with different size and locations, on smoke movement was investigated.

The algorithm of the used program (FDS) are given in appendixA.

Section 6

This section includes an evaluation of the results taken from the simulations.

1 GİRİŞ

İnsanoğlu insanlık tarihinin başından beri yaşamını devam ettirebilmek için doğadan gelen tehlikelere karşı savaşmış ve kendine ait bir korunma geliştirmiştir. Bu amaç doğrultusunda kendisini ve depoladığı yiyeceğini koruyabilmek için görebildiği en güvenli yer olan mağaralara sığınmıştır. Zamanla doğada bulduğu bazı malzemeleri işleyerek bulunduğu çevreyi değiştirmeyi ve içinde yaşayabileceği barınaklar yapmayı öğrenmiştir. Böylece insanoğlu yaşaması için gerekli yiyeceği güvenle depolayacağı, kendini güvende hissedeceği ilk konutunu yapmıştır.

Doğadan devşirilen ya da biraz dönüştürülme ile kullanılan basit barınaklardan, farklılaşan ihtiyaçlara göre değişen farklı tip ve boyutta konuta geçilmesi ile gelişen yapı kavramı, pek çok şeyi değiştirmiş olmasına rağmen insanoğlunun yaşadığı yeri daha güvenli ve konforlu hale getirme isteği günümüze değin hiç değişmemiştir. Bu istek ve dürtü ile insanoğlu doğada karşılaştığı ve kendini korumak için türlü önlemler aldığı tehlikelerden çoğuna karşı yaptığı savaşı kazanmış ve bazılarını tamamen yok etmiştir. Ancak yüzlerce yıldır sürdürdüğü mücadeleye rağmen yangın tehlikesi insanoğlu için halen ortadan kaldırılamamış bir tehdit unsurudur.

Günümüze değin gelişen teknoloji ile birlikte yangına karşı savaşta insanoğlu önemli atılımlar yapmış olmasına rağmen, teknolojiye paralel olarak yangın türleri de çoğalmış ve kendisini önemli bir tehlike unsuru olarak korumayı başarmıştır.

İnsanoğlunun gelişmesinde bu derece önemli rol oynayan ateşten vazgeçmek ya da ateşin kontrolden çıkmasıyla oluşan yangının, hiç çıkmamasını sağlamak, dün olduğu gibi bugün de mümkün olmasa bile, bazı önlemler, biraz dikkat ve bilgi sayesinde verdiği zararlar en aza indirgenebilir. Yangından doğacak zararı önlemenin veya azaltmanın en başta gelen yolu, tehdit unsuru olan tehlikeleri bulup, incelemek ve ortadan kaldırmak, yangın anında ve/veya yangından sonra gerekli kişi ve araçların, yangına hemen ve de emniyetli şekilde müdahale edebilmelerini sağlayacak önlemleri almaktır [1,s.2].

Günümüzün yapım teknolojileri ve malzemeleri ile yangın anında yapının kaybedilmemesi için çeşitli önlemler almak mümkündür. Yangına karşı zayıf malzemeleri dayanıklı başka malzemeler ile korumak veya kompozit yapı malzemeleri kullanarak strüktürü çökmeye karşı korumak, yangın yükü oluşturacak malzemeleri kontrol altında tutarak tutuşma riskini ve yangın yükünü azaltmak bu önlemlerin bazılarıdır. Bu tip önlemler yangın güvenliği için gerekli olsalar bile can kayıplarını azaltmada etkili olmayabilirler.

Yangınlarda oluşan can kayıplarının çok az bir yüzdesi alevlerin doğrudan teması nedeniyle oluşur. Bina içerisinde ani bir patlama olmadıkça; strüktürü yukarıda sıralanan önlemler ile güçlendirilmiş bir binanın çökme süresi genelde kaçış süresinden fazla olacağı için, göçük altında kalma nedeni ile oluşacak ölümlerin yüzdesi de fazla değildir.

Bu tip olaylarda can kayıplarının pek çoğu bina içerisinde oluşan dumanın ve zararlı gazların solunması ile oluşan zehirlenmelerdir. Bu oran tüm ölümlerin % 75' ini oluşturur ki bu da çok fazla bir miktardır. Yanmakta olan farklı malzemelerden çıkan zehirli gazların türleri yapılan deneyler sonucu belirlenebilmektedir. Malzemelerden çıkan bu tip gazların türüne göre tehlike sınırlarının belirlenmesi de mümkündür. İnsanlar için belirlenen tehlike sınırları, kişinin fizyolojik yapısına, yaşına, cinsine göre değişebileceği ve ayrıca yanma gazlarının yanma ortam şartlarına bağlı olarak insanı etkileyiş biçimlerinin farklılaşacağı için kesin bir rakam olarak alınmamalıdır. Örneğin karbon içeren tüm malzemelerde yanma anında çıkan, karbondioksit gazının, ortamdaki oksijen yetersizliği nedeni ile daha tehlikeli olan karbonmonoksit gazına dönüşmesi ile insan üzerinde yapacağı etki tamamen farklılaşacaktır.

Bina içerisinde serbestçe dolaşan bu tip zehirli gazlar içeren duman tabakasının zehirleyici etkisinin yanında, sıcaklığı da kullanıcılar açısından büyük tehlike olabilmektedir. Birçok yangında, yangın başlangıcından çok kısa bir süre sonra kaçış yollarını kullanarak binayı terk eden kullanıcılarda bile, giysi korunması olmayan yerlerde özellikle ısıya çok duyarlı göz kapaklarında yanıklar görülmüştür.

Dumanın zehirleyici etkisi, görüşü engelleyip kaçışı zorlaştırması ve diğer tüm olumsuz etkileri göz ardı edilip yangının sadece ortam havasını ısıtan bir ısı kaynağı olduğu varsayılrsa bile, artan ortam sıcaklığı tek başına ölüme neden olabilir. Her

hangi bir mekana 80-120 °C sıcaklığında hava üflendiğinde mekandaki canlıların fizyolojik yapı ve giysilerine bağlı olarak en fazla 15 dakika içerisinde ısı çarpması (Hyperthermia) nedeni ile hayatlarını kaybedecekleri kaçınılmaz bir gerçektir [2,s.223].

İnsan vücudunda deri sıcaklığının 44.8 °C'ye çıkmasını sağlayacak güçteki bir sıcak hava akımı bile hücre bozulmalarına sebep olacağından acıya ve ufak yanıklara neden olabilmektedir. Kaçış yollarında 60 °C sıcaklıkta bir yüzeye dokunulduğunda 10 saniye içerisinde deride protein pıhtılaşması oluşacak ve acı veren yanığa sebep olacaktır [2,s.224].

Yangın mekanına yakın herhangi bir mekanda bile, ısınmış yüzeylerden ısıyım yolu ile ve/veya sıcak gaz ve dumanın doğrudan bu mekana sızması ile ortam sıcaklığının özellikle tavan hizasında çok kısa sürelerde yukarıda bahsedilen düzeyde tehlikeli değerlere çıkacağı ve bu mekana sızan dumanın başka bir bölmedeki yanma sonucu oluşan zehirli gazları da beraberinde getireceği bilindiğinden yangın mekanından çıkıp komşu mekanı kullanarak kaçmaya başlayan kullanıcının hala büyük tehdit altında olduğu açıktır.

Yangından korunmadaki ilk amaç kullanıcıların güvenliğini sağlamak olduğundan, tasarım aşamasında alınacak kararlarla, kullanıcılar için ölümcül bir tehlike olan dumanın bina içindeki hareketi ve yayılması kontrol edilmelidir. Binalarda duman yayılmasını engelleyebilmenin en etkili yolu ise dumanın ve sıcak gazların özelliklerini bilmektir. Bu tip veriler bilinirse dumanı kontrol altında tutmak çok daha kolay olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, dumanın ve sıcak gazların yangın anındaki davranış mekanizmalarını yıllardır yapılmakta olan bire bir ölçekli yangın deneyleri ve gerçek yangınlardan alınmış veriler ile incelemek, Yangın Mühendisliği Biliminin geliştirdiği analitik çözümlemeleri ve bilgisayar destekli yangın modellemelerini kullanarak tasarım aşamasındaki her hangi bir mekanın üç boyutlu modelleri üzerinde, duman doluşu ve sıcak hava hareketini gösteren simülasyonlar yapmak ve bu harekete karşı kullanılan duman perdelerinin genel yangın dinamiğine etkisini incelemektir.

2 KAPALI HACİM YANGINLARI

Yangının gerçeğe yakın bir modellemesini yapabilmek için farklı birçok bilim dalında bilgi sahibi olmanın yanı sıra; doğrudan atmosfere açık olmayan ve sınırlı oksijen ile bir kapalı mekanda gerçekleşen yangının veya yanma olayının temel kurallarının da çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu bölümünde kısaca bu olaya değinilecektir.

Yangının genel tanımı " yanıcı özellik gösteren, katı, sıvı, ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanmasıdır " [3, s. 11].

Ancak yangın bir ısı kaynağı olmadığında hiç bir zaman kendi kendine çıkamayacağı için bu tanımı biraz daha geliştirerek, yangını; herhangi bir ısı kaynağının yanıcı malzemeyi tutuşturması ile oluşan ve bulunduğu noktayı terk ederek kendi gücü ile genişleme eğilimi gösteren kontrolden çıkmış ateş olarak tanımlamak mümkündür.

Yangının gücü; yanma şiddeti ile doğru orantılı olarak artar. İlk alevlenmenin ardından başlayan yanma olayı; yakıtın, ısı ve ışık vererek genelde havadan alınan oksijen ile hızlı bir şekilde oluşan bir takım reaksiyonlar dizisine girmesidir. Yakıt ile havadaki oksijen arasında başlamış olan bu reaksiyonların hızı arttıkça yangının şiddeti artar. Yanma şiddeti arttıkça, artan reaksiyon hızı ile yangının gücü de artar. Yangın olayının şiddetini etkileyen en önemli faktör ise, yakıt cinsi ve miktarıdır. Bu da yangının türünün, gücünün ve oluşacak yanma ürünlerinin yanmakta olan malzemenin cinsine göre değişebileceğinin kanıtıdır.

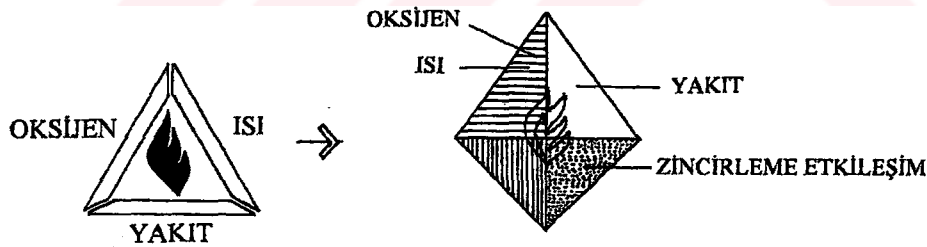
Kimyasal ve fiziksel olarak yakıtın yapısını değiştiren bir dizi reaksiyondan oluşan genel yanma olgusunu açıklayan üç ana kuram vardır [4, s. 226].

Yanma olayının birinci kuramı, "Geleneksel Yangın Üçgeni Kuramı"dır. Yangın Üçgeni Kuramı ismini, yakıt, ısı ve oksijenden oluşan elemanların simgesel olarak üçgene benzetilmesinden almıştır. Bu simgesel benzetimin taşıdığı anlamdan da görüleceği gibi, kenarlardan birinin olmayışı, " Üçgeni " kırarak ve yangın sönecektir.

İkinci kuram ise "Sürekli Döngü Kuramı"dır. Bu kuramda yukarıda sözü edilen Yangın Üçgeni geliştirilmiş, üçgeni oluşturan elemanlar olan ısı, yakıt ve oksijen gibi değişkenlere; oranlama, karışım ve tutuşma sürekliliği gibi üç ayrı değişken daha eklenmiştir. Böylece yangın üçgenini oluşturan parametrelerin sayısı üçten altıya çıkartılmış ve Sürekli Döngü Kuramı yaratılmıştır.

Konu ile ilgili üçüncü kuram ise " Yangın Piramidi Kuramı " dır. Yangın Piramidi kuramı ise yukarıda sözü edilen, " Yangın Üçgeni Kuramı " baz alınarak geliştirilmiş ancak değişken sayısı dörde çıkartıldığından üçgen benzetimi yerine piramit uygun görülmüştür. Araştırmalar yanma olayının üçgen kavramında tanımlandığı kadar basit olmadığını, kimyasal nitelikli bir "Zincirleme-Etkileşim (Reaction-Chain)" olarak tanımlanan dördüncü bir boyutu olduğunu göstermiştir.

Zincirleme etkileşim kuramında da diğer iki kuramdaki gibi değişkenlerden herhangi birinin olmayışı, piramidi çökertecek ve yangın sönecektir. Örneğin, zinciri oluşturan köklerden (Radicals), hidroksil (OH^-) kökünün ortamdan emilmesi, suya dönüştürülmesi ya da sudan başka bileşenler türetilmesi ile zincirleme-etkileşim önlenmiş olacaktır. Kimi gaz yangınlarında, yanma bölgesi (Combustion Zone) içinde patlayıcılar kullanılmasının amacı, zincirin fiziksel olarak da koparılmasına yardım etmektir [4, s. 227].

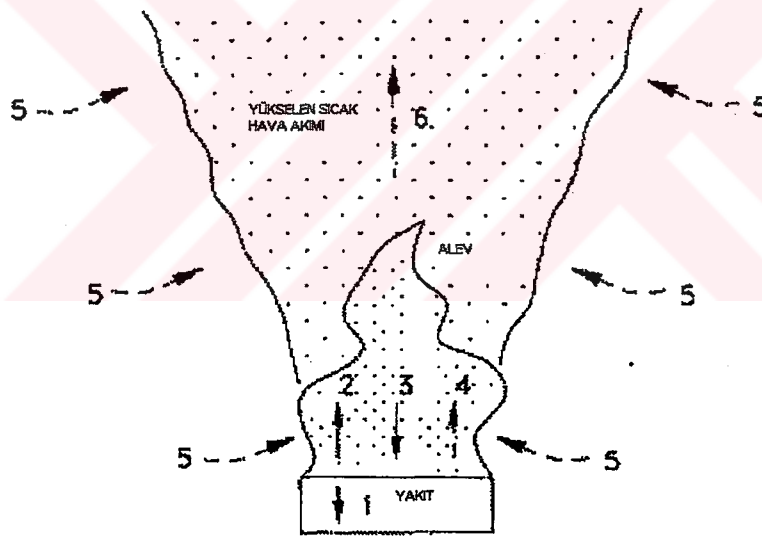


Şekil 2. 1 Yangın üçgeni ve yangın piramidi benzetimi [4, s. 229].

Kapalı bir mekanda herhangi bir ısı kaynağı nedeni ile oluşan tutuşmadan hemen sonra yangın, yangın üçgenini oluşturan elemanlardan her biri mekanda bulunsun bile kendi kendine sönebilir veya büyüyerek tehdit unsuru olabilir. Yangının tutuşmadan sonra kendi kendine sönmesi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden en önemlisi üçgeni oluşturan elemanlardan her hangi birisinin yetersiz oluşudur.

Yangın tutuşmadan sonra kendi kendine sönmedi ise mekandaki oksijen ve yakıt bitene kadar büyüyerek devam eder. Yanma olayının bir sonucu olarak yakıtın

hemen üzerinde alevlenme görülür ve alevlerin hemen üzerinde tavana doğru yükselen sıcak hava ve duman sütunu oluşmaya başlar. Yanma esnasında yükselen duman sütunu içerisine ortam havası girerek salınan yakıt buharı ile karışır. Duman sütununun içine karışan havadan sağlanan oksijen ile tutuşmuş yakıttan çıkan yanıcı buharın karışması ile yanma devam eder ve ortama ısı salınır. Bu şekilde açığa çıkan ısıнын büyük bir bölümü yanma bölgesindeki gazlar tarafından emilir böylece mekandaki gazların ve havada uçuşan katı parçacıkların sıcaklığı da artar. Yanma gazları kaldırma kuvvetleri (buoyancy) yardımı ile yükselmeye devam ettiği süre boyunca içeriye hava girişi devam eder. Yanma bölgesinin üstünden yükselen duman sütununa yanlardan hava girdiği süre içinde yanma için gerekli oksijen de sağlandığından, yangın kendini büyütmeye mekanizmasını kurmuş olur. Duman sütunu sürekli sıcaklığını artırarak yükselmeye devam eder. Yanmakta olan bir cisme uygulanan bu temel kural aşağıdaki şekilde açıklanmıştır [5, s. 8].



Şekil 2. 2. Yanmakta olan bir cisimde meydana gelen birincil olaylar [9, s. 2]

1. Yakıttan iletim ile ısı geçişi, 2. Yakıttan ısınmı ile ısı geçişi
3. Alevde oluşun ısınmı ve taşınmı, 4. Uçuşun yanıcı parçacıklar,
5. Karışımına giren ortam havası, 6. Duman sütunu.

Alevli bölgenin tam üzerinde oluşun, sıcaklığını artırarak yükselmeye devam eden ve içerisine giren hava ile hacmini sürekli arttıran bu karışımın düşey hareketini engelleyecek tek eleman, yanan bölgenin üzerinde bulunan tavan veya çatıdır. Kapalı hacim yangınlarının diğer yangınlardan farklı olmasını sağlayan, çift tabaka kavramı gibi birçok teörinin temelini oluşturan en önemli özelliklerden birisi bu yatay engel bir başka deyiş ile tavanı oluşturan döşemedir.

2.1 Kapalı Hacim Yangınlarında Çift Tabaka Kuramı

Herhangi bir nedenle başlayan yangının başlangıç şeklinin yapılacak hesaplamalarda ve modellemede çok fazla belirleyici özelliği yoktur. Yangının büyümesi genelde tüm yanıcı malzemelerde benzerlik gösterir. Bu nedenden ötürü aşağıdaki şekillerde gösterilen, bir koltuk üzerinde başlayan yangın sonrasında gelişen olaylar; farklı fonksiyonlara sahip farklı malzemelerden oluşmuş birçok binada oluşturulacak yangın senaryoları ile farklılık göstermez. Yangının kapalı bir mekanda başlamış olması ve mekanda kapalı sistemin bütünlüğünü bozabilecek güçlü patlayıcıların olmaması yeterli ve gerekli ortak noktadır. Ancak modellemesi yapılacak mekanda güçlü patlayıcılar veya taşıyıcı sistemin çökmesine neden olabilecek derecede ısı yayabilen yanıcılar var ise; yangın başlangıcından kısa bir süre sonra oluşabilecek bir patlama ve/veya çökme ile mekan bütünlüğü bozulacağından yangının karakteri tamamen değişebilir.

Buna rağmen yelpazenin büyük bir bölümünün aynı kurallara uyarak incelenebilmesi yangının matematiksel modellenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Örneğin üst üste yığılmış ürünler ile dolu bir fabrika depo binasında ya da kongre veya toplantı merkezinde bir tutuşma ile meydana gelen yangın ile herhangi bir konut binasında meydana gelen yangında oluşan yangın ortamı büyük benzerlikler göstermektedir. Tek ve en önemli değişken, farklı yangın yükleri nedeni ile yangının şiddet ve süresindeki farklılıktır [6, s. 5-6].

Tutuşmadan hemen sonra yakıt üzerinde ilk alevlenmeler görülür. İlk alevlenmenin ardından yangın onlarca kW düzeyinde ısı yayacak güce erişerek alevli bir yangına dönüşebilir. Bu ısı gücü içi kağıt dolu ufak bir çöp kutusunun yanması ile ortaya çıkacak enerji miktarına eşittir [6, s. 5-6]. Birkaç saniye içinde bu aşamaya gelen yangın, kendi gücünü kullanarak büyümeye devam eder. Tutuşma evresinden sonra ısı artışı nedeni ile ayrı bir tutuşturucu alev etkisi olmadan da parlamalar görülür. Sıcaklığın ani parlamaların görüldüğü bu noktaya erişmesine ani parlama sıcaklığı (Spontaneous Ignition Temperature) denir [6, s. 20].

Yangının başladığı mekanda yayılmasında en kritik ve tehlikeli evre yukarıda sözü edilen tutuşma noktası, yani yanma olayının başladığı andır. Bu aşamada ortamda yeterli oksijen de var ise, yangın genişleyerek devam eder. Yanan yakıt

alanı arttıkça ortamdaki oksijen ile reaksiyon hızı da artacağından alev yayılması olayında yanma şiddeti sürekli artar. Yanma şiddetinin derecesi havalandırma derecesi, yanabilir malzeme miktarı, bina içi mekanların birbirine göre konumları gibi mimarın kontrolünde bulunan bazı faktörlerle azaltılabilir.

Yükselen sıcaklık ile birlikte mekanda bulunan malzemelerden uçucu buhar çıkmaya başlar. Bir yakıtın buhar çıkartabilmesi için belli bir sıcaklığa kadar ısıtılması yeterlidir, ancak yanma olayının başlaması bir tutuşturma sonucu olur. Mekanda alevli bir şekilde yanmakta bulunan ilk ateş kaynağı, yanıcı buhar için tutuşturucu rolü oynar ve mekandaki buharı tutuşturur. Yanabilir buharın tutuşarak yanma olayını büyüttüğü bu noktaya Tutuşma Noktası-Genel Kavuşma Evresi (Flash Point- Flash Over) denir. Bu sırada yanma işlemi tam yanmamış buhar ve zehirli zehirsiz gazlar ile enerjinin yanı sıra bazı katı partiküller gibi birçok farklı ürün de oluşturur. Bu ürünlerin hepsi birlikte yangın tarafından oluşturulan duman olarak adlandırılır. Parlama kaynağının, buna bağlı olan yanıcı malzemenin ve yanma mekanının yeterli tanımı ile yangın bilimi ve teknoloji den beklenilecek şey tutuşmanın ardından başlayacak büyüme ve yangın yayılma evresini engelleyecek yöntemleri sağlaması ve yangının bina kullanıcıları için bir tehdit unsuru olmasını engellemesidir.

Dünya çapında birçok farklı yangın araştırma kurumu; alev yayılması ve yanma olayı araştırmalarını bu amaç doğrultusunda devam ettirmektedirler. Bu araştırmalara örnek olarak alevlenmeden hemen sonra yakıt üzerinde oluşacak sınır tabaka analizleri ve idealize edilmiş malzeme ve biçimler üzerinde alev yayılması testleri, gerçek küçük boyutta kompozit elemanlar üzerinde yapılan alev yayılması ve ısı çıkışı deneyleri verilebilir. Buna rağmen günümüzde ve yakın gelecekte genel anlamda yangının büyümesini yeterli derecede engelleyebilmek yangın teknolojisi için giriş bölümünde de değinildiği gibi amaç olmaktan öteye gidememiştir.

Başka bir deyiş ile yangının ilk başında görülen alev yayılması olayı kapalı hacim yangınlarında yakıt üzerinde henüz tam olarak analitik şekilde çözilemeyen karmaşık bir hava hareketi yaratabilir. Çoğu bilim adamı bu yüzden kapalı hacim yangınlarındaki alev yayılması olayını basitleştirebilmek için çalışmaktadır.

Bu karmaşayı ortadan kaldırmak için öne sürülen basitleştirme kurallarından birisi de Leonard Y. Cooper tarafından önerilen ve desteklenen pratik bir mühendislik çözümüdür.

Leonard Y. Cooper'a göre Genel kavuşma (Flashover) evresine kadar alev yayılmasında kapalı alan etkisini ihmal etmek ve ilk tutuşmadan genel kavuşma öncesine kadar yanma bölgesi içinde gerçekleşen olayların ve yangının büyümesinin serbest yanma olayındaki gibi olduğunu kabul etmek mantıklıdır.

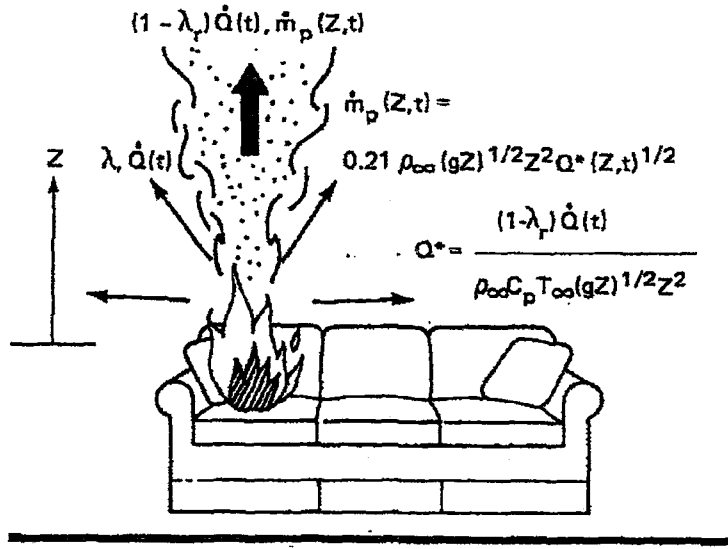
Serbest yanma, yanıcı malzemelerin geniş, durgun atmosfere açık olarak havalandırılmış bir ortamda yanması olarak tanımlanabilir. Bu fikri doğrulamak için yangının yanma fiziğini ve ortaya koyduğu tehlikeleri gösteren serbest yanma deneyi sonuçları kullanılabilir.

Bu kabulün yerini zamanla gelişen hesaplama teknolojisi yardımı ile alev yayılması ve yangın büyümesinin analitik modelleri alacaktır gelecekte de araştırma sonuçları benzeri olayları çözmekte yeterli metotlar geliştirmeye yardımcı olacaktır.

2.1.1 Alev Gelişmesinin Analitik Olarak Tarifi

Şekil 2.3. de gösterildiği gibi yüksek sıcaklıklı yanma bölgesinde oluşan enerjinin büyük bir bölümü, ışıınım (radyasyon) vasıtasıyla çevreye yayılır. Radyasyon ile yayılan enerji, λ_r katsayısı ile gösterilir. Toplam yayılan enerji $\lambda_r Q(t)$, aynı mekan içinde bulunan ancak ateşin doğrudan görüş alanına girmeyen malzeme yüzeyleri, duvarlar, tavan vs. gibi diğer yanıcı yüzeyleri de etkiler. Yukarıda bahsedilen kabule dayanılarak kapalı mekan yangınında kullanılan λ_r değerleri, söz konusu yanıcı malzemelerin konu ile ilgili olarak yapılmış serbest yanma deneylerinden elde edilmiştir. Bu deneylerde oluşan sonuçlara göre bu tip tehlikeli alevlenme yangınlarında λ_r genelde 0.35 mertebesinde dir.

Tavana doğru yükselen yanma ürünleri ve sıcak yalın bölüm 2 de anlatıldığı şekilde ortam havası ile karışıkça alevin içindeki kütle hareketi sürekli olarak artar yükseklik ve kütle artışı nedeni ile ortalama sıcaklık ve alev içindeki yanma ürünlerinin yoğunluğu sürekli olarak azalır.

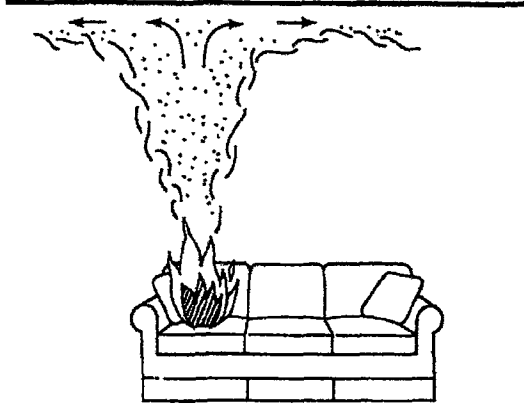


Şekil 2. 3. Alev gelişimi [7, s.175]

Bu durumda en doğru yaklaşım, herhangi bir zaman dilimindeki alev dinamiğini yanma bölgesinden yayılan enerjinin bir fonksiyonu $(1 - \lambda_r) Q(t)$ olarak tarif etmektir. Yanma bölgesi üzerinde yükselen bu sıcak kütle içindeki yanma ürünleri yoğunluğunu tanımlamak gerektiğinde yukarıdaki fonksiyon yeterli olmamaktadır. Bu olayı açıklamak için yanma ürünü üretim oranının bilinmesi gerekir. Modelleme başka bir deyişle hesaplama sonucunda elde etmek istediğimiz bilgilere göre, üretim oranı, farklı bilim adamlarının geliştirdiği formülasyonlar ile farklı detay düzeyinde hesaplanabilir. Yukarıdaki şekilde; E.E. Zukoski ve arkadaşları tarafından geliştirilen, yanma bölgesinden Z yüksekliğindeki alev içindeki kütle hareketi miktarının $(\dot{m}_p)$ tahminine yarayan bir formül verilmiştir [7, s.175].

2.1.2 Alev ve Tavan Etkileşimi

Alev tavana ulaştığında Şekil 2.4 de gösterildiği gibi tavan şekline bağlı olarak farklı yönlerde ince ışınlar halinde dağılır. Yanma bölgesinin üstünde oluşan duman sütunu ve yanlardan sütuna karışmış olan ortam havasının tümü bu şekilde tavanın hemen altında her yönde dağılmaya başlarlar. Dumanın tavan altında, tavan alt yüzeyine paralel olarak her yönde ince ışınlar halinde dağılması tavan jeti olarak adlandırılır.



Şekil 2. 4. Alev ve tavan arasında tavan jet olayının oluşması [7, s.176].

Tavan boyunca devam eden sıcak hava akımı (tavan jeti) duvarlara doğru devam ederken altındaki ortam havasını da içine alarak ve düşey hareketine benzer şekilde ortam havası ile zenginleşerek kalınlaşır. Bu olaylar esnasında yanma bölgesinden kazandığı enerjiyi iletim yolu ile (kondüksiyon) nispeten daha soğuk olan tavan alt yüzeyine, taşınım yolu ile de (konveksiyon) ortam havasına geçirir. Bahsedilen ısı alışverişi sebebi ile yangın mekanının sıcaklığı hızla artmaya başlar.

Bu hava hareketi tavan alt yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti etkisi ile yukarıdan ve karışan havanın türbülanslı hareketi ile aşağıdan itilir. Bu hareket ve ısı alışverişi ile tavandaki jet hareketinin sıcaklığı, duman karışım oranı ve hızı sürekli olarak azalır ve büyüyen bir dönüş açısı ile kalınlığı artar.

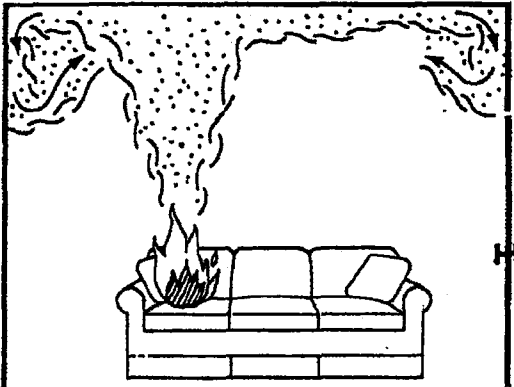
Akışkanlar dinamiği kavramları bu aşamada devreye girerek tavan jet hareketinin teorik olarak çözülebilmesine yardım eder. Bu konuda yapılmış olan birçok araştırma literatüre girmiştir. Bu araştırmalar sayesinde tavan jet dinamiği günümüzde daha anlaşılır hale gelmiş duman dedektörlerinin seçimi ve yerleştirilmesi, ısıya duyarlı yağmurlama sistemi başlıklarının yerlerinin daha doğru olarak projelendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca bu araştırmalardan elde edilen veriler sayesinde; kapalı mekan yangınının kapsamlı matematiksel modellenmesinin yapılabilmesinde kullanılacak tavan jet dinamiğinin çözümü daha kolay ve gerçekçi hale gelmiştir [8, s.197-213].

Kapalı hacim yangınlarının kapsamlı matematiksel modellenmesi açısından tavan jet olayından alınacak temel bilgi tavan yüzeyinde oluşan ısı geçişi oranı olmalıdır. Deneyler; bu ısı geçişinin yanma bölgesinden salınan enerjinin onda

birinden büyük olabilecek kadar önemli olduğunu göstermiştir ve sonuç olarak tavan jet olayı tüm kabuk boyunca yayılan dumanın sıcaklığını tahmin etmemiz konusunda önemli bir anahtardır [7, s.172-178]. Ayrıca ısı geçişi oranının tahmini, tavan yüzey malzemesinin kendi sıcaklığının tahmininde de gereklidir.

2.1.3 Tavan Jeti ve Duvar Etkileşimi

Tavandaki jet olayı tavan yüzeyi altında alevlenme noktasının tam üzerinden her yönde yanal olarak devam eder ve sonunda mekan duvarlarına ulaşır. Şekil 2.5' de gösterildiği gibi tavan jeti, duvar tavan birleşim noktasında aşağı doğru dönerek bir duvar jeti halini alır. Ancak başlayan duvar jeti aleve yakın yerdeki en yüksek sıcaklığından çok şey kaybeder. Aşağı doğru oluşan duvar jeti içine girdiği havadan daha sıcak ve yoğunluğu daha azdır. Jet olayı aşağı doğru inişinde kaldırma kuvvetleri (buoyancy) tarafından engellenir ve tavandan belli bir uzaklığa indiğinde dumanlı jetin aşağı doğru hareketi tamamen durur. Duvardaki jet olayı ayrıca duvar yüzeyindeki sürtünme kuvveti nedeni ile yavaşlar ancak bu sürtünme kuvveti tavan yüzeyinde oluşandan daha azdır. Tavan jetinde oluşan ısı geçişi aynı şekilde daha soğuk olan duvar yüzeyi önünde hareket halindeki havada da oluşur. İki yüzey arasında gerçekleşen bu olay (kondüksiyon/ konveksiyon) nedeni ile duvar jeti sıcaklığı düşmeye devam eder ve hareket halindeki hava soğur. Isı transferi jet akışının duvar yüzeyinden ayrılıp kaldırma kuvveti ile tekrar yukarıya geri çevrilmesine kadar devam eder. Bu dönüş esnasında ortam havası aynen alev yüzeyinde yükselen havaya karıştığı şekilde tekrar yukarı dönüş hareketine karışır. Böylece devam eden tavan jet akımı altında yukarıdakinden daha az hareketli bir gaz tabakası oluşur.



Şekil 2. 5. Duvar Jetinin oluşması [7, s.176]

Duvar jet olayının gücü, tavan jet olayının duvara ulaştığı andaki özellikleri ile belirlenir. Yangın senaryolarında duvar yüksekliklerinin oda yüksekliğinden fazla olmayacağı, test sonuçlarına bakılarak duvarlar boyunca oluşacak ısı geçişi olayının yangında oluşacak toplam enerjinin yüzde onları civarında olacağını ve duvar üstünde oluşan yukarı doğru ters harekete eklenen hava miktarının üstteki gaz tabakasının kalınlığında önemli değişiklikler yaratacağını tahmin etmek doğru olabilir. Diğer taraftan eğer eğik çatılı bir mekanda, duvarlar farklı yükseklikte iseler, tavanda oluşan jetin kısa duvara ulaştığında daha zayıf olma olasılığı vardır, bu da tavan jet ve duvar etkileşiminin genel yangın çevresi dinamiğinde önemli bir rolü olmadığını gösterir. Bununla birlikte duvar tipi duman dedektörleri ve/veya sprinkler sistemleri kullanıldığında, yangın mekanında oluşacak tavan jeti ve duvar etkileşiminde ortam sıcaklığını ve akım hızını bilmek, bazı önemli ip uçları verebilirler.

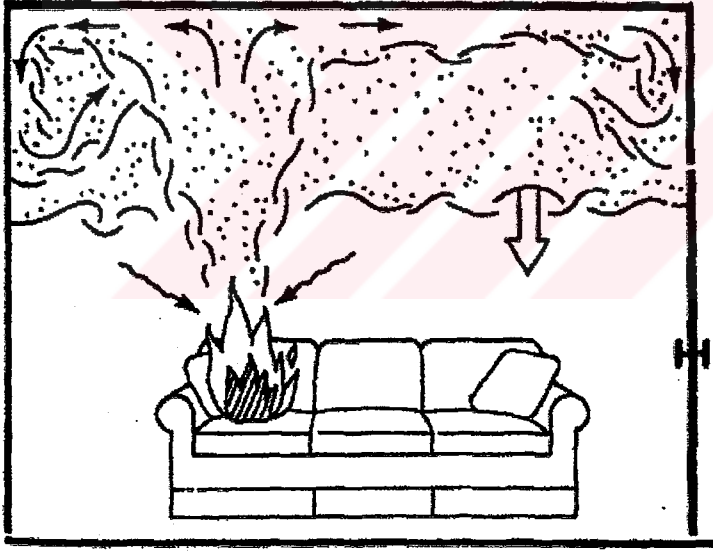
2.1.4 Üstteki Tabakanın Gelişmesi ve Büyümesi

Duvar jetinden geri dönen gazlar tavan jetini oluşturan gazlarla birleşerek mekanın üst kotlarında toplanırlar. Zamanla tavan jetinin altında daha az hareketli, belli bir kalınlıkta ve yüksek sıcaklıkta bir duman tabakası oluşur. Bu tabakanın kalınlığı arttıkça tavan jeti ve duvar etkileşimi ile oluşan akımları da içine almaya başlar. Bu tabakanın alt kısmı; ortam havasını ve yukarıdaki ısınmış ve duman yüklenmiş gazlardan ayıran bir ara yüzey gibi davranır. Zamanla bu ara yüzeydeki duman tabakası alçalmaya başlar. Ara yüzey alçalırken üstteki katmanların sıcaklığı ve duman konsantrasyonları artmaya devam eder.

Daha önce de bahsedildiği gibi yangın başlangıcından üst tabaka oluşumuna kadar geçen bu süre içinde oluşan dinamik yangın ortamını gerçeğe en yakın şekilde tahmin etmek; algılama, uyarı ve söndürme sistemlerinden oluşan aktif sistemlerin iyi bir mühendislik planlaması ile doğru olarak yerleştirilmesini sağlayacağından yangın mühendisliğinde önemli bir basamak oluşturur. Genelde bu aşamaya kadar yangın mekanında olması gereken tek şey yangın algılama sistemlerinin başarılı bir şekilde çalışarak bina kullanıcılarını uyarması ve söndürme sistemlerinin büyüme devam ederken devreye girerek ilk müdahalenin sağlanmasıdır.

Alev tanımlanmasında, tavan jetinde ve tavan jeti duvar etkileşiminde oluşan akışkan dinamiğinde bazı detayların bilinmesi gerekmektedir. Bununla birlikte

genel yangın ortamının can ve mal güvenliğine etkisini anlamak için anlatılacak detayların sadeleştirilmiş bazı tanımları yeterli olacaktır ve bunlarla birçok pratik çözümler bulunabilecektir. Bu nedenden ötürü mevcut kapalı mekan yangını modelleri, tavan jetinin hemen altında biriken bu üst tabaka dumanının diğer birçok özelliğine rağmen genelde tabaka hacmi ile ilgilenirler. Yangının herhangi bir anında mekan hacminin yangın tarafından üretilen duman ile dolan kısmı odanın üst tabakası olarak kabul edilir. Üst tabakanın gelişmesi ve büyümesi bu açıdan bakıldığında mekanın duman dolması anlamına gelir. Mekanı dolduran üst tabaka içinde yakıt cinsine göre değişen birçok yanma ürünü bulundurmasına rağmen, kalınlığı değişebilen sıcaklığı ve yanma ürünleri konsantrasyonu farklılaşan ancak hacimsel anlamda üniform olarak tanımlanır. Bire bir deneyler; kendi iç dinamiği bu kadar karmaşık olan üst tabakanın üniform olarak kabul edilip basit bir şekilde tanımlanmasının, gerçekte meydana gelen ile pratikte uygulanabileceklerin uyuşmasını sağlayabileceğini göstermiştir [9, s.1007].



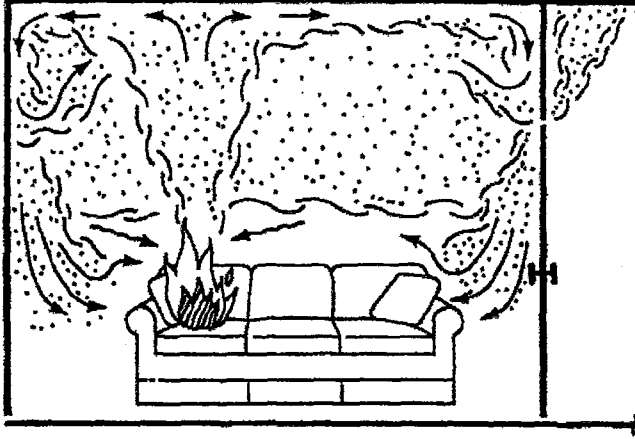
Şekil 2. 6. Üst tabaka gelişimi [7, s.177]

Yukarıdaki Şekil 2.6.'da tartışılan kapalı mekan yangınının büyüme evresi görülmektedir. Yangın başlangıcından beri gelişen olayların ardından ortam havası ile üst tabaka arasında sınır tabakası oluşmuş ve üst tabakanın büyümesi ile zemine doğru alçalmaya başlamıştır. Bu evrede kapalı bölüm (kompartman) yangını ve açık mekan yangınlarının farklılığı ön plana çıkar. Bu noktadan sonra mekanın pencere ve/veya kapılarının tam anlamı ile kapalı olması sadece doğrama birleşim yerlerindeki sınırlı hava sızıntısı dışında mekandan dışarıya

veya dışarıdan içeriye hava akışı olmaması gerekir. Eğer yangın mekanı diğer komşu mekanlar ile doğrudan ilişkili ise ve/veya doğrudan dışarıya ya da komşu mekanlardan birine açılan otomatik kapanma mekanizması olmayan bir veya birden fazla kapısı var ise bu etkenler yangın gelişmesindeki sonraki evreler için oldukça önemli duruma gelmektedir. Aynı şekilde mekanda bulunan pencerelerdeki camlardan her hangi birinin yangın anında kırılması tüm yangın dinamiğini değiştireceğinden bu gibi parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir. İlk seçenekte bahsedilen sınırlı sızıntılı tam anlamı ile kapalı bir mekanda üst tabaka kalınlığı ve sıcaklık, zemine doğru daha hızlı artarak, solumayı etkiler ve hayati tehlike artmış olur.

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi ara yüzeydeki duman tabakasının altındaki alev yangın başlangıcındaki hareketine devam ederek mekan havasını alarak tavana doğru yükselir. Yükselen alev ara yüzeyi delerek üst tabakaya ulaşır. Bununla birlikte alev ara yüzey içinde yükselirken de o dumanlı tabakada bulunan sıcak gazları da alır. Ayrıca alev bu ara tabakaya girdiğinde ortam havasına bağlı olarak bu tabakadaki kaldırma kuvvetleri daha az olduğundan yukarı doğru hareketin hızı yavaşlar. Ancak yükselme hızı yavaşlasa dahi tavadaki jet hareketi devam eder.

Yeni oluşan bu karmaşık iki tabakalı durum alevin daha önce anlatılan nicel özelliklerinde, tavan jetinde ve tavan jeti-duvar ilişkisinde bazı değişiklikler yapılmasını gerektirir. Bu konuda birçok çalışmalar yapmış bir araştırmacı olan L. Y. Cooper bu konuda matematiksel modellemede çeşitli kolaylıklar getirecek bazı önemli öneriler sunmuştur [10, s.172-178]. Bu önerilere kısaca aşağıda değinilmiştir.



Şekil 2. 7. Komşu mekana duman dolma süreci ve sızıntı başlangıcı [7, s.177]

Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi ara tabakanın zemine yaklaşması başka bir deyişle alçalmaya devam ettiği süre içerisinde duvarlarda önemli bir akım görülür. Bu akımın güçlü tavan jeti ve duvar etkileşimi bölgesinden mekanın üst köşelerinden uzakta gerçekleştiği varsayılır. Bu olay daha önce bahsedilen duvar jetinden farklı olarak gelişecektir, çünkü nispeten soğuk olan üst duvarlar artık yüksek sıcaklıkta üst tabaka ile çevrilmiştir. Bu duvar yüzeylerine yakın olan duman diğerlerine nazaran daha soğuktur bu nedenle çevresinden daha az yoğunluktadır. Bu yoğunluk farkının sonucu olarak duvar yüzeyinde ara duman tabakasının aşağıdaki daha az dumanlı tabakaya doğru itmesi ile aşağı doğru yönelen bir akış oluşur. Bu duman yüklü akış ile altta bulunan tabakanın da sıcaklığı artmaya başlar, böylece yeni kaldırma kuvvetleri oluşur ve alt tabakadaki hava ya mekanın en alt noktasına itilmiş ortam havası ile karışır ve orada kalır ya da tekrar geri dönerek yükselen alev katılır yükselir ve ortam havasının bir bölümü ile birlikte üst tabakaya girer [11, s.1567-1573]. Yukarıda anlatılan bu duvar etkisi hem birebir deneylerde hem de ölçekli deneylerde gözlemlenmiştir. Tavan yüksekliği/mekan alanı oranı yüksek olan kapalı mekanlarda daha da önem kazanacağı açık olan duvar etkisinin araştırmanın konusu olan kaçış koridorlarında etkili olacağını söylemek yanlış olmaz. Bu nedenden ötürü koridor veya benzeri mekanlar için yapılacak modellemelerde duvar hareketini bir şekilde hesaplamalara katmak gerekmektedir [12, s.19-39].

Dumanlı üst tabaka yükselen sıcaklığının bir sonucu olarak kendini çevreleyen duvarlara ve döşemeye doğru ışıınım (radyasyon) yolu ile ısı transferi yapacaktır.

Şekil 2.6 ve 2.7' de aşağı yönlendirilmiş oklarla gösterildiği gibi, bu duman tabakası mekanın içinde bulunan cisim yüzeylerini de ısıtmaya başlar. Bu ters ışıının en önemli etkilerinden birisi de insan dokusuna yaptığı etkidir. Normalde bina kullanıcıları ters ışıının başladığı bu anda güvenli bölgelere ulaşmış olmalıdır. Yangın konusunda yapılan birçok araştırmada ters ışıının insan hayatı açısından tehlike yaratacak düzeye geliş süresi hesaplanarak binadan güvenli kaçış süreleri ile karşılaştırılır.

Bu karşılaştırma ile kullanıcıların kaçış yolu uzunluklarını hesaplamak ve buna uygun tasarımlar yapmak bu çalışmanın ve yapılacak modellemenin en önemli bölümlerinden birisini oluşturmaktadır. Mekan içinde oluşacak ters ışıının miktarının insan hayatı için tehlikeli olmaya başladığı an duman tabakası sıcaklığının 200 °C, veya akış değerlerinin 2.5 kW/m² seviyelerine ulaştığı andır. Gerçekten de mekan içinde oluşan bu ters ışıının hayati tehlike sınırına geldiğinde bu aşamaya kadar genel yangın dinamiğinde pek etkili olmayan mekan yüzey kaplamaları, içeride bulunan yanıcı tefriş malzemeleri yeni bir parametre olarak devreye girmeye başlayarak yangın yayılmasına, büyümesine neden olarak genel yangın olgusu içinde çok etkili olmaya başlarlar.

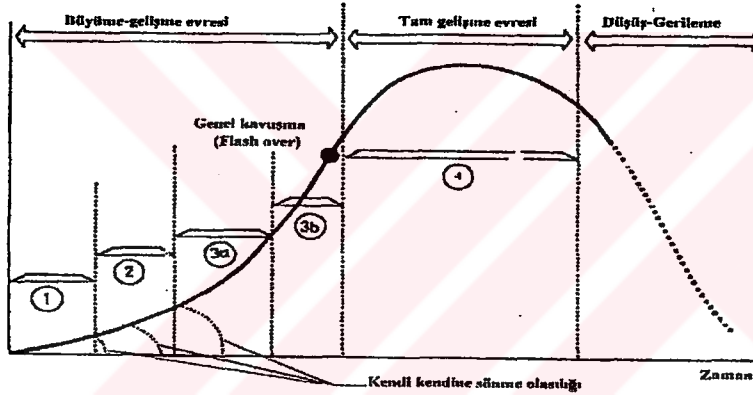
Ters ışıının önemli miktarlara ulaştığında; örneğin üst tabaka ortalama sıcaklığı 300 - 400 °C' ye ulaştığında genel kavuşma (flashover) evresine çok kısa bir zaman içinde girilmesi için uygun ortam hazırlanmış olur. Bu süre parlama ve yangın ortamının hayati tehlike oluşturmaya başladığı an ile kıyaslandığında geçen tüm sürenin 1/10-1/20'si civarındadır. Yükselen sıcaklık ile mekan içinde oluşan yanmadaki fiziksel ve kimyasal ayrışma hızları logaritmik olarak artmaya başlarlar, artık her şey çok hızlı gelişmeye başlamıştır. Bu zaman dilimi içerisinde gerçekleşen olaylar genel yangın olgusu içinde yangının büyümesinde "değişim evresi" olarak anılır.

Yangın olayı ve yanma ile ilgili tüm bilim dalları kullanıcıların genel yangın olayında 'değişim evresi' başlamadan hemen önce binayı terk etmiş olma gerekliliğini savunurlar. Çünkü değişim evresini başlatan şartlar insan için hayati tehlike oluşturan birçok faktörün bir araya gelmesi ile oluşur. Herhangi bir modellemede geçerli bir sonuç alınabilmesi için bu tehlike faktörlerini ve tehlikeli olma sınırlarını iyi belirlemek gerekmektedir. Ancak yukarıda da değinildiği gibi tehlike oluşturan parametreler mekan alan/yükseklik oranları, tefriş malzemeleri

gibi mekana bağımlı elemanlar ile değiştiğinden kaçış koridorlarında tehlike unsurları ve alınması gereken önlemler bölümünde daha detaylı olarak incelenecektir.

2.2 Yangın Büyümesinde Değişim Evresi

Yangının değişim evresinde yapılacak tüm analizler ve tahminlerde genelde üst tabaka etkileri, üst tabaka yüzeyinden geri gelen ters ışınlamalar ve özellikle de ışınlam açısından zenginleşmiş yangın büyümesinin karmaşık etkilerini göz önüne almak zorunluluğu vardır. Böyle bir araştırma, değişim evresi öncesi ve hemen sonrası yangın ortamı tahmininde kullanılan matematiksel modellerden çok daha karmaşık hesaplamalara ihtiyaç duyar.



Şekil 2. 8. Gelişme süreci içinde yangının farklı evreleri [1, s. 8]

Tüm zorluklarına, belirsizliklerine, uyumsuzluklarına ve değişim evresi analizlerinin maliyetlerine bakarak can ve mal güvenliğini sağlayan tasarımlar yapmak için yapılacak araştırmalarda, şekilde 3b ile gösterilen ve flashover noktasından önce girilen değişim evresini tamamen ihmal etmek mümkündür. Bu ihmal etme değişim evresindeki kısa zaman dilimini genel kavuşma (flashover) devresi içine girmiş gibi kabul etmekle mümkün olur.

2.2.1 Genel Kavuşma Evresi

Yangın daha önceki bölümlerde hızlı şekilde oluşan bir takım reaksiyonlar zinciri olarak tanımlanmıştı. Alevler ise yakıt, ısı ve oksijen arasındaki bu reaksiyonun görülebilir açığa vurumudur. Eğer yakıt gaz halinde ise ve havadaki oksijenle karışmış durumda ise alev ön karışım alevi (Premixed flame) olarak adlandırılır.

Eğer yakıt katı ya da sıvı halde ve yanma sırasında havadaki oksijen ile karışıyor ise dışarıya tutuşabilir buhar verir. Dışarıya verilen bu buharın tutuşması olayı ise alev yayılması (Diffusion flame) olayı olarak adlandırılır.

Yanabilir buharın tutuşarak yanma olayını başlattığı bu noktaya Tutuşma Noktası (Flash Point) denir. Tutuşma evresinden sonra ısı artışı engellenemez ise ayrı bir tutuşturucu alevin etkisi olmadan da parlamalar görülür. Sıcaklığın ani parlamaların görüldüğü bu noktaya erişmesine 'ani parlama sıcaklığı' (Spontaneous Ignition Temperature) denir [1, s.6-7].

Bu anda girilen evre Genel Kavuşma (Flash-Over) olarak adlandırılır. Bu aşamada ortamda yeterli oksijen de var ise, yangın genişleyerek devam eder.

Genel Kavuşma Evresi'nde yangının kendi kendine sönme olasılığı yoktur. Tüm yanıcı maddeler artık tutuşma noktasına gelmişlerdir. Bu devrede ortam sıcaklığı 1000 °C' nin üzerine çıkabilir. Bu çizgiye gelindiğinde; yangın mekanında bol miktarda taze hava bulunmuyor ise, kimyasal reaksiyonun artan hızı nedeniyle hacimde bir oksijen noksanlığı meydana gelir. Oksijen eksikliği nedeniyle bazı yakıtlar tam olarak yanamazlar. Bu olayın sonucunda " Tam yanmamış buhar ve gazlar " bina içinde yayılmaya başlar ve yeterli oksijen buldukları mekanlarda yanmaya başlarlar, dolayısıyla yangın bina içerisinde yayılmaya ve büyümeye başlar.

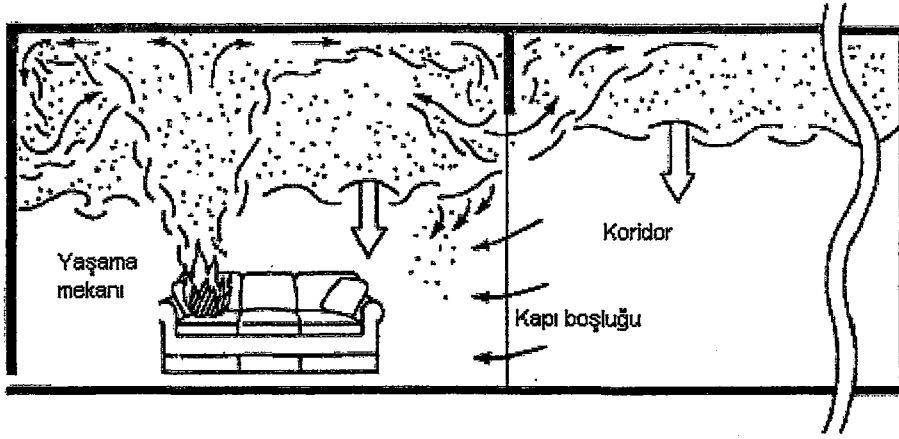
2.3 Yangın Mekanından Komşu Mekana Duman Dağılımı

Yukarıdaki bölümde 2.3 ve 2.6 arasındaki şekillerde anlatılan yangın ortamı tek bir kapalı mekan yangınında mekan içinde oluşan sıcak hava ve duman hareketi anlatılmaktadır. Ancak değişim evresinin başlamasıyla artan reaksiyon hızı, sıcak gaz ve duman artış hızını da arttıracığından, mekan içinde sıkışan gazlar mekan iç basıncını artırır bunun sonucu olarak mekanda bulunan boşluklar ve aralıklar kanalı ile duman hareketi mekan dışına çıkmaya başlar. Şekil 2.7'de bu olayın başlangıcı gösterilmiştir. Yangın artık bulunduğu bölümden çıkarak bina içine yayılmaya başlamıştır.

2.3.1 Yangın mekanı ile komşu mekan arasındaki temiz hava ve duman alışverişi:

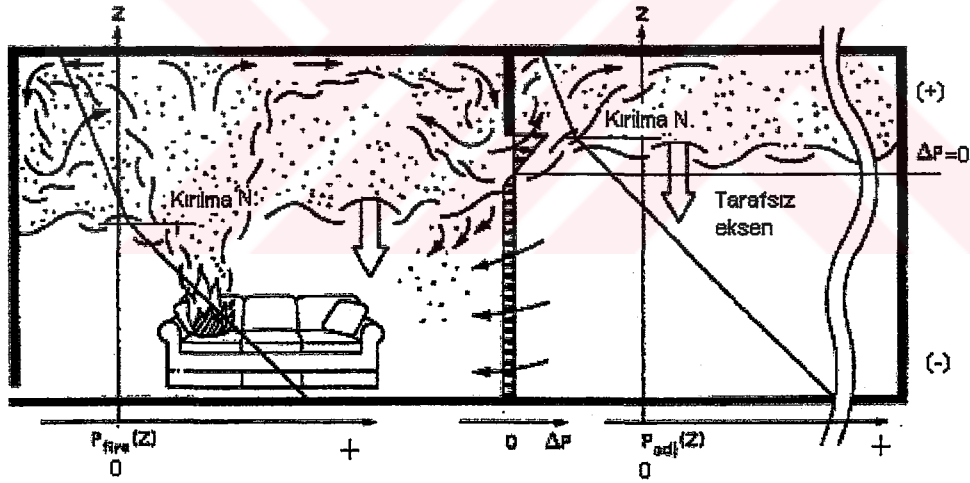
Duman sızıntısı başladıktan sonra yüksek basınçtan alçak basınca doğru akış artarak devam eder. Bu aşamadan sonra tüm modellemelerde yangının başladığı mekan ile bu mekana komşu mekanlar arasındaki duman yayılma olayı incelenmelidir. Şekil 2.7’de yanma olayının başladığı mekandaki ara yüzey tabakası kapı lento hizasına kadar indiğinde kapı kanat kasa birleşimindeki sızdırma alanı hizasında önemli miktarda duman, komşu mekana geçmeye başlayacaktır. Aynı anda komşu mekandaki ortam havası da daha alt kotlardan yanma odasına doğru akacaktır. Bu akış iki mekan arasında bir basınç dengelemesi olana kadar devam edecektir. Bu sayede kendi kendine büyüme eğilimi gösteren ateş olarak tarif edilen yangın, yangın üçgeninin bir kolunu oluşturan ve yanma odasında yavaş yavaş bitmeye başlayan oksijeni yan mekanın ortam havasından almaya başlayacaktır. Şekil 2.7’ de gösterilen bu andan sonra birbirine bağımlı olarak iki mekana duman dolmaya başlayacaktır ve komşu mekanda da çift tabakalı ortam aynı karakteristikleri göstererek, oluşmaya başlayacaktır. Ancak sızıntı aralığı küçük olduğundan işlemler yavaşlayacak ve yan mekandaki üst tabaka oluşumu daha fazla zaman alacaktır.

Ancak herhangi bir binada kaçış koridoruna açılan kapıların otomatik kapanma sisteminin olmadığı varsayılarak duman geçişinin bir sızıntı aralığından değil kapı veya benzeri bir boşluğun tümünden olacağını düşünmek, işlemin güvenli tarafında kalmamızı sağlayacağından daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu nedenden ötürü, kaçış koridoru tamamen yalıtılmış ayrı bir bölme ve bu koridora açık bir kapı ile bağlı ayrı bir bölme olan yaşama mekanı da yangın başlangıç yeri olarak düşünülür ise, Leonard Y. Cooper tarafından gerçekleştirilen, birbirinden duman ve ortam havasının kolayca geçeceği açık kapı veya pencere gibi büyükçe boşluklar ile ayrılan tamamen kapalı iki mekan etkileşimini incelemek, modellemede faydalı olacaktır (Şekil 2.9). Böyle bir örnekte hava ve dumanın yer değiştirme miktarı oldukça önemlidir.



Şekil 2. 9. Yangın mekanı ile komşu mekan arasındaki taze hava alış verişi. [7, s.178]

Gerçek yangın deneylerinden alınan sonuçlara bağlı olarak bu tip özel mekanlarda ortam basıncında olan değişikliklerin yüzde bir civarında olduğu görülmüştür [11, s.104]. Bu anda mekanlar arasındaki basınç farkları önemli bir ortam havası duman değişimine imkan verecek ölçüdedir.



Şekil 2. 10. Yangın mekanı ile komşu mekan arasındaki basınç değişimleri [7, s.179]

Yukarıdaki şekilde sol tarafta yangının başladığı bölümdeki düşey statik basınç [$P_{fire}(Z)$] dağılımını gösteren bir eğri çizilmiştir. Bu basınç dağılımı ölçümleri mekanın içinde kısmen daha durgun olan, kapı ve alev akımlarından uzak bir bölgede yapılmıştır. Bu eğriye bakıldığında zemin ve ara yüzey duman tabakası arasındaki ortam havasında yüksekliğe bağlı olarak değişen basınç farklılığının tabaka içinde ölçülenden daha fazla ve iki farklı mekanda da uniform olduğu görülmektedir. Bu uniform yayılmanın nedeni yoğunluğa bağlı sıcaklığın da, üst

duman tabakası ile alt tabaka arasında uniform olmasından ve alttaki daha az sıcaklığa sahip tabakanın üstteki tabakadan daha yoğun olmasıdır. Zemin kotundaki basınç burada $P_{fire}(Z = 0) = P_{fire,0}$ olarak kabul edilmiştir.

Şekil 2.10'un sağındaki eğri ise komşu mekandaki düşey statik basınç farklılıklarını $[P_{adj}(Z)]$ göstermektedir. Komşu mekandaki düşey statik basınç eğrisindeki kırılma yangın mekanındakinden daha yukarıda bulunan komşu mekan ara yüzey duman tabakası hizasında olmuştur. Ayrıca bu mekandaki ara tabaka üzerindeki basınç dağılımı eğrisindeki kırılma yanma odasındakinden daha az yoğun veya daha az sıcak bir duman tabakasını işaretlemektedir.

Komşu mekanda da zemin seviyesindeki basınç seviyesi $P_{adj}(Z) = P_{adj,0}$ olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.10 'da bu iki farklı basınç dağılımı eğrisi arasındaki basınç farklılığı;

$$\Delta P(Z) = P_{fire}(Z) - P_{adj}(Z) \quad (2.1)$$

kapı boşluğu üzerindeki grafik ile anlatılmıştır.

Lento hizasının hemen altında ΔP 'nin pozitif olduğu Z yüksekliğinde yanma odasındaki gazlar komşu mekana girer. ΔP 'nin negatif olduğu yüksekliklerde ise komşu mekan ortamında bulunan gazlar ve ortam havası yanma odasına doğru itilirler. ΔP 'nin sıfır olduğu özel nokta ise (neutral plane) tarafsız eksen olarak adlandırılır, bu noktada her iki mekandaki gazlar da durgundur mekanlar arasında geçiş olmaz. Bu nokta yanma odasından çıkan duman akımının altında, odaya giren komşu mekan hava akımlarının üstünde bulunan bir yükseklikte, iki akım arasındaki sınır görevini görür.

Bu tip yangın tarafından oluşturulmuş kapı veya penceredeki her hangi bir Z yüksekliğindeki içeri giren veya dışarı çıkan hava akımı hızını $V(Z)$ tahmin etmek için tüm modellemelerde akışkanların hızı arttığında basınçlarında azalma olacağını kanıtlayan İsveçli bilim adamı Daniel Bernoulli (1700-1782) tarafından geliştirilen Bernoulli denklemini kullanılır. Bu formülde akımın dinamik basınca bağlı olarak ivme kazandığı kabul edilir;

$$\rho V^2(Z)/2 = \Delta P(Z) \quad (2.2)$$

Yukarıdaki formülde ρ akım çizgilerinin (streamlines) olduğu gazın yoğunluğudur. Ayrıca herhangi bir yükseklikteki hava akımı kapı boşluğu genişliğinde $W(Z)$ sıkıştırıldığından, normal vantilasyon boşlukları hesabındaki giriş çıkış açıklığındaki delik (vena contracta) etkisiyle oluşan akım jetlerine benzetilerek sabit düzeltim katsayısı C ile çarpıldığında; kapı boşluğunda herhangi bir yükseklikte oluşan toplam kütle akışı her birim yükseklik için;

$$\rho C V(Z) W(Z) = C W(Z) \sqrt{2 \rho \Delta P(Z)} \quad (2.3)$$

olarak hesaplanabilir. [7, s.180]

Bu bilgiler ışığında iki odadaki duman kalınlığı ve yoğunlukları (sıcaklıkları) bilindiğinde $\Delta P(Z=0)$ anlık değerleri ve tarafsız eksen yüksekliği bulunabilir

Yukarıdaki formüllere bağlı olarak giriş ve çıkış akım miktarları Zukoski ve Kubota tarafından hesaplanmıştır [13, s.17-27].

Zukoski ve Kubota hesaplamalarda kullanılan en uygun C değerlerini birebir yangın deneylerinden almıştır. Bu değerler modelleme için kullanılacak programa girilmiş olmalıdır.

2.3.2 Komşu mekanın dumanla dolması ve tavan jet olayı

Basınç farkı nedeni ile komşu mekana geçen duman tabakası, komşu mekan ortam havasından daha az yoğunlukta olduğundan tavana doğru yükselir. Şekil 2.9'da gösterilen yüzen üst tabaka akımı daha önce anlatılan alev hareketi ile benzer karakterlere sahiptir ve bazı ufak değişiklikler yapılarak benzer formüller ile tarif edilebilir. Bu formüllerde içeride oluşan duman jetinin entalpisi (enthalpy), yangın alevinin gücü $Q(t)$ ve tarafsız eksen yüksekliğindeki veya yakınındaki duman jeti kaldırma kuvveti, yanma bölgesi yüksekliğinin yerini alır. Bu konuda kullanılabilecek ve Zukoski tarafından önerilen birçok farklı formül vardır. Bu formüllerin detaylı açıklaması simülasyonda kullanılacak bilgisayar programının algoritmasının anlatıldığı ek bölümde tekrarlanacaktır.

Mekanlar arasındaki boşluklardan komşu mekana giren duman jet hızı arttıkça, bu jet mekan havasına karışır ve hızında önemli bir düşüş görülür. Hızını kaybetmiş jet akımları aynen yangın mekanında gerçekleştiği gibi üst tabaka dumanı ile

karışır, bu karışımın bir miktarı tekrar geri döner. Yanma odasına geri dönen hava tabakasının yoğunluğu artmıştır ancak sıcaklığı yan mekanda oluşan ısı alış verişini nedeni ile daha azalmıştır. Az sıcaklıkta tekrar yanma odasına geri dönen dumanla dolan üst tabaka, aşağıya doğru inişini hızlandırır. Bu hızlanma ile üst tabakada bulunan duman ve yanma gazları alt tabaka ile karışmaya başlar. Bu alt tabaka duman karışım olayı daha önce Şekil 2.7 'de gösterilmiş olan duvar akımları sayesinde olur.

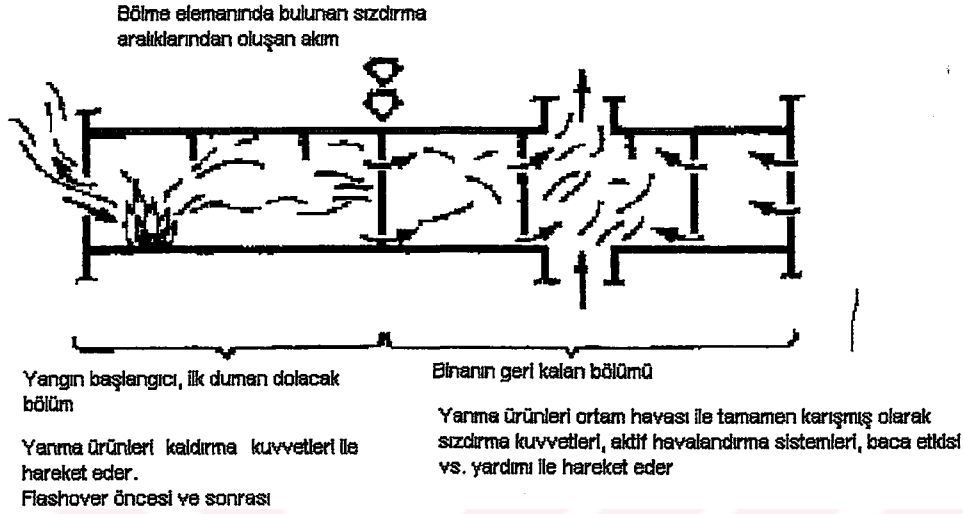
Şekil 2.9'da komşu mekanda da üst tabaka oluşmuş hali gösterilmektedir. Bu oluşumdan önce gerçekleşen olaylar yanma odası için Şekil 2.4 ve 2.5'te anlatılanlar ile aynıdır. Boşluktan komşu mekana giren duman jeti, tavanda aynen yangın mekanındaki gibi bir tavan jeti oluşturur, tavanda oluşan hareketlenme duvarları etkiler ve oluşan duvar akımları ile yanma odasındaki gibi belli kalınlıkta bir üst tabaka oluşur ve büyümeye başlar.

Yanma odasında olduğu gibi komşu mekan tavanı ve üst duvar özelliklerini bilmek yangının yayılmasını haber verecek algılama sistemi seçiminde ve yangın anında komşu mekanda oluşacak ortamı önceden tahmin ederek uygun çözüm geliştirmede temel önem taşır. Ayrıca komşu mekanda alt tabakanın duvardaki aşağıya yönelmiş akımlar ile doldurulması yangın mekanından daha fazla önemlidir.

2.4 Yanma Ortamındaki Dumanın Tüm Binaya Yayılması

Yukarıdaki bölümlerde birbiri ile ilişkili iki mekan arasındaki duman ve sıcak hava hareketi anlatılmış ve bu hareketlere ait nicel kabuller açıklanmıştır. Ancak yangın güvenliği kavramı içinde, yanma anında oluşan dumanın tüm bina ya da tesis içinde yayılması da önemli bir yer tutmaktadır. Yangın başlangıcından çok kısa bir süre sonra yangın mekanına çok uzak diğer mekanlarda da duman hareketi görülmeye başlar. Özellikle bina içindeki düşey ve yatay boşluklarda her hangi bir önlem alınmadı ise bu tip alanlara sızan sıcak gazlar tüm binayı sarabilir. Şekil 2.11. yangın/duman kompartmanından dışarıya veya dışarıdan içeriye doğru oluşacak akışkan hareketinin pratik bir konseptini göstermektedir. Şeklin solunda bulunan yangın başlangıç mekanının bulunduğu bölüm ayrı bir kompartman olarak şeklin sağında görülen binanın diğer mekanlarından ayrılmıştır. Duman önce yangının olduğu kompartman içinde yayılacak ve duman tabakaları

oluşmasına neden olan güçlü kaldırma kuvvetleri ile odadan odaya dağılacaktır. Binanın diğer bölümlerinde ise dumanın her bir mekana benzer şekilde dağıldığını kabul etmek mantıklıdır.



Şekil 2. 11, Karmaşık binalarda duman yayılma modellemesi konsepti [7, s.181].

Burada dumanın odadan odaya hareket etmesine, diğer mekanlardaki ortam havasına karışmasına neden olan unsur, sızıntı, rüzgar veya aktif havalandırma sistemleri etkisi ile oluşan odadan odaya farklılaşan basınçtır.

Yangının olduğu kompartman (bölüm) binanın diğer bölümleri için bir duman kaynağıdır. Dumanın buradan diğer mekanlara girişi, karşılıklı mekanlardaki basınç farklılıklarına ve ayırıcı bölme duvarlarının sızdırma özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu durumda iki farklı kompartman arasında hava sızıntısı yoluyla oluşan duman hareketi miktarı kantitatif olarak belirlenebiliyor ise, ikinci kompartmandaki veya binanın geri kalan kısmındaki duman hareketi de rahatlıkla çözülebilir.

Yukarıdaki şekilde basit tek katlı bir bina içindeki sıcak gaz ve duman hareketi gösterilmiştir ancak günümüzde gelişen teknoloji ile yükselen binalarda da dumanın yayılma prensibi değişiklik göstermez. Yangının başladığı mekanda oluşan kapalı mekan dinamiği her tür binada aynı özellikleri göstererek gelişir. Mekan dışına ilk sızıntı başladıktan sonra tüm binanın içinde duman hareketini sağlayan mekanizma aşağıdaki bileşenlerden oluşur.

- Genleşme.
- Kaldırma kuvvetleri.
- Mekanik havalandırma ve klima sistemleri.
- Rüzgar nedeni ile oluşan basınçlar.

2.4.1 Genleşme Etkisi

Tek bir mekanda başlayan yangının ürettiği yanma ürünleri ile dolan ve açığa çıkan enerji ile ısınan ortam havası genleşme nedeni ile hacmini artırır. Hacmini arttıran ortam havası mekan duvarlarına daha fazla basınç uygulamaya başlar ve dışarıya açılan boşluklar yardımı ile bulunduğu mekanı terk ederek tüm binaya yayılmaya başlar. Yanma devam ettiği sürece içerde artan hacim ve buna bağlı basınç nedeni ile sızıntı devam eder ve öndeki tabaka bina içine doğru itilir. Bu şekilde yayılma büyüyerek devam eder.

2.4.2 Kaldırma Kuvvetleri Etkisi

Bu hareketlilik dumanın havadan daha hafif olan sıcak gazlardan oluşmasından ve bunların yükselerek hava üzerinde yüzmesinden oluşur. Mekanlar arasındaki sıcaklık farkından dolayı, yanmakta olan binanın mekanları arasında basınç farklılıkları olacaktır. Basınç farklılıkları nedeniyle havada yüzen duman en küçük aralıklardan bile sızarak tüm binaya yayılır.

Yukarıda bahsedilen sıcaklık farklılıklarının oluşturduğu, basınç farkından doğan hareket olmasa bile; yani, bina içerisinde dolaşan dumanın soğuk olduğu hallerde dahi hacimdeki doğal havalandırma etkisiyle duman kitlesi gözle görülür biçimde yer değiştirebilmektedir. Bu durum özellikle doğal havalandırmanın çok yüksek düzeyde olduğu, günümüz yüksek binalarında büyük önem kazanmaktadır. Bu tür binalarda dış atmosfer ile bina içindeki hava arasındaki sıcaklık farklılıkları bina içerisinde hava akımları oluşmasına geniş ölçüde yardım eder. Ayrıca, binanın yüksekliği, atmosferik koşullar ve hava yoğunluk farklılıkları gibi " çekme " olayını etkileyen faktörlerin yanı sıra binanın ısıtma-havalandırma sistemleri de işe karışır. Bu faktörler arasına, dış duvar ve ara kat döşemelerinin hava geçirimsizliği de eklenebilir.

Şekil 2.12.'de çok katlı bir binada, iç sıcaklığın (T), dış hava sıcaklığından (T_0) daha yüksek olduğu, varsayılan bir ortamda "çekme olayı " sonucu oluşan hava

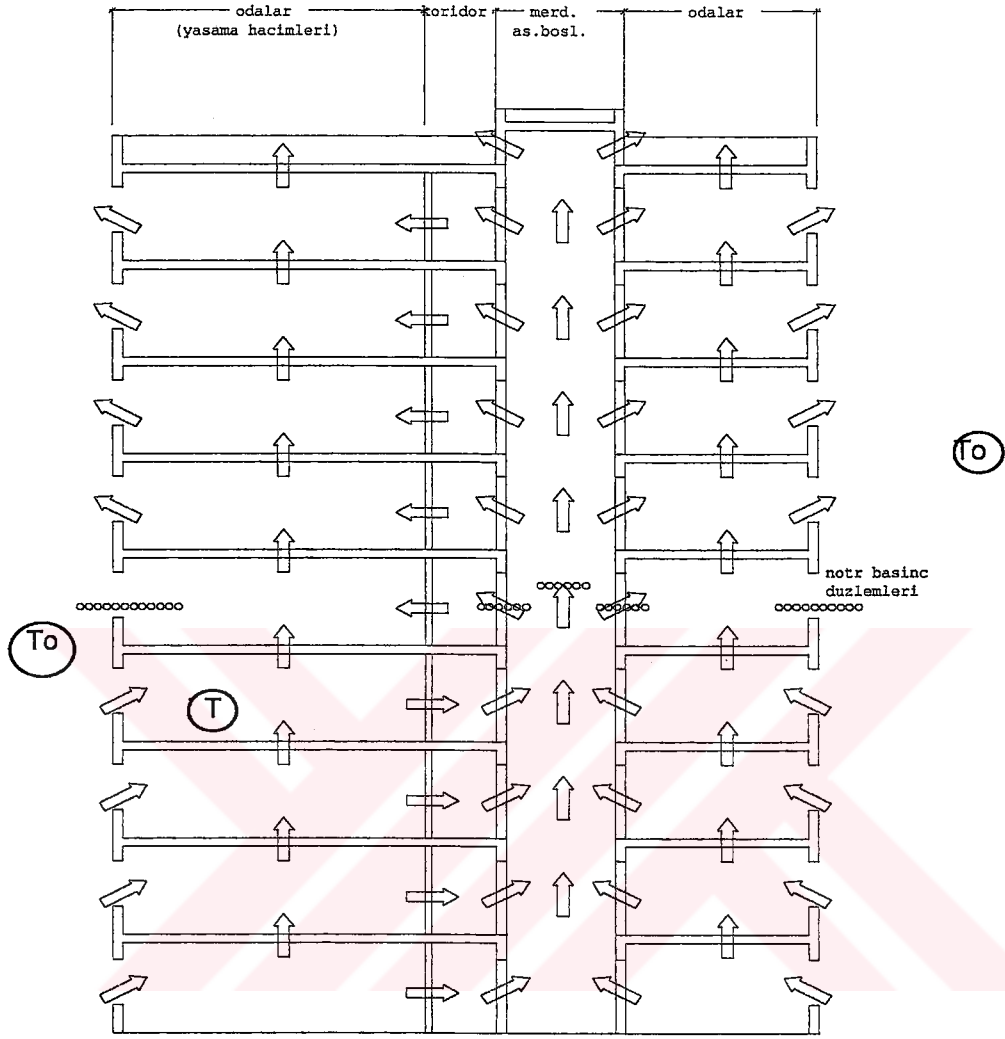
hareketlerinin bina bütünündeki yön ve gelişmesi şematik olarak görülmektedir. Anlaşıldığı gibi temiz hava binaya alt kat cephe boşluklarından girip üst katlardan çıkmaktadır. Bu arada, ara katlarda, iç ve dış hava basıncının birbirine eşit olduğu tarafsız (nötr) bir basınç düzlemi oluşmuş ve hava hareketlerinin bina içerisinde yön değiştirmesine neden olmuştur [14, s.58].

Bu durum tarafsız bölgenin üzerindeki bir katta başlayan herhangi bir yangın olayında oluşacak sıcak hava, gaz ve dumanların yangın çıkan katın altındaki merdiven ve kat sahanlıkları ile koridorlara büyük bir olasılıkla dolup birikemeyeceğini göstermektedir [15, s. 57].

Bu kuramın doğruluğu İstanbul Beyoğlu'ndaki Odakule yangınında gözlemlenmiştir. Üst katta başlayan yangın tarafından oluşturulmuş duman yukarıda bahsedilen teoriye uygun olarak alt katlara yayılmadan üst katlara yönelmiştir. Ancak söz konusu yangın alt katlarda başlamış olsaydı dumanın üst katlara doğru yayılmasını engellemek çok güç olacaktı. Aynı özellik Amerika'da İkiz Kule'lere yapılan saldırı sonucunda oluşan yangında da görülmüş yangın katının altında kalan bölümlerden duman etkisine maruz kalınmadan kaçış imkanı doğmuştur.

2.4.2.1 Baca Etkisi (Çekme Olayı)

Bina içindeki hava basıncı ile dışarıdaki hava basıncı arasındaki farklılıklardan oluşur. Çekme olayının meydana gelmesi için iç ve dış hava arasındaki sıcaklık farkının yaklaşık 22 °C (40 °F) olması gerekir. Bina içi termal konfor seviyesinin genellikle 21 °C ' ye göre düzenlendiği düşünülürse, bu ölçüde bir sıcaklık farkının soğuk iklim ve mevsimlerde olduğu kadar, çok sıcak iklim ve mevsimlerde de olası olduğu söylenebilir. Yalnız çekme olayının çok sıcak iklim bölgelerinde iç ve dış hava yoğunluk farkı nedeni ile, binada yukarıdan aşağıya doğru ters yönde bir hava akımı oluşturabileceği de gözden uzak tutulmamalıdır. Bu durumda Şekil 2.12'deki bütün oklar 180° dönecek ve hava akımının yönü değişecektir [15, s.59].

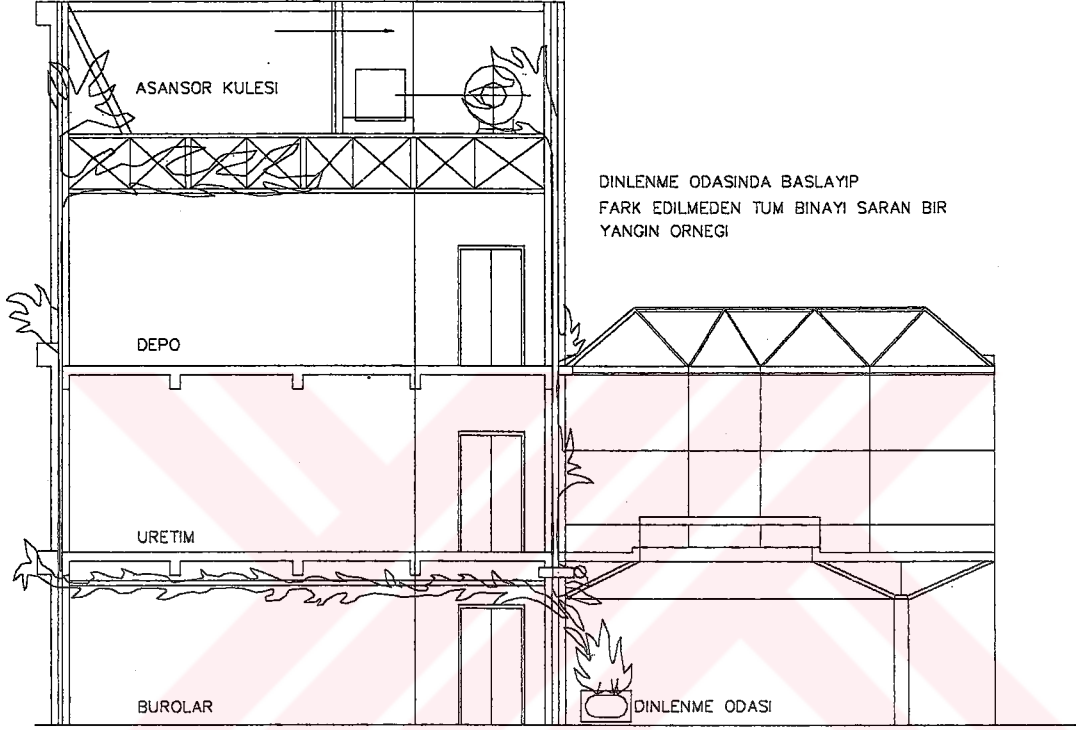


Şekil 2. 12 . Çekme hareketleri sonucu oluşan hava hareketlerinin yön ve gelişmesi [16, s. 205].

2.4.3 Mekanik Havalandırma Sistemleri

Özellikle gelişen teknolojinin bir ürünü olan yüksek yapılar ve ısıtma havalandırma işleminin klimatizasyon sistemi ile sağlandığı çok kullanıcı binalarda; bu sistemin dağıtım kanalları (Branchement) duman için ideal bir yol oluştururlar. Gerekli önlemler alınmadıysa, bu kanallar içerisinde farkedilmeden ilerleyen duman çok kısa bir sürede tüm yapıyı doldurabilir.

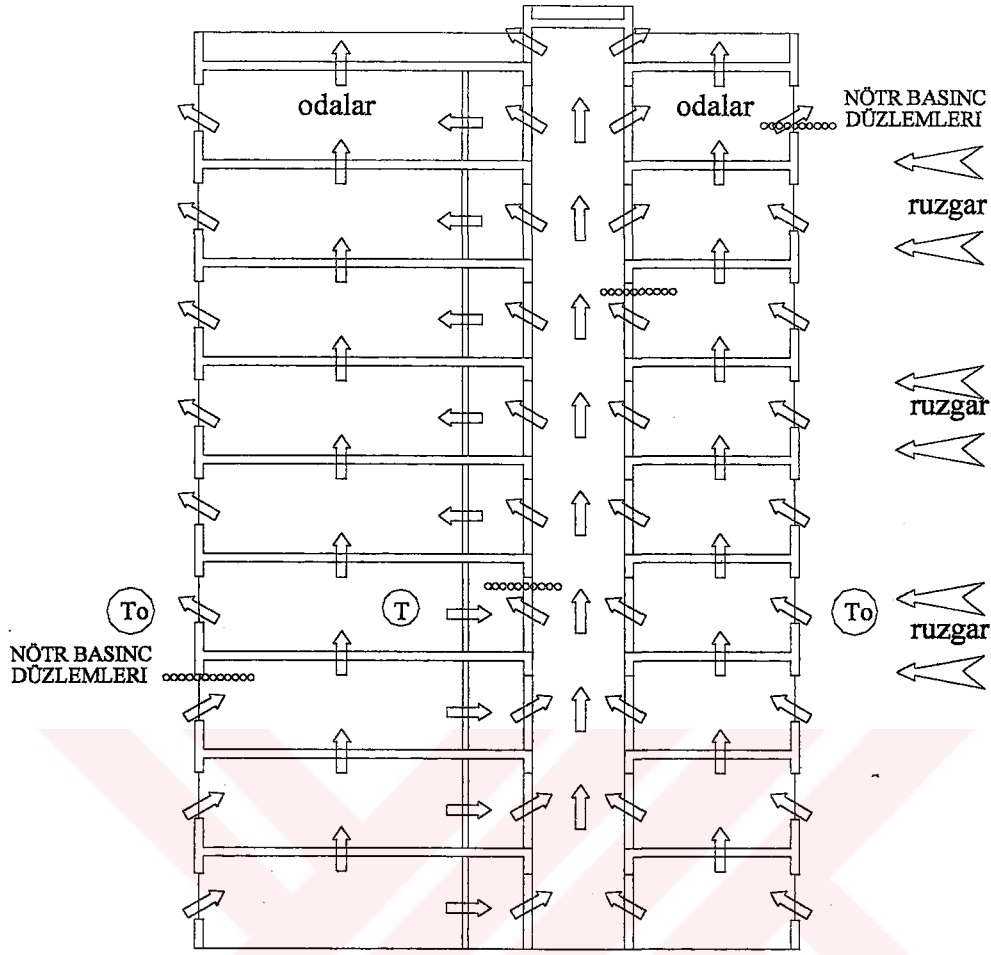
Sonuç olarak, bir yangında oluşan sıcak hava, zehirli gaz ve duman yangının gelişerek tüm çevreyi sarmasını beklemeden bina içerisine ve özellikle sirkülasyon alanlarına yayılırlar. Bu olay bazı durumlarda içinde kullanıcı bulunmayan mekanlarda başlayan yangınlarda, ateş görülmeden alarm verilmesini sağlasa da, bina içerisinde bulunanların can güvenliklerini ciddi şekilde tehdit eder.



Şekil 2. 13. Döşeme, duvar ve tavanlardaki gizli boşluk ve kanallarda ilerleyerek büyüyen bir yangın örneği .

2.4.4 Rüzgar Etkisi

Pencere ve kapı gibi, bina cephesindeki boşluklardan, bina içerisine giren rüzgar, iç hava akımını etkiler. Bu etkileşim hava üzerinde yüzen duman tabakasının tüm bina içerisine dağılmasına neden olur. Bu yayılma bazı durumlarda saniyelerle ölçülebilecek kadar hızlı olabilir. Bu hızlı yayılma nedeniyle, yangın mahallinden alevlerin ve ısıнын ulaşamayacağı kadar uzakta olan kullanıcıların da, gördükleri duman yüzünden panik olmalarına ve düşüncesizce hareket etmelerine neden olur. Bilinçsizce ve korkuyla yapılan bu çeşit hareketler birçok olayda gereksiz can ve mal kaybına neden olabilir. Şekil 2.14.'de dokuz katlı bir binada rüzgar etkileriyle oluşan çekme olayı ve bina içerisindeki hava hareketi yönleri görülmektedir

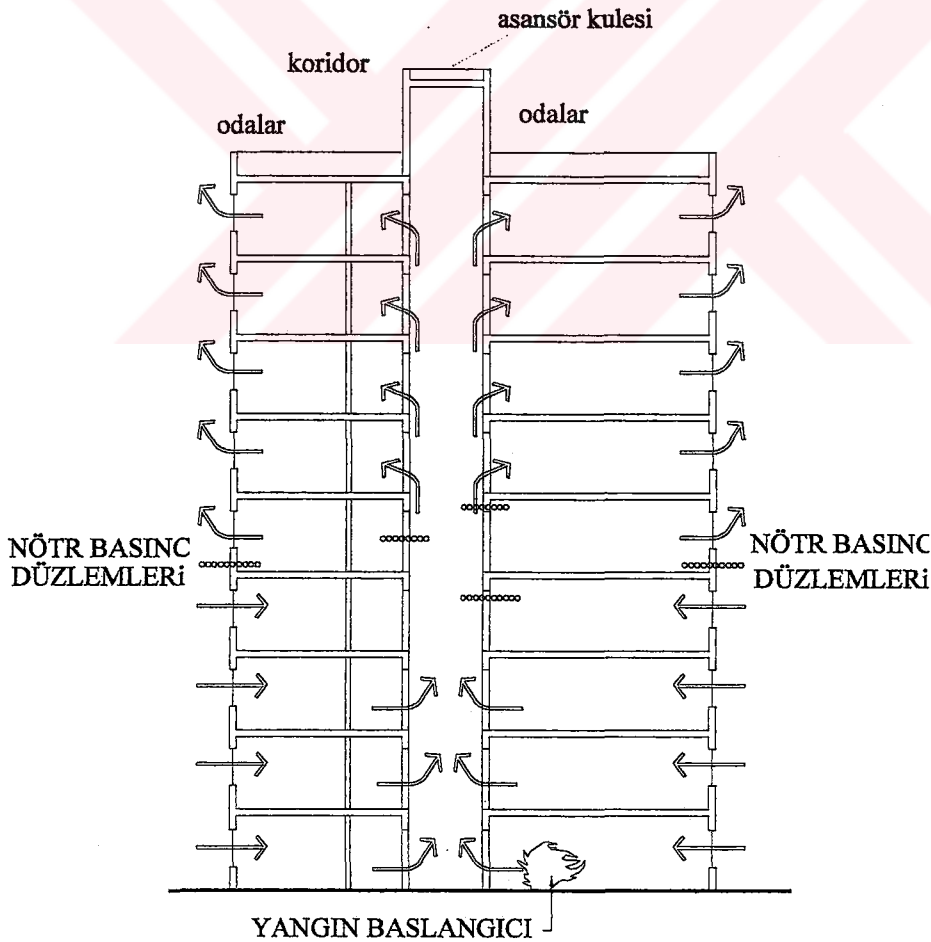


Şekil 2. 14 . Rüzgar etkisi ile " çekme " olayı sonucu oluşan hava hareketlerinin yön ve gelişmesi [19, s. 205].

1963 yılında Paris'te 21 katlı bir binada yapılan bir dizi yangın deneyi duman ve yanıcı sıcak gazların, yukarıda sayılan sebeplerden ötürü, bina içi yer değiştirme hareketlerine ilişkin birçok noktanın gözlenmesine olanak vermiştir. Söz konusu deneylerde; yangın zemin katta bulunan bir dairede başlatılmış ve daire kapısının yangın başlangıcından yaklaşık 3 dakika sonra açılması ile duman ve sıcak yanıcı gazların 6 dakika içerisinde 21. katın terasına ulaştığı görülmüştür. Tutulan kayıt ve çekilen fotoğraflardan anlaşıldığına göre; dumanın sıcaklığı yükseldiği zaman yoğunluğun azalmasına karşın "katmanlaşma" eğilimi giderek artmakta ve içeride bulunanlar için büyük ölçüde karbonmonoksit (CO) tehlikesi ortaya çıkmaktadır [15, s. 219].

Öte yandan, söz konusu deneyler, bina sakinlerinin can güvenliği açısından, en büyük tehlikenin daha çok, dumanın yüksek sıcaklığı sonucu ortaya çıktığını; karbonmonoksit zehirlenmeleri ile oksijen yönünden fakir ve az doymuş bir havanın bunu daha da arttırdığını açık seçik gözler önüne sermektedir.

Günümüzde binaların karmaşıklaşması, kullanıcı sayılarının artması, kat adetlerinin fazlaşması, değişik yapı ve özelliklere sahip pek çok yeni malzemenin binaya girmesiyle daha büyük boyutlara ulaşan, bina içindeki duman ve zehirli gaz hareketleri; ancak yeterli ve gerekli özen gösterilir ve tehlike yakından tanınır ise kullanıcılar açısından tehlike olmaktan çıkartılabilir. Özellikle yangın anında tüm kullanıcılar için hayati önem taşıyan yatay ve düşey kaçış yollarına giren duman ve sıcak gaz hareketi binanın tasarım aşamasında kontrol edilmeli bu tip mekanlar duman hareketini ve yaratacağı tehlikeyi en aza indirgeyecek aktif ve pasif sistemler ile korunmalıdır.



Şekil 2. 15.Zemin katta başlayan bir yangında duman dağılımı ve etkilenen kat alanları [1, s.16].

3 YANGIN GÜVENLİĞİ AÇISINDAN YANGIN KAÇIŞ YOLLARININ ÖNEMİ

Bina yangın güvenliği, genel tanımı içinde; tehlikenin sistematik bir analizine dayanmak durumundadır. Başka bir deyişle proje aşamasında veya uygulanmış binaları yangın yönünden daha güvenli kılmak için, her şeyden önce ortaya çıkan tehlikeyi mümkün olduğunca iyi tanımak ve değerlendirmek gerekir.

Binalar veya tüm yapılar üzerindeki yangın tehdidini tümüyle ortadan kaldırmak, maalesef, dün olduğu kadar bugün için de mümkün olmamaktadır. Tam bir yangın güvenliği sadece kuramsal bir ortam için varsayılabilir. Ancak can ve mal kaybını en aza indirecek önlemlerin tasarım aşamasının farklı süreçleri içinde, bilinçli bir şekilde ele alınması ile sözü edilen kuramsal ortama yaklaşmak mümkündür.

3.1 Yangın Tehlikesinin Analizi

Yangın tehlikesinin tanınabilmesi için gerekli olan ve yangınların büyük bir çoğunluğu için geçerli olabilecek bilgileri elde etmek çok güçtür; çünkü, bir yangından diğerine işe karışan değişkenler hem sayıca çok, hem de nitelik yönünden çok çeşitlidir. Bu gerçek yapılacak analiz çalışmalarının, yangın istatistikleri kadar yangın başlangıcı ve gelişmesi ile ilgili deneysel araştırmalara da dayandırılmasını gerekli kılar.

Binalarda yangın sorununun başlangıcından söndürülünceye kadar ortaya koyduğu başlıca tehlikeler, çok genel olarak aşağıda belirtilen başlıklar altında incelenebilir.

- Yangının olduğu mekanda ortaya koyduğu tehlikeler.
- Yangının bina içinde yayılmasının ortaya koyduğu tehlikeler.
- Zararlı gazlar ile dumanın ortaya koyduğu tehlikeler.
- Taşıyıcı sistemin uğradığı direnç kayıplarının ortaya koyduğu tehlikeler.
- Yangının komşu binalara yayılmasının ortaya koyduğu tehlikeler.

Yukarıda sıralanan tehlikelerin zararları da daha önce değinildiği gibi tamamen önlenemese bile, tasarım aşamasında alınabilecek basit ve ekonomik bir takım önlemler dizisiyle en aza indirgenebilir. Bu tehlikeleri teker teker açarak irdelemek mimarlara binaların tasarımı aşamasında yangın kontrolü açısından yol gösterici olacaktır.

3.2 Yangından Korunmanın Amaç ve Kapsamı

İnsan eylemlerinin özelliklerinden biri olan, belli bir amaç doğrultusunda hareket etmek, binayı kullanacak ve yapımı gerçekleştirecek kişi veya kişilerin eylemlerini de, hiç kuşkusuz yönlendirir. Bu gerçek, yangından korunma ve bina yangın güvenliği konusundaki karar ve önlemlerin alınmasında da geçerlidir.

Bilindiği gibi korunma mevcut bir tehlikenin yaratacağı zararlardan etkilenmemeye çalışmaktır. Yangından korunma konusunda da çok genel anlamda ;

- Bina sakinlerinin can güvenliğini sağlama,
 - Yangın başlangıçlarının çıkış ve çevresine yayılma olasılığını azaltma,
 - Yangının yaratacağı her tür maddi kayıp ve hasarları en alt düzeyde tutma,
- amaçların başında gelirler. Başka bir deyişle yangına karşı alınacak önlemler; yangının yayılma hızını en aza indirmek, yangını ve yarattığı tehlikeleri denetim altında tutarak güvenli kaçışı ve müdahale olanağını sağlayacak süreyi kazanmaktır.

Yukarıda sıralanan amaçları gerçekleştirebilmek için ilk yol , daha önce sıralanan, yangının yol açtığı başlıca tehlikeleri bilmek ve belli stratejilerle çeşitli taktikler uygulamaktır. Bu taktiklerde sağlanacak başarı derecesi, binanın yangın güvenlik derecesini belirleyecektir.

Yangından korunmada ya da yangın güvenliğini sağlamada mimarın uygulayacağı taktikler aşağıdaki gibi sıralanabilirler :

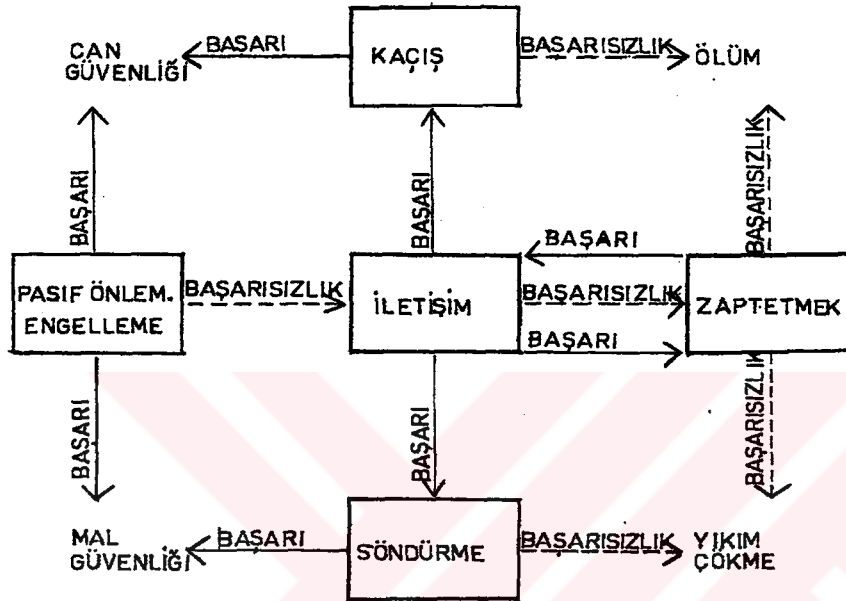
1- Önleme Tedbirleri: Yakıt olarak, tutuşmaya neden olabilecek her şeyi kontrol altında tutarak yangın çıkmasını engelleme.

2- Algılama ve haber verme: Tutuşma olduğunda, yangın başlangıcını haber vererek kullanıcıları uyarma ve söndürme sistemlerinin harekete geçmesini sağlama.

3- **Kaçış:** Kullanıcı ve bina çevresindekileri, duman, zehirli gazlar ve sıcaklık etkisinden kurtulacakları güvenli yerlere ulaştırma.

4- **Sınırlandırma:** Yangını başladığı yerde, mümkün olduğunca küçük alanlarda hapsederek bina içinde serbestçe genişlemesini engelleme.

5- **Söndürme:** Yangın çıktıktan sonra binaya en az zararı vermesi için hızlı bir şekilde söndürülmesini sağlamak [6, s. 16].



Şekil 3.1. Amaç, taktik matrisi [6, s. 17].

Yangından korunmada mimarın uygulayacağı, yukarıda sıralanan taktikler; bir matris olarak mantıksal bir sıralama ile açılıp incelendiğinde, ilk sırayı gördüğü gibi engelleme tedbirleri almaktadır. Engelleme tedbirleri, yapma çevrede yangın kontrolü yöntemlerinden birisi olan; Pasif Yangın Güvenlik önlemleri sınıfına girerler ve tam anlamıyla tasarımcının kontrolü altındadırlar. Matristen de görüleceği gibi, önleme tedbirlerinde bir başarısızlık meydana geldiğinde, diğer taktiklere başvurulmaktadır. Önleme tedbirleri başarısız kaldığında başvuru diğer yöntemleri de Aktif Yangın Güvenlik Yöntemleri olarak adlandırmak mümkündür.

Yukarıdaki taktik matrisinde de açıkça görüldüğü gibi; yangın güvenlik önlemleri düşünülerek, iyi tasarlanmış bir binada; yangın diğer sistemlere ihtiyaç duyulmadan, az bir zararla söndürülebilecektir. Yangından korunmadaki amacın

tehlikeyi en az zararla geçiştirmek olduğu düşünöldüğünde; mimarın üstlendiğı veya üstlenmesi gereken görevin önemi çok daha kolay anlaşılmaktadır.

Yukarıda gösterilen amaç taktik matrisinden de anlaşıldığı gibi yangından korunmanın temeli önleme üzerine kurulmuştur. Birçok ölkede pasif yangın güvenlik önlemleri bina inşa yönetmeliklerinin en önemli bölümlerini oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk bina yönetmelikleri, yangın sigorta şirketlerinin 19. yüzyılda çok büyük birkaç şehir yangınından sonra iflasın eşğine gelmeleri üzerine birleşmeleri ve ortak korunma amaçlı tedbirler yayınlamaları ile ortaya çıkmıştır.

Korunmanın temelinde bina kullanıcılarının can güvenliğı ve daha sonrada mal güvenliğini sağlayarak maddi hasarı en aza indirmek yatar. Pasif önlemler ile yangının çıkışı veya yayılışı engellenemediğı takdirde mal güvenliğini sağlamak için yangını çok kısa sürede söndürebilmek önemlidir. Bu aşamada devreye binaya ait söndürme sistemleri ve itfaiye birimleri girer. Can güvenliğinin sağlanabilmesi ise binanın çok kısa bir sürede terk edilebilmesine bağıdır. Binanın türü, fonksiyonu, taşıyıcı sistem tipi, genel yangın dayanımı ne olursa olsun yangının başladığı bir bina hayati tehlike olmasa bile söndürme çalışmalarının devam edebilmesi ve durum değerlendirilmesi yapılabilmesi için hemen boşaltılmalıdır. Bu boşaltma işlemi binanın yangından korunmuş yatay ve düşey sirkülasyon alanları ile sağlanır. Güvenli bir şekilde binanın boşalmasını sağlayan bu tip korunmuş alanların tümü 'Yangın Kaçış Yolları' olarak adlandırılırlar.

3.3 Yangın Kaçış Yolları Tasarımında Etkili Parametreler

Yangın kaçış yolları ve çıkışların tasarım kriterlerinin başında, binanın sahip olduğı aktif ve/veya pasif savunma sistemlerinin durumu, yangın çıkma risk seviyesi ve kullanıcı özellikleri gelir. Farklı fonksiyonlara sahip bazı binalarda yapılan araştırmalar insanların kaçış yolları ve çıkışları kullanırken genellikle benzer şekilde davrandıklarını ortaya çıkarmıştır. Örneğin okul, tiyatro binaları gibi belli zamanlarda kalabalıklaşan, alışveriş merkezleri, müzeler gibi sürekli kullanıcı potansiyeli olan ve ofis binaları gibi sürekli kalıcı personele hizmet veren farklı gruplarda insanlar benzer şekillerde davranmaktadırlar. Tüm bu örneklerin içerisinde en riskli durumu konut, otel gibi gece de kullanıma açık

binalar oluşturmaktadır. Yangına uyku esnasında yakalanan kullanıcıların algılama ve tepki verme süreleri çok farklılık göstermiştir. Ancak, acil durumlarda, psikolojik etkilere bağlı insan davranışlarının kontrolü zorlaşmakta, kesin bazı kurallara bağlanamaz hale gelmektedir. Bir çıkışın hesaplanamayan veya öngörülemeyen bir kullanıcı hareketi nedeni ile kullanılamaz duruma gelmesi yeterli boyutta alternatif kaçış yolları olsa dahi yaralanma ve can kaybına neden olabilir. Bu nedenlerden ötürü kaçış yolları boyutlandırılmasında insan faktörü ön planda olmalıdır.

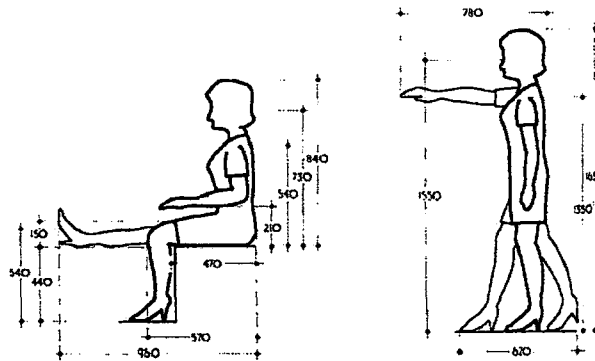
3.3.1 Kaçış Yolları Boyutlandırılması

Herhangi bir binada tüm yangın güvenlik önlemleri alınmış olsa dahi, kullanıcı kaçışını ve söndürme ekiplerinin müdahalesini sağlayacak kaçış yolları planlaması ve boyutlandırması iyi çözülmedi ise tam bir güvenlikten bahsedilemez. Doğru boyutlama ve planlama için bu konuda etkili olan parametrelerin çok iyi tanınması gerekmektedir.

3.3.1.1 Kaçış Yolu Boyutlamada İnsan Parametresi Andropometri

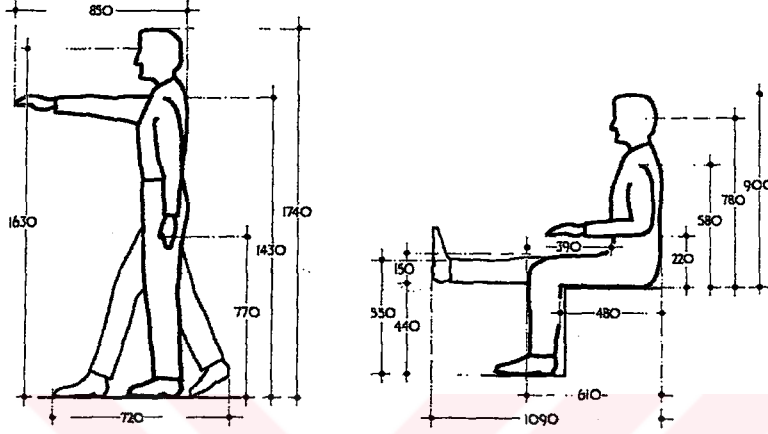
Yatay ve düşey yangın kaçış yollarının ve kaçış ile ilgili tüm alt sistemlerin tasarımında ve boyutlandırılmasında, insan vücudunun fiziksel boyutları esas alınır.

Yapılan araştırmalarda yetişkin erkeklerin ortalama omuz genişlikleri ilave elbise, kumaş dışında ortalama 45-50 cm olarak kabul edilmiştir. Bir mekana sığacak insan sayını belirleyebilmek için 'vücut elipsi' kavramı geliştirilmiştir. Vücut elipsinin büyük eksenini 60 cm. küçük eksenini 45 cm. olarak kabul edilmiştir. Bir insan için yeterli kabul edilen bu elipsin alanı da 0.207 m^2 'dir [17, s.361].



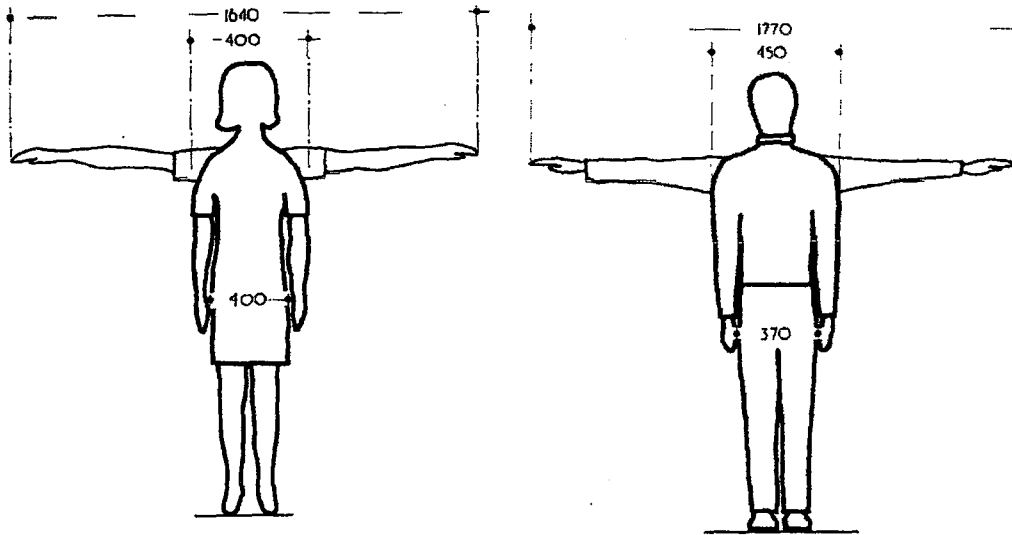
Şekil 3. 2. İnsanın Andropometrik Boyutları (Bayan) [18, s.24]

İnsanların hareket etmesi, vücutta hareketin cinsine göre bir eğilme meydana getirmektedir. Bu salınımın, normal serbest hareket sırasında sağa ve sola 3.75 cm. kadar olduğu belirlenmiştir. Kalabalık bir merdivende aşağı iniş sırasında bu salınım 10 cm.'yi bulmaktadır. Bu salınım hareketi de göz önünde bulundurularak merdivenlerde inen ya da çıkan insanlar için vücut elipsinin büyük eksen 75 cm olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3. 3. İnsanın Andropometrik Boyutları (Bay) [18, s.23]

Acil olmayan şartlarda kişi başına 0.27 m^2 den az alan düşen kalabalık mekanlar her zaman riskli mekanlar olarak tanımlanırlar. Kişi başına düşen ortalama alan 0.25 m^2 'nin altına düşer ise insanların birbirlerine değmeden hareket etmelerine imkan kalmaz. Bu şartlarda ortaya çıkan bir acil durumda kalabalık basıncı ile yaralanmaların olması hemen hemen kaçınılmazdır.



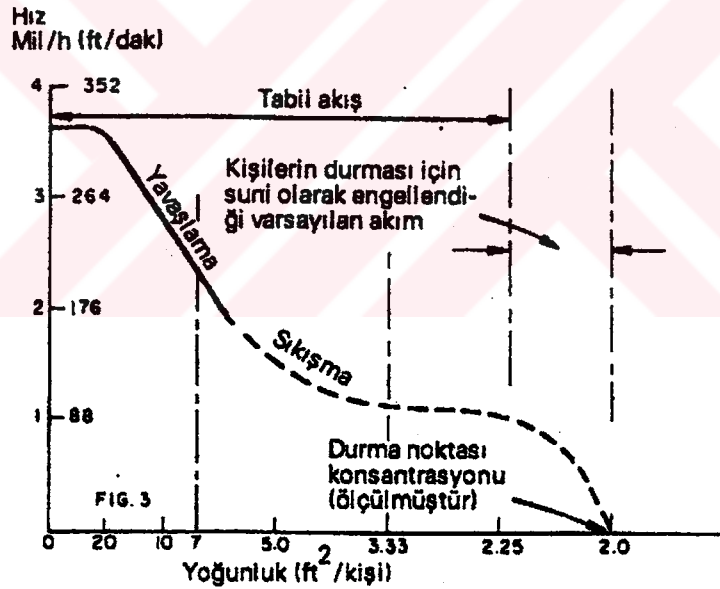
Şekil 3. 4. İnsanın Andropometrik Boyutları [18, s.23]

Mekan boyutlarının kullanıcı sayısına dayanılarak hesaplanması kaçış yollarını kullanan insanların hızlarını da doğrudan etkileyecektir. Hızı azalan kullanıcının binayı terk etme süresi uzayacaktır oysa yangın anında insan sağlığı açısından en kısa sürede bina dışına ulaşmak gerekmektedir.

3.3.1.2 Kaçış Yolu Boyutlamada Hız Parametresi

Bina kullanıcılarının acil bir durumda belli bir genişlikteki çıkıştan geçiş hızlarını belirleyen bazı etkenler vardır.

Yapılan deneysel çalışmaların gösterdiklerine göre; kullanım alanlarında kişi başına 2.25 m^2 alan düşmesi durumunda, koridorlarda hareket hızı 75 m/dk. kadar olmaktadır. Aşağıdaki şekilde kişi başına düşen serbest alana bağlı olarak hızın azalması grafik olarak gösterilmiştir. Kaçış yollarındaki hız 45 m/dk. 'nin altına düştüğünde karışıklık ve panik oluşmaktadır. Kaçış yollarındaki kişi başına düşen alan miktarı 0.18 m^2 'ye indiğinde hareket tamamen durmuştur.



Şekil 3. 5. Kaçış koridorlarında hız seviyesi [17, s.368]

Bu tip araştırmalara bağlı olarak bir takım ampirik formüller geliştirilerek tasarıma esas olan akış hızı kavramı belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda en hızlı hareket kişi başına düşen alan $1.2-1.5 \text{ m}^2$ civarında iken elde edilmektedir. Ayrıca kısa koridorlarda genişlik sabit tutulsa dahi hız %50 civarında artmaktadır. Yol üzerindeki küçük engeller ortalama akış hızını fazla etkilememektedir. 1.8 m. genişliğindeki bir koridorda yapılan deneylerde, 30 cm' lik bir engelin hareketi

hiç yavaşlatmadığı belirlenmiştir. 60 cm' lik bir engel ise akış hızını yaklaşık %10 azaltmıştır [19, s. 261]. Kullanıcı yaşları; 65 yaşa kadar hız üzerinde çok önemli bir etki yapmamıştır [17, s.368].

Ancak kaçış yolları üzerinde bulunan engeller kaçış hızını engellemese bile kaçış anında düşmelere neden olabileceğinden o noktada yığılmalar ve yaralanmalar olabilir. Kaçış koridorlarında bu tip kot farklılaşmalarına hiçbir zaman izin verilmemelidir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen en genel akış formülü genelde taşıt trafiği için kullanılan bir hesaplama formülü olsa dahi bu tip kaçış koridoru hesaplarında yayalar için de kullanılabilir. Formül üç öğeden oluşmaktadır. Bunlar sırası ile yoğunluk, hız ve koridor genişliğidir. Yoğunluk birim alana düşen kişi sayısı olarak alınır. Örneğin 2 kişi/m² kaçış yolu kullanımında 1 m² alana 2 kişi düşüyor anlamındadır ancak hesaplamalarda bu parametre ters çevrilerek kullanılır. Yoğunluk ters çevrildiğinde 0.5 m²/kişi olarak gösterildiğinde de aynı anlamı taşımaktadır. Hız hareket halindeki bir insanın birim zamanda m cinsinden kat ettiği mesafe olarak alınır. Bu değişkenler ile oluşan bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$F=S \times D_p \times W_c \quad (3.1)$$

F=Akış hızı kişi/saniye

S=Hız m/saniye

D_p= Yoğunluk m²/kişi

W= Koridor genişliği m.

Yatay kaçış yollarından geçerek düşey kaçış yollarına ulaşan kullanıcı hızı merdivenlerde biraz daha düşer ve akış hızını gösteren yukarıdaki bağıntı değişir.

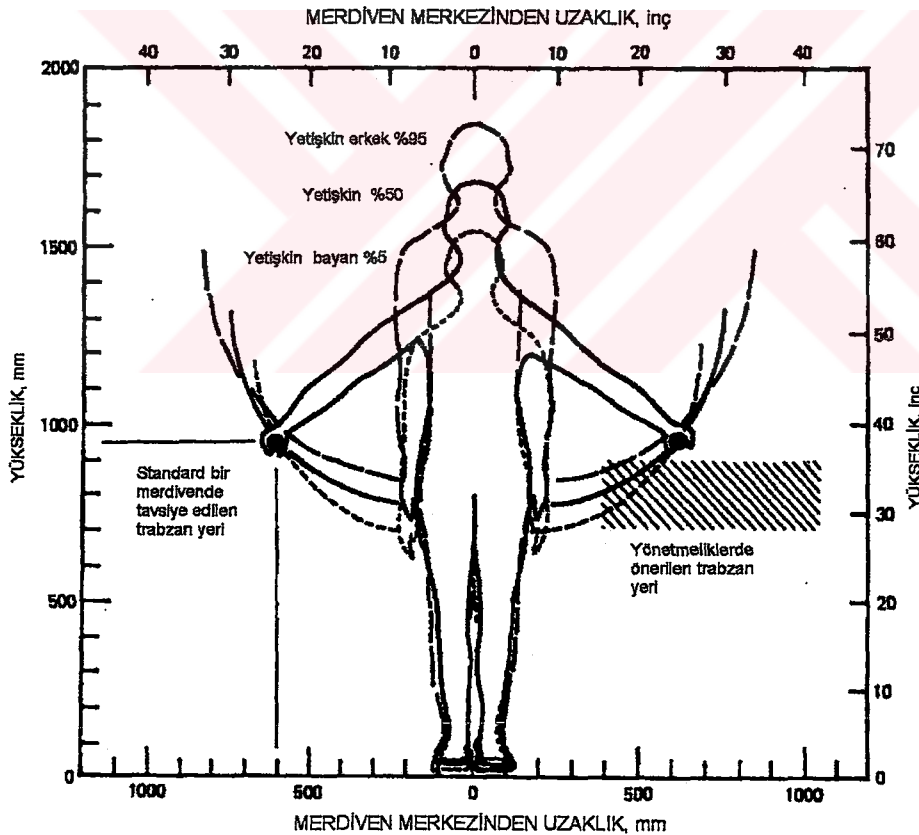
$$F_{mer}=1.26 D_p - 0.33 D_p \quad (3.2)$$

Yukarıdaki bağıntıların çıkarıldığı deneysel çalışmalar ve gerçek yangınlarda yapılan gözlemler sonucunda yatay kaçış yollarında 0.5 m²/kişi optimum sonucu vermiştir. Herhangi bir merdivende inişte ise kişi başına düşen alan aynı olmak koşulu ile optimum değerler; hız 0.5 m/s, akış hızı ise 1.18 kişi/m.s (birim genişlikten birim zamanda geçen kişi) olarak kabul edilmiştir. İdeal merdiven

genişliği 112 cm olarak ölçülmüş bu değerin 81.2 cm'lik bölümünün efektif olarak kullanıldığı kanıtlanmıştır. Basamak genişlikleri ise 30 cm olarak alınmıştır. Saniyede bir kişinin geçebileceği herhangi bir geçiş kapısı genişliği ise 91 cm. olarak ölçülmüştür.

Kaçış yolları ve merdivenlerdeki kazaların en önemli nedeni hatalı tasarım ile tetiklenmiş insan hatalarıdır. Örneğin kullanıcının aydınlatma, yüzey şekilleri veya kişisel engellerden dolayı basamak bitişini fark edemeyerek yanlış yere basması düşme sebeplerinin başında gelir. Bu durumu engellemek için üç parametreye dikkat etmek gerekir.

- Basamaklar görülebilir olmalıdır.
- Basamak genişliği ayak genişliğine uymalıdır.
- Trabzanlar kavranabilir ve ulaşılabilir olmalıdır.



şekil 3. 6. Merdiven genişliği ve trabzan yükseklik oranları [19, s. 262]

Standartlara göre riht yüksekliği maksimum 17.8 cm. genişliği ise 27.9 cm. olmalıdır. Trabzan yüksekliği minimum 86.4 cm. maksimum 97 cm. olmalıdır. İdeal trabzan yüksekliği 91 cm. olarak ölçülmüştür. Trabzanlarda kavrama

kalınlığı minimum 32 mm. maksimum 44mm. olmalıdır. İdeal kavrama kalınlığı 38 mm. ve dairesel olarak ölçülmüştür. Merdiven basamaklarının algılanabilir olması çok önemlidir. Kaplama desenleri kavrama kargaşası yaratmayacak şekilde seçilmelidir. Yürüme yolu ile ilk ve son basamak iyi ayrılmalı ve kullanıcıya kendini belli etmelidir. Basamak malzemesi ile yürüme yolu kaplama malzemesi aynı olmalıdır. Yüzey olarak çok farklı malzemeler kullanmak insan davranışını olumsuz yönde etkiler. Koridorlardaki aydınlatma sistemleri ayrı bir kaynaktan beslenen acil durum aydınlatması şeklinde ve yanıtıcı gölgeler yaratmayacak şekilde projelendirilmelidir [19, s. 275].

Yukarıdaki bağıntıların hepsi belli oranların hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ancak zaman faktörü böyle bir olayda çok önem kazanmaktadır. Toplam boşaltma zamanı olarak adlandırılan bu süre bina kullanıcılarının hepsinin bina dışına veya yangına dayanıklı güvenli bir alana ulaşmaları için gereken zamandır. Bu sürenin hesaplanması işe karışan parametreler nedeni ile biraz daha karmaşıktır. Her hangi bir yangın anında kullanıcıların tepkileri çok farklılaşmaktadır, örneğin yangın uyarısını alan kişinin ilk tepkisi genelde binayı terk etmek yerine bilgilenecek, yangını söndürmeye çalışmak, başkalarına haber vermek veya yardım etmek olmaktadır. Tüm bu tepkilerin zamanının hesaplanması oldukça zorlaşmaktadır. Bu tepkimeler dikkate alınmadan doğrudan kaçış yolu uzunluğu ve hız değişkenleri ile yapılacak hesaplamalar en kısa kaçış süresini verecek ve çok gerçekçi olmayacaktır. İnsanların bu tip tepki sürelerinin de dikkate alındığı bazı araştırma sonuçları konu ile ilgili yapılmış çalışmalar bölümünde kısaca açıklanacaktır. Ancak tüm bu bağıntılar ile elde edilen sonuçların sistematik bir matematiksel temele oturtulması olaya insan davranışı da girdiği için oldukça zordur. Boşaltma süreleri geniş ve dumandan arındırılmış bölgeleri olan binalarda 2.5 dakikadan 11 dakikaya kadar çıkabilmektedir.

Bir fikir vermesi açısından yukarıdaki bağıntılardan alınacak bazı bilgiler ile en basit kaçış süresi hesaplama formülü olarak J.L.Pauls tarafından geliştirilen aşağıdaki formül kullanılabilir [20, s. 110-200].

$$w = \frac{8040}{t^{1.37}} p \quad (3.3)$$

w = efektif merdiven genişliği (mm)

p = toplam kullanıcı sayısı

t = kaçış süresi(saniye)

3.3 numaralı formüle göre 52 kullanıcıli bir yapıda 150 sn.'lik bir kaçış süresi için efektif merdiven genişliği,

$$w = \frac{8040}{150^{1.37}} 52 = 436.5 \text{ mm/kışı/sn.}$$

olarak hesaplanabilir.

3.3.2 Kaçış Yollarında Malzeme Kontrolü

Tüm Dünya'da olduğu gibi, yangın önlemlerinin başında malzemeyi kontrol etmenin gerekliliği düşüncesi, Türkiye'de de malzeme konusuna gereken önemin verilmesine neden olmuştur. Türkiye'de uygulanan mevzuatlarda, yangından korunmada önemli ölçüde etkili olan malzeme kontrolü ilkelerine, çeşitli kısıtlayıcı yaptırımlara pek çok yerde rastlamak mümkündür. Konu ile ilgili hemen hemen her tüzük ve yönetmelikte, önemli yapılarda ve bu yapıların kaçış yollarında yanıcı malzeme kullanımı yasaklanmıştır. 26 Temmuz 2002 tarihli resmi gazetede yayınlanan 'Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte' bu tip mekanlarda yanıcı malzeme kullanımı yasağı ile birlikte kaçış yollarında 3 veya daha az katlı binalarda en az 60 dakika yangına dayanım, 15.50 m' den daha yüksek yapılarda ise 120 dakikalık yangın dayanımı istenmektedir. Döşeme malzemelerinde ise kaymazlık şart koşulmuştur.

Bu tür yanmazlık ve kaymazlık zorunlulukları dışında; 'Topluma Açık Yapılarda' kullanılacak yapı malzemelerinin tanımlandığı birçok yaptırımda; döşeme, tavan ve duvar kaplamalarında yanıcı veya sıcakta yanıcı boğucu gaz çıkaran malzemelerin kullanılması, toplumun kullandığı mekanlarda perde ve benzeri aksesuarların kolay alevlenici veya sıcaklıkla boğucu gaz çıkarmayıcı cinsten malzemelerden yapılması yasaklanmıştır. Koltuk, sandalye ve benzeri oturma araçlarında kullanılan malzemenin zor alev alıcı nitelikte olması istenmiştir.

Yüksek binaların katlarındaki koridor, dinlenme yeri ve bunlar gibi ortak alanlar ile merdivenleri, yandığında yoğun duman oluşturan ve yangını bir bölümden

diğer bölümlere taşıyacak şekilde tamamen halı kaplanmayacak gerekirse şerit yolluk kullanılacaktır. Yangın merdivenlerinde giriş kapılarının yakın çevresi yangın yükü bulundurulmayacak şekilde düzenlenecektir.

Ayrıca yüksek yapıların ortak mekanlarında, bar, lokanta, diskotek gibi alanlarda yapılacak dekorasyonlarda yoğun duman ve zehirli gaz çıkaran malzeme yerine, alçı benzeri duman çıkarmayan malzemelerin kullanılması gerekmektedir.

3.4 Kaçış Yollarının Performans Değerlendirmesi

Yukarıdaki bölümlerde açıklanan çeşitli parametrelere bağlı boyutlandırma ve projelendirme kriterleri birçok deneysel çalışma ve yaşanan yangınlardan elde edilen deneyimler ile geliştirilmiştir. Örneğin 1881 yılında Viyana'da bir tiyatro yangınında kaçış yolları eksikliğinden 450 kişi ölmüş ve bu olaydan sonra kaçış olayının önemi anlaşılmıştır. 1931'de Coventry'de ki bir yangında kaçış koridoru dekorasyonu yüzünden birçok insan zehirlenerek ölünce, tüm kaçış yolları yanmaz ve zehirli gaz çıkarmayan malzemelerden yapılmalıdır kuralı önem kazanmıştır [21, s. 300]. Ancak yangın kaçış koridorları tüm kurallara uygun yapılsa dahi, birçok olayda bu koridorun sonundaki kapı kilitli olduğundan işe yaramamıştır. Dublin (Stardust) Disko yangını, Summerland yangını gibi yangınlarda karşılaşılan bu tip bir problemten sonra tek yönden açılabilen özel yangın kaçış kapıları kavramı geliştirilmiştir.

Genelde bir kaçış koridorunun performansı yangın anında sıcak gaz ve duman hareketini pasif yöntemler ile engellemesi ve kullanıcıları güvenli alan veya bina dışına ulaştırma süreleri ile ölçülür. Bu kriterler için başvurulacak en önemli kaynaklar ise konu ile ilgili mevzuattır.

Herhangi bir projedeki kaçış yolları veya bu amaca hizmet eden koridorların malzeme, boyutlandırma ve geometrik biçim açısından mevcut mevzuata uygunluğunun kontrolü belirlenen kriterler açısından ve günümüz deneyimlerine dayanılarak çok zor değildir. Bu tip bir karşılaştırma ile performans değerlendirmesi yapmak basit ve gereklidir.

Ancak dinamik bir olgu olan yangına karşı tam güvenliği sağlayabilmek açısından genel olguları kullanarak uygulanan bu tımdengelim metotları yeterli olmamaktadır. Uygulama projelerinde kaçış yollarına ait bilgiler eksik

verildiğinde yapılan performans değerlendirmesi de eksik ve yanlış olacaktır. Üstelik 26 Temmuz 2002 tarihinde resmen yürürlüğe girmiş olan 'Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik' bu alanda çok yeni olduğundan daha uygulama açısından yeterli olgunluğa ulaşamamıştır. Yönetmelikte belirlenen yaptırımları uygulamak veya bir projenin bu yaptırımlara uygunluğunu doğru olarak yorumlamak yukarıda bahsedildiği kadar kolay değildir, çünkü yangın dinamiğini tam olarak anlamadan, tek tek eleman bazında kontrol yapmak tam bir güvenlik sağlayamaz. Kendi başına yangına dayanıklı farklı birçok elemandan meydana gelen bir bütün, bütünü oluşturan elemanlardan çok daha az yangın dayanımına sahip olabilir.

Dünya genelinde, yangın istatistiklerine bakıldığında, bina strüktüründeki bozulma ve çökmelerden oluşan ölümlerin az olduğu görülür. Bununla birlikte, bina kullanıcıları boşaltıldıktan sonra, soğutma çalışmaları sırasında çökme nedeni ile yaralanan veya hayatını kaybeden kişiler olduğu bilinmektedir. Bu nedenden dolayı strüktür kaçış süresinden çok daha uzun bir süre bütünlüğünü korumalıdır.

Yangın anındaki ölümlerin çoğu boğulma, yani duman ve gazlarla çevrili halde iken nefes alamama nedeni ile olmuştur. Bir diğer şekil ise kapalı kalarak sıcaklığın etkisi ile oluşan ölümdür. Bazı yangınlarda kaçış yollarını dolduran duman yüzünden insanlar buralara gidememiş ve sıcaklığın etkisi ile ölmüşlerdir. Konu ile ilgili yapılan araştırma sonuçlarına göre koridor boyut ve malzemeleri yeterli olduğu halde bu tip alanlara sızan duman yüzünden, görüş mesafesi azalan birçok kullanıcının koridora çıkmak yerine geri dönmeyi tercih ettiği görülmüştür.

Yukarıda sayılanların dışında bazı özel fonksiyona sahip binalarda kullanıcı sayısına dayalı genişlik hesaplama yöntemi başarılı sonuçlar vermemiştir. Örneğin aynı konser salonunda kullanıcılar farklı tepkiler gösterebilmektedir. Rock konseri ile bale gösterisine giden kullanıcıların yangın anındaki davranışları çok farklıdır. Kaçış yollarındaki ölüm ve yaralanmaların bir nedeninin de ezilme ve çarpışma olduğu varsayıldığında kalabalık kullanıcı kitlesinin taşkınlığı da önemli bir parametre olarak devreye girer. Özellikle spor salonları ve stadyumlarda görülen ölüm ve yaralanma sayısının çokluğu bu nedendendir. Bu tip özel durumlarda

performans değerlendirmesi yapacak kişi veya kurumun konu ile ilgili bilgisinin ve öngörüsünün yeterli düzeyde olması gerekmektedir [22, s. 24].

Yukarıda sıralanan parametrelerden veya başka nedenlerden biri veya birçoğunun birleşmesi ile oluşmuş hayati tehlike ortamını tam olarak tahmin etmek giriş bölümünde de değinildiği gibi oldukça zordur. Bu olayın tahmininden önce, hayati tehlike ortamını tarif eden nicel kriterleri tespit etmek gerekmektedir. Bu kriterler kapalı hacim yangın modellerinin doğru tahminler yapmasını sağlayacak fiziksel parametreler şeklinde olmalıdır. Daha önceki tartışmalarla tutarlı olarak bu parametrelere duman tabakasının kalınlığı (veya ara yüzeyine olan düşey pozisyonu) ve sıcaklığını dahil edebiliriz. Üst tabaka dumanındaki potansiyel tehlikeli malzeme yoğunluğu da temel öneme sahip olacaktır. Kullanıcı davranışı modellemesi fiziksel parametreler tarif edildikten sonra senaryoya dahil edilebilir.

Özellikle gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde basit kontrollerin dışında yangın ortamını etkileyen birçok parametreyi aynı anda devreye sokarak yangın ortamına yakın bir model yaratarak mevcut mevzuata uygun olarak projelendirilmiş herhangi bir kaçış yolunun performans değerlendirmesi yapılabilir. Bu amaç doğrultusunda yapılmış birçok deneysel araştırmanın yanı sıra uzmanlar tarafından hazırlanmış bilgisayar programları da mevcuttur.

Programların genelinin temeli ikinci bölümde bahsedilen duman ve sıcak gaz hareketine dayanır. Bu hareket sonucunda oluşan çift tabaka kuramında ara duman tabakası kafa hizasından yüksekte iken üstteki tabakadan yansıyan ışınlımla sıcaklığı artan ortam şartları insan sağlığı için uygun olmamaya başlar. Bu tabaka kafa hizasına (face-elevation) indiğinde dayanılmazlık başlar. Ara tabaka daha aşağılara indiğinde sıcaklığı azalsa dahi üst tabaka havasını solumak zorunda kalan kullanıcı da sıcak gazlar nedeni ile yanıklar oluşmaya başlar. Ara yüzey tabakası bel hizasının altına indiğinde üst tabaka içinde bulunan yanma ürünleri de artık solunan havaya karıştığından ortam herhangi bir canlı için kesinlikle dayanılmaz olmuştur. Bazı bilgisayar programları mekan yüksekliğine bağlı olarak alt tabaka ve döşeme arasındaki mesafeyi zamana bağlı olarak hesaplayarak kaçış süresi tahminini sağlarlar.

3.5 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ülkemizde yukarıda anlatıldığı gibi detaylı bir kaçış yolu performans değerlendirmesi günümüze kadar yapılmamıştır. Ancak TSE ve bazı üniversitelerde eleman bazında yanma deneyleri ve farklı malzemelerin performans deneyleri yapılmaktadır. Daha önce de değinildiği gibi yangın dinamiğini tam olarak belirlemek için bire bir ölçekte deneyden başka tek yöntem bazı bilgisayar programları ile gerçeğe en yakın sanal ortamı oluşturmak ve çeşitli matematiksel modellemeler ile gerekli hesaplamaları yapmaktır. Türkiye’de bilgisayar yardımı ile modelleme konusunun tarihi son 4-5 yıla dayanır. Konu yangın modellemesi olduğunda bu süre çok daha kısa olmaktadır. Bina ölçeğinde bire bir deney yapabilecek bir laboratuvar ise maalesef henüz mevcut değildir. Kazanılan deneyimlerin hemen hemen tek kaynağı gerçek yangınlardan elde edilen bulgulardır. ‘Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’e’ 2002 yılının ikinci yarısında kavuşan Türkiye’de bu konudaki çalışmaların bu tarihten sonra hız kazanması gerekliliği ortadadır.

Yurt dışında ise birçok ülkede gerek bilgisayar destekli simülasyon gerek deneysel çalışmalar olmak üzere iki farklı yöntem ile yangın performans değerlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Genel yaklaşım malzeme ve eleman bazında yapılacak çalışmaların deneysel; bina ölçeğinde yapılan çalışmaların ise bilgisayar destekli modelleme şeklinde yapılması yolundadır.

Bilgisayar yardımı ile yapılmış birçok çalışma mevcuttur bu çalışmaları ayrı ayrı sıralamak yerine dünyada konu ile ilgili yapılmış programları ve amaçlarını sıralamak daha doğru olacaktır.

3.5.1 Modellemeye Giriş

Yangın dinamiğinin sayısal olarak incelenebileceği fikri bilgisayar çağının başlarına kadar gider. Akışkanlar dinamiğinin temellerini oluşturan birçok bağıntı, ısı geçişi ve yanma formüllerinin yazılış tarihlerinin yüzyıl öncesine dayanmasına rağmen yangının pratik matematiksel modellemeleri üzerinde çalışmalar problemin doğasında varolan karmaşıklık nedeni ile çok yakın bir geçmişte başlamıştır. Bu kısa tarihinin başında yangın araştırmaları için; Hoyt Hottel “En karmaşık olaylardan yangını anlayabilmek için gerçeğine yakın bir model yapılabilir” diyerek araştırmaları desteklemiştir [23 ,s. 1-10].

Yangının matematiksel olarak modellenmesinde karşılaşılan zorluklar üç ana konu etrafında dönmektedir: Bunlardan ilki tesadüfen oluşabilmesinden dolayı çok büyük sayıda yangın başlangıç senaryosu alternatifi olmasıdır. İkincisi; yangın senaryosunda gerekli olan tüm hesaplamaları yapabilmek için birçok farklı bilim dalında, uzmanlık derecesinde bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Yangınla ilgili her temel araştırmada aerodinamik temelleri, çok fazlı akışlar, türbülanslı yanma, ısınım (radiative transport), akışkanlar dinamiği gibi farklı bilim dallarından oluşan geniş bir yelpazeden faydalanılmalı ve ısı geçişi çok iyi bilinmelidir. Oysa bu geniş yelpazeyi oluşturan alanların her biri halen araştırma konusudurlar. Son olarak yakıtı oluşturan malzemeler birçok yangında beklendiği gibi davranmaz. Herhangi bir yanabilir malzemenin yanma anındaki davranışının tam olarak tahmini; ancak tüm parametreleri göz önüne alan bire bir ölçekte yapılan birçok deneyden sonra mümkün olmaktadır. Günümüzde gerçek malzemelerde yanma etkisi ile oluşan fiziksel ve kimyasal değişimler ile ilgili matematiksel modeller halen gelişme aşamasındadır.

Günümüze kadar yangın modellemeleri konusunda üç farklı yaklaşım ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlardan her biri yangını zaman faktörüne bağlı olarak kendi kendine gelişen bir süreç olarak ele almıştır. Gerçeğe en yakın sonuçlara ilk ulaşan “ bölge (zone)” modelleri, sınırlandırılmış kapalı bir hacimde gerçekleşen (compartment) yangınları tarif eden modellerdir. Bu tip modellerde her kapalı hacim (compartment) düşeyde birisi sıcak üst tabakayı diğeri soğuk alt tabakayı oluşturan aynı hacimde iki parçaya bölünür. Her tabakadaki kütle ve enerji dengelemeleri; çeşitli diferansiyel ve cebir denklemleri kullanılarak diğer fiziksel işlemleri tarif eden alt modellemeler ile çözülür. Bu fiziksel işlemlere örnek olarak; alev ve alev yapısı, kapı, pencere ve diğer duvar boşlukları nedeni ile oluşan iç hava akımları, ısınım veya taşınım ile oluşan ısı transferi, katı malzemelerin kimyasal ayrışması (yanma) verilebilir. Bölge modellemesini destekleyen en iyi fiziksel ve matematiksel tahminler Quintiere tarafından 1983 yılında ortaya atılmıştır [24, s.11-54]. O günden günümüze kadar gelişen modelleme teknikleri yaygın yazılım programları ve kullanma kılavuzları ile dünya çapında yayılmış ve çeşitlenmiştir [25, s.57].

Bölge modellemelerinin (Zone models) diğerlerine nazaran fiziksel ve sayısal anlamda daha basit olması, kullanımını yaygınlaştırmış ve birçok yangın

senaryosunda bu model kullanılmıştır. Bu modellemede karmaşık fiziksel özelliklere gerek duyulmadan kabul edilen çift tabaka kavramı gerçeğe oldukça yakın olduğundan elde edilen sonuçlarda hayli gerçekçidir. Ancak parametrelerin çoğu göz ardı edilerek hesaplamalar basitleştirildiğinden dolayı modellemeyi geliştirme imkanı yoktur. Bu nedenden dolayı metod sistematik ilerleme kaydedememiştir[25, s.6-9].

Çağımızda bilgisayar teknolojisine paralel olarak hızla gelişen hesaplama gücü ve akışkanlar dinamiği bilimi (Computational Fluid Dynamics-CFD) yangın araştırmalarında ve modellemelerde CFD bazlı alan (Fields) modellerinin kullanılmasının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Gerçekte bu tip modelleme tekniğinin temeli Reynolds tarafından bulunan kuramsal çerçeve ve Launder - Spalding öncülüğünde geliştirilen k-ε türbülans modeline dayanır [26, s.15-68].

CFD bazlı modellerin kullanılması yangınların çok daha karmaşık geometrilerde (mekanlarda) tanımlanabilmesini ve birçok fiziksel fenomenin birleştirilerek modellenebilmesini sağlamıştır. Ancak yangının doğasında bulunan ani ve anlık parlamaların yarattığı uç noktalar, genel ortalamalar alındığından bu tip modellemelerde görülmemektedir.

Yangına geniş türbülans modellemesi (Large Eddy Simulation LES) tekniğinin uygulanmasındaki amaç hızlı ve yüksek performanslı bilgisayarlar yardımı ile yangın düzlemini ufak hücrelere bölerek bir ızgara sistemi yaratmak ve bu yoğun ve ince ızgara sistemi üzerinde kaliteli ve gerçeğe yakın değerler çıkarmaktır. LES kavramı gaz halindeki yakıtın ve yanma ürünlerinin ortam havası ile türbülanslı karışımını ifade eden bir tekniktir. Birçok yangında yanma oranını belirleyen, duman ve sıcak gaz yayılmasını kontrol eden bu işlemi doğru olarak tahmin etmek oldukça güçtür. Sadece yangın araştırmalarında değil türbülanslı akışkan hareketi ile ilgili tüm fenomenlerde yukarıda bahsedilen tahmini yapmak güçtür. LES tekniğinin temel kabulü bütün karışımlarda varsayılan türbülansın akışkanlar dinamiği denklemleri ile doğru hesaplanabilmesine yetecek kadar büyük olmasıdır.

Hazırlanan yangın senaryosunda gerçekçi sonuçlar alınabilmesi için yangının neden olduğu akımlardaki kütle taşınımı, ivme ve enerji denklemleri basitleştirilmelidir [27, s. 207-208]. Akışkanlar dinamiğindeki genel denklemler,

yangın olayı ile ilgisi olmayan birçok fiziksel işlemi tanımlarlar. Bu genel formülleri kullanmak yangın dinamiğine katkısı olmayan birçok karmaşık hesaplamaların yapılmasını gerektirir. Tüm bu karmaşıklığı önlemek için Rehm ve Baum tarafından geliştirilmiş basitleştirilmiş yanma formülleri birçok yanma ve yangın araştırma kurumu tarafından kabul edilmiştir ve düşük mach sayıları “low mach number” olarak adlandırılmışlardır [27, s. 297-308]. Bu formüllerde kimyasal ısı salımı ve kaldırma kuvvetleri (buoyancy) ile ağır ortam havası üzerinde yüzerek hareket eden düşük hızlı gaz hareketi çözülebilmektedir.

Mach sayısı formülleri, yangın simülasyonunun yapılacağı mekanın çok sayıda kübik hücreye bölünmesi ile sayısal olarak çözülebilir. Her hücrede gaz hızının, sıcaklığının vs. tam benzer olduğu (uniform) ve sadece zaman ile değişeceği varsayılır. Modellemenin gerçeğe yakınlığı, mekanındaki hücre sayısı ile doğru orantılıdır. Hücre sayısı ise hesaplama gücü ile sınırlıdır. Günümüzde kullanılan bilgisayarlar yardımı ile bir iki milyon hücreden oluşan hesaplar yapılabilmektedir. Bu da en küçük ve en büyük türbülans uzunluk ölçek oranlarının 100-200 arasında değişmesi demektir. Ancak gerçek yangınlarda bu oran $10^4 - 10^5$ derecelerinde olabilmektedir. Çünkü yanma 1mm veya daha az bir türbülanslı alev ile başlayıp günümüz bina boyutları göz önüne alındığında onlarca metre büyüyelebilmektedir. Tüm yangın modellemelerini zorlaştıran temel neden budur, hesaplanması gerekli çok değişken vardır ancak henüz hesaplama gücümüz kısıtlıdır. Bu problemin çözümü; modellemeye başlamadan nelerin hesaplanıp nelerin göz ardı edileceğine karar verilerek hesaplama yapılmasına bağlıdır.

3.5.2 Yangın Modelleme Programları

Dünya çapında yaygın olarak kullanılan yangın programlarının büyük bir bölümünü Amerika Ticaret Bakanlığı'na (U.S. Department of Commerce) bağlı Ulusal Standard ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology-NIST) tarafından geliştirilmiş programlardır. Bilimin birçok dalında yapılan atılımlar sayesinde bu tip programlarda sürekli gelişmektedirler.

3.5.2.1 NIST Fire Dynamics Simulator FDS

Amerikan Ulusal Standard ve Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen en son program olan FDS Kasım 2002 tarihinde resmi olarak yangın dinamiği

modellemelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Yangın ortamında oluşan duman ve/veya sıcak hava hareketinin önceden tahmin edilebilmesini sağlar. Ortamdaki hava hareketine yangın, havalandırma sistemleri, rüzgar vs gibi etkiyen diğer parametreleri de hesaplayabildiğinden gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca mimarın kontrolünde olan tüm parametrelerin girdi dosyası ile programa tarif edilebilmesi bu parametrelerin değiştirilmesi ile değişen yangın ortamı tahmininde gerçekçi sonuçlar vermektedir [28].

Plan tipi, malzeme, açıklıklar, gibi parametrelerin işlenebilmesi; program hesaplama sonuçlarının Smokeview adlı program ile üç boyutlu modeller şeklinde görülebilmesi açısından bu çalışmada da bu program kullanılacaktır. Modelleme bölümünde programa ait detaylı bilgi verilecektir [29].

Program DOS ortamında çalışmaktadır ve fortran programlama dili ile yazılmıştır. CFD bazlı hesaplamalar üzerine kurulmuştur temelinde akışkanlar dinamiği prensipleri vardır. Girdi parametrelerinin çokluğu ve hesaplama yelpazesinin genişliği nedeni ile programın çalıştırılabilmesi için hızlı bir işlemci ve fazla hafıza gerekmektedir. En az işlemci hızı 1GHz Pentium IV ve en az RAM ihtiyacı 512 MB'dır. Program çıktı dosyaları boyutu 1GB civarında olabilmektedir. Program bu ihtiyaçları karşılayabilen bir bilgisayarda çalıştırılmalıdır.

3.5.2.2 Jasmine (Analysis of Smoke Movement In Enclosures)

Jasmine diye adlandırılan bu programın yapısı da yukarıda açıklanan FDS programına benzer. Bu program da CFD bazlıdır ve İngiltere'de geliştirilmektedir. Program çıktılarını üç boyutlu modelleyerek görsel hale sokan Josefine adında bir ara yüz programı vardır. Ücret karşılığı satılan sürümleri görsel açıdan zenginleştirilmiş olduğundan daha güçlü bilgisayarlar istemektedir. Bu nedenden ötürü Workstation bilgisayarlarda çalışabilmektedir. Bu tip bilgisayarlarda hastane, stadiyum gibi geniş mekanlı binaların modellemeleri de yapılabilir [30].

3.5.2.3 Aloft-FTTM (A Large Outdoor Fire plume Trajectory model-Flat Terrain)

Rüzgar etkisi ile büyük orman yangınlarındaki yayılma ve duman dağılımını hesaplayan bir program olan Aloft-FT'de kullanıcı yakıt ve duman yayma

özelliklerini değiştirerek hesaplamalar yapabilir. FT (Flat Terrain) sürümü sadece düz araziler için gerçekçi sonuçlar verebilmektedir. Program W.D.Walton ve K.B.Mcgrattan tarafından yazılmıştır [31].

3.5.2.4 Ascosp (Analysis of Smoke Control Systems)

Bu program duman kontrol sistemlerinin sabit hava akışlarının analizini yapar. Sıcaklık ve basınç farklılaşması nedeni ile oluşan hava akımlarını hesaplayarak binada oluşan akım dağılımını çıktı olarak verir. Girdileri ise dış dizayn sıcaklığı ve iç sıcaklık ile mevcut havalandırma veya basınçlandırma sistemi bilgileridir. Program Fortran dilinde J.H. Klote tarafından yazılmıştır [31].

3.5.2.5 Contam

Ascosp programı ile aynı prensiplere sahip bir programdır. Ascosp'un verimli olamadığı durumlarda kullanılabilir. Mr. George N. Walton tarafından yazılmıştır.

3.5.2.6 Aset-B (Available Safe Egress Time-BASIC)

Tamamen kapalı bir mekandaki sıcak duman tabakasının sıcaklığını ve yüksekliğini veren bir programdır. Aset programı ile aynı işlemi yapar ancak Aset-B Basic programlama dili ile yazılmıştır. Girdi olarak ısı kayıp oranları, alev yüksekliği, oda yüksekliği, oda alanı ve maksimum modelleme süresi kullanılır. W.D.Walton tarafından yazılmıştır [26, s.51-63].

3.5.2.7 Asmet (Atria Smoke Management Engineering Tools)

Alışveriş merkezleri, spor salonları, sergi alanları ve uçak hangarları gibi çok büyük hacimli mekanlardaki duman tahliye sistemlerinin kontrolüne dayanan bölgesel yangın analizi formüllerinden oluşan bir programdır. Diğer programlardan farklı olarak C++ dilinde yazılmıştır.

3.5.2.8 Break1

Berkeley Algoritmasını kullanan bu program betimlenen yangın ortamında camda oluşan sıcaklık değişimlerini hesaplar. Cam kırıldığında program durur böylece herhangi bir mekanda başlayan yangından sonra camların kırılma süresi hesaplanır. Girdileri camın termo-fiziksel özellikleridir. Fortran dilinde A.A. Joshi ve P.J. Pagni tarafından yazılmıştır [31].

3.5.2.9 CCFM (Consolidated Compartment Fire Model version VENTS)

Kapalı mekan yangınlarında çift tabaka kuramına göre hesaplamalar yapabilen bir programdır. Bazı kısıtlamaları olmasına rağmen çok odalı kompartmanlardaki yangın ortamı tahminlerinde başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak en fazla oda sayısı 9 havalandırma menfezi sayısı ise 20 olarak girilebilmektedir. Program çıktıları CCFNPLT adı verilen bir grafik arabirim programı ile basılı kopya haline getirilebilmektedir. Fortran dilinde G.P. Forney ve L.Y. Cooper tarafından yazılmıştır [31].

3.5.2.10 CFAST

Yangının; ortam sıcaklığına, mekandaki gaz yoğunluğuna etkisini ve sıcak tabaka yüksekliğini hesaplayan basit ama hızlı bir program olan CFAST'ın kullanımı da oldukça kolaydır.

3.5.2.11 Detact-QS (DETECTOR ACTuation-Quasi Steady)

Parametreleri girilmiş bir yangın mekanında bulunan ısı dedektörleri ve sprinklerlerin çalışmaya başladıkları anı hesaplar. Yangın parametreleri dışında programa mekan yüksekliği ve termal cihazların özellikleri de detaylı olarak girilmelidir. Basic programlama dilinde D.D. Evans tarafından yazılmıştır [31].

3.5.2.12 Elvac (Elevator Evacuation)

Merdivenler ve asansörler yardımı ile binanın tamamen boşaltılması için gereken zamanı hesaplayan interaktif bir bilgisayar programıdır. Yangın anında asansörlerin bir kaçış yolu olarak kullanılması önerilmediği halde İtfaiye ve kurtarma ekipleri tarafından kullanılabilir şekilde tasarlanmış asansörlerin çalışma süreleri hesaplanabilir. Elvac Basic dilinde John H. Klote ve Daniel M. Alvord tarafından yazılmıştır.

3.5.2.13 Firedemnd

Post-Flashover evresinde sprinkler ve/veya taşınabilir söndürücülerden püskürtülen suyun damlacık boyutlarına göre söndürme etkisini hesaplayan karmaşık ama başarılı bir programdır [31].

3.5.2.14 FIRST (FIRE Simulation Technique)

Yangın ortamındaki oksijen yoğunluğunu, kimyasal ayrışma hızını, duman tabakası özelliklerini hesaplayabilen ısınma miktarına bağlı olarak yeni tutuşturucu kaynakları oluşturabilen First Programı MASBANK adı taşıyan yaklaşık elli farklı malzemenin yirmiye yakın özelliğinin bulunduğu bir bilgi bankası programı ile zenginleştirilmiştir. First programı da H. Mitler tarafından Fortran dilinde yazılmıştır.

3.5.2.15 FPETool

Bir takım mühendislik hesapları ile potansiyel yangın riskini hesaplayan ve yangın riskini etkileyen mekan ve söndürme sistemlerinin analizini yapan bir programdır. Sürüm 3.2’de mekan içinde sızıntı yolu ile oluşan duman hareketini hesaplayan bazı ek özellikler getirilmiştir. Bu program S. Deal tarafından yazılmıştır.

3.5.2.16 Lavent

Lavent programı eriyebilir bağlantılı tavan menfezleri bulunan bir kapalı mekanda sprinkler tepki süresini hesaplayan bir programdır. Modelleme programı tavan jeti ve üst tabaka sıcak gazlarının etkilerini de hesaplayarak çalıştığından tavanın termofiziksel özelliklerinin de programa girilmesi gerekmektedir. Program Fortran dilinde W.D. Davis ve L.Y. Cooper tarafından yazılmıştır. Lavent çalıştırılmaya başladığında GRAPH olarak adlandırılan grafik tabanlı yardımcı program da çalışır. Graph programı Lavent tarafından belirlenen zaman dilimine göre gönderilen dataları Graph.OUT adlı dosyaya yazarak sonuçların kağıt üzerinde grafik anlatım ile alınabilmesini sağlar. Graph programı da Fortran dilinde W.D. Davis tarafından yazılmıştır [31].

Yukarıda sıralanan programlar ile birçok kurum ve kuruluş modellemeler yapmaktadır. Ancak programların bir çoğu doğru çalışabilmek açısından malzemelerin termofiziksel özelliklerini yanma oranlarını ve buna benzer birçok datayı isterler. Bu tip bilgilerin kaynağı ise deneysel çalışmalardır. Bu nedenden ötürü deneyden bağımsız sadece bilgisayar ortamında modelleme çalışması yapmak gerçekçi olmayacaktır.

Bilgisayar modellemeleri ile eşgüdüm içinde devam eden birçok deneysel çalışma mevcuttur ve sonuçlar sürekli karşılaştırılmaktadır. Modellemeler ile gerçek deney sonuçları karşılaştığı anda bu konudaki en büyük yardımcımız gelişmiş bilgisayarlar olacaktır.

3.5.3 Konu ile İlgili Olarak Yapılmış Deneysel Çalışmalar

Daha öncede bahsedildiği gibi yangın mühendisliğinin temelinde deneysel çalışmalar ve mevcut yangınlardan edinilen deneyimler yatmaktadır. Başka bir deyişle yangın biliminin günümüz seviyesine gelmesi için yapılmış olan ve şu anda devam eden binlerce deneysel çalışma vardır. Ancak bu çalışmaya paralel olarak, mekan ölçeğinde ve özellikle kaçış yolları ve duman ile ilgili bazı deneylere değinmek faydalı olacaktır.

3.5.3.1 Kaçış yollarında duman hareketi

1967 yılında yapılmış ve özellikle dış duvarlarda bulunan pencere, kapı, havalandırma menfezi vs. gibi açıklıkların etkisini araştıran bir çalışmadır. Bu tip açıklıkların duman hareketine etkisinin bu ölçekte irdelendiği ilk çalışmalardan birisidir. H. L. Malhotra tarafından yapılmıştır [32].

3.5.3.2 Kaçış yollarını dumandan arındırılması

Çok katlı binalarda düşey ve yatay kaçış yollarında duman hareketinin kontrolü amacı ile yapılmış bir çalışmadır. 1969 yılında Londra'da A. Cabret ve M. Ferrie tarafından yapılmıştır [33].

3.5.3.3 Kaçış yollarında basınçlandırma etkisi

Gerçek bir depo binasında yapılmış deneysel bir çalışmadır. Koridorlara pozitif basınçlandırma uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Araştırma 1964 yılında H. L. Malhotra ve N. Millbank tarafından yapılmıştır [34].

3.5.3.4 Bina içi duman hareketinin hesaplanması

1968 yılında Tokyo'da yapılmış bir çalışmadır. Bazı deneysel çalışmalardan alınan sonuçlar matematiksel olarak modellenerek çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Araştırma T. Wakamatsu tarafından yapılmıştır [35].

3.5.3.5 Kaçış yollarında duman kontrolü

Bu araştırma daha önceki deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların da kullanılarak çok katlı ve çok odalı bir binada duman hareketini izlemek ve sonuçları bilgisayar ortamında incelemek amacı ile İngiliz Çevre Bakanlığı tarafından yaptırılmıştır. Araştırma yürütücüleri AJM Heseden ve R. Baldwin'dir. Ocak 1976 sonuçlar BRE (Building Research Establishment) tarafından CP13/76 kodu ile yayınlanmıştır [36].

3.5.3.6 Koridor ile bağlantılı odalarda deneysel yangın

Araştırmanın konusu; biri yangın mekanı olan üç oda ile bağlantılı bir koridordan oluşan binada yapılmış 60 ayrı yangın deneyi ve bunların sonuçlarından oluşan geniş kapsamlı bir araştırmadır. Araştırmanın amacı çok odalı yanma modellerinde teorik hesaplamalarda kullanılacak ve can güvenliğine dayalı geçerli veriler oluşturmaktır. Araştırma sonuçları ekim 1986 da CIB W14/85/10 – NBS-GCR-86-502 kodu ile NBS (National Bureau of Standards) tarafından yayınlanmıştır. Araştırmayı Gunnar Heskestad ve John P. Hill tarafından yürütülmüştür [37].

3.5.3.7 Duvar ve köşe alevleri üzerinde bir araştırma

19 Ağustos 1999 yılında yayınlanan bu araştırma Michael Poreh ve Gordon Garrad tarafından yapılmıştır. Amacı karesel bir mekanda oluşan yangında düşey duvar ve köşelerde oluşan alev hareketini incelemektir [38].

3.5.3.8 Havalandırmasız bir yangında CO üretimi

S.Leonard, G.W. Mulholland, R. Puri ve R.J. Santoro tarafından 1994 yılında yapılmış bir araştırmadır. Amacı yeterli oksijen olmayan kapalı mekan yangınlarında oluşacak karbon monoksit miktarını hesaplamaktır [39].

3.5.3.9 Düşey duvarlarda oluşan kaldırma kuvvetleri

Giriş bölümünde bahsedilen LES (Large Eddy Simulation) tekniği kullanılarak düşey duvarlardaki kaldırma kuvveti ile oluşan yayılmanın araştırılması amacı ile yapılmış bir çalışmadır. H. Y. Wang, M. Coutin ve J.M. Most tarafından 20 Aralık 2000 tarihinde bitirilmiş ve 4 Eylül 2001 yılında basılmıştır [40].

3.5.3.10 Yangınlarda topluluk davranışı

Kaçış koridorlarının yangın dayanımı sağlamasının yanı sıra kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik ihtiyacını da karşılaması gerektiğine daha önceki bölümlerde değinilmişti. İngiltere’de 1980 yılında yapılmış olan bu araştırma da yangın deneyimi yaşamış 2000’den fazla kişi üzerinde yapılan anketler ile bu açıklığı gidermek amacını taşımaktadır. P.G. Wood tarafından yapılan bu çalışma 1980 yılında New York’ta kitap haline getirilmiştir [41].

3.5.3.11 Kaçış yollarında oluşan panik

Kaçış yollarındaki kullanıcı davranışları ile ilgili anketlerden oluşmuş bir tezdır. J.D. Sime tarafından 1984 yılında tamamlanmıştır [42].

Kaçış yolları ve kullanıcı davranışı ile ilgili birçok araştırma ve anket D. Canter tarafından derlenerek kitap haline getirilmiştir [43, s. 20-46].

Yukarıda sıralanan çalışmaların yanı sıra Dünya çapında birçok araştırma halen devam etmektedir. Bu tip çalışmalardan alınan bilgilerin ışığında hazırlanan bu çalışmada ise kaçış yollarında oluşabilecek duman hareketini kontrol edebilmek amacı ile kullanılan duman perdelerinin, bölüm ikide detaylı olarak anlatılan duman hareketine etkisi incelenecektir. Bazı ampirik formüller ve gelişmiş simülasyon programları ile duman doluş süresi, hız ve sıcaklık değişiklikleri hesaplanarak, farklı duman perdesi konumlandırılması durumlarında elde edilecek sonuçlar irdelenecektir.

4 KAÇIŞ YOLLARINDA DUMAN PERDELERİNİN DUMAN HAREKETİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde ikinci bölümde anlatılan akışkanlar dinamiği temel prensiplerine göre hareket ederek binaya yayılan dumanın tavanda yaratılan belli bölgelerde toplanması amacı ile yapılan duman perdelerinin farklı konumlandırılmalarının duman hareketine, doluş süresine, yayılma hızına etkileri araştırılacak ve en iyi konumlandırma için gerekenler sıralanacaktır.

Tasarım aşamasında bir mekandaki bazı mimari öğelerin değiştirilmesinin yangın dinamiğine etkisinin incelenmesinde temel amaç; deneyim, araştırma ve deneylerden elde edilen bulgular ile bilinmeyen en aza indirmektedir. Böylece kuramsal anlamda mevcut olan tam güvenlik kavramına yaklaşan tasarımlar yapılabilecek ve sonuç olarak kullanıcı güvenliği sağlanacaktır.

Bu bilgiler ışığında yapılan tasarımların yangın anındaki davranışlarını belirlemek, bir anlamda yangın performanslarını ölçmek için kabul edilen ancak günümüzde yavaş yavaş kaybolmaya başlayan anlayış, bina uygulandıktan sonra yapılacak deneylerdir. Bu tip bir deneysel çalışma sonucunda yapılmış olan binada değişiklik yapmak masraflı ve zor olmaktadır.

Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi bu konuda da insanlığın yardımına koşturmuştur. Yukarıda bahsedilen birçok bilgisayar programı bu amaçla yapılmıştır. Bu çalışmada da söz konusu programlardan bazıları kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar önerilen hesaplama yöntemi ile elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

4.1 Duman perdeleri

Dumanın bina içinde yayılmasını engellemenin en basit yolu dumanın bina dışına atılmasını sağlamaktır. Tek katlı binalarda bu problem çatı havalandırma menfezleri ile kolaylıkla çözülebilir. Ancak çok katlı binalarda dumanı doğrudan

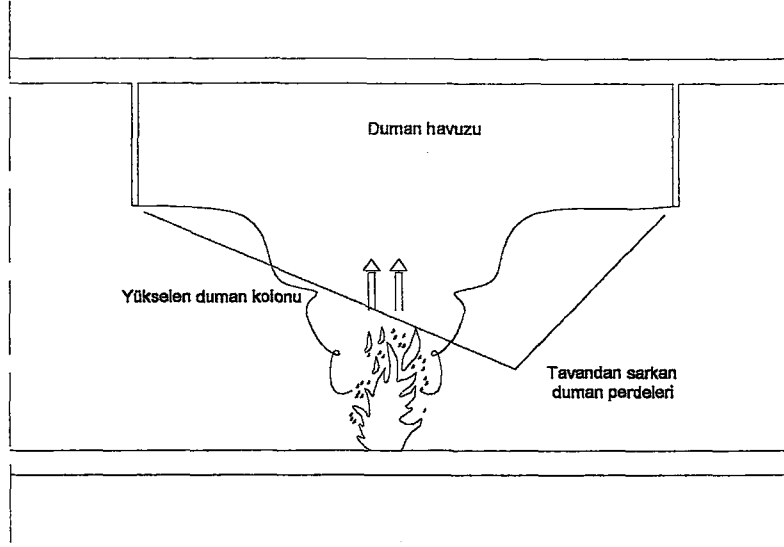
dışarı atmak bu kadar basit değildir, bu gibi durumlarda mekanik havalandırma tesisatları kullanılabilir. Her iki durumda da dumanın menfez bölgelerinde toplanması ve tüm bina içine yayılmasının engellenmesi gerekmektedir. Dumanın yatay düzlemlerin altında bölüm 2’de anlatılan tavan jeti ve kaldırma (buoyancy) kuvvetleri yardımı ile yayılmasını engellemek amacı ile tavandan sarkan duman bariyerleri kullanılır bu bariyerlere duman perdesi denir. Bu tip duman perdeleri tavandan belli yüksekliklere kadar sarkarak belli derinliklerde duman biriktirme hazneleri oluştururlar. Bazı durumlarda bu hazneler yükseltilmiş tavan şeklinde de uygulanabilirler ancak çok katlı binalarda döşeme plağında bu tip hareketler oluşturmak mümkün olmamaktadır. Bu tip yapılarda sarkan perdeler oluşturmak daha pratiktir. Oluşturulan duman haznelerinin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sıcak gaz ve dumanın yayıldığı alanı sınırlandırarak zarar gören alanı azaltırlar.
- Sıcak havayı belli alanda tuttuklarından sadece hazne içindeki yağmurlama sisteminin çalışmasını sağlarlar.
- Hazne hizalarında doğal havalandırma menfezleri var ise, biriken sıcak hava ve duman tabakası kalınlığı çekimi kolaylaştırır.
- Duman perdesi alt hizasında oluşan ara tabaka kullanıcılara kaçış süresi kazandırır.

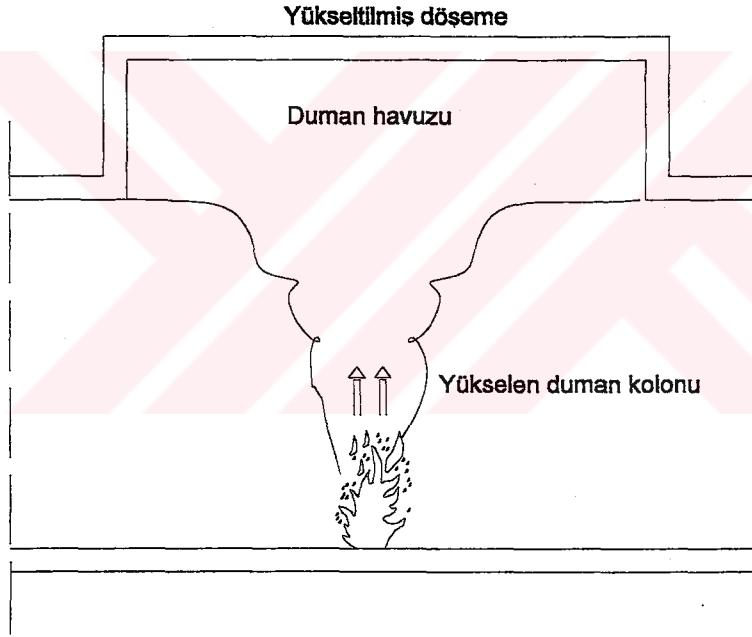
Farklı derinliklerde duman perdeleri kullanılarak dumanın istenen yöne doğru hareket etmesi sağlanabilir. Ancak duman perdelerinin doğru tasarlanmadığı takdirde zararlı olabileceğini de unutmamak gerekir. Bu dezavantajlar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Küçük duman haznelerinde hazne içi sıcaklık çok çabuk artabileceği için ikincil bir tutuşma kaynağı oluşturabilirler.
- Duman perdelerinin kesit kalınlıkları arttığında duman doluş süresinde azalma olacaktır.

Duman hazne boyutları, içindeki duman soğuyup alçalarak ortam havasına karışacağı için çok büyük olmamalıdır.



Şekil 4. 1 .Tavandan sarkan duman perdeleri ile oluşturulmuş duman haznesi.



Şekil 4. 2.Döşemenin yükseltilmesi ile oluşturulmuş duman haznesi.

Belli kuralların uygulanması ile bu dezavantajlar kolaylıkla ortadan kaldırılabilir. Duman perdesi uygulanırken dikkat edilmesi gereken önemli kavramlar ilgili yönetmeliklerde belirtilmişlerdir. Almanya’da yönetmelikler ile hazne boyutlarına kısıtlamalar getirilmiştir [44]. Avrupa’da yapılan araştırma sonuçlarında tavan yüksekliği fazla olan yapılarda perdenin sarkan kısmı tavan jetini durdurabilmesi için tavan yüksekliğinin 1/10’u kadar olması gerektiği görülmüştür. Bu varsayımla perde derinliği (d), $h/10$ olarak alınabilir [8, 197-213].

NFPA 204M ise çok derin haznelerde risk olacağını varsayarak h/5 yüksekliğinde perde önermektedir [45].

NFPA 204M bu tip duman perdelerine ait doğrudan hesaplama yöntemleri vermese bile yangın anındaki sıcaklık artışına bağlı olarak değişebilen havalandırma menfezi boyutları ile ilgili bazı bağıntılar vermektedir. Bu tip formüller havalandırma kapaklı veya mekanik atım sistemine bağlı duman haznelerinde bulunması gereken açıklık alanını bulmamıza ve mevcut duman perdesi boylarına göre haznede oluşacak sıcaklığın tahminine olanak vermektedirler. Bağıntıların kullanılabilmesi için yine aynı denetim kodunda verilen açığa çıkan ısı oranlarını ve farklı malzemelerden zamana bağlı olarak açığa çıkacak ısı güçlerini bilmek gerekmektedir. Buna göre perde yüksekliği ile ilgili ilk girilecek değer deneme yanılma yöntemi ile bulunabilir. Duman perdesi alt kotu hiçbir zaman kafa hizasının altına inmemeli döşeme üzerinden en az 2,5 metre yükseklikte olmalıdır. Duman hazne boyutları duman alt tabakasının bu kota inmemesini sağlayacak büyüklükte olmalı, üretilen duman hacmini kaçış süresi içinde tutabilmelidir.

Duman perdesi yüksekliği (d) hesaplanmasında kullanılabilecek bir bağıntı İngiliz Yönetmeliklerinde bulunmaktadır. Koridor tipli ve kat yüksekliği fazla olan alışveriş merkezi gibi binalarda kullanılabilecek bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$d_c = K[M(\theta + T_0)/W]^2 / \theta^{\frac{1}{3}} \quad (4.1)$$

Bu formülde:

d_c = Hazne derinliği (m)

W=Hazne genişliği (m)

K=Sabit ($m^{1/3} K^{-1/3}$)

θ = Gaz tabakası sıcaklığı

M= Karışıma giren hava kütlesi olarak alınır.

K değeri küçük yangınlarda 0.055 alınabilir. Risk arttıkça 0.08 civarına kadar yükselebilir [46, s.40-56].

Yukarıdaki formülde görüldüğü gibi hesaplanacak değişken ne olursa olsun üretilen duman miktarını tahmin etmek önemlidir. NFPA 204M talimnamelerinde verilen değerler ve İngiliz Alman standardlarındaki hesaplama yöntemleri genelde üretilen dumanın aktif ve/veya pasif sistemler ile doğrudan dışarı atılması için gereken boşluk boyutlarını verirler. Bununla birlikte duman üretim miktarı tahmini için gerekli varsayımlar ve ampirik bağıntılarda kullanılabilecek temel kavramlar bu ve benzeri bağıntılar yardımı ile çözülebilir.

4.1.1 Duman üretimi

Duman genel olarak sıcak gazlar ve buhar ile karışmış küçük katı tanecikler ve sıvı zerreciklerinden oluşmuş yangın kaynağından yükselerek soğuk alt tabaka üzerinde yüzen bulut olarak tarif edilebilir. Duman bulutu yanmaya başlamış organik madde atıklarından da oluşmuş olabilir. Bu tip organik madde atıkları genelde tam olmayan bir yanma ile oluşur. Herhangi bir yanmanın tam olmaması iki genel nedene bağlıdır;

- a) Karmaşık reaksiyonların gerçekleştiği alevli yanmada oksidasyon çok yavaş ise oluşan karbon parçacıklarının tam olarak yanmadan alevden ayrılmalrı,
- b) İçin için yanma olayında katran ve nem içeren küçük parçacıkların tam olarak yanmadan ateşten uzaklaşarak duman oluşturmaları.

Her hangi bir katı veya sıvı yangınında görülen sarımsı alevler, tam olarak yanıp kül olan kurum parçacıklarından oluşur. Bu parçalar uygun koşullarda büyüyerek alevden uzaklaşır ve dumanı oluşturlar.

4.1.2 Duman miktarı

Yanan malzemenin alevinden yayılan duman miktarı başlıca iki farklı nedene göre değişiklik gösterir.

- a) Yakıtın kimyasal yapısı: Yanıcı malzemeler kimyası ile ilgili yapılmış araştırma sonuçlarına göre;
 - Kimyasal yapılarında oksijen atomu veya molekülü bulunduran malzeme veya yakıtlar, oksijen bulundurmayanlardan daha az duman üretirler.

- Yapılarında benzen atom halkaları bulunduran malzemeler daha fazla duman üretirler.

b) Yanma ortamı: Yanma ortamında oluşan duman miktarına etki eden faktörler ise;

- Yanma bölgesi ve alev bölgesi sıcaklıkları.
- Yanma bölgesindeki havalandırma düzeyine bağlı olarak değişen O₂ yoğunluğu olarak sıralanabilir [47, s. 3].

4.2 Duman Miktarının Tahmini

Bölüm 4.1.'de değinildiği gibi duman miktarının bilinmesi duman haznesi tasarımında çok önemlidir. Kimyasal açıdan farklı yapıdaki malzemelerden çıkacak olan zehirli atıklar ve bu atıkların oluşturacağı tehlike bu çalışma kapsamı dışında bırakıldığından ve duman sütununa karışan havanın hacminin yakıt tarafından üretilen yanıcı gazlardan çok daha fazla olmasından duman üretim oranını, karışıma giren hava miktarı olarak almak mümkündür. Bu kabul ile karışıma giren hava kütlesi dolayısı ile duman üretim oranı;

$$\dot{m} = 0.096 P Q_0 y^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

Bağıntısı ile hesaplanabilir [48, s. 254]. Bu bağıntıdaki değişkenler aşağıda sıralanmıştır;

$\dot{m}$	= Duman üretim oranı (kg/sn)
P	=Ateş çevresi (m)
T ₀	=Havanın mutlak sıcaklığı (300 K)
T	=Gaz sıcaklığı (1200 K)
Q ₀	=Havanın yoğunluğu (300 K'de 1.22 kg/m ³)
y	=Zemin ile duman alt tabakası arasındaki mesafe (m)
g	=Yerçekimi ivmesi (9.81 m/sn ²)

Bilinen sabit değişkenler 4.1 numaralı bağıntıda yerine konduğunda bu formül;

$$\dot{m} = 0.18Py^{\frac{3}{2}} \quad (4.2)$$

olarak basitleştirilebilir. Bu basitleştirme ile duman üretim oranına etki eden parametrelerin sayısı denklemden de anlaşılacağı gibi ateş çevresi (P) ve duman kolonunu oluşturan; zemin ile duman alt tabakası arasındaki mesafe (y) olmak üzere ikiye indirilmiş olur. Burada dumanın hacmini oluşturacak karışıma giren havanın oranı yüksek sıcaklıktaki ortam havasının yoğunluğuna bağlı olarak değişecektir. Yoğunluk sıcaklıkla ters orantılı olduğundan;

$$\frac{Q_o}{Q_i} = \frac{T_i}{T_o} \quad (4.3)$$

Formülü ile hesaplanabilir.

Formülde yer alan ateş çevresi (P) ise yangının gücüne göre değişen ve doğrudan tahmin edilmesi zor bir değişkendir. Ancak belli kabuller ile yangınları açığa çıkan enerji miktarına göre sınıflandırmak mümkün olduğundan ateş çevresini de yangın boyutuna göre sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmaya göre alınabilecek P değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1. Yangın Gücüne Göre Kullanılabilecek Ateş Çevresi Boyutları [48, s.4].

Yangın sınıfı	Büyük	Orta	Küçük
Yangının gücü	5.0 MW	1.25 MW	0.5 MW
Ateş çevresi (P)	12 m	6 m	4 m

4.2.1 Zamana Bağlı Duman Üretim Miktarı

Bölüm 2' de anlatılan çift tabaka kuralına göre hazırlanmış Aset, Aset-B, Asmet, Cfast gibi programların çoğu alt tabakanın zamana ve logaritmik sıcaklık artışına bağlı olarak zemine inişini hesaplayarak, zemin ile duman alt tabakası arasındaki mesafeyi (y) verirler. Başka bir deyişle y yüksekliğini bulabilmek için belli bir

zaman dilimini (t) program girdisi olarak girmek gereklidir. Söz konusu programlar hakkında genel bilgi bölüm 3.5.1’de verilmiştir

Bu çalışmada amaç duman perdelerinin ve bu perdelerle oluşturulmuş duman haznelerinin doluş süresini bulmak olduğundan program girdisi değişkeni olarak girilen zaman değişkenini hesaplanacak değer haline getirmek gerekmektedir.

4.1 nolu bağıntı ile eni (a), boyu (b) ve yüksekliği (h) belli olan bir mekanda teorik olarak duman üretim oranı hesaplanabilir. Bu mekanda duman üreten yanma başladıktan sonra tüm alan boyunca (A=ab) duman doluşu başlayacak ve duman tabakası alt seviyesi ile zemin arasındaki mesafe (y) zamana (t) bağlı olarak azalmaya başlayacaktır.

Böyle bir geometride t süresinde oluşan duman miktarını duman tabakası kalınlığı (h-y) ve mekan alanı ile orantılı olarak hesaplamak istediğimizde bağıntı aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\dot{m} = \frac{d}{dt} [Q_1 A(h-y)] = -Q_1 A \frac{dy}{dt} \quad (4.4)$$

4.4 numaralı bağıntıda Q_1 tavan hizasındaki sıcak dumanın yoğunluğu olarak alınarak duman üretim oranı formülleri eşitlendiğinde aşağıdaki bağıntı kurulacaktır.

$$\dot{m} = 0.096 P Q_0 y^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{T_o}{T} \right)^{\frac{1}{2}} = -Q_1 A \frac{dy}{dt} \quad (4.5)$$

Bağıntı gerekli sadeleştirmeler ile;

$$K = 0.096 Q_0 \left(\frac{T_o}{T} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{2} - g^{\frac{1}{2}} \quad (4.6)$$

ve

$$t = -\frac{Q_1 A}{KP} \int \frac{dy}{y^{\frac{1}{2}}} \quad (4.7)$$

şekline getirilerek $t = 0$, $y = h$ şartlarında entegre edildiğinde bağıntı 4.8’de görülen hale gelecektir ;

$$t = \frac{Q_1 A}{KP} \left[\frac{+2}{\frac{1}{y^2}} \right] + const \quad (4.8)$$

$$const = \frac{-2Q_1 A}{KPh^{\frac{1}{2}}}$$

Tavan hizasındaki dumanın sıcaklığı yapılan deneylerde genelde 400 ile 500 °C olarak ölçülmüştür [37, s.40-51]. Bu durumda Q_1 400 °C sıcaklıktaki havanın yoğunluğu olarak düşünülerek; 4.3 numaralı bağıntı yardımı ile ortam havası (Q_0)'a dönüştürülerek ;

$$Q_1 = Q_0 \frac{300}{673} \quad (4.9)$$

olarak alınıp formüldeki yerlerine konulduğunda duman üretim oranını belirleyen bağıntıdan boyutları belli bir mekandaki doluş süresini veren ve tüm hesaplamalarda kullanılan aşağıdaki bağıntı çıkacaktır.

$$t = \frac{A \left(\frac{300}{673} \right) \times 2}{0.096 g^{\frac{1}{2}} P} \left[\frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (4.10)$$

$$t = \frac{20A}{Pg^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right]$$

Bu bağıntıda;

A =Mekan alanı (m²)

P =Ateş çevresi (m)

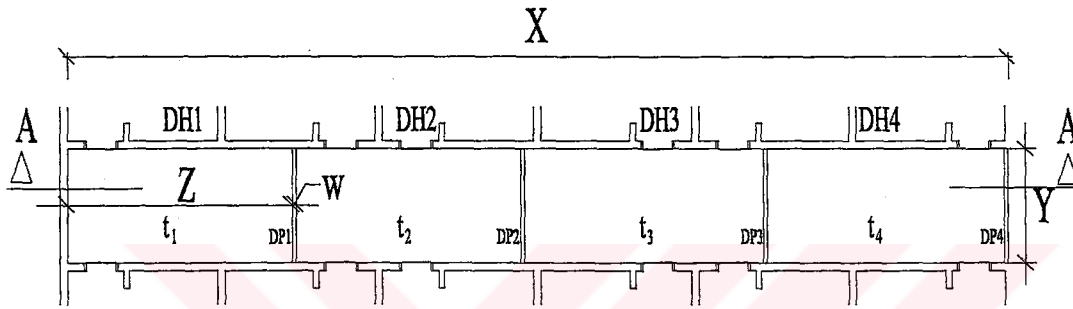
g =Yerçekimi ivmesi (9.81 m/sn²)

y =Zemin ile duman alt tabakası arasındaki mesafe (m)

h =Tavan yüksekliği (m) olarak alınır.

4.3 Duman Perdelerinin Duman Doluş Süresine Etkisi

Teorik olarak duman perdeleri ile mekanı dolduran duman üretimi arasında herhangi bir bağıntı olmadığından duman perdelerinin duman üretimine herhangi bir etkisi olmayacağı açıktır. Ancak yukarıdaki bağıntılardan da anlaşılacağı gibi duman perdelerinin yatay düzlemdeki kesit alanları toplamı büyüdükçe dumanla dolacak mekan alanı azalmaktadır. Bu durum doluş süresinin (t) azalmasına neden olacaktır. Bu azalma bilinirse kaybedilen bu sürenin tekrar kazanılması için bazı ek önlemler alınabilir.



Şekil 4. 3 Dikdörtgen planlı bir koridorda duman perdeleri kullanılarak oluşturulmuş duman hazneleri.

Şekil 4.3'te X uzunluğunda Y genişliğinde ve h yüksekliğinde bir koridor mekanı görülmektedir. Bu mekanın zemin ile duman alt tabakası arasında kaçış mesafesi kalacak şekilde, bağıntı 4.10 ile duman doluş süresi hesaplandığında aşağıdaki sonuç çıkacaktır.

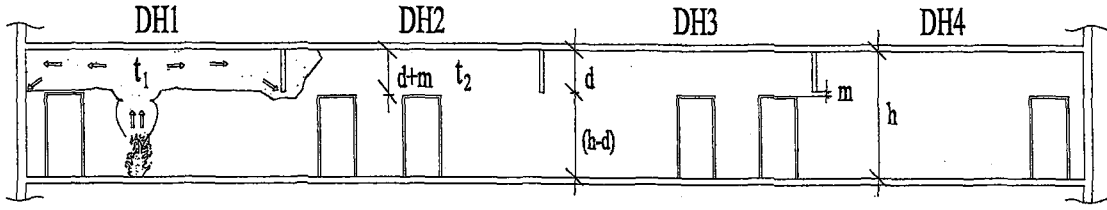
$$t = \frac{20(XY)}{Pg^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (4.11)$$

Aynı mekan et kalınlığı W olan ve tavandan d mesafesi kadar sarkan ve aralarında Z mesafesi olan DP1, DP2, DP3,.....,DPn olarak adlandırabileceğimiz n adet duman perdesi ile bölündüğünde, Z genişliğinde Y eninde ve d yüksekliğinde DH1, DH2, DH3,.....,DH(n+1) olarak adlandırabileceğimiz n+1 adet duman haznesi oluşturulmuş olur. Oluşturulan her bir duman haznesinin doluş süresi duman alt tabaka hizasının duman perdesi alt hizasına geldiği ana eşittir. Bu

durumda 4.11 numaralı bağıntıda XY yerine hazne boyutları y yerine de h-d yazıldığında duman haznesinin doluş süresi basit bir şekilde hesaplanmış olur.

$$t_{DH1} = \frac{20(ZY)}{Pg^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{(h-d)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (4.12)$$

Bağıntıdaki t_{DH1} yangın kaynağına en yakın haznenin saniye cinsinden dolma süresidir.



Şekil 4.4. Dikdörtgen planlı bir koridorda duman perdeleri kullanılarak oluşturulmuş duman haznelerinin kesit görünüşü.

Haznelere ayrılmış böyle bir mekanda, mekanın duman perdesi alt hizasına kadar komple dolma süresi ise tüm haznelerin doluş süreleri toplamına eşittir.

$$t_{top(DH)} = t_{DH1} + t_{DH2} + t_{DH3} + \dots + t_{DH(n+1)} \quad (4.13)$$

Ancak duman haznelerinin doluş süreleri toplamı, duman perdesi olmayan mekanın doluş süresinden daha az çıkmaktadır.

$$t - t_{top(DH)} = t_{kayıp} \quad (4.14)$$

Bunun nedeni mekan hacminde yer tutan perdelerin kapladığı hacimdir. Başka bir deyiş ile duman perdelerinin kesit alanlarının toplamı kadar bir hacmin dumanla dolma süresi $t_{kayıp}$ olarak alınabilir. Özellikle et kalınlığı fazla ve çok sayıda duman perdesinin kullanıldığı çözümlerde bu süre önemli olmaktadır. Bu süre kaçış süresinin azalması veya başka bir deyişle dumanın istenmeyen bir mekana aradaki kayıp süre kadar erken girmesi demektir. Bu mekanın genelde koridorla bağlantılı düşey kaçış yolunu oluşturan merdiven olduğu varsayılırsa durum daha önem kazanmaktadır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için, dumanı $t_{kayıp}$ süresi kadar yatay kaçış koridorunda tutmak ve merdiven kovalasına girmesini engellemek gerekmektedir. Bu engelleme herhangi bir mekanik sistemle merdiven kovalasına pozitif (+) basınç uygulamak yolu ile olabilir ancak başından beri temel amaç

problemi pasif yöntemler kullanarak çözmek olduğundan pozitif basınçlandırma bu çalışmanın dışında bırakılmıştır.

Aktif sistem desteği olmadan problemin çözülebilmesi için önerilen yöntem, kaçış merdivenine açılan kapının üzerindeki bölgeyi de ayrı bir duman perdesi gibi düşünerek lento alt hizasını duman perdesi alt hizasından M kadar aşağıda tutmaktır. Böylece tüm mekan alanı ile M yüksekliğinin çarpımına eşit bir hacim oluşturulacak ve bu hacmin doluş süresi kadar bir zaman kazanılmış olacaktır. M mesafesinin sayısal değerini bulabilmek için 4.10 nolu formülden y değerini çekerek yeni bir hesaplama yapmak gerekmektedir.

$$t = \frac{20A}{Pg^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{y^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right] \Rightarrow y = \frac{400A^2h}{t^2p^2gh + 40Atpg^{\frac{1}{2}}h^{\frac{1}{2}} + 400A^2} \quad (4.15)$$

4.15 numaralı bağıntıda t değeri yerine 4.14 numaralı $t_{kayıp}$ ($t - t_{top(DH)}$) değeri konulduğunda; bu süre içerisinde duman alt tabakasının zemine olan uzaklığı bulunmuş olur ($y_{tkayıp}$). Yüksekliği h olan her hangi bir mekanda $t_{kayıp}$ süresinde oluşmuş bu tabakanın kalınlığı ise;

$$M = h - y_{tkayıp} \quad (4.16)$$

olarak hesaplanabilir.

Bu durumda mekan içinde kullanılan duman perdelerinin haricinde, kaçış merdivenine ulaştıran son kapının lento alt hizası en az $h-(d+m)$ yüksekliğinde olmalıdır. Dolayısı ile son duman perdesi boyu geciktirme zamanı katıldığında;

$$d_{son} = d + M \quad (4.17)$$

olmalıdır.

Duman üretim oranı bölümünde verilen 4.1 numaralı bağıntıdan da anlaşılacağı gibi, duman doluş süresi hesaplamasında kullanılan formüller güvenli tarafta kalacak şekilde sadeleştirilmişlerdir. Duman üretiminde yangının büyüme evresi gözardı edilerek tam gelişme evresinde oluşacak miktara göre hesaplama

yapılmıştır. CFD tabanlı programlarla yapılacak hesaplamalarda yangının büyümesi de analitik olarak hesaba katıldığından özellikle havalandırma problemi olmayan yangınlarda kaçış süresi için düşünülen zaman elbette ki fazla çıkacaktır. Buna rağmen karışıma giren hava miktarına göre hesaplama yapan formüllerde duman alt tabakası belli bir kota indikten sonra y mesafesi azalacağından, duman sütununa giren havayı azaltacak ve doluş süresi daha uzun olarak hesaplanacaktır.

4.3.1 Duman doluş süresi hesaplama yönteminin diğer hesaplama yöntemleri ile karşılaştırılması

Bölüm 3'te de bahsedildiği gibi yangınla ilgili kurum ve kuruluşların geliştirdiği, duman doluş süresi hesaplanmasında kullanılabilecek birçok program vardır. Bu programların şu anda en gelişmişlerinden birisi olan FDS (Fire Dynamics Simulator) programı hız ve sıcaklık parametrelerini de hesaplayabildiğinden örnek mekan üzerinde yapılan sayısal modellemede kullanılacaktır. Bu bölümde FDS kadar geniş bir yelpazeye sahip olmayan ancak duman doluş süresini hesaplayabilen, Aset, Aset-B, Cfast gibi programların çalıştırılmasından elde edilen sonuçlar ile önerilen hesaplama yöntemi sonuçları karşılaştırılacaktır.

Aset, Aset-B ve Cfast programları girdi olarak mekan yüksekliği, mekan alanı, ısı kaybı katsayısı, açığa çıkan ısı gücü ve yakıtın yerden yüksekliği gibi bazı parametreleri ister. Bu değişkenler aşağıdaki gibi seçilerek örnek hesaplama yapılmıştır.

Mekan yüksekliği : 3 m.

Yakıtın yerden yüksekliği : 0.30 m. (bir sonraki bölümde yapılacak modellemede yangının 30 cm yükseklikte bir yatakta başladığı varsayıldığından).

Mekan alanı : $4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$

Açığa çıkan ısı gücü (HRR): 20,40-100, 200-180-500 (Program varsayıları) [49 s. 70].

Isı kaybı : 0.6 [49 s. 71].

Yukarıda sıralanan değişkenler dışında O_2 , CO_2 , CO oranları da hesaplayan Cfast programının çalışabilmesi için; Aset-B'nin girdi parametresi olarak kullanmadığı ortam koşul parametrelerinden; iç sıcaklık 293 K., iç hava basıncı 101300 Pa, rüzgar hızı 0 m/sn, bağıl nemlilik %50 olarak girilmiştir.

Hesaplama ile önce 2. sn. sonra 10. sn. deki duman alt tabakası ile taban arasındaki mesafe (y) bulunmuş daha sonra belirli aralıklarla hesaplama yapılarak mekan doluş süresi olan 210. saniyeye kadar duman tabakası kotu bulunmuştur. y sıfıra yaklaştıkça hesaplama aralığı 1 saniyeye kadar indirilmiştir. Önerilen doluş süresi formülü ile karşılaştırma amacı ile aset-b ve cfast programlarından elde edilen ara tabaka yüksekliği (y) değerleri 4.10 nolu bağıntıda yerine konularak tekrar doluş süresi hesabı yapılmıştır. Bu hesaplama yapılırken Aset-B ve Cfast programlarında hesaplanan açığa çıkan enerji en yüksek noktada 350-440 KW olarak hesaplandığından; ateş çevresi (P) değeri olarak küçük yangınlarda kullanılan 4 m. alınmıştır.

Bu hesaplamalar sonucunda çıkan değerler tablo 4.2'de verilmiştir. Aset ve Aset-B sonuçları arasında fark olmadığından tabloda Aset-B programından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablo 4.3'de ise zaman sabit bırakılarak aynı zaman diliminde 3 farklı yöntemle hesaplanan alt tabaka yükseklikleri verilmiştir. Tablo 4.4' te ise farklı yöntemler ile hesaplanmış, zamana bağlı olarak değişen üst tabaka kalınlıkları toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.2. Farklı iki yöntemle hesaplanan zamana bağlı alt tabaka yükseklikleri.

Yanma süresi (t) sn.	Aset-B Sonuçları		CFAST Sonuçları		Önerilen yöntem ile hesaplanan süre (t) sn.	
	Ara tabaka yük. (y) m.	Tabaka kalınlığı (d) (h-y) m.	Ara tabaka yük. (y) m.	Tabaka kalınlığı (d) (h-y) m.	Aset-B	Cfast
2	2,9650	0,0350	2,9999	0,0001	0,1085	0,0003
10	2,7255	0,2745	2,7400	0,2600	0,9060	0,8548
15	2,5425	0,4575	2,5500	0,4500	1,5899	1,5604
20	2,3595	0,6405	2,3700	0,6300	2,3519	2,3058
30	2,0240	0,9760	2,0500	0,9500	4,0086	3,8658
35	1,8715	1,1285	1,9100	1,0900	4,9050	4,6686
40	1,7190	1,2810	1,7800	1,2200	5,9182	5,4973
50	1,4750	1,5250	1,5600	1,4400	7,8553	7,1291
60	1,2615	1,7385	1,3700	1,6300	9,9930	8,8442
70	1,0785	1,9215	1,2200	1,7800	12,3103	10,4725
80	0,8955	2,1045	1,0800	1,9200	15,3057	12,2889
90	0,7430	2,2570	0,9600	2,0400	18,6066	14,1525
100	0,5905	2,4095	0,8600	2,1400	23,1151	15,9950
110	0,4380	2,5620	0,7700	2,2300	29,8090	17,9514
120	0,2855	2,7145	0,6800	2,3200	41,3200	20,2845
130	0,1330	2,8670	0,6000	2,4000	69,1133	22,7849
135	0,0415	2,9585	0,5600	2,4400	138,2928	24,2316
136	0,0110	2,9890	0,5500	2,4500	285,9838	24,6177
137	0,0001	2,9999	0,5400	2,4600	3174,3206	25,0145
138	0,0001	2,9999	0,5300	2,4700	3174,3206	25,4225
139	0,0001	2,9999	0,5200	2,4800	3174,3206	25,8422
140	0,0001	2,9999	0,5100	2,4900	3174,3206	26,2741
150	0,0001	2,9999	0,4300	2,5700	3174,3206	30,2557
160	0,0001	2,9999	0,3500	2,6500	3174,3206	35,5340
170	0,0001	2,9999	0,2600	2,7400	3174,3206	44,1817
180	0,0001	2,9999	0,1900	2,8100	3174,3206	54,8134
190	0,0001	2,9999	0,1100	2,8900	3174,3206	77,8318
200	0,0001	2,9999	0,0500	2,9500	3174,3206	124,3509
210	0,0001	2,9999	0,01	2,9900	3174,3206	300,8420

Yukarıdaki tablodan da görüleceği gibi önerilen bağıntı ile yapılan hesaplamalar güvenli tarafta kalmasına rağmen duman sütunu yüksekliği (y) 10cm.'nin altına indiğinde doluş sürelerinde hesaplamaları olumsuz yönde etkileyecek sapmalar olmaktadır. Ancak duman perdeleri ile ilgili yönetmeliklerde önerilen perde yükseklikleri $h/10$ - $h/5$ civarında olduğundan, hesaplamalarda kullanılacak y mesafesi en az $4/5h$ olacaktır. Bu orana göre 3m. yüksekliğinde bir mekanda y mesafesi 2.4 metre olacaktır dolayısı ile hesaplamalar daima güvenli tarafta kalacaktır.

Tablo 4.3. Aset-B, CFAST ve önerilen yöntem ile hesaplanmış alt tabaka yükseklikleri.

Süre (t) sn.	Aset-B ile hesaplanan ara tabaka yük. (y) m.	CFAST ile hesaplanan ara tabaka yük. (y) m.	Önerilen yöntem ile hesaplanan ara tabaka yüksekliği (y) m.
2	2,965	2,9999	2,441466353
10	2,7255	2,74	1,260881009
15	2,5425	2,55	0,911948867
20	2,3595	2,37	0,690102946
30	2,024	2,05	0,434551714
35	1,8715	1,91	0,357030833
40	1,719	1,78	0,298544447
50	1,475	1,56	0,21766822
60	1,2615	1,37	0,165702531
70	1,0785	1,22	0,130346253
80	0,8955	1,08	0,10520738
90	0,743	0,96	0,086697187
100	0,5905	0,86	0,072674617
110	0,438	0,77	0,061798107
120	0,2855	0,68	0,053192371
130	0,133	0,6	0,046266627
135	0,0415	0,56	0,043300338
136	0,011	0,55	0,04274139
137	0,0001	0,54	0,042193195
138	0,0001	0,53	0,041655479
139	0,0001	0,52	0,041127978
140	0,0001	0,51	0,040610433
150	0,0001	0,43	0,035931444
160	0,0001	0,35	0,032016864
170	0,0001	0,26	0,028708818
180	0,0001	0,19	0,025888181
190	0,0001	0,11	0,023463698
200	0,0001	0,05	0,021364512
210	0,0001	0,01	0,01953493

Tablo 4.4. Aset-B, CFAST ve önerilen yöntem ile hesaplanmış duman tabakası kalınlıkları.

Süre (t) sn.	Aset-B ile hesaplanan duman tabakası kalınlığı m.	CFAST ile hesaplanan duman tabakası kalınlığı m.	Önerilen yöntem ile hesaplananduman tabakası kalınlığı m.
2	0,035	0,0001	0,558533647
10	0,2745	0,26	1,739118991
15	0,4575	0,45	2,088051133
20	0,6405	0,63	2,309897054
30	0,976	0,95	2,565448286
35	1,1285	1,09	2,642969167
40	1,281	1,22	2,701455553
50	1,525	1,44	2,78233178
60	1,7385	1,63	2,834297469
70	1,9215	1,78	2,869653747
80	2,1045	1,92	2,89479262
90	2,257	2,04	2,913302813
100	2,4095	2,14	2,927325383
110	2,562	2,23	2,938201893
120	2,7145	2,32	2,946807629
130	2,867	2,4	2,953733373
135	2,9585	2,44	2,956699662
136	2,989	2,45	2,95725861
137	2,9999	2,46	2,957806805
138	2,9999	2,47	2,958344521
139	2,9999	2,48	2,958872022
140	2,9999	2,49	2,959389567
150	2,9999	2,57	2,964068556
160	2,9999	2,65	2,967983136
170	2,9999	2,74	2,971291182
180	2,9999	2,81	2,974111819
190	2,9999	2,89	2,976536302
200	2,9999	2,95	2,978635488
210	2,9999	2,99	2,98046507

4.4 Duman Perdelerinin Duman Yayılma Hızına Etkisi

Dumanın yangının başladığı mekanı düşeyde doldurma tehlikesinin yanında yatayda yayılması da ayrı bir tehlike oluşturmaktadır. Bu tip yayılmaya etki eden faktörler bölüm 2’de detaylı olarak anlatılmışlardır. Duman ve sıcak gazları, bina ve/veya mekan içinde dolaşan bir akışkan olarak aldığımızda hareketin temelinde tüm akışkanlarda olduğu gibi basınç farklılaşması olduğunu görürüz. Bu nedenle bina içerisindeki duman ve gaz hareketini, farklı basınç bölgelerini dengeleyen yatay hava hareketi olan rüzgara benzetmek mümkündür. Bir veya birçok sebebin birleşmesi ile oluşan dinamik basınç farklılıklarının yarattığı ivme olan, hız Bernoulli denklemleri ile çözüldüğünde bize akışkanın birim zamanda aldığı yolu verecektir [7, s.180-185]. Ancak gaz hareketi içindeki türbülans etkisinin hesaplanması modelleme kavramında anlatılan CFD bazlı programların kullanılması ile mümkündür. Bu yüzden bu çalışmada akışkan hızı ile ilgili hesaplamalar daha önce de bahsedilen FDS programı ile yapılmıştır.

Hareket halindeki duman ve gaz tabakası da rüzgar gibi tavanın hemen altında türbülanslı bir hareket oluşturur. Bu bölümü yeryüzü sınır tabakası olarak kabullenirsek; tavandaki jet hareketini yeryüzünü yalayan rüzgar, tavan yüzeyindeki pürüzleri de, türbülanslı sınır tabakayı yaratan yeryüzü topografyası olarak almak mümkündür.

Bu kabulden yola çıkarak, her hangi bir yangın mekanında oluşan tavan jeti yüzeye ulaştığı anda yüzeydeki pürüzler onu frenlemeye çalışacak bu frenleme etkisi ile türbülans oluşacaktır. Böylece oluşan çalkantı, rüzgar örneğindeki gibi duman tabakası hızının zaman içinde doğrultu ve büyüklük olarak sürekli değişiklik göstermesine neden olur. Böyle bir ortamda anlık hız ölçümü yapabilmek için diğer bileşenlerinde devreye girmesi gerekir. Anlık olarak rüzgarın hız vektörü olan $V_{(t)}$ üç bileşeni ile belirlenir. Bileşenlerin bağıntısı aşağıdaki gibidir.

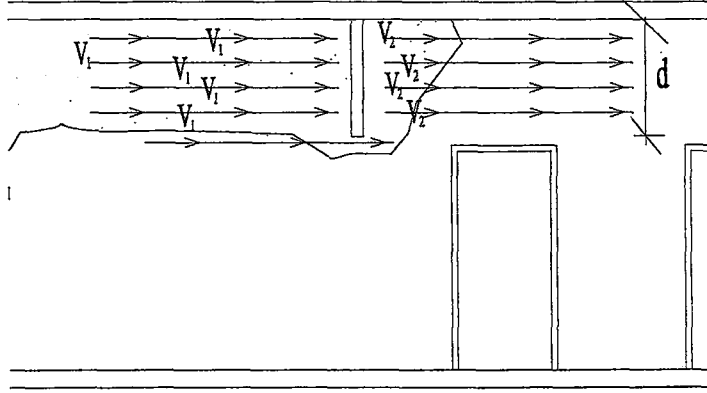
$$V = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \quad (4.18)$$

u = Akışkanın hakim yolunu belirleyen boyuna (yatay) bileşen,

v = Akışkan doğrultusuna yanlardan etki eden (enine) bileşen

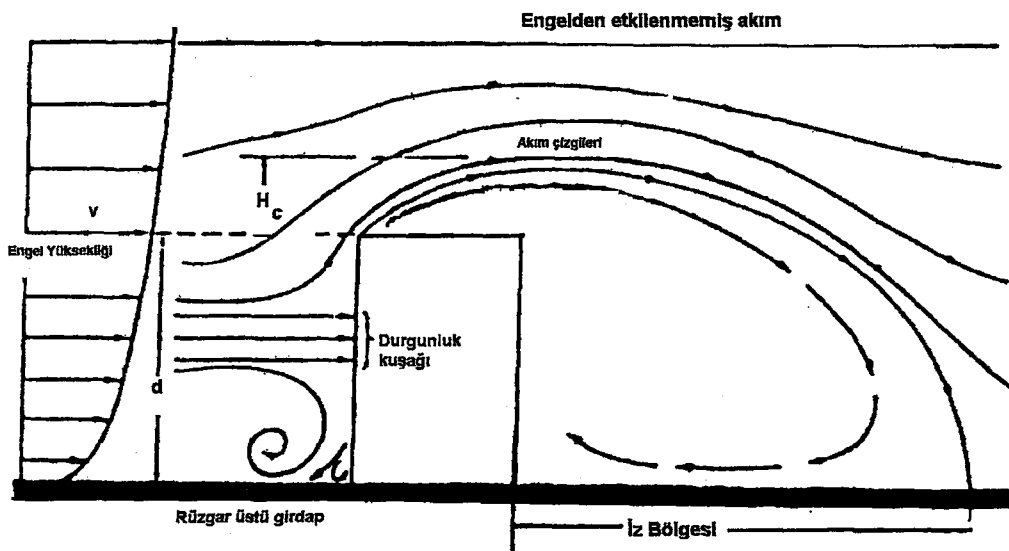
w = Genelde yerçekimi ivmesi ve/veya dönüş jeti ile oluşan düşey bileşen olarak alınır [50, s.174].

V hızındaki akışkan sürtünmenin yavaşlatma etkisine rağmen bölüm 2.5' te anlatılan hareket mekanizmalarını kullanarak yatay vektörü doğrultusunda (u) yoluna devam edecektir. Özellikle akışkan için kanal oluşturabilecek koridor tipi mekanlarda akışkan bir engelle karşılaşana kadar mekan boyunca ilerleyecektir. Burada akışkanın karşılaşacağı ilk engel duman perdesi olacaktır.



Şekil 4. 5. Duman perdesi ve hız vektörleri.

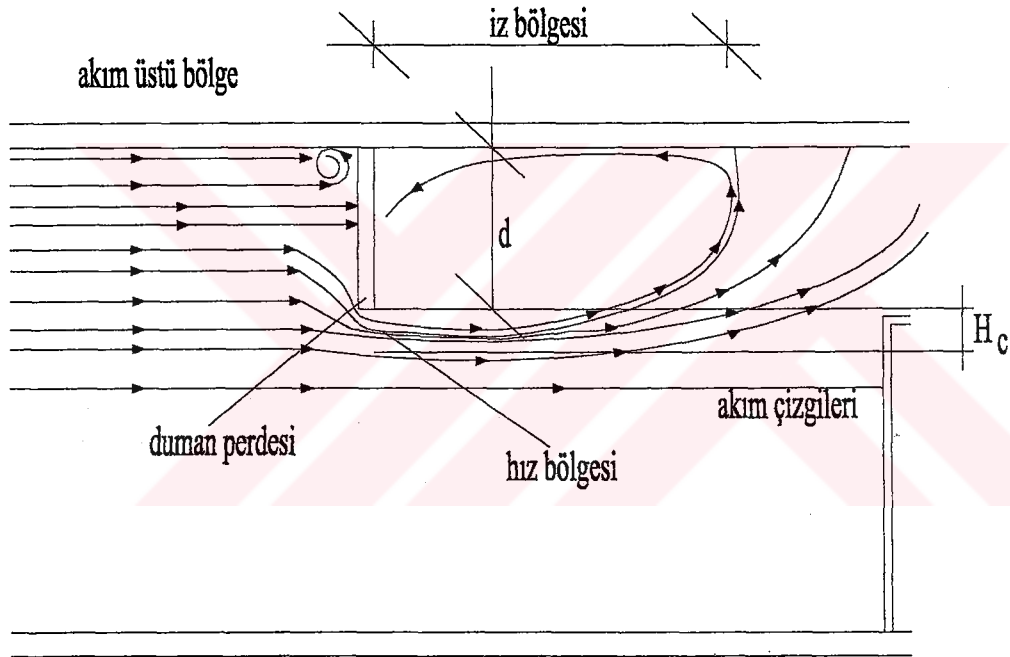
Engelle karşılaşan V_1 hızındaki bir akışkanın engel arkasındaki hızının geldiği düzey olan V_2 , akım çizgilerinin yönleri, rüzgar üstü ve rüzgar altı bölgelerde oluşan girdaplar bina aerodinamiği açısından çok önemli olduğundan mimarlık bilim dalının ilgilendiği alanlardan birisidir. Bu nedenle yerleşme ölçeğinden eleman ölçeğine kadar birçok ölçekte deneyler yapılmış ve genel olarak bina-rüzgar etkileşimi sonucu oluşan akım çizgileri ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 4. 6. Bina-rüzgar etkileşimi sonucu oluşan akım çizgileri.[51, s.14]

Araştırmalar sonucunda Şekil 4.6'da da görülebileceği gibi engelle karşılaşan akışkanın engelin etrafından dolaşarak arka tarafa geçme eğilimi gösterdiği engel arkasında engel yüksekliği ile orantılı olarak artan bir iz bölgesi oluşturularak tekrar eski hızına ulaştığı görülmüştür. Hız değişim oranlarını gösteren hesaplama örneği bölüm 5'de verilecektir.

Bina içinde yayılan duman ve sıcak gazların rüzgar hareketine benzer özellikler gösterdiği varsayımı ile, duman perdelerinin bina – rüzgar etkileşimin benzeri özellikler göstereceğini söylemek doğru olacaktır. Bu varsayımla duman perdesi arkasında perde boyu (d) ile orantılı bir iz bölgesi oluşacaktır.



Şekil 4.7. Duman perdesi bina benzetimi ile perde arkasında oluşacak iz bölgesi.

Şekil 4.6'da görülen engelin üzerinde oluşan H_c yüksekliğindeki girdap bölgesi, duman perdesinin hemen alt kotundaki hızlanma bölgesinde de oluşacaktır. Rüzgar tarafından bir engelin üzerinde oluşturulan girdap bölgesi yüksekliği aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$H_c = 0.22(B_s^{0.67} B_L^{0.33}) \quad (4.19)$$

B_s = Engel yüksekliği (d) ve genişliğinden küçük olan değer.

B_L = Engel yüksekliği (d) ve genişliğinden büyük olan değer [52, s. 38]

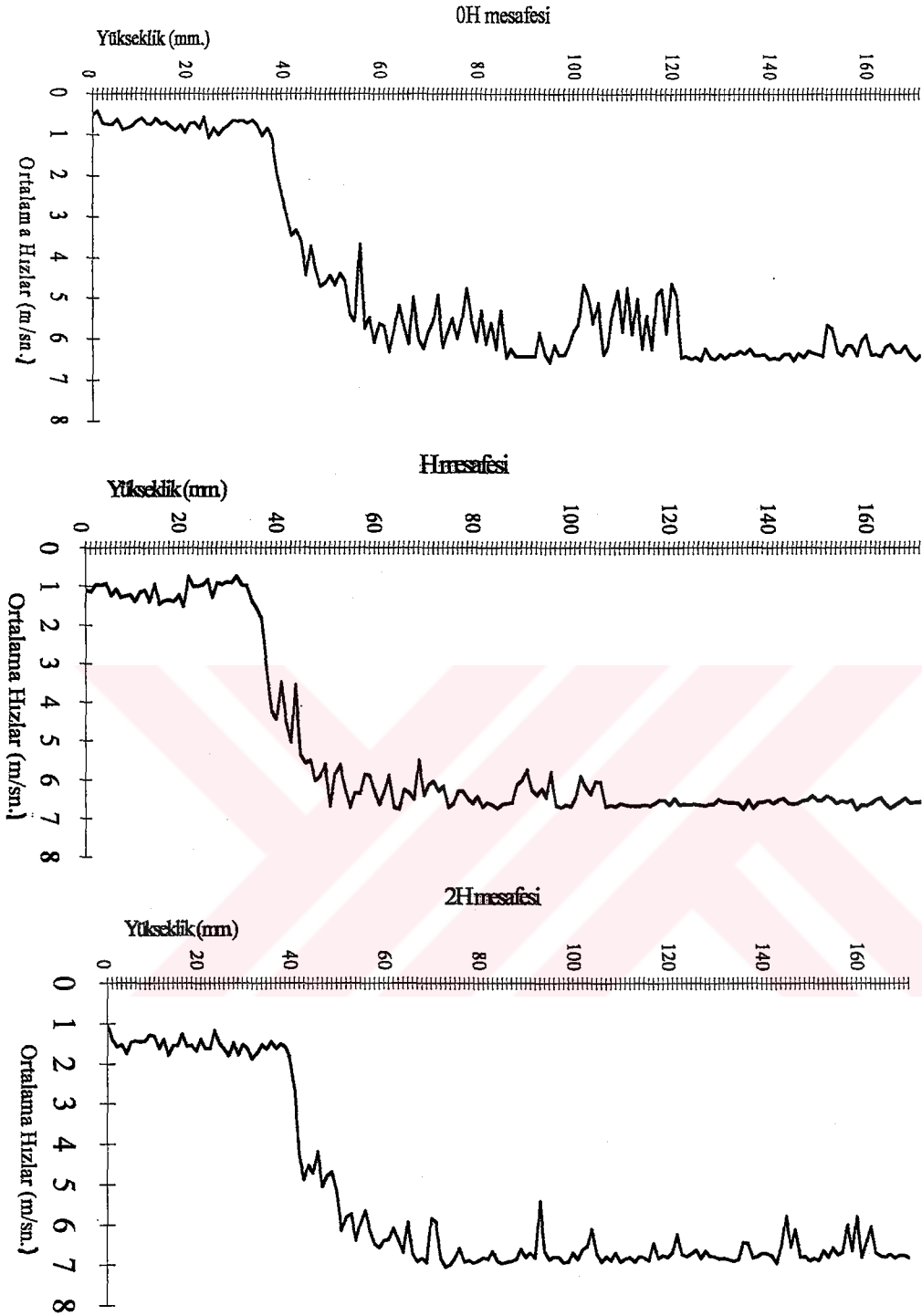
Bu durumda bir duman haznesinden diğerine akış başladığında duman alt kotu ile taban arasında kalan mesafe (y) aşağıdaki şekilde değişecektir.

$$y = h - (d + H_c) \quad (4.20)$$

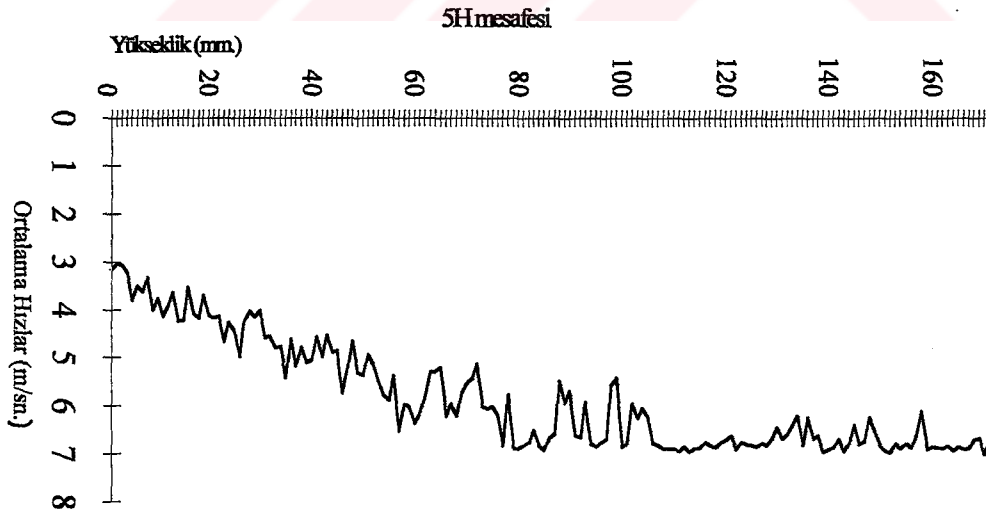
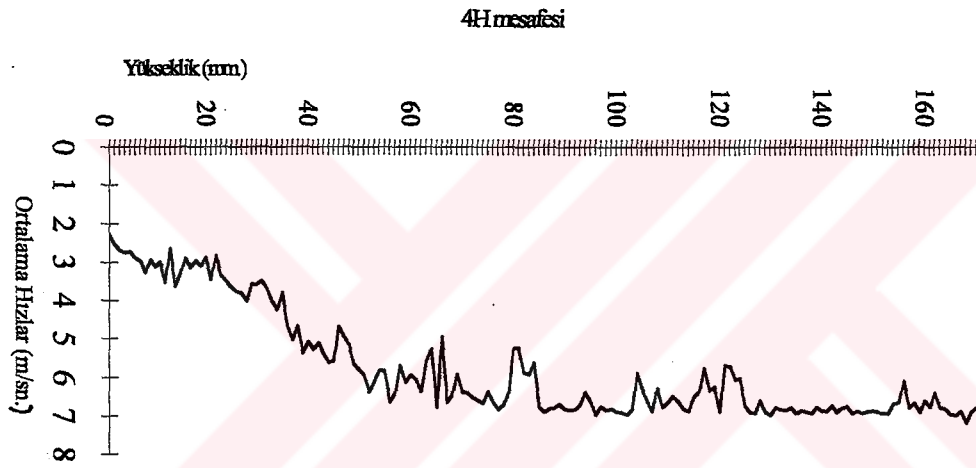
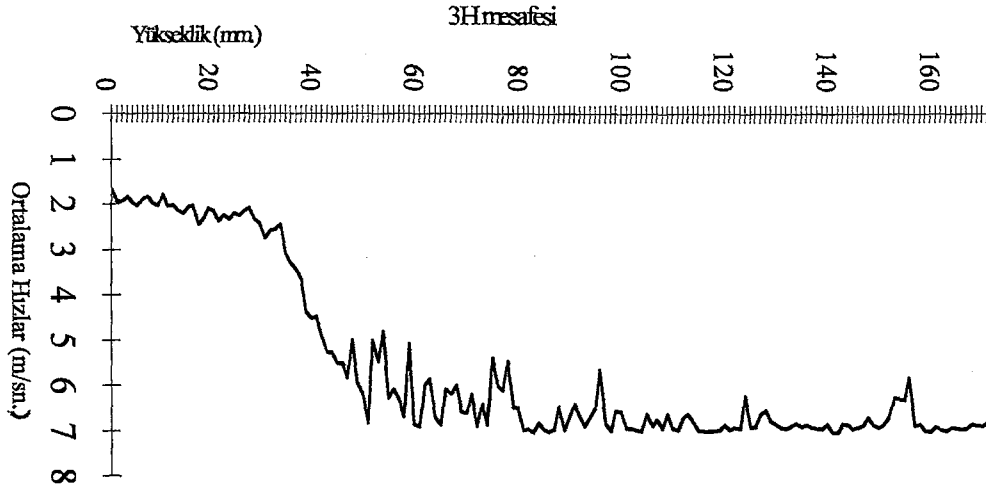
Bağıntıdan anlaşılacağı gibi duman perdeleri hizasında oluşacak duman kalınlığı artarak $(d + H_c)$ kadar olacağı için güvenli kot hesaplanırken bu değer dikkate alınmalıdır. Ayrıca kaçış merdivenine açılan kapı yanında hız bölgesi oluşturacak duman perdesi var ise 4.3 bölümünde bahsedilen M değeri benzeri H_c değerinden büyük olmalıdır.

4.4.1 Duman perdesi boyunun iz bölgesi boyuna etkisi

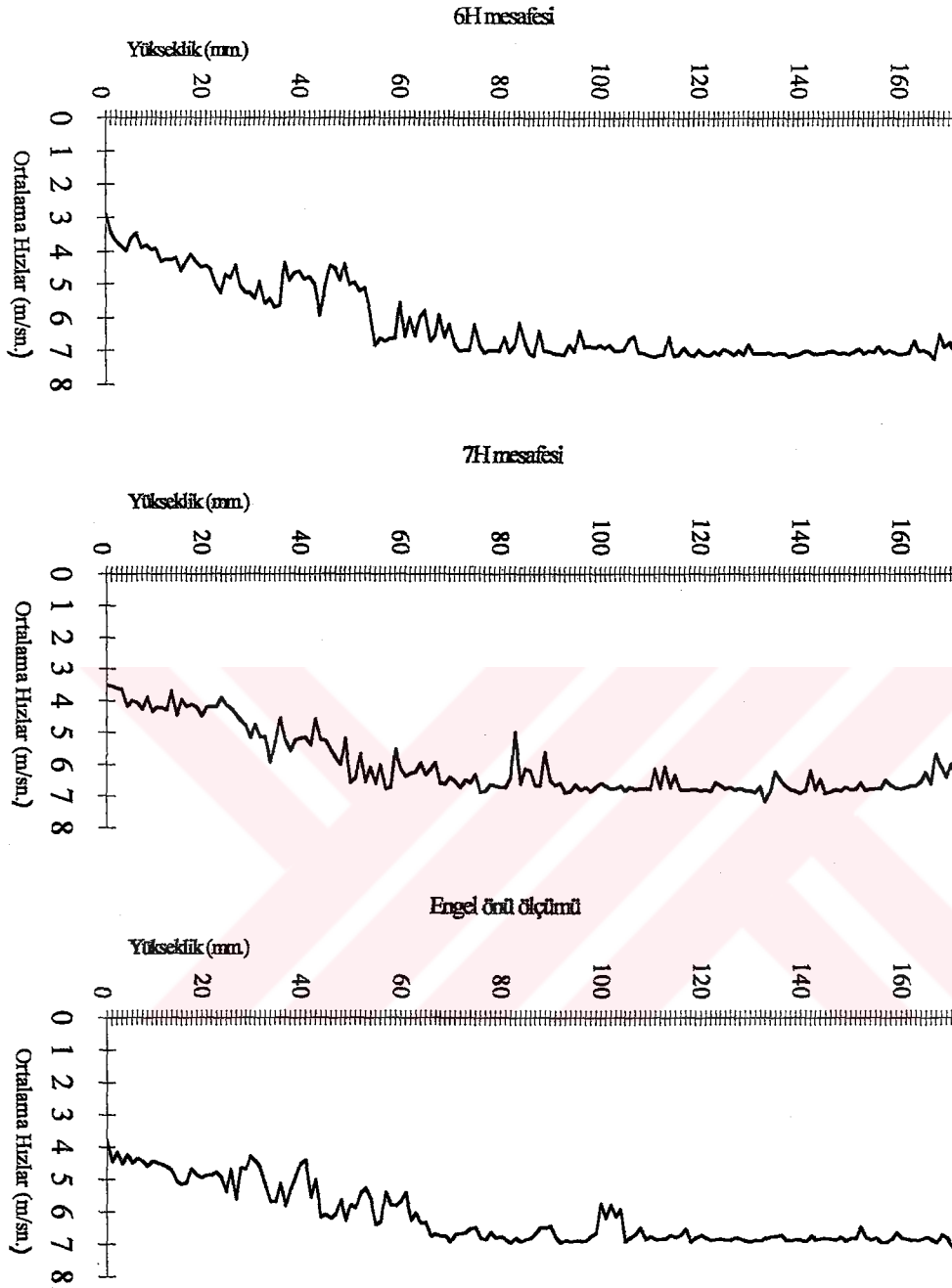
Önceki bölümde bahsedilen iz bölgesi uzunluğunun engel yüksekliğine bağlı olarak değişim oranı, rüzgar tüneline yapılan deney sonuçlarına dayanılarak bulunabilir. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Fiziksel Çevre Kontrolü laboratuvarı rüzgar tüneline yapılan benzer bir çalışmada, taban alanı katsayıları (TAKS) ve kat alanı katsayıları (KAKS) değiştirilerek oluşturulan farklı yerleşme dokularında çeşitli ölçümler yapılmıştır. 6 m/sn sabit hızlı açık dönüş kapalı jet sistemiyle çalışan emişli tünel içine yerleştirilen h yüksekliğindeki engellerin arka akslarında ve engelden 0h-7h kadar mesafe içinde yapılan ölçüm sonuçlarını gösteren grafikler Şekil 4.8’de verilmiştir. Ölçüm sonuçlarından elde edilen verilere göre engel arkasında 3h mesafeye kadar engelin izi belirli bir şekilde görülüyor hızlar ilk değerlerinin % 15’ ine düşecek kadar azalıyor. 3-5h arasında kararsız ve türbülanslı bir bölge oluşuyor. 6h’dan sonra hızlar ilk değerlerine ulaşıyorlar. Bu sonuçlardan d derinliğinde bir duman perdesinin tavan boyunca 6d kadar bir mesafede iz bölgesi oluşturacağı varsayımı ortaya çıkmaktadır. Bu durumda duman perdelerinin birbirinin iz bölgeleri içinde kalmamaları gerektiğinden perde aralarında en az 6d kadar mesafe bırakılması sonucu çıkartılabilir.



Şekil 4.8. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi rüzgar tüneline engel arka orta aksında yapılan ölçüm sonuçlarına göre engelden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren hız grafikleri [52, s.100].

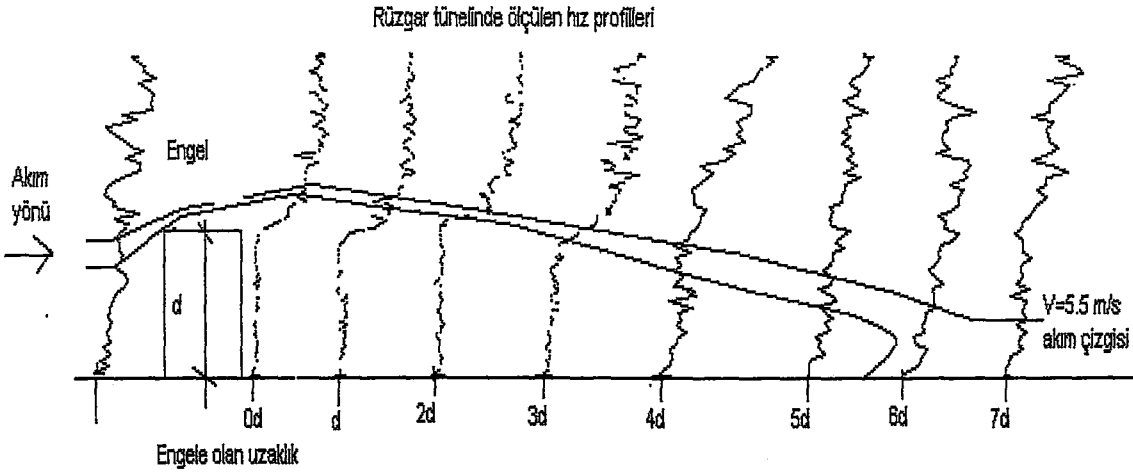


Şekil 4.8. (devam) İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi rüzgar tüneline engel arka orta aksında yapılan ölçüm sonuçlarına göre engelden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren hız grafikleri [52, s.101].



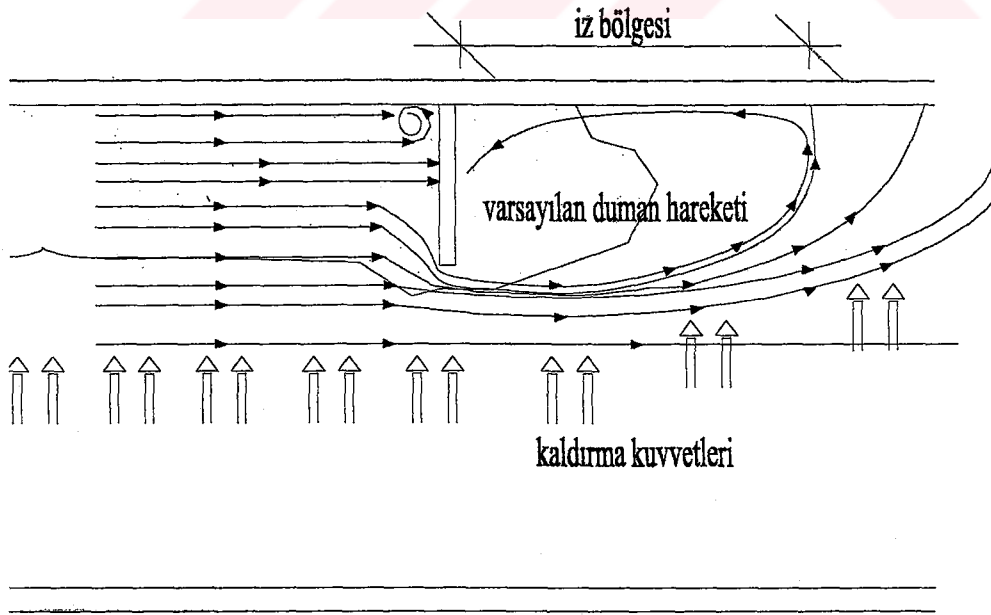
Şekil 4.8. (devam) İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi rüzgar tüneline engel arka orta aksında yapılan ölçüm sonuçlarına göre engelden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren hız grafikleri [52, s.102].

Ölçüm sonuçlarına göre farklı kotlarda elde edilen eşit hızlardaki akım çizgileri birleştirildiğinde h yüksekliğinde bir engelin arkasında oluşan iz bölgesi Şekil 4.9. da gösterildiği gibi Ashrae tarafından kabul edilen biçimleniş ile benzeşmektedir.



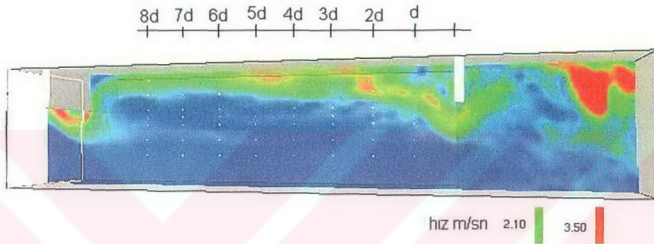
Şekil 4.9. İ.T.Ü. Mimarlık fakültesi rüzgar tüneline yapılan ölçüm sonuçlarına göre engelden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren iz bölgesi.

Yangın anında oluşan gaz ve duman hareketinde dumanın mevcut ortam havası üzerinde yüzerek ilerlemesini sağlayan kaldırma kuvvetleri Şekil 4.7’de gösterilen iz bölgesine aşağıdan yukarıya doğru bir basınç uygulayacaklarından, akım çizgilerinin daha az bir mesafede yer değiştirmeleri mümkün olabilir. Bu durumda duman perdesi engelini aşan V hızındaki duman hareketinin oluşturacağı iz bölgesinin, rüzgar hareketinde oluşandan daha kısa olma olasılığı vardır.



Şekil 4.10. Duman hareketinde iz bölgesine etki eden kaldırma kuvvetleri.

Kaldırma kuvvetlerinin yatay duman hareketine etkisinin incelenmesi için yeterli şartlar mevcut rüzgar tüneline sağlanamadığından, söz konusu etki, bilgisayar destekli modelleme programlarından FDS yardımı ile incelenmiştir. Yüksekliği 3.5 metre ve eni 3 metre olarak düşünülen dikdörtgen kesitli bir mekanda, tavandan 1 metre sarkan duman perdelerinin, 0.5 MW gücünde küçük bir yangın çıktığında oluşacak duman hareketine etkisi Şekil 4.11’de gösterildiği şekilde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.11. FDS programı ile yapılan modelleme sonuçlarına göre duman perdesinden uzaklığa bağlı olarak değişim gösteren iz bölgesi.

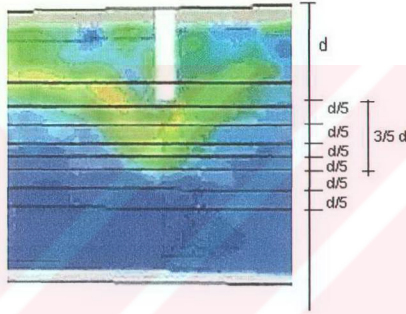
Modelleme sonuçlarına göre şekilde görüldüğü gibi duman perdesinin önünde ve arkasında türbülanslı bölgeler oluşmuş duman perdesi alt noktasında 3.5 m/sn düzeylerine ulaşan hız duman perdesi yüksekliğinin 2.5 katı mesafe içerisinde tavan bölgesine ulaşmıştır.

Duman perdesinin hemen alt kotunda oluşan girdap bölgesi derinliği (H_c) ise bina-rüzgar etkileşiminde oluşandan fazla çıkmıştır. Tavandan 1 metre sarkan 3 metre eninde bir duman perdesinde oluşacak girdap bölgesi derinliği 4.19 numaralı bağıntı ile hesaplandığında;

$$H_c = 0.22 (1^{0.67} \times 3^{0.33}) = 0.316135 \text{ m.} \quad (4.21)$$

yaklaşık 32 santimetrelik çıkan değer FDS ile yapılan modellemeye anlık farklılıklar göstermesine rağmen, ilk duman haznesinden ikinci hazneye doğru akım başladığında 40-60 cm. civarlarında hesaplanmıştır. Rüzgar örneğinde hava akımının engelin 3 farklı tarafından engel arkasına ulaştığı ancak duman perdesi örneğinde akımın perde alt bölgesinde yoğunlaşarak tek yönden iz bölgesi içine girdiği varsayımı ile bu bölgede daha kalın bir girdap tabakası oluşacağını tahmin

etmek doğru olabilir. Ancak değişik yükseklikte duman perdeleri ile yapılan modellemelerde perde derinliği (d) 7.5 metrenin üzerine çıktığında girdap derinliğinin H_c hesap değerine yaklaştığı $d=15$ metreden daha büyük değerlerde oluşan girdap derinliğinin H_c hesap değerinin altına düştüğü görülmüştür. Kaçış koridoru ölçeğinde derinliği 7.5 metreden fazla olan duman perdesi uygulamasının pratik olamayacağı düşüncesi ile 7.5 metreden derin olmayan duman perdesi modellemeleri sonuçlarının ortalamalarına dayanarak; duman perdesi alt hizasında perde boyunun $3/5$ 'i kadar girdap derinliği olacağını söylemek mümkündür.



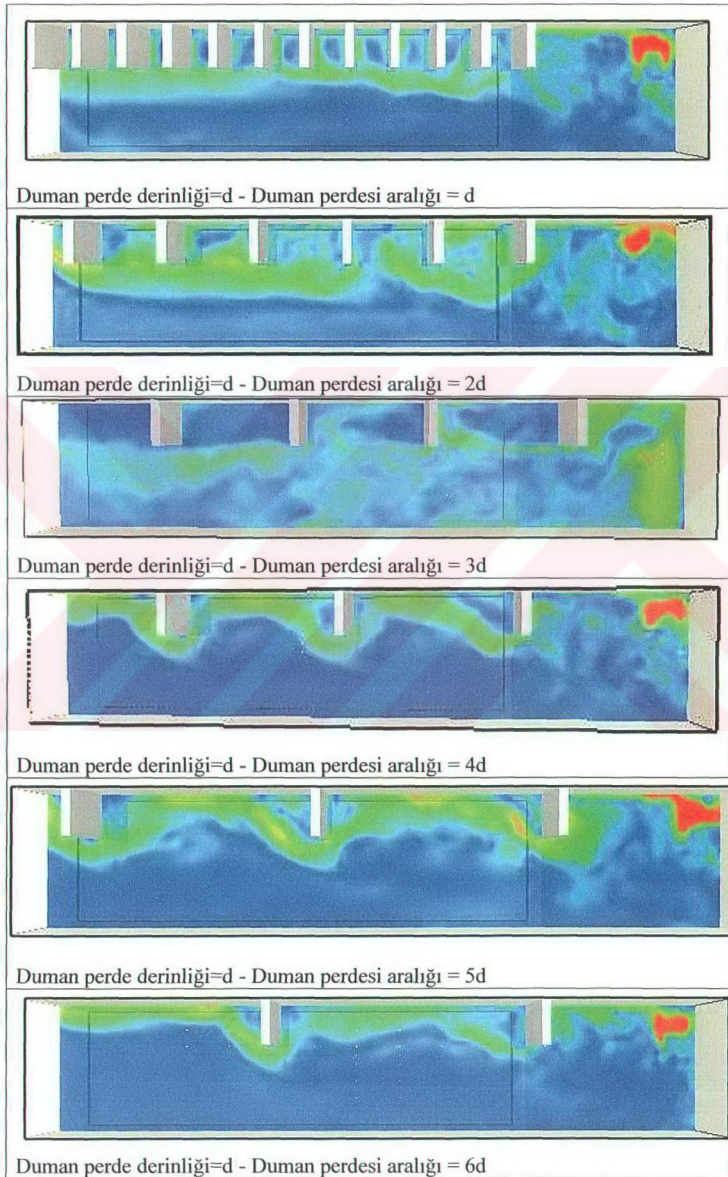
Şekil 4.12. Duman perdesi boyu ile orantılı olarak perde altında oluşan girdap bölgesi derinlikleri.

Duman perdelerinin derinliklerine (d) göre aralarında d , $2d$, $3d$, $4d$, $5d$, $6d$, $7d$ mesafe olacak şekilde konumlandırıldıklarında oluşan iz bölgeleri tablo 4.5' de toplu olarak verilmiştir.

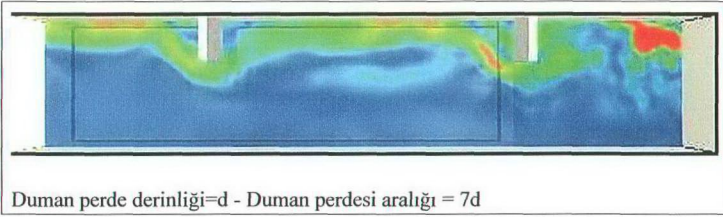
Tablo 4.5 de de görüleceği gibi; aralarında duman perdesi yüksekliği kadar mesafe bırakılarak yerleştirilen duman perdelerinde, duman hazneleri dolmadan, perde alt kotu hizasında hızlı bir duman hareketi oluşmuş, hazne içlerine sıkışan ortam havası döngüsel bir harekete girerek üst kotlarda birikmesi gereken dumanı alt kotlara ötelemiştir.

Duman perde boyunun iki katı kadar aralıkla düzenlenen duman haznelerinde perde alt kotundaki girdap bölgesi kalınlığı artmış, ilk duman perdesinden ayrılan akım çizgisi bir sonraki duman perdesini atlayarak hemen arkadaki hazneye yönelmiştir. Aradaki duman haznesinde kararsız bir akım görülmüştür.

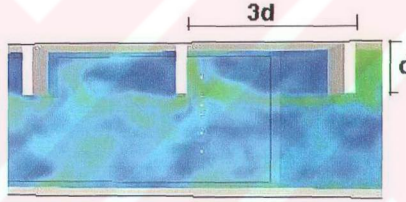
Tablo 4.5. Duman perdeleri arasındaki mesafeye bağılı olarak akım çizgilerindeki değişimler.



Tablo 4.5.(Devam) Duman perdeleri arasındaki mesafeye bağlı olarak akım çizgilerindeki değişimler



Aralarında 3d kadar mesafe bırakılarak düzenlenmiş duman perdelerinde ise ilk duman perdesinin arkasındaki duman haznesi dolmadan bir sonraki hazneye yönelen bir akım ayrışması olduğu görülmüştür. Bu durumda 3d mesafesinin kritik bir mesafe olduğu iz bölgesi sınırının bu aralıkta bulunduğu söylenebilir.

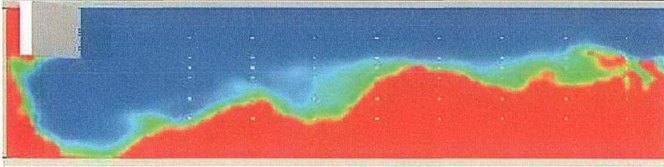


Şekil 4.13. Duman perdesi iz bölgesi sınırında bulunan diğer perdenin akım biçimlenişine etkisi.

Perde boyunun 4 katı mesafesi ile yapılan konumlandırmada iz bölgesi içinde başka bir perde olmadığından duman hazneleri içine doğru yönelen akım çizgileri hazne aralarında daha az ortam havası sıkışmasına neden olmuştur.

Perde boyunun 5-6-7 katı mesafelerde konumlandırmada da 4d mesafesine benzer sonuçlar elde edilmiş ancak 6d mesafeden sonra hazne içinde istenen düzgün doğrusal yayılmanın sağlandığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak ara tabakadaki türbülans azalmış ve tavana paralel kararlı bir akım oluşmuştur. Üst tabakadaki akım kararlı bir hal aldığından alt tabaka içine giren duman miktarı azalmıştır. Duman perdesi alt kotunda oluşan girdap bölgesi derinliği (H_c) 3d mesafeye kadar kararsız bir halde iken 4d mesafeden sonra duman perdesinin hemen alt kotunda belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Duman perdesi aralıklarının 10d , 15d ve 20d ye

çıkarılması ile elde edilen sonuçlarda ise akım çizgilerinin şekillenmesi değişmemiştir. 20d mesafede hazne içinde hareketsiz bir duman tabakası oluşmuş ve bu tabaka bir sonraki duman perdesi önünde oluşan türbülans ve azalan tavan jeti nedeni tavan hizasında ilerlemek yerine çökme eğilimi göstermiştir.



Şekil 4.14. Aralarında 20d mesafe bulunan duman perdesi önünde duman tabakasında görülen alçalma

Üst tabaka dumanının bir sonraki hazneye akmak yerine, bu derece alçalarak alt tabakayı oluşturan ortam havasına karışması kullanıcı güvenliği açısından çok sakıncalıdır. Üst tabaka dumanının alçalmasının en önemli nedenlerinden birisi de duman tabakasının azalan sıcaklığıdır.

4.5 Duman Perdelerinin Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Duman perdelerinin sıcaklık dağılımına yapacakları etki başlıca iki farklı yönde incelenebilir. Duman perdeleri ile ilgili yönetmeliklerde de değinildiği gibi perdeler tarafından oluşturulmuş duman haznesi boyutlarına göre hazne içinde biriken duman ve gaz tabakasının çok fazla ısınması veya soğuması yangın dinamiğini etkileyecek iki önemli faktördür.

Hazne çok büyük olduğunda içinde biriken hava soğuyacak ve yoğunluğunun artması nedeni ile çökmeye başlayacaktır. Bu durumun yaratacağı iki farklı tehlike vardır. Birincisi çökerek ortam havasına karışan üst tabaka dumanı, ikincisi ise duman haznesi içinde pasif yolla çalışan duman atım bacası var ise bu bacadaki çekim azalacak ve bina dışına atılması gereken duman miktarındaki azalmadır.

Hazne çok küçük olduğunda ise hazne içerisinde sıcaklık çok hızlı artacağından sıcak gaz içinde bulunan yarı yanmış mamuller için ikinci bir tutuşturma kaynağı oluşacaktır. Yangın yükü fazla olan binalarda uygulanacak derin haznelerde sıcaklık 400°C'ye çıkabilmektedir. Bu hazne içinde bulunan tüm yanıcı

malzemelerin tutuşmaları için yeterli bir ortamdır. Büyük binalarda oluşturulmuş derin duman haznelerinde, bu tip hazne içi tutuşmalar ve alevli yanmalar görülmüştür [45].

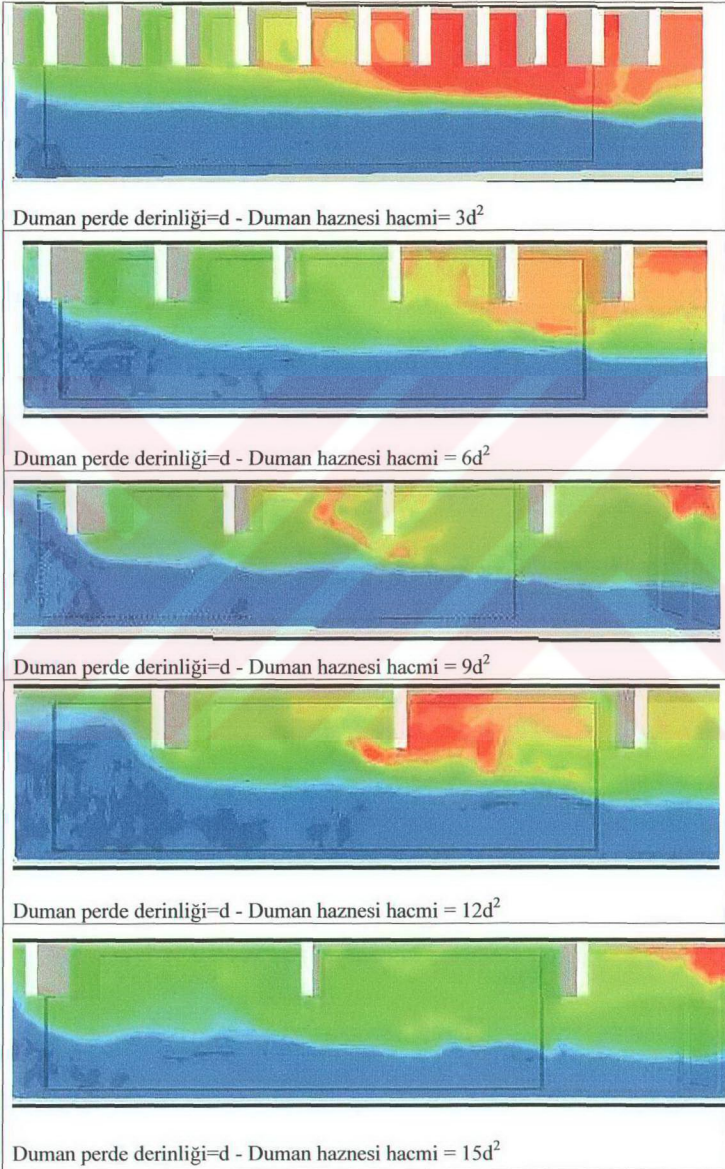
Yukarıda bahsedilen etkiler nedeni ile Alman yönetmeliklerinde perde aralarında bırakılması gereken en fazla mesafe 40 metre ile, alan ise 1600 metrekare ile sınırlandırılmıştır. İngiltere’de ise ilgili yönetmeliklere göre duman haznesi boyutları yüksek tavanlı mağaza yapılarında en fazla 1000-1300 m² depo binalarında ise en fazla 2000 m² olabilmektedir [46, s.54].

Duman perdeleri etkisinin kaçış koridoru ölçeğinde incelenmesinde, 3 metre eninde dikdörtgen kesitli koridorda, d derinliğinde duman perdelerinin d-7d kadar mesafelerde konumlandırılmaları ile oluşturulmuş farklı boyutlardaki hazne içlerinde FDS programı ile hesaplanan sıcaklık miktarları tablo 4.6’da verilmiştir.

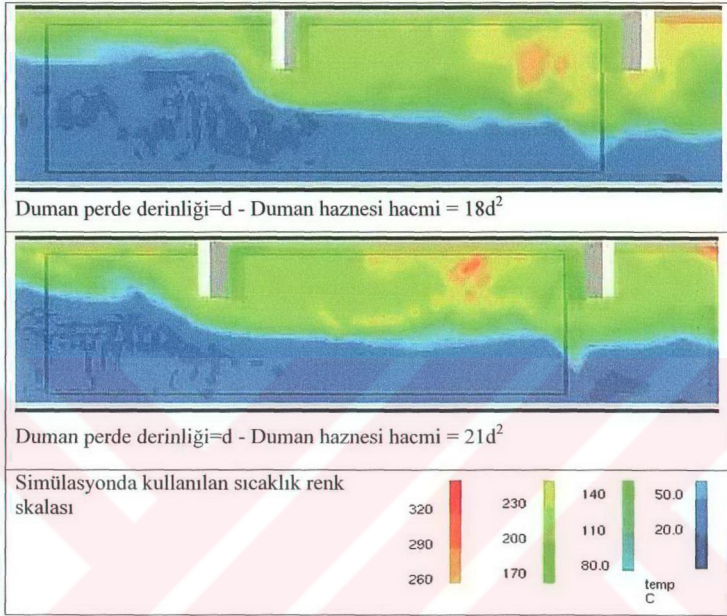
Tablo 4.6’ da görülen sıcaklık konturları; 0.5 MW gücündeki bir yangının başlangıcından 300 saniye sonra ortamda hesaplanmış sıcaklık değerlerinin birleştirilmesi ile çıkarılmıştır. Aralarında perde derinliği (d) kadar mesafe bırakılarak düzenlenmiş duman perdelerinin oluşturduğu duman haznelerinde hesaplanan sıcaklık 320°C civarında iken; mesafe 5d değerine çıktığında sıcaklığın 230°C ‘ye düştüğü görülmüştür. Duman haznesi boyu perde yüksekliğinin 6 katına çıkarıldığında sıcaklık ortalama 140°C civarlarında hesaplanmıştır.

Perde hazne boyu perde derinliğinin 7 katına çıktığında sıcaklıklar daha da azalmıştır. Yapılan modellemelerde ele alınan mekan boyutları hesaplamalarda kullanılan bilgisayar kapasitelerinin sınırlayıcılığı nedeni ile yönetmeliklerde verilen değerler kadar büyütülememiştir. Buna rağmen hazne boyutunun artması ile sıcaklığın azalacağı varsayımını doğrulayan sonuçlar alınabilmektedir.

Tablo 4.6. Duman perdeleri arasındaki mesafeye bağlı olarak değişen farklı hazne boyutlarında hesaplanan sıcaklıklar.



Tablo 4.6. (Devam) Duman perdeleri arasındaki mesafeye bağlı olarak değişen farklı hazne boyutlarında hesaplanan sıcaklıklar.



Tablo 4.6 'dan da görüleceği gibi duman perdeleri arasındaki mesafe arttıkça duman haznesi sıcaklığı belli oranlarda azalmakta, sık düzenlenmiş duman perdelerinde hazne içinde ısınan hava girdap bölgesi derinliğine inerek perde alt kotlarında da sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Kullanıcı güvenliği açısından çok büyük tehlike oluşturacak bu durum duman perdesi konumlandırılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden birisi olmalıdır.

5 ÖNERİLEN YÖNTEMİN ÖRNEK BİR PLANDA UYGULANMASI

Bir önceki bölümde verilen bilgiler ve öngörüler ışığında hazırlanacak birebir ölçekli bir deney düzeneği üzerinde öngörülen ve gerçekleşen olayları görüp yorumlamak doğru sonuca varmamızı sağlayacaktır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi masraflı ve zor olan bu yöntemin yerini günümüzde çeşitli modelleme programları almıştır. Çalışmanın bu bölümünde bu tip programlardan biri olan CFD bazlı Fire Dynamics Simulator (FDS) programı ile yapılan modelleme ile 4. bölümde önerilen şekilde uygulanan duman perdelerinin genel yangın dinamiğine etkisi araştırılmış ve sonuçlar verilmiştir [53].

FDS modelleme sonuçlarının 3 boyutlu model olarak görülmesi amacı ile FDS program çıktılarını 3 boyutlu canlandırmalara çeviren Smokeview adlı farklı bir program kullanılmıştır. FDS girdi dosyasında hesaplanacak parametreler olarak verilen tüm değerler ve mekan geometrisi smokeview ile şekillendirilmiş karşılaştırmalı grafikler ise Microsoft Excel programı ile yapılmıştır.

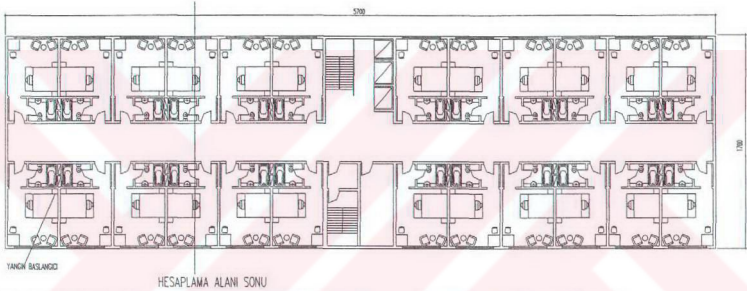
Biri yangının başladığı oda, diğeri bu odaya bağlı, kaçış yolu olarak kullanılacak koridor olmak üzere iki ayrı mekandan oluşan bir plan tipi seçilmiştir. Böylece temel problem olan, dumanın yangının başladığı odayı doldurma süresi bu süre sonunda, yangın mekanından kaçış koridoruna hareketi ve koridorda uygulanan duman perdelerinin duman hareketine etkisi incelenebilmiştir.

5.1 Mekana Ait Bilgiler

Modellemede kullanılacak mekan, yangın açısından riskli sınıfına giren otel plan tipleri arasından seçilmiştir. Seçilen tipik otel katlarında 24 adet oda bulunmaktadır. Her kattaki kullanıcı sayısı odaların 2 kişilik olduğu ve her katta en fazla 4 odaya yatak ilave edilebileceği düşünülerek 52 kişi/kat olarak kabul edilmiştir. Otel katında kaçış merdivenine en uzak odanın 30 metrelik kaçış uzaklığına (travel distance) sahip olduğu varsayılmıştır. Yangın tek bir noktadan

başlatılmış ve yangın başlangıcından sonra koridor doğrultusunda yayılacak olan duman hareketinin ve duman perdelerinin bu harekete etkisinin görülebilmesi için yangının başladığı mekan olarak koridor sonundaki oda seçilmiştir. Böylece sanal ortamda yaratılan yangının üreteceği dumanın koridor içinde, kaçış merdivenine doğru takip edeceği mesafe 30 metreye çıkarılmıştır.

Hesaplamaların yapıldığı 30 metrelik koridor sonunda mekan içinde kullanılan duman perdeleri ile aynı boya sahip bir perde olacağı ve perdenin alt kısmından dış ortam havası ile bağlantılı başka bir mekana akış olacağı düşünülerek, bölüm 4'te bahsedilen ve $t_{kayıp}$ süresinde oluşacak duman tabakası kalınlığı olan M değeri bu son duman perdesinin alt hizasına eklenerek doluş süresi hesapları yapılmıştır.



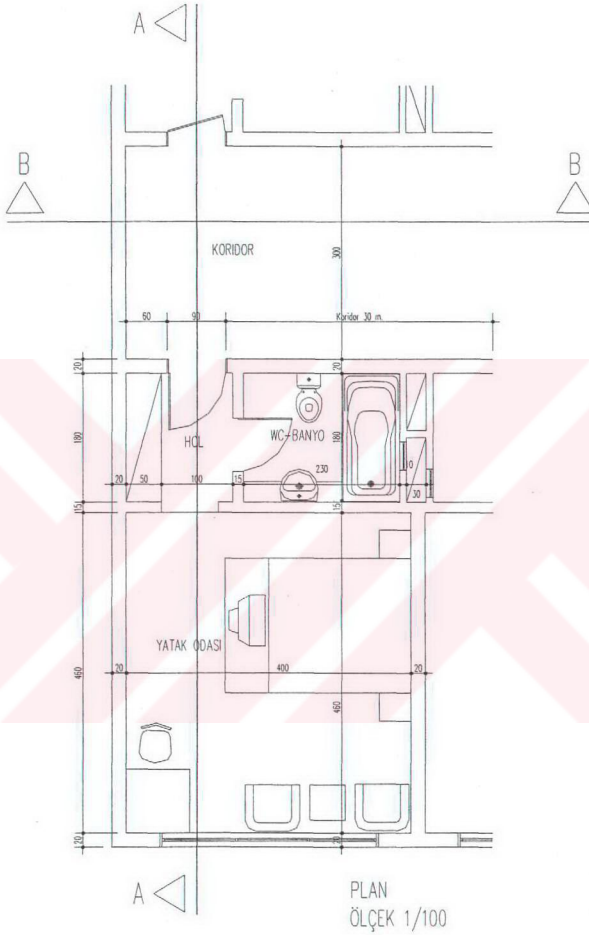
Şekil 5. 1. Ele alınan otel binasının tipik kat planı ve örnekleme için seçilen oda

5.1.1 Mekan Geometrisi

Yangının başladığı mekan olarak düşünülen otel odası 4.60 metreye 4.00 metrelik yatak bölümü ve koridor tarafında 1.80 x 2.30 metrelik bir banyo-wc ile 1.50 metreye 1.80 metrelik holden oluşmaktadır. Oda ve koridor bağlantısını sağlayan kapı 2.2 x 0.9 m. boyutlarındadır. Kat yüksekliği hesaplama değeri olarak 3.5 metre alınmıştır.

Odanın ön cephesinde kenarlardan 50 cm uzaklıkta 1.7 m. yüksekliğinde 3.0 m eninde tüm cephe boyunca bir pencere bulunmaktadır. Ancak simülasyon sırasında oluşan dumanın koridora akması istendiğinden yangın anında pencerenin açılmayacağı ve birleşim yerlerinin sızdırmaz olduğu kabul edilmiştir. Simülasyonda kalıcı yangın yükünü oluşturan tefriş malzemesi olarak oda içerisine, iki koltuk, bir adet sehpa, bir adet 80/60'lık çalışma masası, bir adet yatak ve yatak bazası, halı, iki adet komidin, bir adet televizyon ve televizyon

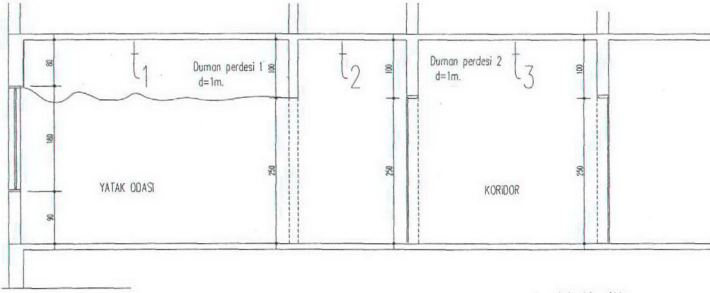
dolabı, bir adet elbise dolabı yerleştirilmiştir. Odanın yatma mekanını koridora bağlayan hol ile yatma mekanı arasında kapı bulunmamaktadır.



Şekil 5. 2. Ele alınan otel binasının tipik oda planı.

Şekil 5.2.'de plan şeması verilen tipik otel odası, FDS ile hesaplamaların yapılabilmesi için yatak bölümü 0.1m. x 0.1m.x 0.1 m. boyutlarında 110880 küp şeklinde kutucuğa bölünmüştür. Koridor ise aynı boyutlarda 168000 kutucuğa ayrılmıştır. Tüm hesaplama alanı toplam 278880 adet hesaplama küpünden

oluşmaktadır. Koridor ve odanın hücresel yapısı ve tefriş malzemelerinin tanımlandığı Fortran programlama dili ile yazılmış data dosyası örneği ekler bölümünde verilmiştir.



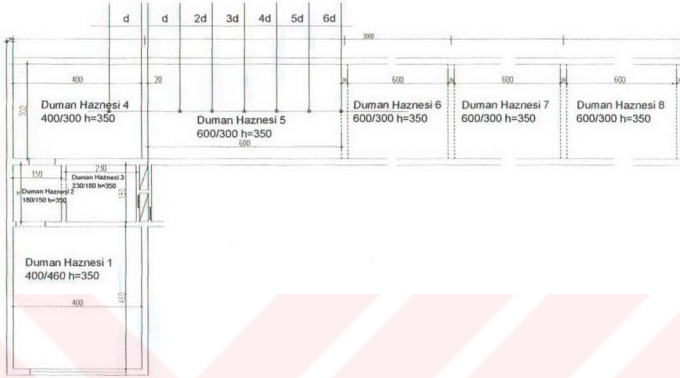
AA Kesiti
ÖLÇEK 1/100

Şekil 5.3. Ele alınan otel odası kesiti.

Programın 10/10/10'luk hücresel yapısına uyması amacı ile mekan içinde kullanılan tüm tefriş malzemeleri ve mimari öğeler, minimum hücre boyutuna uyacak şekilde boyutlandırılmış ve ızgara yapısına uyması açısından dairesel köşeler dik açılı hale getirilmişlerdir.

Yatma mekanı ile hol bölümü arasında tavandan bir metre sarkan bir duman perdesi öngörülerek 4/4.8 boyutlarında ve 1 metre derinliğinde ilk duman haznesi oluşturulmuştur. Odanın hol bölümü 1.5/1.80 boyutlarında ikinci duman haznesi, banyo mekanı 2.8/1.8 boyutlarında üçüncü duman haznesi olarak düşünülmüştür. Odadan koridora çıkıldığında ilk duman perdesine kadar olan mesafe 4.0/3.0 boyutlarında dördüncü duman haznesi, ve daha sonra derinliğinin 6 katı mesafelerde yerleştirilmiş duman perdelerinin oluşturduğu duman hazneleri de sırası ile 5., 6., 7. ve 8. duman haznesi olarak kabul edilmiş hesaplamalar buna göre yapılmıştır. İlk duman haznesi içerisine Şekil 5.3 'te görülen şekilde duman perdesi arka orta aksına d, 2d, 3d, 4d, 5d, 6d mesafelerde ve duman perdesi önünde d mesafesinde olmak üzere 7 farklı noktaya 6 farklı yükseklikte toplam 42 adet hesaplama noktası yerleştirilerek bu noktalarda yaklaşık 0.33 saniyede bir, zamana bağlı değişen hız ve sıcaklık hesaplamaları yapılarak kayıt edilmiştir. Mekan içerisine yerleştirilen hesap noktalarının yerden yükseklikleri sırası ile aynı doğrultuda 1.2 m., 1.6 m., 1.8 m., 2.5 m., 2.6 m., 2.7 m. olacak şekilde

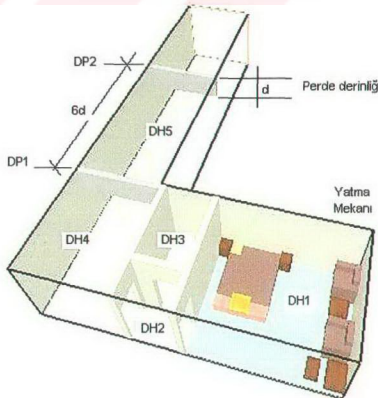
düzenlenmiştir. 2.5 metre yükseklikteki hesaplama noktası ile duman perde alt kotunda 2.6 ve 2.7 metre yükseklikteki hesaplama noktası ile perde iz bölgesindeki hız ve sıcaklıklar hesaplanabilmektedir.



Şekil 5. 4. Modelleme alanı içerisindeki sanal ölçüm düzeneği.

FDS programı yardımı ile duman doluş süreleri hesaplanacak mekan, mekandaki mobilyalar, koridorun bir bölümü ve hız hesaplamalarının yapıldığı beş numaralı duman haznesine ait veriler Smokeview adlı programa girildiğinde oluşan üç boyutlu model Şekil 5.5 'te verilmiştir.

NIST Smokeview 3.1 - Apr 9 2003



Şekil 5. 5. Kaçış koridoru, oda ve tefriş malzemelerinin üç boyutlu modeli.

5.1.2 Malzeme Seçimi

Sonuçların gerçekçi olabilmesi için gerekli özellikleri iyi tanımlanmış ve deneysel olarak kanıtlanmış olan malzemelerin kullanımı birinci şarttır. Malzeme seçenekleri sınırlı olmasına rağmen deneyler ve araştırmalar sürdüğü süreçte modellemelerde kullanılacak malzeme sayısı artmaktadır.

Otel odasında tüm duvarların duman üretimine katkıda bulunmayan alçı sıvalı olduğu varsayılmış, duman perdeleri ise tavandan sarkan 20 cm. kalınlığında betonarme olarak düşünülmüştür.

Oda içerisindeki mobilyaların malzemeleri ve boyutları tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Mobilya Malzeme ve Boyutları

Mobilya	Adet	Malzeme	Boyut (en/boy/yükseklik)m.
Komidin	2	Meşe	0.4/0.4/0.6
Yatak Bazası	1	Çam	1.8/2.0/0.2
Masa	1	Meşe	0.8/0.6/0.2
Sehpa	1	Meşe	0.6/0.6/0.2
Sandalye	1	Meşe	0.6/0.6/0.2
Televizyon	1	Meşe/plastik	0.4/0.4/0.6
Televizyon Dolabı	1	Çam	0.4/1.8/0.4
Yatak	1	Kumaş-Sünger	1.8/2.0/0.2
Koltuklar	2	Döşemelik Kumaş,Sünger,Ahşap	1.0/0.8/0.6
Halı	1	Sentetik	4.0/4.9/0.0

5.1.3 Malzeme Özellikleri

Modellemede kullanılan malzemeler NIST (National Institute of Standards and Technology) tarafından denenmiş ve termo-fiziksel özellikleri birebir deneyler sonucunda saptanmış malzemeler arasından seçilmiştir [50]. Beton ve betonarme malzeme özellikleri ile hücresel yapıda plastik malzemelere ait özellikler Quintiere ve McCaffrey tarafından yapılan deneylerden alınmıştır [54, s.200]. Aynı şekilde Heskestad ve Hill tarafından yapılan birçok seri deney sonucunda malzemelerin duman çıkarma özellikleri CO, CO₂, ve O₂ konsantrasyonları ile yanma sonucunda çıkan dumanın bazı optik özellikleri alınmıştır. Heskestad ve

ekibinin deneyleri konu ile ilgili yapılan işler bölümünde ayrıca açıklanmıştır [37].

Program girdi dosyasında malzemelerin termo-fiziksel özellikleri dışında malzemenin kimyasal yapısına (stokiyometri) göre değişen yanma reaksiyonları da deneylerden alınmış sonuçlara göre girilmiştir. Mekanda bulunan ahşap malzemelerin özellikleri Hostikka tarafından yapılan araştırmalardan alınmıştır [55, s.101].

Oda içerisindeki tefriş malzemelerinin ısı özellikleri tablo 5.2’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 5. 2.Malzemelerin Isıl Özellikleri

Malzeme	Tutuşma Sıcaklığı (° C)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Isıl Yayılm (m ² /s)	Yanma Isısı
Betonarme	-	1	0.0000057	-
Alçı panel	400	0.14	0.0000041	-
Meşe	340	0.17	0.00000089	13000
Çam	390	0.14	0.00000083	12044
Döşemelik kumaş	280	-	-	30000
Halı	280	-	-	20000

5.2 Duman Perdelerinin Etkilerinin Belirlenmesi

Modellemede kullanılan mekanda hacimlerin duman doluş süreleri ve deney düzeneği içerisine yerleştirilmiş ölçüm noktalarında yangın başlangıç noktasından uzaklığa ve yüksekliğe bağlı olarak sıcaklık ve hız hesaplamaları yapılarak kullanılan duman perdelerinin söz konusu parametrelere etkileri incelenecektir. Söz konusu parametreler dışında, oksijen oranlarındaki değişiklikler ve varsayılan alev hareketlerine ilişkin örnekler eklerler bölümünde verilecektir. Bu bölümde karşılaştırma amacı ile yangın başlangıcından 240. saniyeye kadar 30 saniye aralıkla, oda içinde ve koridor doğrultusunda hesaplanan sıcaklık değişimleri verilecektir.

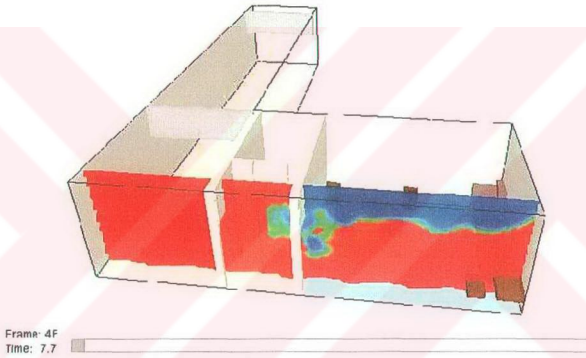
5.2.1 Duman Doluş Sürelerinin Belirlenmesi

Yangın başladıktan sonra duman dolacak ilk bölüm olan yatak mekanı ilk duman haznesi olarak düşünüldüğünde 4.12 numaralı formül ile doluş süresi

hesaplanabilir. Giriş holü ile yatma mekanı arasındaki ilk duman perdesi yüksekliği (d) 1 metre alındığında hesaplanan dolma süresi;

$$t_{DH1} = \frac{20(ZY)}{Pg^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{(h-d)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{h^{\frac{1}{2}}} \right] = \frac{20(4 \times 4.6)}{4 \times 9.81^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{(3.5-1)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{3.5^{\frac{1}{2}}} \right] = \quad (5.1)$$

2.877 saniye bulunur. Aynı hesaplama FDS programı ile yapıldığında; 6. saniyede duman alt kotunun duman perdesinin alt hizasına indiği görülmüştür. 7. saniyede ise hol mekanına başka bir deyişle duman haznesi 2'ye duman dolmaya başlamıştır.



Şekil 5. 6. Smokeview programı ile görsel hale getirilmiş 7.7. saniyedeki duman hareketi.

Giriş holü ve sırasıyla diğer duman haznelerinin duman dolma süreleri 4.12 numaralı formül ile hesaplandığında sırası ile aşağıdaki sonuçlar çıkmaktadır.

t_{DH1} =2.877 saniye –Yatak mekanının doluş süresi.

t_{DH2} =0.602 saniye –Hol mekanının doluş süresi.

t_{DH3} =0.923 saniye –Banyo-WC mekanının doluş süresi.

t_{DH4} =1.876 saniye –Koridordaki ilk duman haznesinin doluş süresi.

t_{DH5} =2.814 saniye –Koridordaki ikinci haznenin doluş süresi.

t_{DH6} =2.814 saniye – Koridordaki üçüncü haznenin doluş süresi.

$t_{DH7}=2.814$ saniye – Koridordaki dördüncü haznenin doluş süresi.

$t_{DH8}=2.814$ saniye – Koridordaki son haznenin doluş süresi.

Farklı haznelerin doluş süreleri 4.13 numaralı formülde yerine konduğunda Şekil 5.3'te görülen mekanın toplam doluş süresi;

$$t_{\text{top(DH)}} = t_{DH1} + t_{DH2} + t_{DH3} + \dots + t_{DH(n+1)}$$

$$t_{\text{top(DH)}} = 2.877 + 0.602 + 0.923 + 1.876 + 2.814 + 2.814 + 2.814 + 2.814 = 17.534 \text{ sn.}$$

olarak hesaplanacaktır.

Duman haznelerinin kullanılmadığı durumda hesaplama yapıldığında yatak bölümü, hol ve banyo-wc 'den oluşan $t_{DH1}=2.877$ saniye, $t_{DH2}=0.602$ saniye, $t_{DH3}=0.923$ saniye değerleri değişmeyecek ancak 5 ayrı duman haznesinden oluşan koridor mekanının doluş süresi aşağıdaki bağıntıda gösterildiği şekilde değişecektir.

$$t_{\text{Koridor}} = \frac{20(30 \times 3)}{4 \times 9.81^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{1}{(2.5)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(3.5)^{\frac{1}{2}}} \right] = 14.0704 \text{ sn.}$$

$$t_{\text{top}} = t_{DH1} + t_{DH2} + t_{DH3} + t_{\text{koridor}} = 2.877 + 0.602 + 0.923 + 14.0704 = 18.472 \text{ sn.}$$

Hesaplama sonuçlarından anlaşıldığı gibi duman perdesi olmayan mekanın doluş süresi daha az çıkmaktadır. Bu durumda 4.3 numaralı bölümde bahsedilen $t_{\text{kayıp}}$ süresi iki sürenin farkı olacaktır. Söz konusu süre 4.14 numaralı bağıntı ile hesaplandığında;

$$t_{\text{kayıp}} = t_{\text{top}} - t_{\text{topDH}} = 18.472 - 17.534 = 0.9 \text{ sn.}$$

iki doluş süresi arasında 0.9 saniye fark bulunmuş olur. Bu süre içerisinde koridorda oluşacak ek duman tabakası kalınlığının (M) bulunabilmesi için 4.15 numaralı bağıntıda değerler yerine konularak; $t_{kayıp}$ süresinde (0.9 sn.) oluşacak duman tabakasının yerden yüksekliğinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$y = \frac{400A^2h}{t^2p^2gh + 40Atpg^{\frac{1}{2}}h^{\frac{1}{2}} + 400A^2} =$$

$$= \frac{400(30 \times 3)^2 3.5}{0.9^2 \times 4^2 \times 9.81 \times 3.5 + 40(30 \times 3) \times 0.9 \times 4 \times 9.81^{\frac{1}{2}} \times 3.5^{\frac{1}{2}} + 400(30 \times 3)^2}$$

$$= 3.4194 \text{ m.}$$

Hesaplama sonucu 3.5 m. yüksekliğindeki mekanda 0.9 saniyelik bir zaman dilimi içerisinde yaklaşık 3.41 m. kotuna kadar inen bir duman birikmesi olacağı görülmüştür. Böyle bir duman tabakasının kalınlığı mekan yüksekliğinden y mesafesi çıkarılarak bulunduğunda 0.09 metre değeri çıkmaktadır.

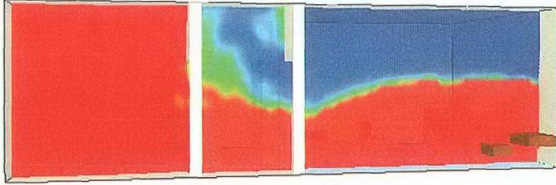
$$M = 3.5 - 3.41 = 0.09 \text{ m.}$$

Hesaplama sonuçlarından anlaşılabileceği gibi, mekan alanı içerisinde kullanılan beş adet duman perdesi, kendi hacimlerinden dolayı ara duman tabakasını 9 cm. aşağıya itmişlerdir. Dolayısı ile son duman perdesi boyu veya kaçış merdivenine açılan kapının lento alt hizası diğer duman perdesi alt hizalarından 9 cm. daha aşağıda yapılmalıdır.

FDS programı ile programın ızgara yapısı gereği 9 cm. yüksekliğindeki bir farklılaşma gösterilemese bile doluş süreleri karşılaştırıldığında yapılan sadeleştirmelere rağmen daima güvenli tarafta kalındığı görülmüştür. FDS programı ile elde edilen duman hareketi ve doluş süreleri tablo 5.3 'te verilmiştir.

FDS ile hesaplanan doluş süreleri de Aset-B ve Cfast programları gibi önerilen hesap yöntemi ile hesaplanandan fazla çıkmıştır. Bu nedenlerden dolayı hesaplanan $t_{kayıp}$ süresi içindeki duman ara tabakası yüksekliği (y), duman üretim formülünden türetilen 4.15 numaralı bağıntı ile hesaplanmalıdır. Benzer hesaplamalar yapan diğer formüller yapılarındaki farklılık nedeni ile farklı sonuçlar verebilirler.

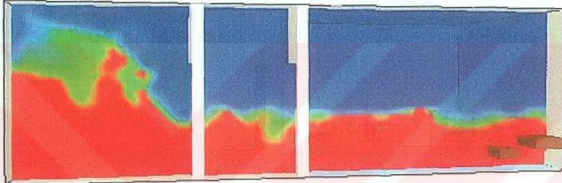
Tablo 5. 3.FDS programı ile hesaplanan doluş süreleri



Frame: 129

Time: 21.5

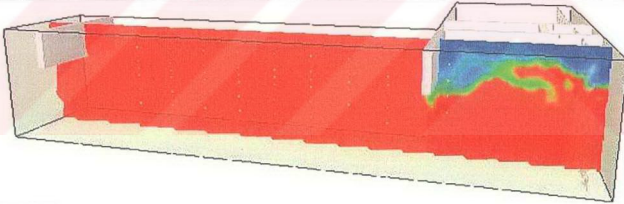
Smokeview programı ile görsel hale getirilmiş 21.5. saniyedeki duman hareketi
Giriş holünün duman doluşu için hesaplanan değer 4.4 sn.



Frame: 278

Time: 46.3

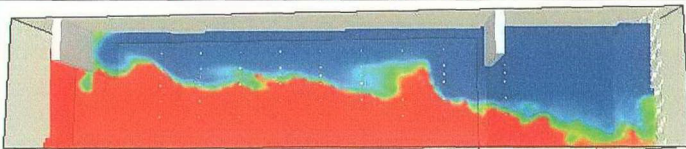
Smokeview programı ile görsel hale getirilmiş 46.3. saniyedeki duman hareketi



Frame: 295

Time: 49.2

Smokeview programı ile görsel hale getirilmiş 49.2. saniyedeki duman hareketi
Duman haznesi 4'ün duman doluşu için hesaplanan değer 6.3 sn.



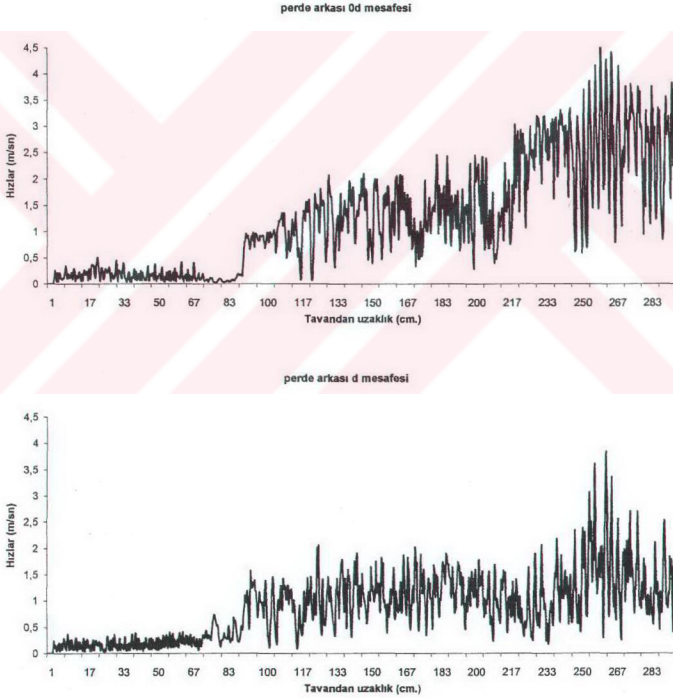
Frame: 573

Time: 95.5

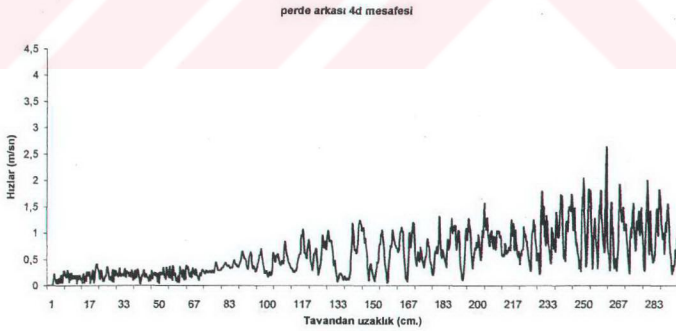
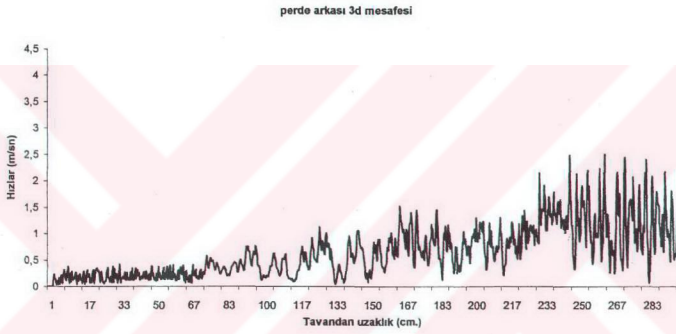
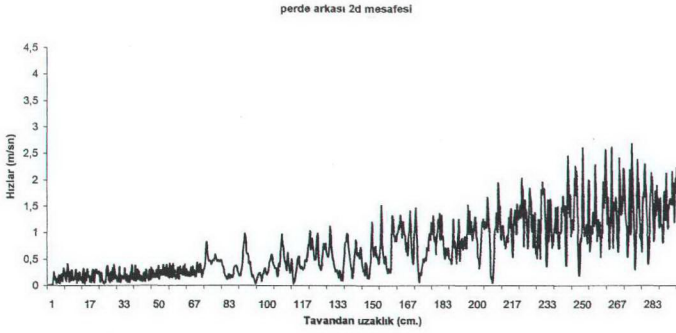
Smokeview programı ile görsel hale getirilmiş 95.5 saniyedeki duman hareketi
Duman haznesi 5'in duman doluşu için hesaplanan değer 9.11 sn.

5.2.2 Duman yayılma hızının belirlenmesi

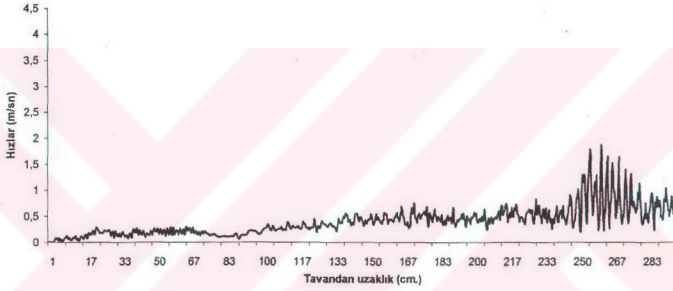
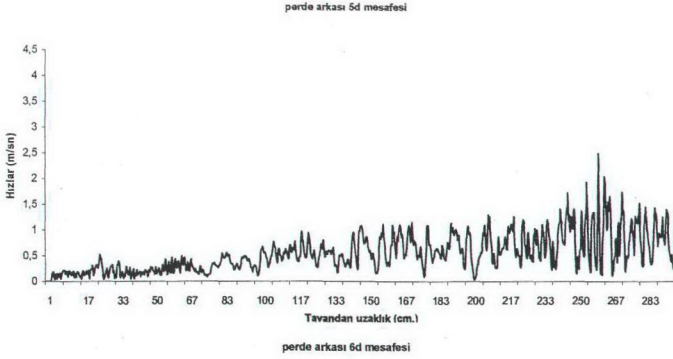
Tanımlanan mekan içerisinde yangın tarafından oluşturulan hava akımı hareketinin hızı, 4. bölümde bahsedilen ve rüzgar tüneli yardımı ile yapılan ölçüm düzeneğinin bir benzerinin modellenen koridor mekanı içerisinde sanal olarak kurulup; FDS programı yardımı ile belirlenen noktalarda yapılan hesaplamalarla ortaya çıkarılmıştır. Hesap noktaları ilk duman perdesi arkasında duman perdesi yüksekliğinin 0 - 6 katı kadar mesafelerde olacak şekilde seçilmiştir. Engel etkisi olmayan bir nokta olması açısından duman perdesinin aksından d mesafesi kadar önde olan bir noktada da hesaplama yapılmıştır. Hesaplama sonuçları Şekil 5.7-Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da toplu halde verilmiştir.



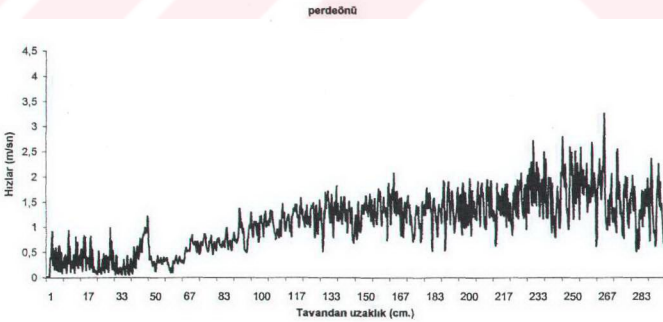
Şekil 5. 7. Duman perdesinin hemen arkasında ve d uzaklığında hesaplanan hız değerleri.



Şekil 5. 8. Duman perdesinin arka aksında 2d-3d-4d uzaklıklarda hesaplanan hız değerleri.

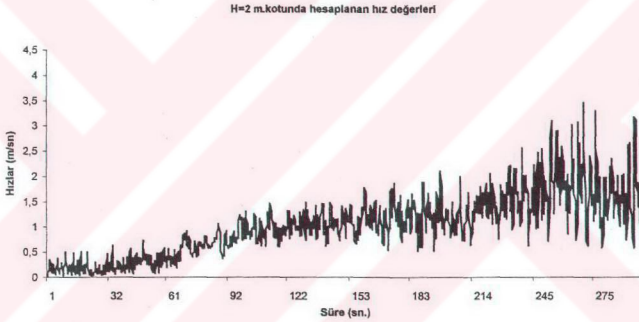


Şekil 5. 9. Duman perdesinin arka aksında 5d ve 6d uzaklıklarda hesaplanan hız değerleri.



Şekil 5. 10. Duman perdesinin önünde d uzaklığında hesaplanan hız değerleri.

Hız profillerinden de anlaşılabacağı gibi yangın mekanından uzaklaştıkça hızlarda genel bir azalma görülmektedir. Özellikle 5-6d mesafede hesaplanan duman haznesi içindeki hızlar ile perde alt kısmındaki hızlar birbirlerine çok yakın çıkmışlardır. Duman perdesine yakın yerlerde 3d mesafeye kadar perdenin engel etkisi net bir düşmeye neden olurken 3d mesafeden sonra, daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi perde etkisi azalmıştır. Yukarıdaki hızlar yangın başlangıcından 120 saniye sonra hesaplanmış hızlardır ve ilerleyen zaman içinde yangın büyüdükçe artan reaksiyon hızı ile orantılı olarak hava akımı hızında da artış görülecektir. Koridor bölgesinde 2 metre yükseklikte yangının ilk 10 dakikasında zamana bağlı olarak hesaplanan hız değişimleri Şekil 5.11’de verilmiştir. Yangına etki eden rüzgar hızı 0 m/sn. olarak kabul edilmesine rağmen görüldüğü gibi rüzgar etkisi olmadan 4m/sn düzeyinde hız hesaplanmıştır.

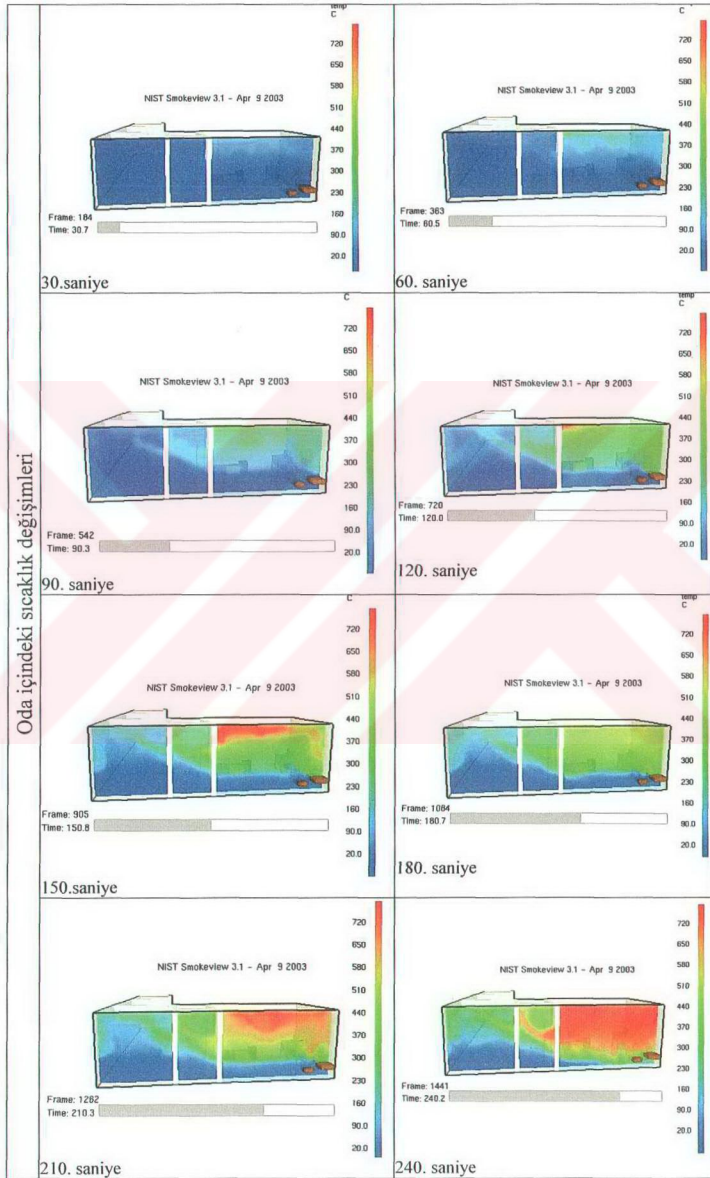


Şekil 5. 11. Koridor orta aksında ilk 300 saniye içerisinde hesaplanan hızlar.

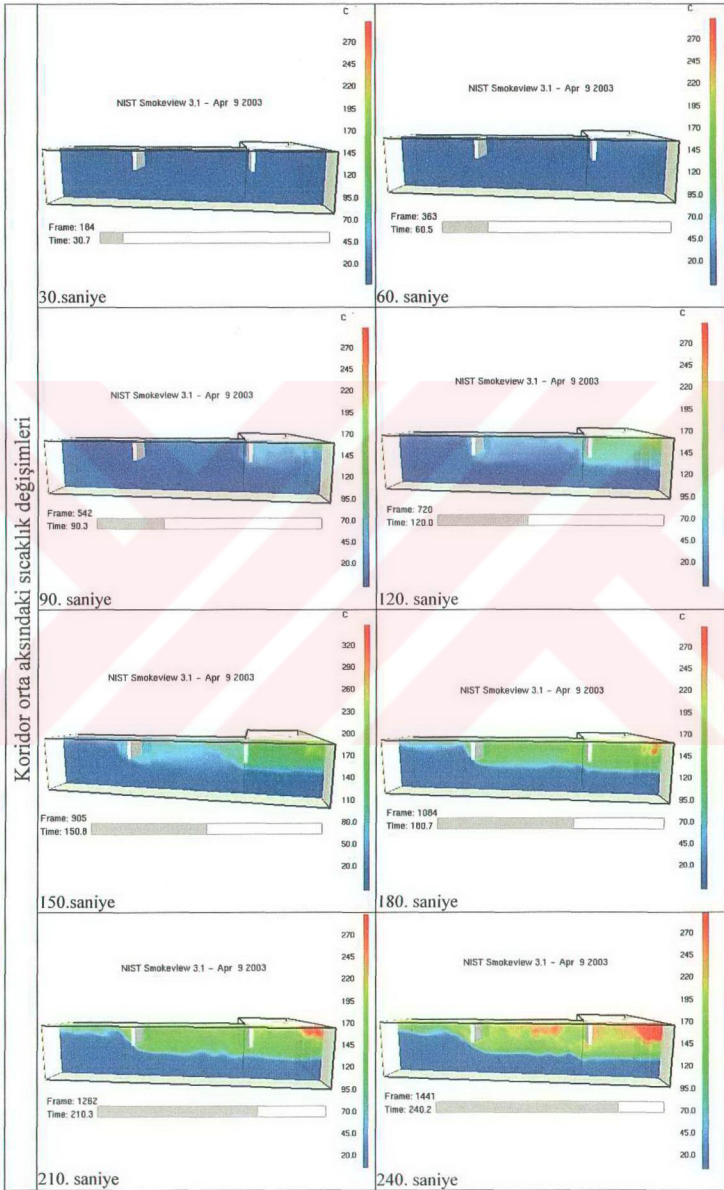
5.2.3 Sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi

Yangın başlangıcından itibaren 30 saniye aralıklarla 240. saniyeye kadar oda içinde ve koridor doğrultusunda FDS programı ile yapılan sıcaklık hesaplamaları sonuçlarına göre smokeview programı ile hazırlanmış sıcaklık eğrileri grafikleri tablo 5.4 ve 5.5 ‘te toplu halde verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi ilk duman haznesi olarak hesaplanan yatma bölümünde 60.saniyeden itibaren tavan bölgesi sıcaklığı 160 °C ‘ye ulaşmış ve 240. saniyede 500 °C ‘nin üzerine çıkmıştır. Aynı anda yan hazne (hol bölümü) içi sıcaklıkları 300 °C civarlarında hesaplanmıştır.

Tablo 5. 4.FDS programı ile oda içerisinde hesaplanan sıcaklık eğrileri.



Tablo 5. 5.FDS programı ile koridor orta aksında hesaplanan sıcaklık eğrileri.



Koridor orta aksındaki sıcaklık değişim eğrileri incelendiğinde; yatak bölümü ve hol bölümündeki hazne içi hesaplanan sıcaklıklarının 200 °C'nin üzerine çıktığı ilk 60 saniye boyunca koridorda değişim olmadığı görülmüştür. Başka bir deyişle oda içinde bulunan üç duman haznesi sıcak gazların doğrudan koridora geçişini 60 saniye geciktirmişlerdir. Koridorda 120. saniyede, ilk duman haznesinde hesaplanan değerler 120 °C' nin üzerinde iken ikinci haznede ortam sıcaklığı olarak verilen 20 °C ye çok yakın değerler hesaplanmıştır. Oysa duman perdesi kullanılmayan alternatifte koridora ilk ısı akışı başlangıcı olan 70.saniyeden 20 saniye sonra tüm koridor boyuca hesaplanan tavan sıcaklıkları 100 °C civarlarına ulaşmış 120. saniyede aynı noktada yapılan hesaplama sonucu 250-300 °C arasında çıkmıştır.

5.3 Hesaplama Sonuçları

Hesaplama yapılan modelde 1 m. yüksekliğindeki ve 6 m. aralıkla yerleştirilmiş duman perdeleri ile oluşturulmuş 5 numaralı duman haznesi içerisinde yapılan hız hesaplamaları sonuçları 4. bölümde bahsedilen iz bölgesi oluşması ile uyum sağlamıştır. Perde arkasından 3m. uzaklıktan sonra 1. ve 2.m.'lerde açıkça görülen engel etkisi kaybolmuş, 5. ve 6. metrelerdeki hesaplamalar ile oluşturulmuş hız profillerinde üstellik azalmıştır. Yangın kaynağından uzaklaştıkça tavan jet hızında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Önerilen yöntem ile yapılan doluş süresi hesabında 30m.x 3m.'lik koridorun tavanında 1 m. kalınlığında duman oluşması 14.704 sn. sürerken 5 hazneden oluşan koridorun doluş süresi 13.132 sn. olarak hesaplanmıştır.

Duman perdeli alternatiflerde perde alt kotu olan 2,5 metrenin üzerindeki kotlarda yapılan hesaplamalarda ilk duman perdesinin yangın kaynağı tarafında kalan bölümünde sıcaklıkların %1-4 oranında arttığı, kaçış doğrultusu tarafında ise %1-3 arasında azaldığı görülmüştür. Yangın kaynağına en uzak duman perdesi arkasında 2.80 m. yükseklikte ilk 300 saniye boyunca yapılan hesaplamalarda sıcaklıktaki azalma %75-52 arasında çıkmıştır.

Sonuç olarak duman perdelerinin duman doluş süresine yaptığı olumsuz etki bu ölçekte önemsenemeyecek kadar az olmasına rağmen tavan sıcaklıklarında ilk saniyelerde önemli azalma sağlamışlardır.

6 SONUÇ

Yangın anında kullanıcı güvenliği açısından kaçış yollarına duman ve zehirli gazların dolması, bu tip mekanlarda sıcak gaz girişine bağlı olarak ortam sıcaklığının artması tehlikeli ve istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzluğu aktif ve pasif sistemler kullanarak engellemek ya da bu mekanlara sızmış insan sağlığı açısından tehlikeli olan yanma ürünlerinin hareket hızını yavaşlatarak kaçma süresini uzatmak gereklidir.

Bu amaç doğrultusunda kullanılan pasif yöntemlerden birisi olan tavandan sarkıtılan duman perdeleri uygulanmasının genel yangın dinamiğine etkisinin incelenmesinin yapıldığı bu çalışmada elde edilen bulgular sonucunda varılan genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Herhangi bir mekanda duman perdeleri kullanılarak oluşturulan tüm duman haznelerinin perde yüksekliği (d) kalınlığında duman ile dolma süresi, aynı mekanın d kalınlığında duman ile dolma süresinden daha kısa olmaktadır.

$$t_{top(DH)} = t_{DH1} + t_{DH2} + t_{DH3} + \dots + t_{DH(n+1)} < t_{duman\ perdesiz}$$

- Bu sürenin hesaplanarak geri kazanılması gerekmektedir.

$$t_{duman\ perdesiz} - t_{top(DH)} = t_{kayıp}$$

- Kaybedilen süre zarfında oluşacak duman alt tabakasının yüksekliği ($y_{kayıp}$) süre hesabında kullanılan bağıntı ile hesaplanmalı ve duman kalınlığı (M) bulunmalıdır. Duman perdeleri uygulanan mekana komşu herhangi bir hacme doğru duman akışının daha erken başlamaması için bu mekana ait kapı boşluğunun lento alt hizası, duman perdesi alt hizasından hesaplanan kalınlık (M) kadar aşağıda olmalıdır.

$$M = h - y_{tkayıp}$$

$$d_{son} = d + M$$

- Duman perdelerinin aralarında bırakılan mesafe tavan jeti ile taşınan duman hareketini olumlu veya olumsuz etkileyebileceği için oldukça önemlidir. Bu mesafe perde yüksekliği (d) ile orantılı olarak hesaplanmalıdır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre;

Aralarında duman perdesi yüksekliği d kadar mesafe bırakılan duman perdelerinde duman hazneleri dolmadan perde alt kotu hizasında duman hareketi oluşmuş, haznelerde sıkışan ortam havası duman tabakasını aşağıya itmiştir.

Aralarında 2d mesafe bırakılan duman perdelerinde duman aradaki hazneyi bypass geçerek bir sonraki hazneye yönelmiş aradaki duman haznesinde bir miktar ortam havası sıkışmıştır.

3d mesafe ile konumlandırılan perdelerde ilk duman perdesinin arkasındaki hazne ile aynı anda bir sonraki hazneye doğru da bir akım ayrışması görülmüştür.

4d mesafe ile konumlandırılan perdelerde de 3d mesafe ile konumlandırılana benzer bir hareket görülmüş ilk duman perdesinin arkasındaki hazne ile aynı anda bir sonraki hazneye doğru da bir akım ayrışması görülmüştür.

5d mesafe ile konumlandırılan perdelerde hazne içindeki akım laminar hale gelmeden bir sonraki perde ile karşılaşmış dolayısı ile çalkantılı bir duman tabakası oluşmuştur.

Mesafe 6d'ye çıkarıldığında akım kararlı bir hal alarak hazne içinde istenen düzgün yayılma sağlanmıştır. Bu nedenden dolayı düzenlenen duman perdeleri arasında en az 6d kadar mesafe bırakılması uygun olmaktadır.

- Duman perdeleri arasındaki mesafe arttıkça tavan yüzeyindeki sürtünme kuvveti akış doğrultusundaki tavan jeti hızını azaltacak ve ilerleme yavaşlayacaktır. Tavan jeti hızı, dönüş jeti hızı ve yerçekimi ivmesinin hız vektörleri toplamından küçük değerlere geldiğinde duman kitlesi yönünü

değiştirerek düşey hız vektörleri doğrultusunda hareket ederek alçalmaya başlayacaktır. Yapılan çalışma sonucunda aralarında 20d ve üstü mesafe bırakılan duman perdelerinde bu şekilde bir alçalma görüldüğünden, 20d mesafesi hız vektörlerinin yönünün değişmemesi için üst sınır olarak alınabilir.

- Perde aralarındaki mesafelerin artması ile perdelerin oluşturduğu duman haznesi alanları da orantılı olarak büyüyecektir. Hazne boyutları büyüdükçe hazne içinde biriken duman hacmi de büyüyecek ve soğumaya başlayacaktır. Soğuyan üst tabaka dumanının alçalarak ortam havasına karışması istenen bir durum değildir. Yapılan çalışmada gerek ele alınan örnek planın boyut sınırlamaları gerekse de bilgisayarların sınırlı kapasiteleri nedeni ile üst sınırı oluşturacak boyutta bir hesaplama yapılamamıştır ancak İngiliz ve Alman yönetmeliklerinde bu konuda verilen sınır değerlere göre iki duman perdesi arasındaki izin verilen en fazla mesafe 40 m.'dir. Bu durumda;

$$20d \leq 40 \text{ m.}$$

olmalıdır.

- Bazı geniş mekanlarda ise mekan eni önemli parametre olacağından mekan enine (Y) bağlı alan hesabı yapılmalı perde aralarında bırakılan hazne alanı 1000 m^2 altında olmalıdır.

$$20d \times Y \leq 1000 \text{ m}^2$$

- Perde aralarındaki mesafelerin azalması akım çizgilerini etkilediği gibi perdelerin oluşturduğu duman haznesi alanlarının küçülmesine dolayısı ile hazne içi sıcaklığının artmasına neden olacaktır. Yapılan modellemede aralarında d mesafesi bırakılan perdelerde hazne içi sıcaklığı 320°C hesaplanırken 5d ve 6d mesafelerde 100°C 'a varan azalmalar görülmüş hazne sıcaklıkları $230\text{-}140^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.
- Perde konumlandırması perde alt kotlarındaki sıcaklıkları da etkilemiş aralarında 3d mesafeden az mesafe bırakılan perdelerde, alt tabaka sıcaklığında 320°C hesaplanmış ancak mesafe 4d'nin üzerine çıktığında en fazla hesaplanan sıcaklık değeri 200°C civarında olmuştur.

- Duman perdesi alt hizasından zemine kadar olan temiz mesafe, perde alt kotunda oluşacak türbülans derinliği de dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Yapılan çalışmada türbülans derinliği d derinliğindeki bir perdede yaklaşık $3/5d$ çıktığından temiz mesafe;

$$h-(d+3d/5) \geq 2 \text{ m. olmalıdır.}$$

KAYNAKLAR

- [1] **Özgünler, M.**, 1994. Pasif yangın güvenlik önlemlerinde etkili olan tasarım değişkenleri ve ilgili mevzuatın irdelenmesi *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Purser, D., A.**,1992. Toxicity Assessment of Combustion Product, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Society of Fire Protection Engineers, NFPA, Quincy, USA.
- [3] **Anonim**, 1992. İstanbul Büyük Şehir Belediyesi Yangından Korunma Yönetmeliği, *Türkiye Yangından Korunma ve İtfaiye Eğitim Vakfı*, İstanbul.
- [4] **Esmer, Ö.**,1981. Yanma ve Yangın Dinamiği: Bir Modelleme Denemesi, *Birinci Ulusal Yangın Kurultayı Bildirileri*, O.D.T.Ü. Matbaası, Ankara.
- [5] **Janssens, M., L.**, 2000. An Introduction to Mathematical Fire Modeling, Technomic Publishing Co., Inc., Pennsylvania, USA.
- [6] **Stollard, P., Abrahams J.**, 1991. Fire From First Principles, Chapman Hall, London.
- [7] **Cooper, L., Y.**, 1988. Compartement Fire-Generated Environment and Smoke Filling, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition Ch. 10, Sec. 3, pp. 174-196, Eds. DiNunno, P.J., NFPA Publications, Quincy, USA.
- [8] **Alpert R.L.**, 1975. Turbulent Ceiling-Jet Induced by Large-Scale Fires, *Comb. Science Tech.* ,**11**, 197-213.
- [9] **Cooper L.Y., Stroup, D.W.**, 1987. The Thermal Response of Unconfined Ceiling Above Growing Fires and The Importance of Convective Heat Transfer, *Journal of Heat Transfer*, 109, 172-178.
- [10] **Cooper L.Y.**, 1982. Convective Heat Transfer to Ceilings Above Enclosures Fires, *Proceedings of 19th International Symposium on Combustion*, Combustion Institute, Haifa,

- [11] **Cooper L.Y.**, 1984. A Buoyant Source in the Lower of Two, Homogeneous, Stably Stratified Layers-A Problem of Fire in an Enclosure, *Proceedings of 20th International Symposium on Combustion*, Combustion Institute, Pittsburg.
- [12] **Cooper L.Y.**, 1984. On the Significance of a Wall Effect in Enclosures with Growing Fires, *Combustion Science Tech.*, **40**, 19-39.
- [13] **Zukoski E.E., Kubota T.**, 1980. Two Layer Modelling of Smoke Movement in Building Fires, *F. And Matls.* **4**, 17-27.
- [14] **Sunar, Ş.**, 1981. Yangından Korunma ve Bina Yangın Güvenliği İlkeler Çelişkiler Gerçekler, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [15] **Sunar, Ş.**, 1973. Yangından Korunma ve Bina Yangın Güvenliği, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [16] **Fackler, J.B.**, 1967. Fire Test Methods, *ASTM. STM. 422*, American Society For Testing and Materials.
- [17] **Özer, M.**, 1985. Endüstriyel Yangın Tehlikeleri ve Güvenlik Tedbirleri, Yenilik Basımevi, İstanbul.
- [18] **Goldsmith, S.**, 1998. Anthropometric Data, *New Metric Handbook*, pp. 23-28, Eds. Tutt, P., Adler, D., Architectural Press, Bodmin, Cornwall, Great Britain.
- [19] **Pauls, J.**, 1992. Movement of People, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Society of Fire Protection Engineers, NFPA, Quincy, USA.
- [20] **Pauls, J.L.**, 1980. In fires and human behavior, John Wiley and Sons, New York.
- [21] **Purkiss, J.A.**, 1996. Fire Safety Engineering Design of Structures, Butterworth-Heinemann, Great Britain.
- [22] **Home Office/Scottish Home and Health Dept.**, 1976. *Guide to Safety at Sports Grounds (Football)*, Her Majesty's Stationery Office, London.
- [23] **Hottel, H.C.**, 1984. Stimulation of Fire Research in The United States After 1940. *Combustion Science and Technology*, **39**, 1-10, .
- [24] **Quintiere, J.**, 1984. A Perspective on Compartment Fire Growth, *Combustion Science and Technology*, **39**, 11-54.

- [25] **Forney, G.P., Moss, W.F.**, 1984. Analyzing and Exploiting Numerical Characteristics of Zone Fire Models, *Fire Science and Technology*, **14**, 49-60 .
- [26] **Patankar, S.V.**, 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing, New York.
- [27] **Rehm , R.G., Baum , H. R.**, 1978. The Equations of Motion for Thermally Driven, Buoyant Flows, *Journal of Research of the NBS*, **83**: 297-308.
- [28] National Institute of Standards and Technologie, <http://www.fire.nist.gov/fds>
- [29] **Forney, G. P., McGrattan, K. B.**, 2001. A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, **NISTIR 67611**, Temmuz 2001.
- [30] Worcester Polytechnic Institute, <http://www2.borism.net>
- [31] Building and Fire Research Laboratory <http://www.bfrl.nist.gov>
- [32] **Malhotra, H.L.**, 1967. Movement of Smoke on Escape Routes, *Part 3 of Fire Research Note 653*, Fire Research Station, Borehamwood.
- [33] **Cabret, A., Ferrie, M.**, 1971. Smoke Protection of Escape Routes in Buildings with Particular Reference to Multi-Storey Buildings, *Proceedings of Fire Research Station Symposium No 4 Movement of Smoke on Escape Routes in Buildings, 1969*, **43**, HMSO, London.
- [34] **Malhotra, H.L., Millbank, N.**, 1964. Movement of Smoke on Escape Routes and Effect of Pressuration, Fire Research Station, Fire Research Note 556, Borehamwood
- [35] **Wakamatsu, T.**, 1968. Calculation of Smoke Movement in Buildings, *First Report, Research Paper, No 34*, Japanese Ministry of Construction Building Research Institute, Tokyo.
- [36] **Heseden, A.J.M., Baldwin, R.**, 1976. The Movement and Control of Smoke on Escape Routes in Buildings, Building Research Establishment CP13/76, BRE Department of the Environment, Borehamwood, Ocak 1976.
- [37] **Heskestad, G., Hill J.P.**, 1986. Experimental Fires in Multiroom/Corridor Enclosures, CIB W14/85/10 – NBS-GCR-86-502, National Bureau of Standards Center for Fire Research, Gaithersburg, Ekim 1986.

- [38] **Poreh, M., Garrad, G.,** 1999. A Study of Wall and Corner Fire Plumes, *Fire Safety Journal*, **34**, 81-98, Ağustos.
- [39] **Leonard, S., Mulholland, G.W., Puri, R., Santoro, R.J.,** 1994. Generation of CO and Smoke During Undarventilated Combustion, Combustion and Flame, **98**, 20-34.
- [40] **Wang, H.Y., Coutin, M., Most, J.M.,** 2001. Large-eddy-simulation of Buoyancy-Driven Fire Propagation Behind a Prolysis Zone Along a Vertical Wall, *Fire Safety Journal*, **37**, 259-285, Eylül 2002.
- [41] **Wood, P. G.,** 1980. In fires and human behavior, John Wiley and Sons, New York.
- [42] **Sime, J.D.,** 1984. Escape from Building Fire: 'Panic' or 'Affiliation?', *Thesis*, Surrey, University of Nebraska, Lincoln.
- [43] **Canter, D.,** 1980., Fires and Human Behavior, John Wiley and Sons, New York
- [44]. **Anonim,** 1973. Richtlinien für Planung und Einbau von Rauch- und Wärmeab-zugsanlagen (RWA) für den Brandfall in Gewerblichen und Industriellen Hallenbauten, Verband der Sachversicher eV, Köln.
- [45]. **Anonim,** 1982. NFPA 204M, Guide for Smoke and Heat Venting, National Fire Protection Association, Quincy.
- [46]. **Morgan, H., P.,** 1979. "Smoke Control Methods in Enclosed Shopping Centres of One or More Stories: a Design Summary," Building Research Establishment Report, HMSO, London.
- [47]. **Hinkley, P., L.,** 1992. Smoke and Heat Venting, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Society of Fire Protection Engineers, NFPA, Quincy, USA.
- [48]. **Shields, T., J., Silcock, G., W., H.,** 1987. Building and Fire, Longman Scientific & Technical, Singapore.
- [49]. **Peacock, R., D., Reneke, A., P., Jones, W., W., Bukowski, R., W., Forney, G., P.,** 2000. A User's Guide for FAST: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport, U.S. Department of Commerce, U.S. Government Printing Office, Washington, Kasım 2000.

- [50] McGrattan, K. B., Baum, R.H., Rehm, R. G., 2004. Fire Dynamics Simulator (Version 4)-Technical Reference Guide, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, NISTIR 6783, Mayıs 2004.
- [51]. Anonim, 1989. Airflow Around Buildings, . Ashrae Journal Chapter 14.
- [52]. Ok, V., Atlı, V., Özgünler, M., Serteser, N., vd., 1996. Bina Yerleşme Tasarımında Kullanılabilecek Rüzgar Tünelinde Arazi Pürüzlülüğünün Hız Dağılımına Etkisinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Araştırma Fonu, Mart 1996.
- [53] McGrattan, K. B., Forney, G. P., Floyd, J. E., 2004. Fire Dynamics Simulator (Version 4)-User's Guide, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, NISTIR 6784, Mayıs 2004.
- [54] Quintiere, J.G., McCafferey, B.J., 1980. The Burning of Wood and Plastic Cribs in an Enclosure, Vol.2 Nat.Bur.Stand.(U.S.), NBSIR 80-2054, U.S.A.
- [55] Hostikka, S., 2002. Kinetic Modelling of Wood Pyrolysis in FDS 2.2, *VTT Building and Transport*, Finland, 20-May- 2002
- [56] BRE Digest No 367, Fire Modelling, Building Research Establishment, 1991
- [57] Cox, G., Rubini, P.A., 1993. Development of a New CFD Fire Simulation Model, *Proc Nordic Fire Safety Eng. Symposium*, VTT Finland.
- [58] Holman, J.P., 1989. Heat Transfer, McGraw-Hill 5th edition., New York,
- [59] Blasi, C.D., 1998. Physico-chemical Processes occurring inside a degrading two-dimensional anisotropic porous medium, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **41**, 4139-4150.
- [60] Prasad, K., Li, C., Kailasanath, K., Ndubizu, C., Ananth, R., Tatem, P.A., 1999. Numerical Modelling of Methanol Liquid Pool Fires, *Combustion Theory and Modelling*, **3**, 743-768.
- [61] Heskestad, G., Bill R.G., 1988. Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers Including Conduction Effects, *Fire Safety Journal*, **14**, 113-125.



EKLER

Ek-A

MODELLEMEDE KULLANILAN FDS (FIRE DYNAMICS SIMULATOR) PROGRAMININ ALGORİTMASI

Amerikan Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından geliştirilen ve 2002 Kasım ayında Enstitü tarafından resmen kabul edilen ve Ocak 2003 yılında kullanımı hakkında eğitim veren üniversite bölümlerinin açıldığı FDS programının Algoritması ve kullanılan bağıntılar da yanma olayı kadar karmaşık olup temelinde akışkanlar dinamiği yatar, akışkanlar dinamiği konu ile ilgili uzmanlaşmış kişilerin anlayabileceği karmaşık bağıntılardan oluşan günümüz bilgisayar teknolojisi ile hızla gelişen ve güçlenen bir bilim dalıdır. Bu karmaşıklık nedeni ile programın algoritması da doğal olarak karışıktır. Bu çalışmada çok detaya inilmeden programın ana yapısına değinilecektir [53, s. 1-6]. FDS programının formüller yapısı 5 farklı başlık altında gruplandırılabilir. Bu gruplar

- Hidrodinamik model
- Yanma
- Termal Radyasyon
- Termal Sınır Koşulları
- Yağmurlama Sistemleri

olarak sıralanabilir.

Hidrodinamik Model

Modelde Mach sayısı (Mach number) hesaplamalarına uyan Navier-Stokes denklemleri yaklaşımı kullanılmıştır. Yaklaşımda sıcaklık ve yoğunlukta çok büyük değişimlerden bahsedilirken akustik dalgalar konunun dışında bırakılmışlardır. Bu kabul denklemlere düşük hızlar ve ısı geçişinden oluşan eliptik bir karakter vermiştir. Hesaplamalar sürtünme kuvvetlerinin hesaplandığı

sayısal modelleme (Direct Numerical Simulation DNS) veya büyük ölçekli türbülansların doğrudan hesaplandığı ve alt grid sisteminde sürtünme sürecinin modellendiği geniş türbülans simülasyonu (Large Eddy Simulation LES) ile yapılabilir. DNS veya LES yönteminin seçimi modelleme amacına ve modelleme alanı sayısal çerçevesinin çözünürlüğüne bağlıdır. Bu çalışmanın konusu olan geniş mekanlarda veya birden çok mekan arasındaki duman hareketi simülasyonunda doğrudan yanma ve ısı geçişi problemini çözmek yeterli olmaz Bununla birlikte küçük ölçekli yanma deneylerinde ısı geçişini ve yanma sürecini doğrudan hesaplamak yeterli olabilir [50,.5-10].

Korunum Denklemleri

Modelleme programının temelinde ısı transferi yattığından omurgayı oluşturan kütle, momentum ve enerji korunumu denklemleri aşağıdaki gibidir;

Kütle Korunumu:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (\text{A.1})$$

Türlerin Korunumu:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_I) + \nabla \cdot \rho Y_I \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_I \nabla Y_I + \dot{m}_I''' \quad (\text{A.2})$$

Momentum Korunumu:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (\text{A.3})$$

Enerji Korunumu:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_I \nabla \cdot h_I \rho D_I \nabla Y_I \quad (\text{A.4})$$

Yukarıdaki formüllerde $\mathbf{f}$ akışkan üzerine etki eden dış kuvvettir (formül A.3) Yangın simülasyonunda yağmurlama sisteminden gelen damlacığın etkisi başta olmak üzere dış kuvvetleri hesaplamada kullanılır. Diğer semboller sembol listesinde açıklanacaktır.

Durum Kütle ve Enerji Denklemleri

Yukarıda sıralanan korunum denklemleri bazı termodinamik denklemleri ile desteklenmiştir.

$$p = p_0 - \rho_\infty g z + \dot{p} \quad (\text{A.5})$$

p_0 bir çok bağıntıda sabit olarak alınır diğer bileşenler bu sabit değerden küçüktür. Bu kabulde tam anlamı ile sızdırmaz bir mekanda yangına bağlı olarak basınç arttığında veya modelleme yapılan mekan yüksekliği kilometre bazında ise p_0 sabit olarak alınamaz ve yüksekliğin bir fonksiyonu olarak kabul edilir. Basıncın düşük Mach sayısı akımları ile hesaplanabilmesi için sıcaklık ve yoğunluğun ters orantılı olduğu kabul edilir. Bu kabulün bir sonucu olarak enerji denklemlerindeki p arka plan basıncı olan p_0 ile değiştirilir. Böylece yangın anında oluşan akımların hızından çok daha hızlı olan ses dalgaları ihmal edilmiş olur.

$$p_0 = \rho T \mathcal{R} \sum (Y_i / M_i) = \rho T \mathcal{R} / M \quad (\text{A.6})$$

Ses dalgalarının ihmal edilmesi sadece akım hızlarının hesaplanmasını sağladığından doğası gereği karmaşık olan akışkanlar dinamiği formüllerinde değişken sayısının azalmasına neden olur. A.4 numaralı bağıntı hiçbir zaman açıkça çözülemez ancak bağıntının köklerindeki bazı terimler dinamik akım ayrılması çözümleri için bağıntılarda kullanılmıştır. discretization formülleri bazı kabuller ile basitleştirilerek 'FDS' programında kullanılan aşağıdaki hale getirilmiştir.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = \frac{1}{\rho c_p T} \left(\nabla \cdot k \nabla T + \nabla \cdot \sum_i \int c_{p,i} dT \rho D_i \nabla Y_i - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \dot{q}'' \right) + \left(\frac{1}{\rho c_p T} - \frac{1}{p_0} \right) \frac{dp_0}{dt} \quad (\text{A.7})$$

Yukarıdaki formülde sıcaklıktan bağımsız özgül (spesifik) ısı varsayımı akım ayrışması formüllerindeki küçük terimleri elimine etmek amacı ile kabul edilmiştir ve böylece işlemlerde kolaylık sağlanmıştır. Ancak genelde özgül ısının sıcaklıktan bağımsız olduğu kabul edilmez. Formülün sağındaki basınç

yükselmesi terimleri sadece yangın mekanının sızdırmaz olduğu kabulü ile sıfırdan farklı bir değer alır bu durumda p_o , mekandaki kütle ve termal enerji azalması veya artmasına bağlı olacağından sabit olarak alınamaz. Sonuç olarak basınç bağıntısındaki evrim A.7 nolu bağıntı ile tüm etki alanı (Ω) entegrasyonu ile sağlanır ve bağıntı aşağıdaki son halini alır [50, s. 20-25]

$$\frac{dp_o}{dt} = \left[\int_{\Omega} \frac{1}{\rho c_p T} (\nabla \cdot k \nabla T + \dots) dV - \int_{\partial\Omega} \mathbf{u} \cdot d\mathbf{S} \right] / \int_{\Omega} \left(\frac{1}{p_o} - \frac{1}{\rho c_p T} \right) dV \quad (\text{A.8})$$

Momentum Denklemleri

Momentum denklemleri A.3 numaralı moment korunumu denkleminde hidrostatik basınç gradyanının çıkartılması ve daha sonra yoğunluğa bölünmesi ile sadeleştirilmiştir. Böylece;

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} - \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} + \frac{1}{2} \nabla |\mathbf{u}|^2 + \frac{1}{\rho} \nabla \dot{p} = \frac{1}{\rho} ((\rho - \rho_{\infty}) \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}) \quad (\text{A.9})$$

bağıntısı oluşturulmuştur. Aynı formülde aşağıdaki kabul ile bir basitleştirme daha yapılmıştır.

$$\nabla \mathcal{H} \approx \frac{1}{2} \nabla |\mathbf{u}|^2 + \frac{1}{\rho} \nabla \dot{p} \quad (\text{A.10})$$

Bu kabul ile momentum denklemleri aşağıdaki şekilde değişmişlerdir.

$$\frac{d\Gamma}{dt} = \oint \frac{1}{\rho} (-\nabla \dot{p} + (\rho - \rho_{\infty}) \mathbf{g} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}) \cdot d\mathbf{x} \quad (\text{A.11})$$

$$\nabla^2 \mathcal{H} = -\frac{\partial (\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F} \quad ; \quad \mathbf{F} = -\mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} - \frac{1}{\rho} ((\rho - \rho_{\infty}) \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}) \quad (\text{A.12})$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial n} = -F_r - \frac{\partial u_n}{\partial t} \quad (\text{A.13})$$

Dağılık Terimler (LES)

Momentum denklemindeki viskoz stres tensörü;

$$\tau = \mu \left(2 \operatorname{def} \mathbf{u} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right) \quad (\text{A.14})$$

olarak hesaplanmaktadır. Ancak geniş türbülans modellemelerinde (LES) Smagorinsky analizleri kullanılarak viskozite aşağıdaki formül ile çözülmektedir.

$$\mu_{LES} = \rho (C_s \Delta)^2 \left(2(\operatorname{def} \mathbf{u}) \cdot (\operatorname{def} \mathbf{u}) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.15})$$

Bu formülde C_s sabit bir düzeltme katsayısı, Δ hesaplamalarda kullanılan grid sisteminin hücre boyutudur. Biçim değiştirme değişkenleri ise $(\operatorname{def} \mathbf{u})$ aşağıdaki dağılıma denklemlerinden alınır [44].

$$\begin{aligned} \Phi &\equiv \tau \cdot \nabla \mathbf{u} \equiv \mu \left(2(\operatorname{def} \mathbf{u}) \cdot (\operatorname{def} \mathbf{u}) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right) \\ &= \mu \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (\text{A.16})$$

LES hesaplamalarında termal iletim ve malzeme yayılması türbülanslı viskozite ile ilişkili hesaplanır bu hesaplamada aşağıdaki formül kullanılır.

$$k_{LES} = \frac{\mu_{LES} C_p}{Pr} \quad ; \quad (\rho D)_{LES} = \frac{\mu_{LES}}{Sc} \quad (\text{A.17})$$

Bu formülde Pr Prandtl Sc ise Schmidt sayıları sabitleridir.

Dağılık Terimler (DNS)

Doğrudan sayısal simülasyonlarda (Direct Numerical Simulation DNS) termal iletkenlik, viskozite ve malzemelerin yayılma gücü kinetik teori yaklaşımı ile çözülür. L' 'inci (l^{th}) türlerinin viskozitesi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\mu_l = \frac{26.69 \times 10^{-7} (M_l T)^{\frac{1}{2}}}{\sigma_l^2 \Omega_v} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \quad (\text{A.18})$$

Bu formülde σ_l Lennard-Jones sert küre çapları ($\tilde{A}$) Ω_v T sıcaklığının fonksiyonu olan çarpışma integrali katsayısıdır.

l^{th} türlerinin termal iletkenliği ise aşağıdaki formül ile hesaplanır [50, s.45].

$$k_l = \frac{\mu_l c_{p,l}}{\text{Pr}} \quad \frac{\text{W}}{\text{m K}} \quad (\text{A.19})$$

Bu formüldeki Prandtl sayısı Pr 0.7 olarak alınır. Kinetik teoride gaz karışımlarının viskozitesi ve termal iletkenliği ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\text{DNS}} = \sum_l Y_l \mu_l \quad ; \quad k_{\text{DNS}} = \sum_l Y_l k_l \quad (\text{A.20})$$

m^{th} türleri içinde yayılan l^{th} türü ikili yayılım katsayısı olarak D_{lm} değişkeni ise;

$$D_{lm} = \frac{2.66 \times 10^{-7} T^{3/2}}{M_{lm}^{\frac{1}{2}} \sigma_{lm}^2 \Omega_D} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (\text{A.21})$$

olarak kabul edilir. Bu bağtımda $M_{lm} = 2(1/M_l + 1/M_m)^{-1}$, $\sigma_{lm} = (\sigma_l + \sigma_m)/2$ ve Ω_D T sıcaklığının fonksiyonu olan çarpışma integrali katsayısıdır. Herhangi bir yanma olayında nitrojenin dominant olduğu kabul edilir bu nedenle Ω_D nitrojen içine dağılan gaz katsayısı olarak alınır [50].

$$(\rho D)_{l,\text{DNS}} = \rho D_{l0} \quad (\text{A.22})$$

A.22 numaralı bağıntıdaki 0 türü nitrojen olarak alınır.

Yanma

FDS programında kullanılan iki çeşit yanma modeli vardır. Bunların seçimi kullanılan ızgara (grid) sisteminin çözünürlüğüne bağlıdır. Yakıt ve oksijen yayılımının doğrudan modellendiği DNS hesaplamalarında sonlu oranlı kimyasal reaksiyonlar daha uygundur. Bununla birlikte ızgara çözünürlüğünün yakıt ve oksijen yayılımının çözümünde yeterli olamadığı LES hesaplamalarında karışım oranı bazlı yanma modelleri kullanılır [56, s. 8],[57].

Karışım Oranı Yanma Modeli

Bu tip yanma modelinde büyük ölçeklerde radyasyon ve konveksiyon ile ısı geçişi olduğu varsayılır ve hesaplama yapılır. Ancak daha küçük ölçekte ve zamana bağlı gelişen diğer fiziksel olaylar bazı kabuller ile çözümlenir. Bu kabuller modelin çözünürlük sınırları ile yanma olayının genel prensiplerine uygun olarak hesaplara katılır.

Ancak yanma olayında salınan enerjiyi kontrol eden kimyasal olaylar çoğu yangın senaryosunda bilinmemektedir. FDS programında bu gerçeklikten yola çıkılarak yakıt oluşturan malzemeyi göz ardı ederek oksijen kalorimetrisi yöntemi kullanılır ve yakıttan bağımsız alev yüzeyindeki oksijen tüketim oranı ile salınan ısı miktarının oranıtısı hesaplanır. Tüm yanma olaylarındaki genel formül;

$$v_F \text{ Fuel} + v_O \text{ O}_2 \rightarrow \sum_i v_{P_i} \text{ Products} \quad (\text{A.23})$$

bağıntısıdır. Bu bağıntıda v_i yanma olayındaki stokiometrik katsayı,

F yakıt, O oksijen, P ise yanma ürünlerinin sayısıdır.

Yukarıdaki stokiometrik bağıntıda yakıt ve oksitleştiricilerin kütle kayıp oranları aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$\frac{\dot{m}_F'''}{v_F M_F} = \frac{\dot{m}_O'''}{v_O M_O} \quad (\text{A.24})$$

$$Z = \frac{s Y_F - (Y_O - Y_O^\infty)}{s Y_F + Y_O^\infty} \quad ; \quad s = \frac{v_O M_O}{v_F M_F} \quad (\text{A.25})$$

A.25 numaralı formülde Z , $Z=1$ sadece yakıt bölgesi ve $Z=0$ oksijen barındıran bölge olmak üzere değişkenlik gösterir.

Y_O^∞ ortamdaki tüketilmemiş oksijen miktarı,

Y_F^I Yakıt kütlelerinin yakıt akımındaki yakıtı oranı;

M_F Yakıtın moleküler ağırlığı;

M_O Oksijenin moleküler ağırlığı'dır.

Kimyasal açıdan oksitleştiriciler ve yakıt çok hızlı reaksiyona girdiklerinden aynı anda ortamda bulunmalarının imkansız olduğu kabul edilir. Bunun sonucu olarak yakıt ve okside ediciler sırası ile yok olup ortaya çıkarlar. Bu hareketin belirlediği alev yüzeyi;

$$Z(x,t) = Z_f \quad ; \quad Z_f = \frac{Y_O^\infty}{s Y_F^I + Y_O^\infty} \quad (A.26)$$

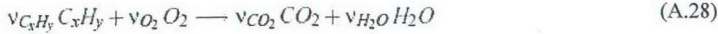
bağıntısı ile hesaplanır.

Sonuç olarak tüm hesap alanının ızgara sisteminin her bir hücresindeki oksijen tüketim oranına bağlı olarak ısı yayılması ve alev biçimlendirilmesi bağıntısı aşağıdaki şekli alır.

$$-\dot{m}_O''' = \nabla \cdot \left(\rho D \frac{dY_O}{dZ} \nabla Z \right) - \frac{dY_O}{dZ} \nabla \cdot \rho D \nabla Z = \rho D \frac{d^2 Y_O}{dZ^2} |\nabla Z|^2 \quad (A.27)$$

Sonlu Oranlı Reaksiyonlar (DNS)

Herhangi bir DNS hesaplamasında Oksijen ile tepkimeye giren hidrokarbonlar aşağıdaki reaksiyon ile hesaplanırlar;



Yukarıdaki reaksiyon hız oranı ise;

$$\frac{d[C_x H_y]}{dt} = -B [C_x H_y]^a [O_2]^b e^{-E/RT} \quad (A.29)$$

B,E,a ve b hidrokarbonlu yakıtlara ait oksidasyon değerleridir.

Isıl ışıınım

Her hangi bir yayıcı saçıcı ve emici ortam için radyasyonla geçiş bağıntısı (Radiative Transport Equation RTE) aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{s} \cdot \nabla I_{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = -[\kappa(\mathbf{x}, \lambda) + \sigma(\mathbf{x}, \lambda)] I(\mathbf{x}, \mathbf{s}) + B(\mathbf{x}, \lambda) + \frac{\sigma(\mathbf{x}, \lambda)}{4\pi} \int_{4\pi} \Phi(\mathbf{s}, \mathbf{s}') I_{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{s}') d\Omega' \quad (\text{A.30})$$

Bu bağıntıda $I_{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{s})$, λ dalga boyundaki ışıınım yoğunluğu;

$\mathbf{s}$ yoğunluk vektörü doğrultusu;

$\kappa(\mathbf{x}, \lambda)$ ve $\sigma(\mathbf{x}, \lambda)$ lokal emme ve saçılım katsayıları;

$B(\mathbf{x}, \lambda)$ yayma kaynağı terimini simgeler. Bu bağıntının sağ tarafındaki integral değişik yönlerdeki saçılımı tarifler. Saçılım yapmayan gazlar için RTE aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi değişir.

$$\mathbf{s} \cdot \nabla I_{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \kappa(\mathbf{x}, \lambda) [I_b(\mathbf{x}) - I(\mathbf{x}, \mathbf{s})] \quad (\text{A.31})$$

$I_b(\mathbf{x})$ Plank fonksiyonu terimidir. Bu bölümde kullanılan bağıntılar gaz halindeki radyasyonda kullanılan bağıntılardır.

Gri renk spektrumuna uyan herhangi bir duvardaki radyasyon yoğunluğu sınır koşulları

$$I_w(\mathbf{s}) = \varepsilon I_{bw} + \frac{1 - \varepsilon}{\pi} \int_{\mathbf{s}' \cdot \mathbf{n}_w < 0} I_w(\mathbf{s}') |\mathbf{s}' \cdot \mathbf{n}_w| d\Omega \quad (\text{A.32})$$

Bağıntısı ile hesaplanır burada $I_w(\mathbf{s})$ duvardaki yoğunluk, ε emisivite, I_{bw} koyu renk duvardaki yoğunluk olarak alınır. RTE bağıntısı, tanımlanan model alanındaki herhangi bir ijk hücresinde $\delta\Omega^j$ kontrol açısındaki hesaplamada 4.31 numaralı formülden türetilen aşağıdaki bağıntı kullanılır [50].

$$\int_{\Omega^j} \int_{V_{ijk}} \mathbf{s} \cdot \nabla I_n(\mathbf{x}, \mathbf{s}) dV d\Omega = \int_{\Omega^j} \int_{V_{ijk}} \kappa_n(\mathbf{x}) [I_{b,n}(\mathbf{x}) - I_n(\mathbf{x}, \mathbf{s})] dV d\Omega \quad (\text{A.33})$$

Hücreden yayılan ısı akış vektörü FDS programında aşağıdaki bağıntı ile tarif edilmektedir.

$$q_r(x) = \int s I(x, s) d\Omega \quad (A.34)$$

Enerji denklemlerindeki ışınlama oluşan kayıpların hesap bağıntısı ise aşağıdaki gibidir [50].

$$-\nabla \cdot q_r(x) = \kappa(x) [U(x) - 4\pi I_b(x)] \quad ; \quad U(x) = \int_{4\pi} I(x, s) d\Omega \quad (A.35)$$

Isıl Sınır Koşulları

Herhangi bir yüzeye uygulanan termal sınır koşulları yüzeyin çok fazla ısınarak yanmasına, tarif edilen yanma oranına veya yüzeyde yanma olup olmamasına göre değişkenlik gösterir.

Duvardaki Taşınım İlişkisi

Bir katı yüzeydeki ısı geçişi konveksiyon ve radyasyon yolu ile oluşan kayıp ve kazançlardan oluşur. Katı yüzeydeki radiatif akış A.32 numaralı bağıntı ile hesaplanır.

Yüzeyde oluşan konvektif ısı geçişi hesabı hesaplamanın DNS veya LES olmasına göre değişkenlik gösterir. Bu bağıntılar aşağıdaki gibidir.

DNS hesaplamasında;

$$\dot{q}_c'' = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad (A.36)$$

LES hesaplamasında;

$$\dot{q}_c'' = h \Delta T \quad \text{W/m}^2 \quad ; \quad h = \max \left[C |\Delta T|^{\frac{1}{3}} \quad , \quad \frac{k}{L} 0.037 \text{Re}^{\frac{4}{3}} \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \right] \quad \text{W/m}^2/\text{K} \quad (A.37)$$

ΔT duvar ve gaz sıcaklığı arasındaki fark C doğal konveksiyon katsayısı (yatay yüzeylerde 1.43, dikey yüzeylerde 0.95 L duvar uzunluğuna bağlı değişken (genelde 1 m. olarak alınır), k gazın termal iletkenlik katsayısı, Pr Prandtl Re ise Reynolds sayılarıdır) [58, s. 25-30].

Erime Modeli

Eğer modellemede kullanılan malzeme yüzeyi termal olarak kalın kabul ediliyorsa;

$$\rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial n^2} \quad ; \quad -k_s \frac{\partial T_s}{\partial n}(0, t) = \dot{q}_c'' + \dot{q}_r'' - \dot{m}'' \Delta H_v \quad (\text{A.38})$$

formülü ile hesaplanır ve ρ_s , c_s ve k_s malzemenin yoğunluğu özgül ısı ve iletim katsayıları; $\dot{q}_c''$ konvektif ısı akış miktarı; $\dot{q}_r''$ radyatif ısı akış miktarı; $\dot{m}''$ yakıtın kütle kayıp oranı; ΔH_v buharlaşma ısısı olarak alınır. Yakıtın kütle kayıp oranı Arrhenius ifadesi ile hesaplanmaktadır. Arrhenius açılımı ise aşağıdaki gibidir [55, s. 1-4].

$$\dot{m}'' = A e^{-E/RT} \quad (\text{A.39})$$

A üssel değişim faktörü, R evrensel gaz sabiti E ise tutuşurma katsayısıdır.

Eğer modellemede kullanılan malzeme yüzeyi termal olarak ince kabul ediliyorsa;

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{\dot{q}_c'' + \dot{q}_r'' - \dot{m}'' \Delta H_v}{\rho_s c_s \delta} \quad (\text{A.40})$$

Eğer modellemede kullanılan yakıt sıvı ise erime yerine buharlaşma bağıntıları devreye girer bu durumda yanan sıvı yakıt havuzu yüzeyinde oluşan yakıt buharı basıncı Clausius-Clapeyron basıncına eşittir [59, s. 4140-4143].

$$p_{cc} = p_0 \exp \left[-\frac{h_v M_f}{R} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_b} \right) \right] \quad (\text{A.41})$$

h_v buharlaşma ısısı, M_f moleküler ağırlık, T_s yüzey sıcaklığı, T_b kaynama sıcaklığıdır. Isı iletimini hesaplayabilmek için bazı durumlarda sıvı yakıtlar termal olarak kalın katı yüzey olarak kabul edilebilirler. Yakıt havuzu oluşturan sıvılarda konveksiyon için bir hesaplama metodu yoktur [60, s. 750].

Yağmurlama Sistemleri (Sprinkler)

Modellemede yağmurlama sisteminin genel yangın dinamiğine etkisi aktivasyon zamanı, damlacık boyutu ve su doğrultusuna göre değişir. Bu parametrelerin girdi dosyasında iyi tarif edilmesi gerekmektedir.

Yağmurlama Sisteminin Çalışma Zamanı

Sprinklerin algılama sıcaklığı Heskestad ve Bill bağıntısı ile hesaplanır bu bağıntıya radyasyon etkisi ile ısınma ve diğer bir sprinkler etkisi ile soğuma etkileri de eklendiğinde aşağıdaki bağıntı ortaya çıkar [61, s. 113-125].

$$\frac{dT_l}{dt} = \frac{\sqrt{|u|}}{RTI} (T_g - T_l) - \frac{C}{RTI} (T_l - T_m) - \frac{C_2}{RTI} \beta |u| \quad (\text{A.42})$$

Bu formülde T_l algılayıcı sıcaklığı; T_g algılayıcı yakınındaki gaz sıcaklığı; T_m sprinkler montaj anı sıcaklığı (ortam sıcaklığı olarak kabul edilir); β sıcak gaz içine salınan sıvı (su) oranı; RTI dedektör algılama duyarlılık oranı; C sprinkler modeline göre değişen C-Faktörü olarak adlandırılan değer; C_2 ise $6 \times 10^6 \text{ K}/(\text{m/s})^{1/2}$ olarak kabul edilen sabit'tir.

Yağmurlama Sisteminin Damla Boyutları

Sistemden püskürtülen su damlacığı çapları sprinkler püskürtme ağzı çapına bağlı olarak değişir. Ancak buradan fırlatılan damlacık yüzey gerilimleri, itici güçler ve püskürtülen sıvı yoğunluğuna göre değişkenlik gösterirler bu nedenle yağmurlama sisteminden 1 saniyede püskürtülen damlacıkların ortalama çapı alınır. Bu sayı genelde saniyede 1000 damlacık olarak alınır (her 0.05 saniyede 50 damlacık). Tüm bu kabullerden sonra damlacık çap hesaplama bağıntısı,

$$f(d) = \frac{F'(d)}{d^3} \bigg/ \int_0^\infty \frac{F'(d')}{d'^3} dd' \quad (\text{A.43})$$

olarak kullanılır.

Program algoritmasını oluşturan çoğu bağıntıda modelleme yapılan mekandaki malzemelerin termal özellikleri kullanılmaktadır. İletkenlik, özgül ısı, yoğunluk, yanma oranı özellikleri bunlardan bazılarıdır. Doğru bir hesaplama için bu

özelliklerin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Ancak bu özellikler çok iyi bilinse dahi malzemelerin yangın anındaki fiziksel ve kimyasal tepkimeleri algoritmadaki sınırlamalar nedeni ile gerçek yangındakinden farklı sonuçlar verebilir. Bu nedenden ötürü simülasyonda kullanılan malzemelere ait yanma deneyleri yapıp malzeme özellikleri bu deney sonuçlarından sağlanmalıdır. [50, s. 1-44].

Ek-B

HESAPLAMALARDA KULLANILAN MEKAN GEOMETRİSİNİN VE MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRTİLDİĞİ DATA DOSYASI ÖRNEKLERİ

Modellemede kullanılan mekan geometrisinin, tefriş malzemeleri ve alınacak sonuç dosyalarına ait girdi dosyalarından örnek olması açısından aralarında d mesafesi bırakılarak düzenlenmiş duman perdelerine ait girdi dosyası aşağıdaki gibidir;

```
&HEAD CHID='lentod',TITLE='Duman perdesi 1 d Mustafa ÖZGÜNLER' /
*****
&GRID IBAR=40, JBAR=99, KBAR=30 /oda ızgara yapısı
&PDIM XBAR=4,YBAR0=-0.8,YBAR=9.1,ZBAR=3 /
*****
&GRID IBAR=150, JBAR=30, KBAR=30 /koridor ızgara yapısı
&PDIM XBAR0=-11,XBAR=4,YBAR0=-0.8,YBAR=2.2,ZBAR=3 /
&TIME TWFIN=300,DT=1 /
&MISC SURF_DEFAULT='GYPSUM BOARD',NFRAMES=1800,DTCORE=50.,
  DATABASE='c:\nist\ids\database3\database3.data',
  REACTION='POLYURETHANE' /
&SURF ID=TURNER,HRRPUA=1000. /
&OBST XB=0.00,0.40,4.2,4.60,0.00,0.60,SURF_ID='OAK'/banyo tarafındaki komidin
&OBST XB=0.00,2.4,6.6,4.00,0.00,0.20,SURF_ID='PINE'/yatak başası
&OBST XB=0.00,2.4,6.6,4.00,0.2,0.40,SURF_ID='UPHOLSTERY'/yatak
&OBST XB=0.00,0.40,6.4,6.8,0.00,0.60,SURF_ID='OAK'/duvar tarafındaki komidin
*****
&OBST XB=0.00,0.20,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi
&OBST XB=-1.00,-0.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi1
&OBST XB=-2.00,-1.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi2
&OBST XB=-3.00,-2.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi3
&OBST XB=-4.00,-3.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi4
&OBST XB=-5.00,-4.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi5
&OBST XB=-6.00,-5.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi6
&OBST XB=-7.00,-6.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi7
&OBST XB=-8.00,-7.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi8
&OBST XB=-9.00,-8.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi9
&OBST XB=-10.00,-9.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi10
&OBST XB=-11.00,-10.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi11
&OBST XB=-12.00,-11.80,-0.8,2.2,2.0,3.0,SURF_ID='CONCRETE'/KORIDOR duman perdesi12
*****
&OBST XB=0,0.2,8.3,9.1,0.00,0.90,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk Koltuk 2
&OBST XB=0.8,1,8.3,9.1,0.00,0.90,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk Koltuk 2
&OBST XB=0.2,0.8,8.3,9.1,0.40,0.60,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk Şilte 2
&OBST XB=0.2,0.8,8.3,9.1,0,0.40 /Koltuk altlığı 2
&OBST XB=0.2,0.8,8.9,9.1,0.6,1.2,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk arka 2
&OBST XB=2.2,8.3,9.1,0.00,0.90,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk Koltuk 1
&OBST XB=2.8,3,8.3,9.1,0.00,0.90,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk Koltuk 1
&OBST XB=2.2,2.8,8.3,9.1,0.40,0.60,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk Şilte 1
&OBST XB=2.2,2.8,8.3,9.1,0,0.40 /Koltuk altlığı 1
&OBST XB=2.2,2.8,8.9,9.1,0.6,1.2,SURF_ID='UPHOLSTERY' /Koltuk arka 1
&OBST XB=1.2,1.8,8.3,8.9,0.4,0.6,SURF_ID='OAK' /schpa
&OBST XB=3.2,4,8.5,9.1,0.40,0.60,SURF_ID='OAK' /masa
&OBST XB=3.2,3.8,8.3,7.9,0.2,0.4,SURF_ID='OAK' /sandalye
&OBST XB=2,2.4,5.2,5.8,0.4,0.8,BLOCK_COLOR='YELLOW',SURF_ID='PINE'/TELEVIZYON
&OBST XB=2,2.4,4.6,6.40,0,0.40,SURF_ID='PINE'/DOLAP
*****
```

```

&VENT XB=0,0,4,6,5,0,4,0,4,SURF_ID='BURNER'/Yangın başlangıcı döşeme 40 cm üstü
.....
&OBST XB=3,00,3,90,2,20,2,4,2,00,3/Koridor kapı lento son
&OBST XB=0,00,3,00,2,20,2,4,0,00,3/Koridor kapı sol son
&OBST XB=3,90,4,2,20,2,4,0,00,3/Koridor kapı sağ son
.....
&OBST XB=3,00,3,90,4,4,2,2,00,3/orta kapı lento son
&OBST XB=0,00,3,00,4,4,2,0,00,3/orta kapı sol son
&OBST XB=3,90,4,4,4,2,0,00,3/orta kapı sağ son
&OBST XB=2,60,2,80,2,4,2,9,0,00,3/Banyo kapı duvarı koridor tarafı son
&OBST XB=2,60,2,80,2,9,3,7,2,3/Banyo kapı lento son
&OBST XB=2,60,2,80,3,7,4,0,00,3/Banyo kapı duvarı oda tarafı son
.....
&VENT XB=-11,-11,-0,8,2,2,0,0,3,SURF_ID='OPEN'/
&VENT XB=0,00,4,4,2,9,1,0,00,0,00,SURF_ID='CARPET'/
&FL3D DISAM=30,/kontur aralığı aynıye cinsinden 30
&BNDF QUANTITY='HEAT FLUX'/
.....
&SLCF PBX=-1,80,QUANTITY='TEMPERATURE'/
&SLCF PBX=-1,80,QUANTITY='VELOCITY',vector=true./
&SLCF PBX=-1,80,QUANTITY='VISIBILITY'/
.....
&SLCF PBX=-3,45,QUANTITY='TEMPERATURE'/
&SLCF PBX=-3,45,QUANTITY='VELOCITY',vector=true./
&SLCF PBX=-3,45,QUANTITY='VISIBILITY'/
&SLCF PBX=-3,45,QUANTITY='HRRPUV'/
&SLCF PBX=-3,45,QUANTITY='MIXTURE_FRACTION'/
.....
&SLCF PBY=0,70,QUANTITY='TEMPERATURE'/
&SLCF PBY=0,70,QUANTITY='RADIANT_INTENSITY'/
&SLCF PBY=0,70,QUANTITY='ABSORPTION_COEFFICIENT'/
&SLCF PBY=0,70,QUANTITY='VISIBILITY'/
&SLCF PBY=0,70,QUANTITY='VELOCITY',vector=true./
.....
&THCP XYZ=0,45,0,7,0,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='koridorlaks0_80/Koridor
&THCP XYZ=0,45,0,7,0,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL='koridorlaks0_80/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,1,2,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='koridorlaks1_20/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,1,2,QUANTITY='VELOCITY' LABEL='koridorlaks1_20/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,1,6,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='koridorlaks1_60/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,1,6,QUANTITY='VELOCITY' LABEL='koridorlaks1_60/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,1,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='koridorlaks1_80/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,1,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL='koridorlaks1_80/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,2,0,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='koridorlaks2_00/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,2,0,QUANTITY='VELOCITY' LABEL='koridorlaks2_00/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,2,4,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='koridorlaks2_40/'
&THCP XYZ=0,45,0,7,2,4,QUANTITY='VELOCITY' LABEL='koridorlaks2_40/'
.....
&THCP XYZ=-1,0,7,0,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=-d0_80/Koridor
&THCP XYZ=-1,0,7,0,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=-d0_80/'
&THCP XYZ=-1,0,7,1,2,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=-d1_20/'
&THCP XYZ=-1,0,7,1,2,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=-d1_20/'
&THCP XYZ=-1,0,7,1,6,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=-d1_60/'
&THCP XYZ=-1,0,7,1,6,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=-d1_60/'
&THCP XYZ=-1,0,7,1,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=-d1_80/'
&THCP XYZ=-1,0,7,1,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=-d1_80/'
&THCP XYZ=-1,0,7,2,0,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=-d2_00/'
&THCP XYZ=-1,0,7,2,0,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=-d2_00/'
&THCP XYZ=-1,0,7,2,4,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=-d2_40/'
&THCP XYZ=-1,0,7,2,4,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=-d2_40/'
.....
&THCP XYZ=2,0,7,0,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=2d0_80/Koridor
&THCP XYZ=2,0,7,0,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=2d0_80/'
&THCP XYZ=2,0,7,1,2,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=2d1_20/'
&THCP XYZ=2,0,7,1,2,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=2d1_20/'
&THCP XYZ=2,0,7,1,6,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=2d1_60/'
&THCP XYZ=2,0,7,1,6,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=2d1_60/'
&THCP XYZ=2,0,7,1,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=2d1_80/'
&THCP XYZ=2,0,7,1,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=2d1_80/'
&THCP XYZ=2,0,7,2,0,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=2d2_00/'
&THCP XYZ=2,0,7,2,0,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=2d2_00/'
&THCP XYZ=2,0,7,2,4,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=2d2_40/'
&THCP XYZ=2,0,7,2,4,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=2d2_40/'
.....
&THCP XYZ=3,0,7,0,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=3d0_80/Koridor
&THCP XYZ=3,0,7,0,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=3d0_80/'
&THCP XYZ=3,0,7,1,2,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=3d1_20/'
&THCP XYZ=3,0,7,1,2,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=3d1_20/'
&THCP XYZ=3,0,7,1,6,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=3d1_60/'
&THCP XYZ=3,0,7,1,6,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=3d1_60/'
&THCP XYZ=3,0,7,1,8,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=3d1_80/'
&THCP XYZ=3,0,7,1,8,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=3d1_80/'
&THCP XYZ=3,0,7,2,0,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=3d2_00/'
&THCP XYZ=3,0,7,2,0,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=3d2_00/'
&THCP XYZ=3,0,7,2,4,QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL=3d2_40/'
&THCP XYZ=3,0,7,2,4,QUANTITY='VELOCITY' LABEL=3d2_40/'
.....

```



```

&THCP XYZ=-4,0,7,0,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=4d0_80 /Koridor
&THCP XYZ=-4,0,7,0,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=4d0_80 /
&THCP XYZ=-4,0,7,1,2,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=4d1_20 /
&THCP XYZ=-4,0,7,1,2,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=4d1_20 /
&THCP XYZ=-4,0,7,1,6,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=4d1_60 /
&THCP XYZ=-4,0,7,1,6,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=4d1_60 /
&THCP XYZ=-4,0,7,1,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=4d1_80 /
&THCP XYZ=-4,0,7,1,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=4d1_80 /
&THCP XYZ=-4,0,7,2,0,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=4d2_00 /
&THCP XYZ=-4,0,7,2,0,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=4d2_00 /
&THCP XYZ=-4,0,7,2,4,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=4d2_40 /
&THCP XYZ=-4,0,7,2,4,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=4d2_40 /
*****
&THCP XYZ=-5,0,7,0,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=5d0_80 /Koridor
&THCP XYZ=-5,0,7,0,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=5d0_80 /
&THCP XYZ=-5,0,7,1,2,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=5d1_20 /
&THCP XYZ=-5,0,7,1,2,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=5d1_20 /
&THCP XYZ=-5,0,7,1,6,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=5d1_60 /
&THCP XYZ=-5,0,7,1,6,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=5d1_60 /
&THCP XYZ=-5,0,7,1,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=5d1_80 /
&THCP XYZ=-5,0,7,1,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=5d1_80 /
&THCP XYZ=-5,0,7,2,0,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=5d2_00 /
&THCP XYZ=-5,0,7,2,0,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=5d2_00 /
&THCP XYZ=-5,0,7,2,4,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=5d2_40 /
&THCP XYZ=-5,0,7,2,4,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=5d2_40 /
*****
&THCP XYZ=-6,0,7,0,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=6d0_80 /Koridor
&THCP XYZ=-6,0,7,0,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=6d0_80 /
&THCP XYZ=-6,0,7,1,2,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=6d1_20 /
&THCP XYZ=-6,0,7,1,2,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=6d1_20 /
&THCP XYZ=-6,0,7,1,6,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=6d1_60 /
&THCP XYZ=-6,0,7,1,6,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=6d1_60 /
&THCP XYZ=-6,0,7,1,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=6d1_80 /
&THCP XYZ=-6,0,7,1,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=6d1_80 /
&THCP XYZ=-6,0,7,2,0,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=6d2_00 /
&THCP XYZ=-6,0,7,2,0,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=6d2_00 /
&THCP XYZ=-6,0,7,2,4,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=6d2_40 /
&THCP XYZ=-6,0,7,2,4,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=6d2_40 /
*****
&THCP XYZ=-7,0,7,0,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=7d0_80 /Koridor
&THCP XYZ=-7,0,7,0,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=7d0_80 /
&THCP XYZ=-7,0,7,1,2,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=7d1_20 /
&THCP XYZ=-7,0,7,1,2,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=7d1_20 /
&THCP XYZ=-7,0,7,1,6,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=7d1_60 /
&THCP XYZ=-7,0,7,1,6,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=7d1_60 /
&THCP XYZ=-7,0,7,1,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=7d1_80 /
&THCP XYZ=-7,0,7,1,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=7d1_80 /
&THCP XYZ=-7,0,7,2,0,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=7d2_00 /
&THCP XYZ=-7,0,7,2,0,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=7d2_00 /
&THCP XYZ=-7,0,7,2,4,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=7d2_40 /
&THCP XYZ=-7,0,7,2,4,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=7d2_40 /
*****
&THCP XYZ=-8,0,7,0,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=8d0_80 /Koridor
&THCP XYZ=-8,0,7,0,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=8d0_80 /
&THCP XYZ=-8,0,7,1,2,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=8d1_20 /
&THCP XYZ=-8,0,7,1,2,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=8d1_20 /
&THCP XYZ=-8,0,7,1,6,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=8d1_60 /
&THCP XYZ=-8,0,7,1,6,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=8d1_60 /
&THCP XYZ=-8,0,7,1,8,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=8d1_80 /
&THCP XYZ=-8,0,7,1,8,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=8d1_80 /
&THCP XYZ=-8,0,7,2,0,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=8d2_00 /
&THCP XYZ=-8,0,7,2,0,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=8d2_00 /
&THCP XYZ=-8,0,7,2,4,QUANTITY~TEMPERATURE' LABEL=8d2_40 /
&THCP XYZ=-8,0,7,2,4,QUANTITY~VELOCITY' LABEL=8d2_40 /
*****

```

Tüm mekanlarda kullanılan malzemelere ait termofiziksel özelliklerin belirtildiği data dosyaları ise aşağıdaki gibidir.

```

&REAC ID='WOODY'
FYI=Ritchie, et al., 5th IAFSS, C_3.4_H_6.2_O_2.5'
SOOT_YIELD=0.01
NU_O2 =3.7
NU_CO2 =3.4
NU_H2O =3.1
MW_FUEL =87
EPMO2 =8850./
&REAC ID='POLYURETHANE'

```

```

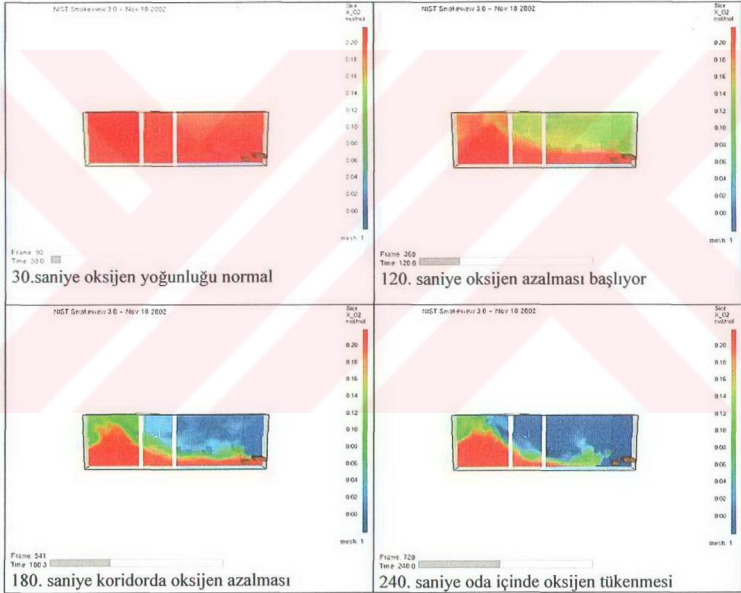
FYI=C 6.3 H 7.1 N 0 2.1, NFPA Handbook, Babrauskas'
SOOT_YIELD = 0.10
MW_FUEL = 130.3
FUEL_N2 = 0.5
NU_CO2 = 6.3
NU_H2O = 3.55
NU_O2 = 7.025 /
&SURF ID = 'UPHOLSTERY'
FYI = 'Fleischmann and Chen, 100% acrylic'
C_DELTA_RHO = 1.29
TMPIGN = 280.
DENSITY = 40.0
RGB = 0.53,0.38,0.35
BURNING_RATE_MAX = 0.03
HEAT_OF_VAPORIZATION = 1500.
HEAT_OF_COMBUSTION = 30000. /
&SURF ID = 'CONCRETE'
FYI = 'Quintiere, Fire Behavior'
RGB = 0.66,0.66,0.66
ALPHA = 5.7E-7
KS = 1.0
DELTA = 0.2 /
&SURF ID = 'GYPSUM BOARD'
FYI = 'Quintiere, Fire Behavior'
RGB = 0.80,0.80,0.70
HRRPUA = 100.
RAMP_Q = 'GB'
KS = 0.48
ALPHA = 4.1E-7
DELTA = 0.013
TMPIGN = 400. /
&RAMP ID='GB',T=0.0,F=0.0 /
&RAMP ID='GB',T= 1.0,F=0.5 /
&RAMP ID='GB',T= 2.0,F=1.0 /
&RAMP ID='GB',T=10.0,F=1.0 /
&RAMP ID='GB',T=20.0,F=0.0 /
&RAMP ID='GB',T=30.0,F=0.0 /
&SURF ID = 'CARPET'
FYI = 'No reference; just a guess'
RGB = 0.60,0.80,1.00
C_DELTA_RHO = 1.29
BACKING = 'INSULATED'
TMPIGN = 280.
SURFACE_DENSITY = 0.3
BURNING_RATE_MAX = 0.01
HEAT_OF_COMBUSTION = 20000.
HEAT_OF_VAPORIZATION= 3000. /
&SURF ID='OAK'
FYI= 'Quintiere, Fire Behavior'
RGB = 0.41,0.20,0.00
BURNING_RATE_MAX = 0.015
HEAT_OF_VAPORIZATION=4000.
HEAT_OF_COMBUSTION =13000.
KS=0.17
ALPHA=8.9E-8
DELTA=0.02
TMPIGN=340. /
&SURF ID='PINE'
RGB = 0.86,0.58,0.44
HEAT_OF_VAPORIZATION=2500.
HEAT_OF_COMBUSTION=12044.
BURNING_RATE_MAX = 0.015
KS=0.14
ALPHA=8.3E-8
DELTA=0.020
TMPIGN=390. /

```

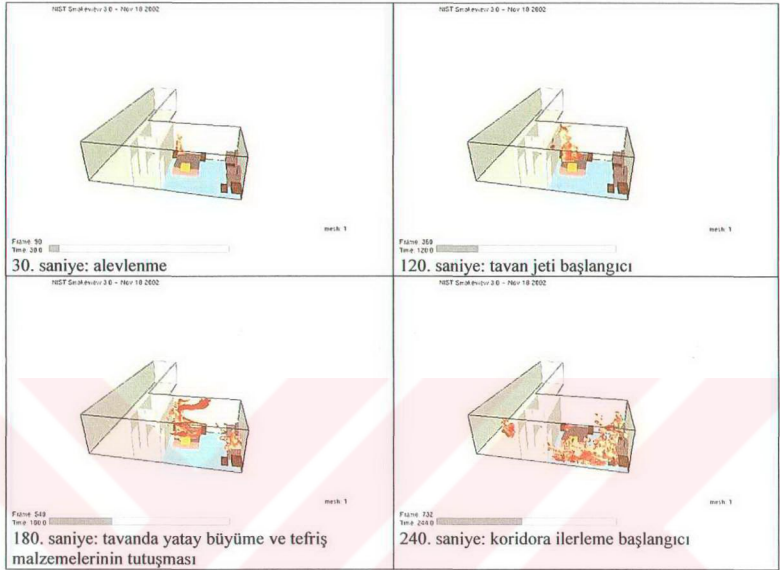

Ek-C

FDS programı ile yapılabilen ancak bu çalışmada kullanılmayan farklı hesaplamalara ait örnek çıktıları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo C. 1. Otel odası kapı aksında ölçülen oksijen yoğunlukları



Tablo C. 2. Otel odası içinde gerçekleşeceği varsayılan alev hareketleri



ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Sivas' ta doğdu. İlk öğrenimini İstanbul Yedikule İlkokulunda tamamladı. 1978 yılında İstanbul Galatasaray Lisesi' nde orta öğrenimine başladı. 1986 yılında Galatasaray Lisesi' ni bitirdikten sonra aynı yıl İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü' nde üniversite eğitimine başladı. 1990 yılındaki mezuniyetinin ardından kurduğu büroda birçok konut projesi gerçekleştirdi. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü' nde Yapı Bilgisi Programında " Yüksek Lisans " öğrenimine kayıt oldu. 1990-1991 ders yılında İ.T.Ü. Yabancı Diller Okulu' nda bir sene İngilizce öğrenimi gördükten sonra İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, Fiziksel Çevre Kontrolü Biriminde Prof. Dr. Zerrin YILMAZ danışmanlığında çalışmalarına başladı. 1992 yılında girdiği araştırma görevlisi sınavlarında başarı göstererek; aynı bölümde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. İngilizce ve iyi derecede Fransızca bilen; Mustafa ÖZGÜNLER halen İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı F.Ç.K. Biriminde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

- Yayınları

'Toplu Konutlarda İç İklim ve Kullanıcıların İklimsel Tepkileri Üzerine Bir Araştırma', *Konut Araştırmaları Sempozyumu*, Ankara 1-2 Temmuz 1993 (Prof. Dr. Zerrin Yılmaz ile birlikte).

'Pasif yangın güvenlik önlemlerinde etkili olan tasarım değişkenleri ve ilgili mevzuatın irdelenmesi', *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.

'Toplu Konutlarda Nitelik Sorunu', Cilt 2, T.C. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, 1996 (Prof. Dr. Zerrin Yılmaz ile birlikte).

'Ofis Binalarında Alınabilecek Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri', Ofis ve İnsan, Ekim 1997.

'Pasif Yangın Güvenlik Önlemlerinde Etkili Olan Dizayn Parametreleri', *Yapıda Yalıtım Konferansı ve Paneli*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 11-12 Şubat 1999.

'Yangın Güvenliği Açısından Malzeme Kontrolü', *Yangın ve Deprem Güvenliği Açısından Malzeme ve Taşıyıcı Sistem Seçimi Semineri*, TMMOB Mimarlar Odası, İstanbul, 15 Aralık 1999.

'Yangın Güvenliği Açısından Taşıyıcı Sistemde Malzeme Seçimi', 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul, 9-13 Ekim 2002.