

Apartman Dairelerinde Duman Hareketi ve Yangın Kontrol

W.K.W. Show*

Özet

Üç katlı bir apartmandaki dumanın kaçış yollarındaki durumu CFAST 2.0. model yangın bölgesi kullanılarak incelendi. Dumanın sıcaklığı ve duman tabakasının merdivenlerde ve koridorlardaki yüksekliği analiz edildi. Duman kontrol sistemlerinin işleyişi tavanındaki havalandırma kapakları (1-4 mb² yükünde) ve merdivene yerleştirilmiş duman çekme sistemleri (saatte 6 hava değiştiren) hesaba katılarak değerlendirilmiştir. Kaynaklarda geçen bazı deneysel sonuçlar bu model tarafından öngörülen sonuçlarla karşılaştırılmak üzere kullanıldı. Son olarak bir konut sprinkler tesisatının etkisi ele alındı. Kararsız t² yangınlar için FASTLite kullanılarak konut tipi sprinkler başlıklarının yangın söndürmedeki etkisinin simülasyonu canlandırıldı. Sprinklerin olduğu ve olmadığı durumlardaki duman tabakasının oluşturduğu ısının tahliye oranları karşılaştırıldı.

1. GİRİŞ

Kuzey Amerika'da bu tür apartmanların sayısı çok fazla olmasına rağmen (Takeda ve Young 1992; Yung et al. 1993), Japonya [örneğin: Hasemi (1992)] ve Avustralya [örneğin: Beck ve Yung (1994)] gibi ülkelerde daha fazla yarı ahşap yarı kâgir çok katlı apartman yapılmaktadır. (örneğin: Amerika Birleşik Devletleri'nde genellikle "Tip V, hafif ahşap gövdeli inşaat" denilen türde üç katlı ahşap gövdeli apartmanlar). Etkili yangın koruma sistemlerinin tasarlanması için, güvenliği sağlamadan önce apartmandaki yangının durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Hatta bu, koridorlar ve merdivenler gibi kaçış yollarının düşünülmesinden daha önemlidir. Bölgesel bir yangının alevlenmesinden önceki evresi hakkında sahip olunacak bilgi, önemli bir kazanç sağlar, çünkü yangın koruma sistemleri bir yangının gelişme aşamasında devreye girmek üzere dizayn edilirler. Yangının bu aşamasında, duman önemlidir ve duman kontrolü dikkatle hesaba katıl-

malıdır. Gerekli olduğunda, tavanlardaki havalandırma kapakları veya mekanik havalandırma sistemleri gibi uygun duman kontrol sistemlerinin yerleştirilmesi tavsiye edilir.

Bir binada, alevlenmeden önceki evrede, yangının gelişimi yangın modelleri aracılığıyla canlandırılabilir. Kaynaklarda geçerliliği kabul edilmiş pek çok yangın bölgesi modeli (Friedman 1991; Quintiere 1987; Mitler 1990) vardır ve bunlar bir apartmanın içinde yangın civarı çalışmalarında uygulanabilir. Bir bölge modelinde, yangın alanı sıcak dumanın üstünde bir bölge ve serin havanın altında bir bölge olmak üzere ayrılacak ve alt bölgeden üst bölgeye ısı ve kütle transferi için yangının üzerinde büyükçe bir plume bulundurulacaktır. Plume için kurulan denklemlerde, açıklıklardan akış, tutuşma süreci, ısı ışınım ve ısı iletim kaybı gibi deneysel parametreler kullanılır. Dört denklemin çözülmesini sağlayan on bir adet değişken (yoğunluk, sıcaklık, hacim, enerji, iki katın hac-

* Journal of Architectural Engineering Dergisi'nin Haziran 1997 sayısından alınmıştır.

mi, basıncı ve nemli ortamdan dolayı yer -
adet sınırlama vardır. Bu seçilmiş dört denk -
lem değişik bölge modelleri için farklıdır.
Bölge modelleri aracılığıyla öngörülen faydalı
sonuçlar, duman tabakası yoğunluğunun ve
dumanın sıcaklığının geçici varyasyonlarıdır.

Gaithersburg, Md. Ulusal Test ve Standartlar
Enstitüsü, Bina ve Yangın Araştırmaları Labo -
raturunda geliştirilen CFAST (Peacock ve diğ.
1993a; Alvord 1995) modeli bölge modellerin -
den bir tanesidir. Bu model apartman yangını -
nı, geçici duman tabakası değerlerini ve her
odadaki gaz sıcaklık derecelerini simüle edebi -
lir. Yeni 2.0 versiyonunda zorlanmış havalan -
dırma sisteminin ve tavandaki yatay hava açık -
lıklarının simülasyonu mümkündür. Literatürde
geçen apartmanlar üzerine yapılmış deneyler
(Peacock ve diğ. 1988, 1993b; Soderbom
1992; Luo and Beck 1994) öngörülen sonuçla -
rı doğrulamak için kullanılmıştır.

Bu makalede, CFAST 2.0 yangın bölgesi mo -
deli aracılığıyla bir apartmandaki kaçış yolla -
rında dumanın durumu incelenmiştir. Her bir
katında iki ayrı birim ve bir koridor bulunan üç
katlı bir apartmanda yangını simüle etmek için
sayısal deneyler yapılmıştır. Bir merdivene
yerleştirilen duman kontrol sistemleri açık ka -
pılarla (veya asansör ya da taşıma için kapılar
merdivenlere kapatıldıysa dikey bir eksen ola -
rak alındı) değerlendirildi. Bu dikey eksen çok
uzun değilse bölge modelleri (Cooper 1994)
kullanılabilir. Duman tahliye sistemi ve tavan -
daki yatay havalandırma kapakları sistemlere
dahildir. Her simülasyonda yangının katlardan
birinde bir odada meydana geldiği varsayılır.
Merdivenlerdeki ve her katın koridorlarındaki
duman sıcaklığı ve duman tabakası ara yüzeyi
sıcaklığı incelenir. Son olarak, yeni yangın ko -
ruma mühendisliği aracı olan FASTLite
("FASTLite" 1996) kullanılırken yerleştirilen
sprinkler tesisatının etkisi incelendi.

APARTMAN

Uzunluğu 13m, genişliği 23m ve yüksekliği 9m

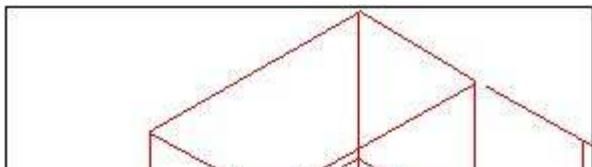
olan bir apartman emkate emman 7 apart -
manın üç katı ve on odası bulunmaktadır. Di -
ğerlerinden daha büyük 6 birim (birinci kattaki 1
ve 2, ikinci kattaki 6 ve 7 ve üçüncü kattaki 8 ve
9 olarak işaretlenmiş odalar) –her biri
10mx10m ebadında- ve üç koridor (3, 5 ve 8
olarak işaretlenmiş odalar) her bir kata yer -
leştirildi. Bir de 4 olarak işaretlenmiş bir bö -
lüm var, bu da Şekil 1'de gösterilmiştir. Birinci
katta koridorlardan açık havaya çıkan 2m ge -
nişliğinde ve 2m yüksekliğinde bir giriş kapısı
mevcuttur. Aynı kapı geometrisinin koridorlarla
birimlere ve üç koridorla merdivene bağlandığı
varsayılıyor. Bütün kapıların açık olduğu dü -
şünüyor.

Alan 3m x 3m, açığa çıkan ısı Q, 1-5 MW ve
yanma süresi 600 saniye alındı; yangının alt,
ikinci veya üçüncü katta bir odada olacağı ka -
rarlaştırıldı. Sabit şiddette bir yangının seçil -
mesinin sebebi apartmandaki "duman" bölgesi -
ni belirlemektir. Kararsız t2 bir yangın, kaçış
zamanının, sprinklerin aktivasyon zamanının ve
bir yangının gelişme aşamasının değerlendiril -
mesi bakımından faydalı olacaktır. Bununla
birlikte, yangın gelişirken en yüksek ısının tah -
liye edilme oranı (e.g., 5 MW) üzerinde kesik
değerler kullanılabilir.

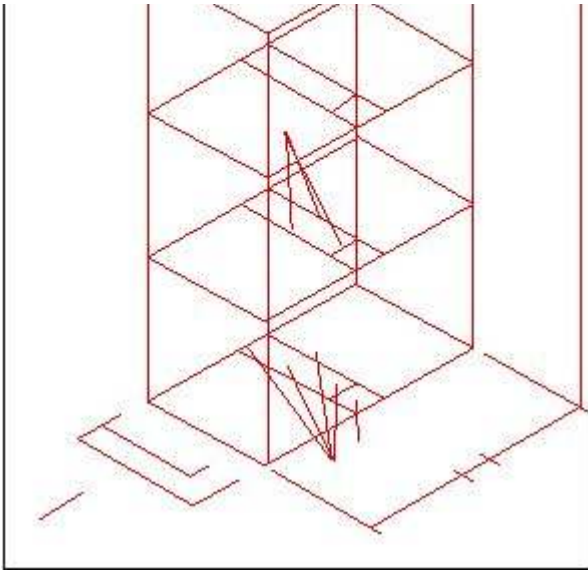
Aşağıdaki üç grup simülasyon merdivendeki
duman kontrol sisteminin ve yangın farklı ko -
numlarını canlandırmaktadır.

ŞEK. 1. Apartman kat planı

1. Grup 1: Kat 1'de yangın (oda 1)
 - Durum 1a: duman kontrolü olmadan
 - Durum 1b: 1, 2, 3 ve 4 m2 alanlarda yatay havalan -
dırma açıklığı ile
 - Durum 1c: saatte 1,2,3,4,5,6 kez hava değişimli me -
kanik duman tahliye sistemi ile
2. Grup 2 : Kat 2'de yangın
 - Durum 2a: duman kontrolü olmadan
 - Durum 2b: 1, 2, 3 ve 4 m2 alanlarda yatay havalan -
dırma açıklığı ile
 - Durum 2c: saatte 1,2,3,4,5,6 kez hava değişimli me -
kanik duman tahliye sistemi ile



açığa çıkan ısıya bağlı olarak, herhangi bir du -
man kontrolü olmadan kontrol işlemi birim za -
manı 8 dakika, tavandaki havalandırma açık -
lıkları ile birlikte 19 dakika ve mekanik kontro -
lün olduğu durumlar içinse 37 dakika olmuştur.



3. Grup 3 : Kat 3'de yangın

- Durum 3a: duman kontrolü olmadan
- Durum 3b: 1, 2, 3 ve 4 m² alanlarda yatay havalandırma deliği ile
- Durum 3c: saatte 1,2,3,4,5,6 kez hava değişimli mekanik duman tahliye sistemi ile

Apartmanda 6, 5, 4, 3, 2 ve 1 hava değişimleri için hacimsal debi sırasıyla 3.48, 2.9, 2.32, 1.74 ve 1.16 m³/s dir. Her durum için kanal alanı 1 m² ve fan'ın işletme basıncı 50 Pa'dır. Saatteki hava değişimleri kullanılırken mekanik havalandırma sisteminin hacimsal debisini belirtmek için kullanılan terimler pek çok ülkede terk edilmiştir. Bu terim hala Hong Kong'ta yapı endüstrisinde (özellikle yangın ve havalandırma mühendisliğinde) mekanik havalandırma sistemlerini belirtmekte (Chow and Fung) kolaylık sağladığı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra terim, yangının büyüklüğü (açığa çıkan ısı veya çevresi) ve duman tabakası ara yüzeyinin yüksekliği gibi pek çok dinamik parametreye bağlıdır.

Her bir grup için bu apartmanın kaçış yollarındaki yangın riski CFAST 2.0. bölge modeli kullanılarak incelenmiştir. Yangının konumuna ve

BİRİNCİ KATTAKİ YANGIN SONUÇLARI

Sabit bir yangın süresi boyunca (60-540 s) merdivende (oda 4) ve üç koridorda (oda 3, 5 ve 10) dumanın sıcaklığı (Ts) ve duman tabakası ara yüzünün yüksekliği (y) hakkındaki sonuçlar her bir durum için Tablo 1'de gösterilmiştir. Duman kontrolü olmayan oda 1'e yerleştirilmiş 5-MW'lık bir yangın için, kaçış yollarında öngörülen ortalama duman sıcaklığı ve duman tabakası ara yüzeyi (Şek. 1) ve görsel bir sunumu Şek. 2(a)'da gösterilmektedir.

Merdivende herhangi bir duman kontrolü olmadan 5-MW bir yangın ile grup 1a simülasyonları için birinci kat koridorlardaki sıcaklık 357 C'a yükseldi. CFAST 2.0.'dan öngörüldüğü gibi duman koridorların %66'sını doldurdu. Yangın alt katta meydana geldiği için ortalama duman sıcaklığı 137 C'a yükselerek duman merdiven boşluğu hacminin %82'sinden fazlasını doldurdu. Ayrıca üst kattaki koridorlar (5 ve 10 numaralı odalar) da dumanla doldu. Daha küçük bir ısı öngörülüyordu fakat duman 88 °C civarında bir sıcaklıkta kaçış yollarını dolduracaktı. O nedenle duman önemlidir. Merdivenin üstündeki yatay bir tavan havalandırma kapağıyla grup 1b simülasyonları için duman ısı arttırıldı. Şek. 2(b)'de açıkça gösterildiği gibi 5-MW bir yangın için duman tabakası ara yüzey yüksekliği 1.7 m'den 4.1 m'ye yükseltildi. 4 m²'lik bir tavan açıklığı merdivenin üstündeki çatının büyük bir kısmını tamamen iptal edecekti. Bununla birlikte, havalandırma açıklığının boyutunun küçültülmesi de Tablo 1'de gösterildiği gibi duman tabakasını alt kata getirecekti. Örneğin, 1 m²'lik bir tavan havalandırma açıklığı için duman ara yüzeyinin yüksekliği 3.1 m olabilir, bu da ikinci kattaki birimlerin etkileneceği göstermektedir.

Şek. 2. 5 MW'lık yangında Grup 1 simülasyonları için duman çevresi: (a) Duman kontrolü olmadan (b) 4 m² Tavan havalandırma açıklığı; (c) 6 Hava değişimi

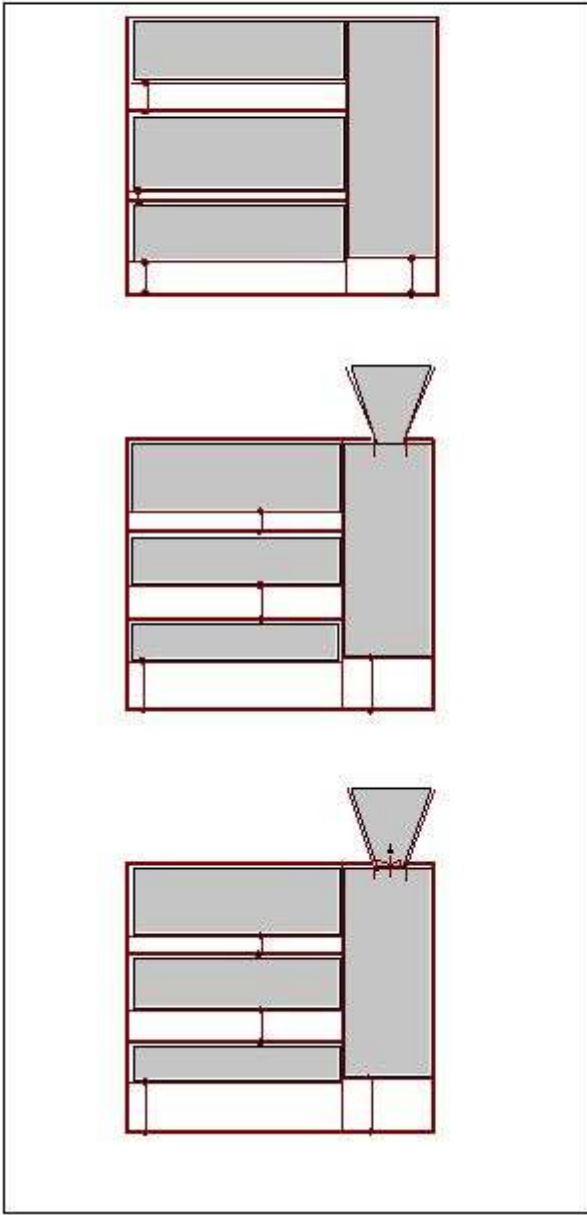
mekanik havalandırma (Sıcaklık °C biriminde)

TABLO 1. Birinci kattaki yangın halinde kaçış yollarında

duman çevresinin özeti

gösterildiği gibi saatte 6 hava değişimi ile 5 MW bir yangın için, merdivenlerdeki duman sı-

Yangının ısı kaybı oranı (1)	Merdiven		Kat 1'deki koridor		Kat 2'deki koridor		Kat 3'deki koridor	
	Ts/°C (2)	y/m (3)	Ts/°C (4)	y/m (5)	Ts/°C (6)	y/m (7)	Ts/°C (8)	y/m (9)
Q= 5 MW Duman kontrolü olmadan	137	1.7	357	1.1	78	0.5	88	0.5
Tavan deliği:	134	3.1	381	1.2	77	0.6	85	0.5



Grup 1c simülasyonları aracılığıyla gösterildiği gibi her saatte 1 den 6'ya hava değişimli mekanik egzost sistemi dumanın merdivenlerdeki boşaltılmasında etkili olabilir. Şek. 2(c)'de

1 metre kare	131	3.6	381	1.2	77	0.7	84	0.5
2 metre kare	129	3.9	382	1.2	75	1.0	83	0.5
3 metre kare	128	4.1	382	1.2	76	0.9	83	0.5
4 metre kare								
Mekanik çıkarma:	139		369	1.1	79	0.5	89	0.5
1 ACH	141	1.9	378	1.2	80	0.5	89	0.5
2 ACH	143	2.1	381	1.2	80	0.5	89	0.5
3 ACH	142	2.1	381	1.2	80	0.6	88	0.5
4 ACH	140	2.3	381	1.2	79	0.6	87	0.5
5 ACH	137	2.5	381	1.2	79	0.6	86	0.5
6 ACH		2.7						
		2.9						
Q= 4 MW Duman kontrolü olmadan	124		317	1.1	78	0.5	88	0.5
Tavan deliği:	120		336	1.2	77	0.6	85	0.5
1 metre kare	117	1.7	336	1.2	77	0.7	84	0.5
2 metre kare	115		337	1.2	75	0.9	83	0.5
3 metre kare	114	3.1	337	1.2	76	1.0	83	0.5
4 metre kare		3.6						
Mekanik çıkarma:	126		327	1.2	73	0.5	82	0.5
1 ACH	127	4.0	334	1.2	74	0.5	82	0.5
2 ACH	128		336	1.2	74	0.6	82	0.5
3 ACH	126		336	1.2	73	0.6	80	0.5
4 ACH	124	2.0	336	1.2	73	0.6	79	0.5
5 ACH	121	2.2	336	1.2	72	0.6	78	0.5
6 ACH		2.4						
		2.6						
		2.8						
		3.0						
Q= 3 MW Duman kontrolü olmadan	103		285	1.2	64	0.6	69	0.6
Tavan deliği:	101		286	1.2	64	0.8	69	0.5
1 metre kare	100	1.8	286	1.3	64	0.9	68	0.5
2 metre kare	99		287	1.3	63	1.0	68	0.5
3 metre kare		3.1						
4 metre kare		3.5						
Mekanik çıkarma:	110		281	1.2	66	0.5	74	0.5
1 ACH	111	3.7	285	1.3	67	0.6	74	0.5
2 ACH	110	3.7	286	1.3	66	0.6	73	0.5
3 ACH	110	3.9	285	1.3	65	0.6	71	0.5
4 ACH	108		285	1.2	65	0.7	70	0.5
5 ACH	106		285	1.2	64	0.7	70	0.5
6 ACH	104		285	1.2	64	0.7	70	0.5
Mekanik çıkarma:	91	2.1	224	1.3	58	0.6	63	0.6
1 ACH		2.3						
2 ACH	84	2.5	230	1.3	55	0.7	59	0.6
3 ACH	83	2.7	229	1.3	55	0.8	59	0.6
4 ACH	82	2.7	230	1.3	55	0.9	59	0.6
5 ACH	82	2.9	230	1.3	55	1.0	58	0.6
6 ACH	81	3.1	230	1.3	55	1.0	58	0.6

çaklığı çok fazla değişmeyecek ve fakat duman tabakası daha yukarı bir katta tutulacaktır. Havalandırma oranı düşerse duman tabakası ara yüzü yüksekliği daha düşük olabilir.

İKİNCİ KATTAKİ YANGIN SONUÇLARI

Sabit bir yangın süresi boyunca (60-540 s) ka-

52
2005

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 86,

Q= 2 MW Duman kontrolü olmadan	91	2.0	224	1.3	58	0.6	63	0.6
Tavan deliği:	84	3.0	230	1.3	55	0.7	59	0.6
1 metre kare	83	3.4	229	1.3	55	0.8	59	0.6
2 metre kare	82	3.6	230	1.3	55	0.9	59	0.6
3 metre kare	81	3.8	230	1.3	55	1.0	58	0.6
4 metre kare								
Mekanik çıkarma:								
1 ACH	91	2.3	229	1.3	58	0.6	63	0.6
2 ACH	91	2.5	230	1.3	57	0.6	62	0.6
3 ACH	88	2.7	230	1.3	57	0.7	61	0.6
4 ACH	86	2.9	230	1.3	56	0.7	60	0.6
5 ACH	85	3.0	230	1.3	56	0.7	59	0.6
6 ACH	84	3.1230		1.3	55	0.8	59	0.6
Q= 1 MW Duman kontrolü olmadan	65	2.5	162	1.4	46	0.8	49	0.8

korundu. Ve tekrar açıklığın boyutu küçültüle rek, duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği düşürüldü. 5-MW'lık yangın için kaçış yollarında dumanın çevresi hakkında görsel bir sunum Şek. 3(b)'de gösterilmektedir.

Grup 2c simülasyonları için mekanik havalan-

TABLO 2. 2. katta yangın halinde kaçış yollarında duman çevresinin özeti

Yangının ısı kaybı oranı (1)	Merdiven	Kat 1'deki koridor	Kat 2'deki koridor	Kat 3'deki koridor

roju oima dan								
Tavan deliği:								
1 metre kare	59	3.3	162	1.4	44	1.0	46	0.8
2 metre kare	59	3.6	162	1.4	44	1.1	46	0.8
3 metre kare	59	3.8	162	1.4	44	1.2	46	0.8
4 metre kare	58	3.9	162	1.5	44	1.2	46	0.8
Mekanik çıkarma:								
1 ACH	63	2.8	162	1.5	45	0.9	48	0.8
2 ACH	61	3.0	162	1.4	44	0.9	47	0.8
3 ACH	60	3.2	162	1.4	44	1.0	46	0.8
4 ACH	59	3.3	162	1.4	44	1.0	46	0.8
5 ACH	59	3.5	161	1.4	44	1.1	46	0.8
6 ACH	59	3.6	161	1.4	44	1.1	46	0.8

çış yollarındaki (3,4,5 ve 10 numaralı odalar) dumanın öngörülen sıcaklığı ve duman tabakası ara yüzü hakkındaki sonuçlar ikinci katta (oda 6) meydana gelen yangın için Tablo 2'de gösterilmiştir.

Merdivende herhangi bir duman kontrolü olmayan Grup 2a simülasyonlar için merdivenlerdeki ortalama sıcaklık 200 °C yükseltildi ve Şek.3 (a)'da gösterildiği gibi 6 numaralı odada 5 MW bir yangın için merdiven boşluğunun %69'u dumanla doldu. İkinci katta duman dışarı verildiği için yalnızca üstteki merdivenler dumanla doldu. Kat birdeki birimler dumandan oldukça az etkilendiler. Gerçekte, serin duman 63 °C bir sıcaklıkta koridor boşluğunun yalnızca %19'unu doldurdu.

Merdivende, Grup 2b simülasyonlarındaki gibi, yatay bir tavan havalandırma açıklığı (1-4 m²) olduğunda, merdivenlerdeki ortalama duman sıcaklığı düştü. 5-MW'lık bir yangın için duman sıcaklığı 200 °C'den 146 °C'a dönüştü ve duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği 5.9 m'nin üzerinde tutuldu. Alt kat (oda 1-3) dumansız

	ıs/°C (2)	y/m (3)	ıs/°C (4)	y/m (5)	ıs/°C (6)	y/m (7)	ıs/°C (8)	y/m (9)
Q= 5 MW Duman kontrolü olmadan	200	2.8	63	2.4	338	0.3	126	0.4
Tavan deliği:								
1 metre kare	194	4.9	30	3.0	363	0.9	116	0.4
2 metre kare	164	5.5	30	3.0	364	0.9	103	0.4
3 metre kare	152	5.7	30	3.0	365	0.997		0.5
4 metre kare	146	5.9	30	3.0	365	0.995		0.5
Mekanik çıkarma:	201	3.4	32	3.0	341	0.4	125	0.4
1 ACH	202	3.8	30	3.0	345	0.5	124	0.4
2 ACH	202	4.0	30	3.0	349	0.6	123	0.4
3 ACH	201	4.2	30	3.0	353	0.6	121	0.4
4 ACH	201	4.4	30	3.0	355	0.7	119	0.4
5 ACH	198	4.7	30	3.0	358	0.8	117	0.4
6 ACH								
Q= 4 MW Duman kontrolü olmadan	180	2.9	54	2.5	298	0.4	115	0.4
Tavan deliği:								
1 metre kare	171	5.0	30	3.0	318	0.9	105	0.4
2 metre kare	145	5.5	30	3.0	320	0.993		0.5
3 metre kare	135	5.7	30	3.0	320	0.988		0.5
4 metre kare	129	5.8	30	3.0	320	0.986		0.5
Mekanik çıkarma:	182	3.61	32	3.0	301	0.4	115	0.4
1 ACH	181	3.9	30	3.0	305	0.5	113	0.4
2 ACH	180	4.1	30	3.0	308	0.6	112	0.4
3 ACH	179	4.3	30	3.0	311	0.7	110	0.4
4 ACH	178	4.6	30	3.0	313	0.8	108	0.4
5 ACH	174	4.8	30	3.0	315	0.8	105	0.4
6 ACH								
Q= 3 MW Duman kontrolü olmadan	158	3.0	47	2.6	256	0.4	103	0.4
Tavan deliği:								
1 metre kare	146	5.0	30	3.0	270	0.992		0.5
2 metre kare	124	5.4	30	3.0	271	0.982		0.5
3 metre kare	115	5.7	30	3.0	272	0.978		0.5
4 metre kare	111	5.8	30	3.0	272	0.976		0.5
Mekanik çıkarma:	158	3.7	32	3.0	258	0.5	102	0.4
1 ACH	157	4.0	30	3.0	261	0.6	101	0.4
2 ACH	156	4.2	30	3.0	263	0.799		0.4
3 ACH	154	4.5	30	3.0	265	0.896		0.5
4 ACH	150	4.7	30	3.0	267	0.894		0.5
5 ACH	145	5.0	30	3.0	269	0.990		0.5
6 ACH								

Q= 2 MW Duman kontrolü olmadan	130	3.2	41	2.7	208	0.5	87	0.5
Tavan deliği:								
1 metre kare	99	5.0	30	3.0	217	1.0	77	0.5
2 metre kare	99	5.5	30	3.0	219	1.0	69	0.6
3 metre kare	90	5.6	30	3.0	219	1.0	66	0.6
4 metre kare	90	5.7	30	3.0	219	1.0	64	0.6
Mekanik çıkarma:	130	3.9	32	3.0	210	0.6	86	0.5
1 ACH	128	4.1	30	3.0	212	0.7	84	0.5
2 ACH	125	4.4	30	3.0	214	0.8	82	0.5
3 ACH	122	4.7	30	3.0	215	0.9	79	0.5
4 ACH	116	4.9	30	3.0	216	0.9	76	0.5
5 ACH	109	5.2	30	3.0	218	1.0	72	0.6
6 ACH								
Q= 1 MW Duman kontrolü olmadan	92	3.7	34	2.8	148	0.8	65	0.6
Tavan deliği:								
1 metre kare	79	5.2	30	3.0	153	1.2	57	0.7
2 metre kare	70	5.5	30	3.0	154	1.2	53	0.7
3 metre kare	67	5.7	30	3.0	154	1.2	51	0.8
4 metre kare	65	5.8	30	3.0	154	1.2	50	0.8

deki birimler dumandan hiç etkilenmedi. Grup 3b simülasyonlarda 4 m² alanında tavan havalandırma boşluğu olduğunda, 5-MW bir yangın için merdivendeki ortalama duman sıcaklığı 506 °C'e yükseldi fakat duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği 7.3 m üzerinde tutuldu. Şek. 4(b)'de gösterildiği gibi alt katlar (oda1-3) dumansız olarak korundu. Tablo 3'de görüldüğü üzere tavan havalandırma açıklığı alanı daha büyük ve merdivenlerdeki duman tabakası daha yüksektir.

Grup 3c simülasyonlar aracılığı ile kanıtlandığı üzere yerleştirilen mekanik havalandırma sistemleri dumanı merdivenin dışına çıkaracaktır. 5-MW bir yangın için merdivendeki duman sıcaklığı 394 °C'dan 506 °C'a çıkarıldı. Duman

Mekanik çıkarma:								
1 ACH	90	4.4	32	3.0	150	0.9	63	0.7
2 ACH	87	4.7	30	3.0	151	1.1	61	0.7
3 ACH	83	5.1	30	3.0	153	1.1	59	0.7
4 ACH	77	5.3	30	3.0	153	1.2	56	0.8
5 ACH	72	5.6	30	3.0	154	1.2	53	0.8
6 ACH	67	5.8	30	3.0	154	1.2	51	0.9

dirma sistemi yerleştirilmesi merdivenin dışına duman çıkartılmasında verimli olacaktır. Şek. 3(c)'de gösterildiği gibi 6 numaralı odadaki 5-MW'lık bir yangın için merdivendeki duman tabakası yoğunluğu düşürülürken duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği 2.8 m'den 4.7 m'ye yükseltildi. Bir de alt kattaki odalar (oda 1-3) dumansız olarak korundu. Bununla birlikte sistemin havalandırma oranı ve duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği düşürüldü.

ÜÇÜNCÜ KATTAKI YANGIN SONUÇLARI

Sabit bir yangın süresi boyunca (60-540 s) kaçış yollarındaki öngörülen duman sıcaklığı (T_s) ve duman tabakası ara yüzeyi üçüncü kattaki (oda 8) yangınla üçüncü grup simülasyonlar için Tablo 3'de gösterilmiştir.

Merdivenlerde herhangi bir duman kontrol sistemi olamayan grup 3a simülasyonlar için 5-MW bir yangında Şek. 4(a)'da gösterildiği gibi boşluk hacminin %52'si duman dolarken merdivendeki sıcaklık 394 °C çıkarılmıştır. Duman üçüncü kattan merdivenlere çıkarıldığı için yalnızca üst kısım dumanla doldu. Kat bir

tabakası ara yüzeyi yüksekliği 6.7 m'den daha yüksek bir seviyede korundu. Şek. 4'te gösterildiği gibi, alt katta (oda 1-3) duman yoktu.

TAVAN HAVALANDIRMA DELİĞİ VE MEKANİK HAVALANDIRMANIN ETKİSİ

Simülasyon sonuçlarından görülüyor ki tavan havalandırma kapağı açıldığında ya da mekanik havalandırma sistemi çalıştırıldığında, merdivendeki duman tabakası ara yüzeyi yüksekliği daha yüksek bir seviyede tutulacaktır. Merdivendeki duman tabakası ara yüzeyi yüksekliklerini, duman kontrolünün olmadığı, tavan havalandırma açıklığının olduğu ve mekanik havalandırmanın olduğu üç durum için sırasıyla Y_{ov} , Y ve Y_m olduğunu düşünelim. Bir duman tabakası yoğunluk indirgeme parametresi Z_v , tavan havalandırma deliği açıldığında, merdiven yüksekliği açısından belirlenebilir.

$$Z_v = \frac{Y_v - Y_o}{H} \times \%100 \quad (1)$$

Benzer şekilde, mekanik havalandırma çalıştırıldığında, başka bir duman tabakası yoğunluk indirgeme parametresi Z_m belirlenebilir.

$$Z_m = \frac{Y_m - Y_o}{H} \times \%100 \quad (2)$$

Z_v ve Z_m 'nin her ikisi içinde maksimum değer (Z_{max} olarak gösterilir) aynıdır ve Y_v ve Y_m merdiven yüksekliğinde olduklarında bu değere ulaşılır.

$$Z_{max} = \frac{H - Y_o}{H} \times \%100 \quad (3)$$

Bu aslında duman tabakası yoğunluğunun tavan yüksekliğinin yüzde biri olarak ifadesidir.

Şek.5'te gösterilen birinci kattaki yangın için tipik bir örnekle tavan havalandırma açıklığı A_v karşı merdivendeki Z_v 'nin değerleri çizildiğinde, aşağıdaki eğri uygun olabilir

$$Z_v = Z_{max} (1 - e^{-A_v B_v}) \quad (4)$$

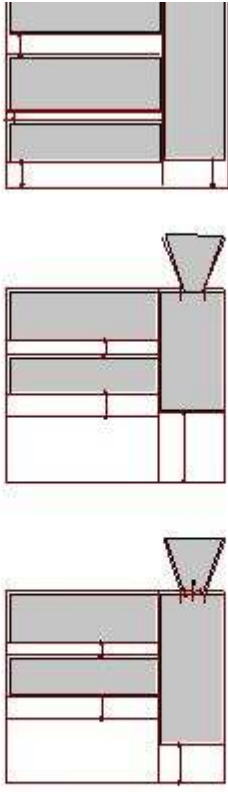
Aynı şekilde, birinci kattaki yangın için Şek. 6'da gösterilen tipik bir örnekle, her saat yapılan hava değişikliği sayısı açısından havalandırma oranlarına R karşı Z_m 'nin çizim değerleri için benzer bir eğri bulundu.

$$Z_m = Z_{max} (1 - e^{-R B_m}) \quad (5)$$

Önceki eğrilerde, apartmanın geometrisine ve duman kontrol sisteminin işlem koşullarına bağlı olarak B_v ve B_m sabittir. Bu Z_v için tavan havalandırma deliği tasarım parametreleri ve Z_m için akış oranı ve kanal büyüklüğü gibi fan işlem koşulları olacaktır.

En küçük kareler metoduyla, B_v ve B_m 'nin değerleri ve Y_v ve Y_m 'nin benzer korelasyon katsayıları Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu oldukça iyi bir korelasyondur.

Eqs. (4) ve (5) numaralı eşitlikler apartmandaki duman kontrol sistemi tasarımında faydalı



Şekil 3. 5 MW'lık yangında Grup 2'simülasyonları için duman çevresi: (a) Duman kontrolü olmadan (b) 4 m² Tavan havalandırma açıklığı; (c) 6 Hava değişimi

ki duman kontrol sistemi tasarımında faydalıdır. Bir defa, herhangi bir duman kontrolü olmadan, duman tabakası yoğunluğu ve tavan havalandırma açıklığı için geometrik faktör B_v (veya mekanik havalandırma sistemi için B_m) belirlenir, tavan havalandırma açıklığının optimum alanı veya mekanik havalandırma sistemi için havalandırma debisi belirlenebilir.

DENEYLERLE KARŞILAŞTIRMA

Avustralya Victoria Teknoloji Üniversitesinde tek katlı çok bölmeli bir binada Luo ve Beck (1994) tarafında deneyler yapıldı ve ayrıca bunlar sonuçlarla karşılaştırma yapmak için kullanıldı. Bina Şek.7'de gösterilmektedir. Dört oda vardır: 1 numaralı oda olarak 3.6x2.4 m büyüklüğünde bir yangın odası; 2 numaralı oda 4.9x2.4 m büyüklüğünde; 3 numaralı oda 3.6x2.8 m büyüklüğünde; 6x1.4 m büyüklüğünde oda 4 olarak tayin edilmiş bir koridor. Odalardan her birinin yüksekliği 2.5 m.

Oda merkezine yerleştirilmiş 0.3x0.3 m büyüklüğünde bir yangın, ısı tahliye oranı 300 kW, ve yangın süresi 600 s'dir. Tablo 5'te duman ısıısının öngörülen ortalama değerlerini tümünün bir özeti gösterilmektedir.

Her bir durum için öngörülen değerlerin sapma yüzdesi T_{pred} deneysel değerlerle ilgili olarak T_{expt} aşağıdaki ifadeyle hesaplanmıştır.

$$PD = \frac{T_{pred} - T_{expt}}{T_{expt}} \times \% 100 \quad (6)$$

Oda 1'de öngörülen duman sıcaklığı için sapma yüzdesinin %16.3'den daha düşük olduğu ileri sürülmüştür ve bu oldukça iyi bir tahmin yüzdesidir.

KONUT SPRİKLERİ

Bazı durumlarda duman kontrol sisteminin duman tabakasını yüksekte tuttuğu ve fakat yangına engel olamadığı gözlenmiştir. Sprinkler gibi otomatik söndürme sistemlerinin yerleştirilmesi alternatif bir yaklaşımdır. İstatistiksel kayıtlar gösteriyor ki kontrolsüz yangınlarda sprinklerin bulunduğu binalar oldukça seyrek olarak bildirilmiş. Bir sprinkler "yangın bulma" ve "yangın söndürme" işlevlerine hizmet eder. Bir sprinkler kafası vardır ki bu temelde yangın

TABLO 3. 3. katta yangın halinde kaçış yollarında duman çevresinin özeti

Mekanik çıkarma:								
1 ACH	373	4.8	32	3.0	130	1.9	619	0.1
2 ACH	392	5.6	30	3.0	70	2.2	628	0.2
3 ACH	409	6.1	30	3.0	34	2.9	639	0.3
4 ACH	427	6.4	30	3.0	30	3.0	646	0.4
5 ACH	441	6.6	30	3.0	30	3.0	648	0.5
6 ACH	455	6.8	30	3.0	30	3.0	652	0.6
Q= 3 MW								
Duman kontrolü olmadan	313	4.5	30	3.0	133	1.5	510	0.2
Tavan deliği:								
1 metre kare	381	6.6	30	3.0	30	3.0	539	0.5
2 metre kare	403	7.1	30	3.0	30	3.0	541	0.8
3 metre kare	395	7.3	30	3.0	30	3.0	537	0.9
4 metre kare	386	7.4	30	3.0	30	3.0	535	0.9
Mekanik çıkarma:								
1 ACH	323	4.9	30	3.0	111	2.0	512	0.2
2 ACH	342	5.8	30	3.0	56	2.3	524	0.2
3 ACH	360	6.3	30	3.0	30	3.0	532	0.3
4 ACH	372	6.5	30	3.0	30	3.0	533	0.5
5 ACH	382	6.7	30	3.0	30	3.0	533	0.6
6 ACH	389	6.9	30	3.0	30	3.0	533	0.7
Q= 2 MW								
Duman kontrolü olmadan	250	4.6	30	3.0	112	1.8	384	0.2
Tavan deliği:								
1 metre kare	296	6.7	30	3.0	30	3.0	401	0.6
2 metre kare	310	7.1	30	3.0	30	3.0	400	0.9
3 metre kare	305	7.3	30	3.0	30	3.0	400	0.9
4 metre kare	297	7.4	30	3.0	30	3.0	400	1.0
Mekanik çıkarma:								
1 ACH	260	5.1	32	3.0	84	2.2	390	0.2

Yangının ısı kaybı oranı (1)	Merdiven		Kat 1'deki koridor		Kat 2'deki koridor		Kat 3'deki koridor	
	Ts/°C (2)	y/m (3)	Ts/°C (4)	y/m (5)	Ts/°C (6)	y/m (7)	Ts/°C (8)	y/m (9)
Q= 5 MW Duman kontrolü olmadan Tavan deliği: 1 metre kare 2 metre kare 3 metre kare 4 metre kare	394	4.3	31	3.0	162	1.3	708	0.1
Mekanik çıkarma: 1 ACH 2 ACH 3 ACH 4 ACH 5 ACH 6 ACH	500	6.6	30	3.0	30	3.0	755	0.5
	530	7.0	30	3.0	30	3.0	764	0.7
	519	7.2	30	3.0	30	3.0	758	0.8
	506	7.3	30	3.0	30	3.0	754	0.8
Q= 4 MW Duman kontrolü olmadan Tavan deliği: 1 metre kare 2 metre kare 3 metre kare 4 metre kare	361	4.5	30	3.0	417	1.5	618	0.1
	447	6.6	30	3.0	30	3.0	657	0.5
	475	7.0	30	3.0	30	3.0	662	0.8
	465	7.3	30	3.0	30	3.0	657	0.8
	454	7.4	30	3.0	30	3.0	652	0.9

2 ACH	278	6.1	30	3.0	30	3.0	401	0.3
3 ACH	290	6.5	30	3.0	30	3.0	401	0.5
4 ACH	296	6.8	30	3.0	30	3.0	397	0.6
5 ACH	298	7.0	30	3.0	30	3.0	394	0.8
6 ACH	252	7.3	30	3.0	30	3.0	398	0.9
Q= 1 MW Duman kontrolü olmadan Tavan deliği: 1 metre kare 2 metre kare 3 metre kare 4 metre kare	165	5.0	30	3.0	78	2.1	237	0.3
	190	6.9	30	3.0	30	3.0	248	0.8
	199	7.3	30	3.0	30	3.0	250	1.1
	197	7.5	30	3.0	30	3.0	252	1.1
	183	7.5	30	3.0	30	3.0	252	1.2
Mekanik çıkarma: 1 ACH 2 ACH 3 ACH 4 ACH 5 ACH 6 ACH	175	5.7	32	3.0	49	2.5	246	0.4
	187	6.7	30	3.0	30	3.0	249	0.7
	190	7.1	30	3.0	30	3.0	248	0.9
	187	7.5	30	3.0	30	3.0	250	1.1
	172	7.9	30	3.0	30	3.0	252	1.2
	148	8.2	30	3.0	30	3.0	252	1.2

nın aktive olmasında önce ısı dedektör işlevi görür. Aktivasyon sırasında belirlenmiş bir sıcaklıkta, tasarlanmış debi ve basınçta su borudan geçerek sprinkler kafasının yön değiştirme levhasına boşaltır. Sonra suyu alt kata dağıtmak için bir su spreji yapılır. Sprinklerlerin bir yangını en az dört mekanizma aracılığıyla kontrol eder: (1) yanan nesnenin direkt soğutul-

ması; (2) duman tabakasının soğutulması; (3) duvar ve katların ısıtılması; ve (4) oksijenin uzaklaştırılması [e.g., Chow (1989)]. Bir konut tipi sprinkler önerildi [e.g., Milke ve Bryan (1989)] ve şimdi apartmanlarda bunun performansı üzerine çalışılmakta.

Yeni bir yangın mühendisliği aracı olan FAST Lite ("FASTLite" 1996) bir sprinklerin performansını simüle edebilir. CFAST de bir yangın simülatörüdür, ancak şu anda yalnız üç oda simüle edilebilir. Yerleştirilen sprinklerlerin etkisinin simülasyonunu yapmak mümkündür. Yangın söndürme mekanizması başka bir yerde açıklanmıştır ("FASTLite" 1996) ve bu makalede tekrar edilmemiştir. Temel olarak, ısı tahliye oranı deneysel bilgilerle aşağıdaki formüle indirgenecektir [e.g., Evans (1993)].

Söz konusu önceki apartman dairesinde yangın odasının uzunluğu 13 m, genişliği 10 m, yüksekliği 3 m'dir. Açığa çıkan ısı Q (W) olan kararsız t2 bir yangın aşağıdaki denklem vasıtasıyla zamanla t (saniyede) çeşitlendirildi.

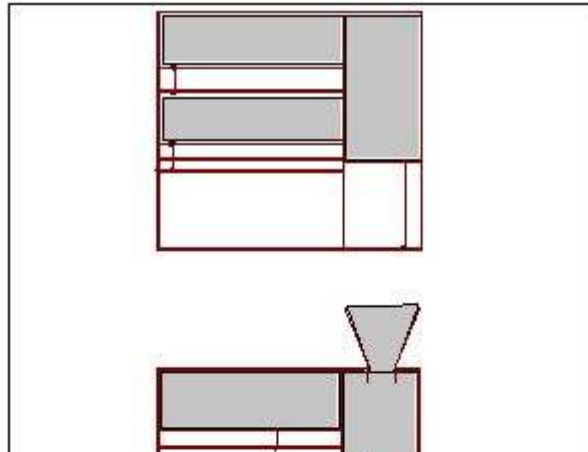
$$Q = a t^2$$

Yangın büyüme oranı aşağıdaki değerlere sahip sabit alfa ile belirlenmektedir: Ultra hızlı-t² için 187.6 W/s², hızlı-t² için 46.9 W/s², orta-t²

ları ve duman sıcaklığı farkları gösterilmiştir. Gözlemleneğine göre, duman tabaka sıcaklığı düşürülerek ısı tahliye oranı belirgin bir şekilde düşürülmüştür.

SONUÇLAR

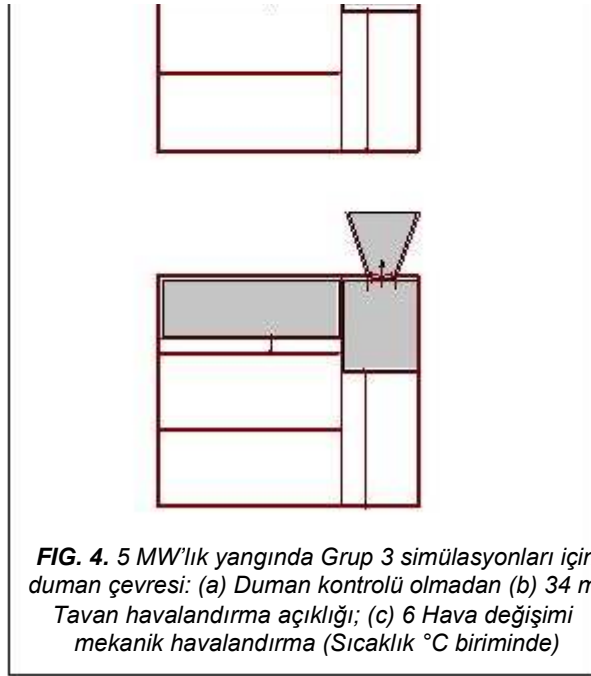
CFAST 2.0 yangın bölgesi modeli üç katlı kagır bir apartmanın kaçış yollarındaki duman durumunu incelemek için kullanıldı. Dumanın henüz alev almamış bir yangın için önemli bir faktör olduğu teşhis edildi. Yangının çıktığı odadan koridorlara ve sonra merdivenlere ve apartmanın farklı bölümlerine hızlıca yayılabilir. Aşağı katta bir odada yangın meydana geldiğinde üst katlara kolayca yayılabilir. Bununla birlikte üst katlardan birinde yangın meydana geldiğinde alt kattaki kadar problem çıkmasına



için 11.7 W/s^2 , yavaş- t^2 için 3.5 W/s^2 . Bu çalışma için 5 MW 'lik bir değer seçilmiştir.

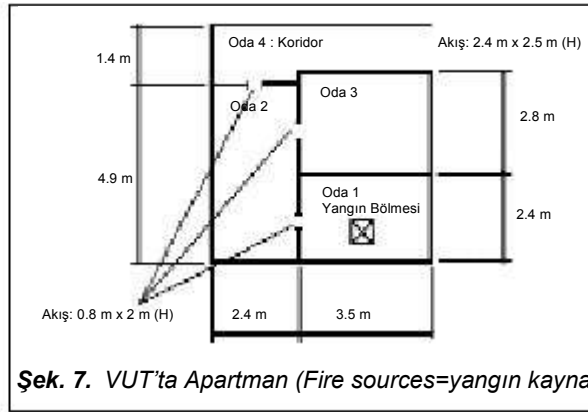
Bu odada yangın çevresi FASTLite'te CFAST simülatörü kullanılarak simüle edilmiştir. Çakma zamanı değerleri, ultra hızlı t^2 , hızlı t^2 , orta t^2 ve yavaş t^2 yangınlar için sırasıyla 392, 506, 741 ve 1136 saniye olarak tespit edilmiştir.

50 m.s1/2.s1/2 yanıt zaman endeksi, 57°C aktivasyon sıcaklığı ve hafif tehlike konut sprinkler sistemi simüle edilmiştir. Simulasyon sonuçlarına göre, sprinkler kafasının yangın odasında ultra hızlı $-t^2$ için 56 s, hızlı $-t^2$ için 91 s, orta $-t^2$ için 152 s ve yavaş $-t^2$ için 257 saniyede aktive edilmesi gerekmektedir. Şekil 8'de bir örnek olarak ultra hızlı- t^2 yangınında su serpmesi ve serpmesiz olaylar için ısı tahliye oran



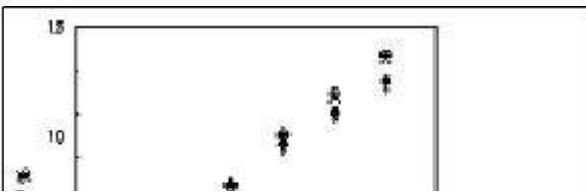
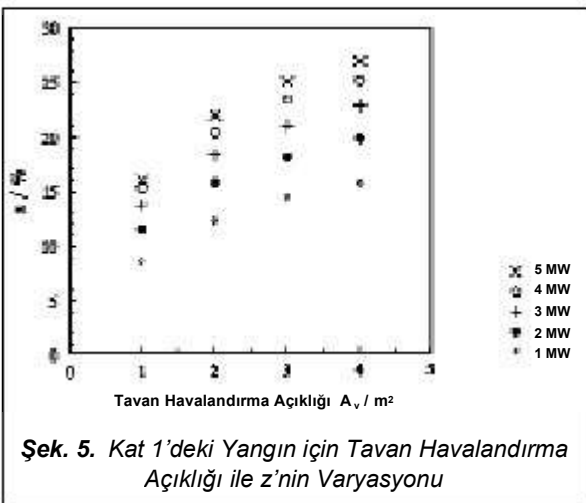
sebepl olmayacaktır.

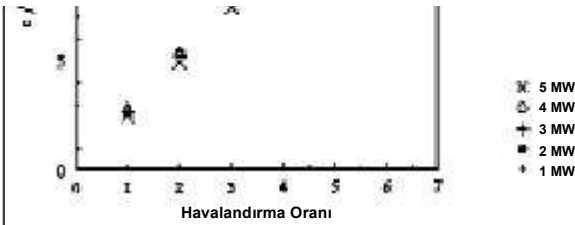
Apartmanın farklı katlarındaki birimlerde yangın güvenlik ihtiyaçları farklı olabilir. Merdivenlerde duman kontrol planı önerilmektedir. Hem yatay tavan havalandırma açıklığı hem de mekanik havalandırma sistemi merdivenlerdeki ve alt kat birimlerindeki duman tabakasını daha üst seviyede tutabilir. Havalandırma açıklığının veya mekanik havalandırma cihazlarının çalışması yangın bulma sistemleriyle birlikte kuruludur. Mekanik sistemlerim yalnızca çok katlı ticari binalarda değil apartmanlarda da kurulması önerildi. Bununla birlikte kaçış yollarının ka-



ve alevlenme sonrası döneme dair farklı sonuçlar verebilir. Kagir bir apartmanın yangın riskini incelemek için bir yangın yayılma modelinin yerleştirilmesinin düşünülmesi iyi olur. Ayrıca, doğal havalandırma için rüzgarın yönü ve hızı, binanın geometrisi, yandaki bölge arazisinin geometrisi sonuçları etkileyecektir. Bu "mikroklimatik" değişkenleri kestirmek zordur.

Binaya bir konut tipi sprinkler sistemi yerleştirilmesi bir diğer çözümdür. Bir püskürtücü su spreyi bir yangını [e.g., Chow (1989)] en az dört etkisi aracılığıyla kontrol edecektir: direkt soğutma; duman tabakasının soğutulması; yangına bitişik olan yerin önce ıslatılması; ve oksijenle ateşin yer değiştirmesi. Sprinklerin kullanıldığı incelemeler oldukça karmaşıktır. Isı tahliye oranının indirgenmesinde deneysel formüller kullanılır ve dört söndürme etkisi üzerine yapılan sonraki incelemeler tatbik edilmek zorundadır. Ayrıca, göz önünde bulundurulacak diğer noktalar: kurulum malıyeti, konut su tank-





Şek. 6. Kat 1'deki Yangın için Havalandırma Oranı ile z'nin Varyasyonu

patılmamasına dikkat edilmeliydi. Bu makalede sunulan inceleme dumanın tutuşma süreci dikkate alınmadan ve kagir duvarlara doğru alev yayılmadan önceki durumu üzerinedir. Bu gelişmekte olan bir yangın için çok önemlidir

diğer noktaları, koridorları, marjinal alanları için ayrılan alanlar ve apartmanın iç deko - rasyonunun görünüşünün rahatsız edici olmasıdır.

TABLO 5. Ortalama Duman Sıcaklığının Karşılaştı - rılması

A için

Dikey eksen=Isı Q/MW

Yatay eksen =zaman /s

B için

Dikey eksen= Duman Sıcaklığı Ts/ C

Yatay eksen =zaman /s

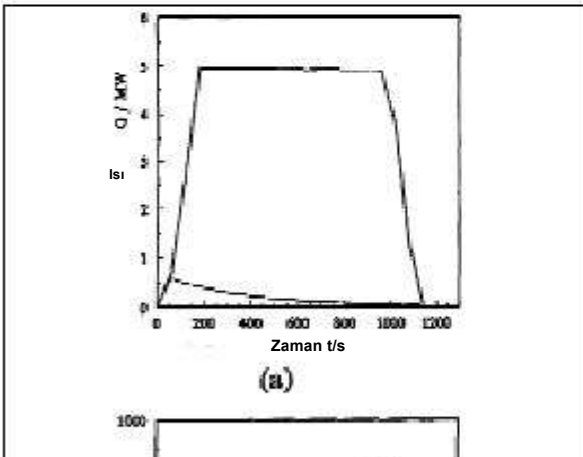
- **sprinklerli**

- **sprinklersiz**

Yangının yeri (1)	Isı tahliye oranı Q (MW) (2)	Zmax/% (3)	Havalandırma deliği parametresi Bv (4)	Korelasyon katsayısı Yv (5)	Mekanik havalandırma parametresi Bm (6)	Korelasyon katsayısı Ym (7)
Kat 1'de yangın	1	72.1	13.80	0.984	30.54	0.996
Kat 1'de yangın	2	77.7	11.35	0.985	32.06	0.994
Kat 1'de yangın	3	79.6	9.78	0.987	30.82	0.998
Kat 1'de yangın	4	80.8	8.78	0.984	31.34	0.998
Kat 1'de yangın	5	81.7	8.18	0.979	32.59	0.999
Kat 2'de yangın	1	58.4	6.18	0.980	11.27	0.999
Kat 2'de yangın	2	64.4	5.38	0.944	13.71	0.999
Kat 2'de yangın	3	66.4	4.90	0.979	14.37	0.998
Kat 2'de yangın	4	67.8	4.51	0.948	14.85	0.999
Kat 2'de yangın	5	69.3	4.36	0.984	15.03	0.996
Kat 3'de yangın	1	44.2	2.77	0.974	3.93	0.996
Kat 3'de yangın	2	48.7	2.76	0.989	5.96	0.981
Kat 3'de yangın	3	49.8	2.77	0.991	7.01	0.971
Kat 3'de yangın	4	50.2	2.80	0.992	7.72	0.974
Kat 3'de yangın	5	51.8	2.72	0.992	7.75	0.977

Bu incelemeden, apartmandaki püskürtücüsüz

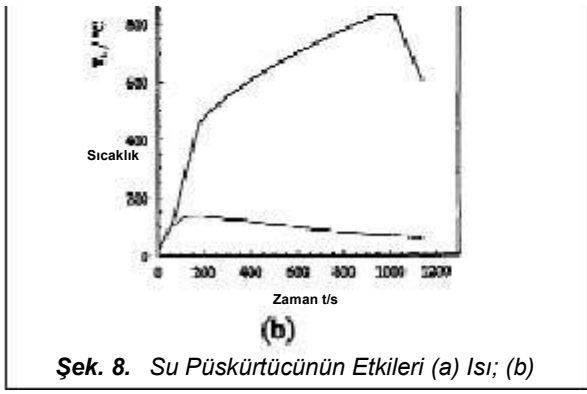
Model Oda 1 (1)	Duman Derecesi / derece			
	Oda 2 (2)	Oda 3 (3)	Oda 4 (4)	Oda 5 (5)
Expt at Vut	370	190	100	85
CFAST 2.0	339 (8.4%)	159 (16.3%)	87 (13%)	96 (12.9%)



bir yangında mekanik ve doğal havalandırma - la bile sakinlerin muhtemel kaçış yollarını cid - di anlamda kapsayacak hatırı sayılır bir duman oluşacağı sonucu çıkartılabilir. Duman kontrol sistemlerinin tasarlanmış olduğu durumlarda B_v ve B_m işlem parametreleri önemlidir. Deney - sel denklemler, B_v ve B_m işlem parametreleri - le duman tabakası yoğunluğunun indirgenme - sine bağlı olarak elde edilmektedir. Bu para - metreler bölge modelleriyle yapılan simülas - yonlardan saptanırlar. Yangın çıktığında yer - leştirilmiş olan duman kontrol sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde faydalı olacaklardır.

REFERANS

Alvord, D.M. (1995). "A CFAST output compari - son method and its use in comparing different CFAST versions." NISTIR Rep. 5705, Build. and Fire Res. Lab., Nat. Inst. of Standards



Şek. 8. Su Püskürtücünün Etkileri (a) Isı; (b)

and Technol., Gaithersburg, Md.
 Arno, P. S. (ed.). (1989). Concise encyclopedia of wood and wood-based materials, Pergamon Press, Inc., Tarrytown, N.Y.
 Beck, V. R., and Yung, D. (1994). "The development of a risk-cost assessment model for the evaluation of fire safety in building." Fire Safety Sci. -Proc. 4th Int. Symp., T. Kashiwagi, ed., Int. Assn. for Fire Safety Sci., Gaithersburg, Md., 817-828.
 Chow, W.K. (1989). "On the evaporation of

- sprinkler water spray." Fire Technol., (November), 364-373.
- Chow, W.K. (1996). "Prediction of fire environment in apartment using zone models." J. Fire Sci., 14(4), 163-312.
- Chow, W.K., and Fung, W.Y. (1996). "Studies on the 'ventilation effectiveness' and modification of the ventilation system in the waiting hall of a railway station." Indoors + Built Environment, 5(5), 280-290.
- Cooper, L.Y. (1994). "Simulating smoke movement through long vertical shafts in zone-type compartment fire models." NISTIR Rep. 5526, Build. and Fire Res. Lab., Nat. Inst. of Standards and Technol., Gaithersburg, Md.
- Evans, D.D. (1993). "Sprinkler fire Suppression algorithm for HAZARD." NISTIR Rep. 5254, Nat. Inst. of Standards and Technol., Gaithersburg, Md.
- "Fastlite engineering tools for estimating fire growth and smoke transport." NISTIR Rep. SP899, Nat. Inst. of Standards and Technol., Gaithersburg, Md.
- Friedman, R. (191). "Survey of computer models for fire and smoke." Rep Forum for Int. Cooperation on Fire Res., Factory Mutual Research Corporation, Norwood, Mass.
- Hasemi, Y. (1992). Wooden 3-story apartment building shake and burn test: Rep. Build. Res. Inst., Ministry of Constr., Tsukuba, Japan.
- Hasemi, Y., Yoshida, M., and Parker, W.J. (1994). "Upward flame spread along a vertical solid for transient local heat release rate." Fire Safety Sci. -Proc., 4th Int. Symp., T. Kashiwagi, ed., Int. Assn. for Fire Safety Sci., Gaithersburg, Md., 386-396.
- Klote, J. and Milke, J. (1992). "Design of smoke management systems." Rep. ASHRAE Publications 90022, ASHRAE, Atlanta, Ga.
- Luo, M., and Beck, V. (1994). "The fire environment in a multi-room building - comparison of predicted and experimental results." Fire Safety J. 23(4), 413-438.
- Mitler, H.E. (1990). "Mathematical modelling of enclosure fires." NISTIR Rep. 90-4294, Build. and Fire Res. Lab., Nat. Inst. of standards and Technol., Gaithersburg, Md.
- Peacock, R. D., Davis, S., and Lee, B.T. (1988). "An experimental data set for the accuracy assessment of room fire models." Rep. NBSIR 88-3752, Nat. Bureau of Standards, Gaithersburg, Md.
- Peacock, R.D., Forney, G.P., Reneke, P., Porter, R., and Jones, W.W. (1993a). "CFAST, the consolidated model of fire growth and smoke transport." NIST Tech. Note 1299, Nat. Inst. of standards and Technol., Gaithersburg, Md.
- Peacock, R.D., Jones, W.W., and Bukowski, R.W. (1993b). "Verification of a model of fire and smoke transport." Fire Safety J., 21(2), 89-129.
- Quintiere, J.G. (1987). "Fundamentals of enclosure fire 'zone' models." Natural Fire protection Assn. -Annu. Meeting for Soc. of Fire Protection Engrs., Cincinnati, Ohio.
- Soderbom, J. (1992). "Smoke spread experiments and numerical simulation." SP Rep. 1992:52, Swedich Nat. Testng and Res. Inst., Boras, Sweden.
- Takeda, H., and Yung, D. (1992). "Simplified fire growth models for risk-cost assessment in apartment buildings." J. Fire Protection Engrg., 4(2), 53-66.
- Yung, D., Hadjisophoclaus, G., and Takeda, H. (1993). "Comparative risk assessments of 3-story wood-frame and measuring construction on apartment buildings." Proc., Interflam '93, Franks, compiler, International Communications Ltd., England, 499-508.

