



Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi / HVAC, Refrigeration, Fire Fighting and Sanitary Journal

Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki/
Fundamentals of HVAC Design & Application Appendix

Sayı / Number: 38

TTMD

Adına Sahibi / Owner on Behalf of TTMD
Abdullah BİLGİN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü /
Responsible Editorial Manager
H.Bora TÜRKMEN

Genel Yayın Yönetmeni /
Chief of Editorial Manager
Prof.Dr. T. Hikmet KARAKOÇ

Yayın Kurulu / Editorial Board

Gürkan ARI
Onur BAŞOKUR
Abdullah BİLGİN
Aytekin ÇAKIR
Dr.İbrahim ÇAKMANUS
Remzi ÇELİK
Mustafa ÇETİN
Selfinaz ÇILDIR
Faruk ÇİMEN
Ali Rıza DAĞLIOĞLU
Yrd.Doç.Dr. Hüseyin GÜNERHAN
Murat GÜRENLİ
Ender İREN
Prof.Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
Serhan MUMCU
Refet Doruk OFLAZ
Nazif ÖZAKINCI
Züleyha ÖZCAN
Seden ÇAKIROĞLU ÖZTEKER
Yeşim PORTAKAL
Serkan UZUN
İsmet TANER ÜNLÜ
Onur TUĞA
H.Bora TÜRKMEN
Fuzuli TOPAL
Cafer ÜNLÜ

**Dergi Yayın Sorumlusu /
Responsible for Publication**

Gülten ACAR
İlknur ALTINBAŞ

İletişim / Contact Info
Ankara: Bestekar Sk. Çimen Apt. No:15/2
06680 Kavaklıdere
Tel: 0 312 419 45 71 - 419 45 72
Faks: 0 312 419 58 51
web: www.ttmd.org.tr
e-mail: ttmd.istanbul@ttmd.org.tr

**TTMD Yönetim Kurulu /
Executive Board of TTMD**

Abdullah BİLGİN (Başkan)
Prof. Dr. Abdurrahman KILIÇ (Başkan Yrd.)
Fevzi ÖZEL (Başkan Yrd.)
Hırant KALATAS (Başkan Yrd.)
Dr. İbrahim ÇAKMANUS (Genel Sekreter)
Aytekin ÇAKIR (Muhasip Üye)
Cafer ÜNLÜ (Üye)
Levent ALATLI (Üye)
Handan ÖZGEN (Üye)
Gürkan ARI (Üye)
Tufan TUNÇ (Üye)
Murat GÜRENLİ (Üye)
Tunç KORUN (Üye)

60. sayının ekidir.

Binalarda Duman Çekme Sistemlerinin Boyutlandırılması (*)

Engineering Methods for the Dimensioning of Systems for the Removal of Smoke from Buildings

Çeviren: Mak. Yük. Müh. Nejat Demircioğlu

Giriş

Karmaşık bina projelerinin yangından korunma düzenlemelerine uygunluğunu doğrularken, giderek artan biçimde mühendislik düzeyinde hesaplar kullanılmaktadır. Bu yöntemler, boyutlandırma amacıyla yangın eğrilerini ve diğer varsayımları kullanır. Bu düzenleme kılavuz kitap, bu eğrilerin altında yatan temelleri ve dayandığı matematiksel formülleri açıklamaktadır. Kullanılan matematik, bir yangından zaman içerisinde yayılan ısıyı ve duman miktarını belirlemeye olanak vermektedir. Yangın yüküne özgü riske bağlı olarak, bu değerler sprinklerin etkinleştirilmesi dikkate alınarak veya alınmayarak açıklanabilir. Böylece, yangından korunma düzenlemelerine uygunluğun düzenlenmesi ile ilgili mühendislik düzeyindeki hesaplamalar birbiriyle karşılaştırılabilir.

Bu vesile ile bu kılavuz kitabın hazırlanmasına değerli katkılarda bulunanlara teşekkür etmek istiyoruz.

1. Kapsam ve Amaç

Bu kılavuz kitap, yangın eğrilerini dikkate alarak, özel tür ve kullanımlı binalardaki (özel kullanımlı binalar) duman kontrol sistemlerine uygulanır. Kitap, boyutlandırmada (VDI 6029 Kısım 2) mühendislik düzeyindeki hesaplamaların potansiyel uygulama ve sınırlamalarıyla birlikte bu hesaplardaki karşılanması gereken hususlara da işaret etmekte, etkinliğin doğrulanması için yol göstermektedir.

Bu doküman, dumana karşı güvenli kaçış yolları sağlayabilen güvenlik amaçlı basınçlandırma ve basınçlı su sistemleri gibi tesisatlarla ilgili değildir.

Binalara ek olarak bu kitap, örneğin yeraltı trafiğe (tüneller gibi) ve taşıma araçlarına (yük gemileri gibi) da uygulanabilir niteliktedir. Bölüm 3'de verilen ve yangın eğrilerinin belirlenmesinde kullanılan boyutlandırma yöntemi, yangın düzenlemelerine uygunluğun doğrulanmasında da kullanılabilir (örneğin bina elemanlarının ısı analiz) DIN 18232'de verilenlerin dışındaki yangın eğrilerinin düşünüldüğü yerlerde, bina geometrisinin karmaşık olduğu (örneğin atriuma giriş yapan açık galeriler durumu) veya olaya dahil olan herhangi bir özel hususun dikkate alınması gereken yerlerde, VDI Kısım 2'de verilen yöntemler, duman atma sistemlerinin boyutlandırılmasında kullanılabilir.

**ÜNTES ISITMA KLİMA SOĞUTMA SAN. VE TİC. A.Ş.'NİN
KATKILARIYLA YAYINLANMAKTADIR**

(*) VD Guideline 6019: VDI - TGA'nın yazılı iznine istinaden tercüme edilmiştir.

1.1. Korunma Hedefleri ve Tehlike Değerlendirmesi

Özel tür ve kullanımındaki binalardan (özel amaçlı binalar) duman ve ısı egzozu yangından korunmanın önemli bir kısmını oluşturur.

Duman egzoz tesisatları temel korunma hedeflerini gerçekleştirmeye çalışır:

- Personelin kaçışına olanak sağlayan koşulların yaratılması,
- Yangın söndürme ekibinin (kurtarma, yangın yayılmasını önleme ve yangınla savaşım ekibi) yangına karşı aldığı önlemleri desteklemek,
- Malların, tesisatların ve bina kısımlarının yıpranmasını sınırlamak.

Bu korunma amaçlarına ek olarak, duman ve ısının alınması binaya ve binanın işlevsel güvenilirliğini korumaya da yardım eder. Yangın tehlikelerinin ve duman dağılımının değerlendirilmesi kesinlikle yangının gelişimine bağlıdır. Böylece temelde yangın başlangıcı, yangının ilerlemesi ve tam yangın gelişimi değerlendirme ile ilgilidir.

İlk aşama kural olarak, binanın yüke dayanma performansı üzerinde çok küçük bir etkiye sahipken, bu aşamada açığa çıkan duman nedeniyle içeride bulunan insanların önemli yaşamsal tehlike ile karşılaşması olanaklıdır. Bu, özellikle dumanın önemli miktarda zehirli ve yıpratıcı gazlar içermesi ve görüş kapsamını daraltması nedeniyle. Bu nedenle duman egzozu için bu aşamada alınan önlemlere gerek vardır.

Kural olarak, tam gelişkin haldeki yangın aşaması yangın odasından duman egzozu değerlendirilmesinde daha az bir öneme sahiptir. Belirli bir yükseklik ve zaman aralığında, kurtarma ve yangınla mücadele etkinlikleri için gerekli olan alanları ve pasajları da içeren kaçış yolları sadece küçük bir miktar duman taşıyabilir. Bu varsayıldığında 30 dakikadan az olmayan bir zaman sürecinde, dumansız tabaka;

1. 2.5 m veya daha fazla bir yüksekliğe sahiptir (h:2.5 m; insanlar tarafından ulaşılabilir ve işgal edilen alandan ölçülür),

2. Dumansız tabakada ortalama sıcaklık $<70^{\circ}$ olarak kalır (jet etkisini de içeren hava sıcaklığı),

3. Görüşü kısıtlayan ve zehirli gazların minimal miktarını taşır.

NOT: Kararları etkileyebilen diğer kriterler için VDI 6019 Kısım 2'ye başvurulabilir.

1.2. Duman Kontrol Kavramları

Amaca uygun olarak ve yukarıda belirlenen hedefleri sağlamak üzere tüm duman kontrol sistemi aşağıdaki işlevleri yerine getirmelidir:

- Yangının erken fark edilmesi ve sistemlerin etkinleştirilmesi,
- Duman gazı akışlarının kontrolü,
- Duman yayılmasının kısıtlanması,
- Dışsal etkileyici (örneğin rüzgar) ve içsel etkileyici (havalandırma ve iklimlendirme sistemleri) faktörlerden bağımsız olarak çalışabilmesi,
- Alarmı çalıştırmak (isteğe bağlı).

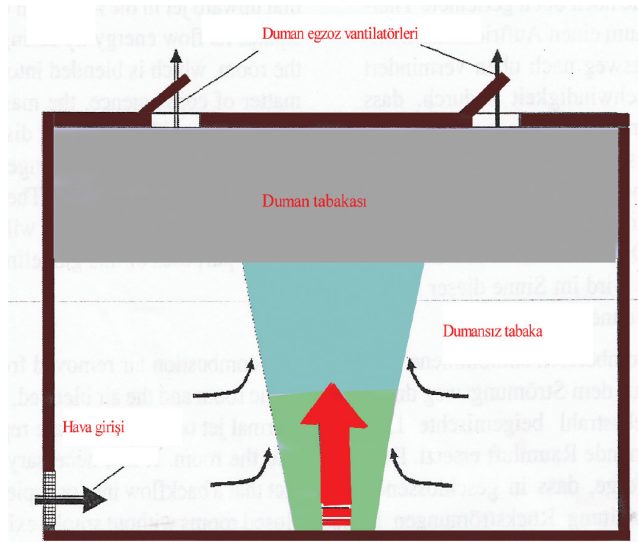
Doğal ve/veya güç kullanan (mekanik) duman ve ısı egzoz sistemleri arasında bir fark gözetilmelidir.

1.3. Boyutlandırmanın Temelleri

Bir yangın, ısı ve yanma ürünlerinin çıkmasına (kaynak terim) neden olur (katı parçacıklar, sıvı ve gaz elemanlar). Alev bölgesi, konveksiyonla hareket eden havayı içeri çeker. Bu, odada yukarı doğru bir ısıl jet oluşumuyla sonuçlanır. Yukarı doğru çıkarken, bu jet oda havasını içine çekerek kendisiyle karışan bu havaya akış enerjisini aktarır. Sonuç olarak, alınan yol (gezinti uzaklığı) arttıkça jetin hacmi ve kütlesi de artar. Bu etki, jetin sınır bölgesindeki momentum değişimi ile tahrik edilir. Bunun sonucunda ortaya çıkan hava ve yanma ürünleri karışımı duman gazı olarak adlandırılacaktır. Odanın alçak kısımlarından çekilen yanma havası ve induksiyon yoluyla yukarı doğru çıkmakta olan jetle harmanlanan hava, odaya doğru akan havayla yer değiştirir. Bunun zorunlu bir sonucu olarak egzoz bulunmayan odalarda geriye, meskun alanlara doğru bir akış ortaya çıkmalıdır. Aynı durum, egzoz içeren fakat hava girişi için açıklık bulunmayan yerler için de doğrudur. Geriye doğru akışın zaman içerisindeki gelişmesi, temelde geometrik sınır koşullarına ve açığa çıkan ısı miktarına bağlıdır.

Dumansız bir tabakayı koruyarak kaçış yollarındaki duman kontrolü sadece duman gazlarının tavandan aşağı doğru geri akışının önlenmesiyle olanaklıdır. Özünde bu duman gazlarını tavana yakın bir yerden çekerken, döşeme düzeyinden kirlenmemiş hava verilerek başlatılabilir (besleme havası).

Belirtilen korunma hedefini gerçekleştirmek için gerekli hava akımı kütesel denge temelinde belirlenmelidir. Çekilen duman gazlarının kütlesi kirlenmemiş hava kütlesi ile yer değiştirmelidir. Odada hava girişi için bırakılan açıklıkların yeri, konumu, boyutları duman kontrolünün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin bu hava girişi açıklıkları döşemeden çok yüksek yerleştirildiğinde sorunlar ortaya çıkar. Hava giriş açıklıkları duman tabakasıyla aynı düzeyde ise, beslenen hava duman havasının bir bölümünü döşeme yakınlarındaki bölüme doğru itecektir. Hava girişlerinde örneğin, yetersiz yüzey alanları nedeniyle ortaya çıkan aşırı giriş hızları, duman hüzmelerini dağıtarak aşağıya, insanların bulunduğu bölgeye doğru süpürebilir.



Şekil 1. Duman kontrol sisteminin şeması.

Bu risk özellikle duman gazı sıcaklığının oda sıcaklığından çok az yüksek olduğu yangının ilk aşamalarında söz konusudur. Hava girişi için olan açıklıklar, örneğin binanın yan cephelerinde ve birbirinden uzakta ise, rüzgar odada çapraz hava akımlarına yol açabilir.

2. Terimler ve Tanımlar

Aerodinamik serbest alan (Aerodynamic free area), A_w

Duman egzozunun aerodinamik serbest alanı, doğal duman egzoz biriminin geometrik yüzey alanı A_g ile, rüzgar etkisini dikkate alarak (C_{vw}) veya ihmal ederek (C_{v0}) dış rüzgar etkisinin çarpımıdır.

Boşaltım katsayısı (Discharge coefficient), C_v

Akış katsayısı C_{v0} (çapraz rüzgarın etkisini ihmal ederek) ya da C_{vw} (rüzgar etkisini dikkate alarak), örneğin EN 12101-2 EK B'ye göre rüzgar tüneline belirlenen ve doğal duman çekme birimlerinin geometrik yüzey açıklık alanından etkili düşey kesit alanını hesaplamakta kullanılan bir katsayıdır.

Geometrik alan (Geometrical area), A_g

Duvar veya tavan düzleminde serbest kesit alanı.

Mekanik duman egzoz fanı (Mechanical smoke exhaust ventilator)

Mekanik duman egzoz vantilatörü, yaklaşık sabit hacimli olarak dumanı çeker. İşlevi, diğer hususlarla birlikte, fanların performansına, kanal tesisatına, giriş ve egzoz açıklıklarının sayısına ve konumlarına, bina geometrisine, duman depolamasının (reservoir) aktivasyon ve büyüklüğüne bağlıdır.

Doğal duman egzoz fanı (Natural smoke exhaust ventilator)

Doğal duman egzoz fanı duman gazlarının ısı kaldırma etkisine dayanır. İşlevleri diğer hususlarla birlikte, duman egzozu etkili efektif aerodinamik kesit alanına, bina geometrisine, çalışma türü ve zamanına ve duman depolanmasının büyüklüğüne bağlıdır.

Hüzme (Plume)

Yangın alanı üzerinde yukarıya doğru olan ısı jeti ifade eder.

Duman zonu, A_R

Duman zonu, tavanın altında duman perdeleri ya da bina elemanları tarafından sınırlandırılan yangın durumunda duman gazlarının yatay dağılımını sarmalar.

Duman perdesi (Smoke curtain)

En azından alttaki duman tabakasını içerecek biçimde tavandan odaya doğru uzanan esnek (örneğin, güçlendirilmiş cam fiberi) hareketli veya sabit (duman geçirmez malzemeler) yapılar.

Bunlar alevin yatay dağılımını sınırlamak (teknik gereklilikler EN 12101-1 'de bulunabilir) için kullanılırlar.

Duman ve ısı kontrol sistemi (Smoke and heat control system)

Duman ve ısı kontrol sistemi duman egzozu için birlikte gerek duyulan elemanları (mekanik duman egzoz vantilatörü, hava giriş açıklıkları, duman perdeleri ve bunların enerji ve kontrol sistemleri de dahil) içerir.

3. Yangın Eğrileri

3.1. Yöntemin Açıklaması

3.1.1. Genel

Bu kitabın amaçları yönünden duman kontrol sistemleri yangın senaryoları temelinde boyutlandırılır. Bunlar temelde değişik yöntemler kullanılarak belirlenen zamana bağlı olan yangın eğrilerine dayanır. Bu kitap yangın eğrilerinin belirlenmesinde bir yöntem ortaya koymaktadır. Bu, örneğin açığa çıkan duman gazı kütesinin belirlenmesinde temel alınır. Seçilen mühendislik yöntemleri (VDI 6019 Kısım 2'ye bakınız) kullanılarak ve bunlarla ilgili uygulama sınırları dikkate alınarak duman kontrol sisteminin boyutlandırılması bu işleme dayandırılır.

Yangın eğrileri yangın senaryolarının gerekli elemanlarıdır. Farklı yangın aşamalarının niteliksel belirlemelerine ek olarak, açığa çıkan ısı miktarına ve yangın alanına göre gerçek yangın olaylarının zaman içerisinde gelişimiyle ilgili teknik karakteristiklerinin niceliksel belirlemelerine de gerek bulunmaktadır. Bu karakteristik eğrilerin tanımlanması bu kitapta verilen bilgilere dayandırılırsa da, örneğin aşağıdaki gibi diğer yangın eğrilerinin kullanımı da temel alınabilir;

- Temsili yangın testleri (5. bölüme de bakınız),
- Yanma modelleri (örneğin, CFD modülleri),
- Zon modellerinin bir kısmı olarak yangın dağılım modelleri,
- Diğer kurallar,
- Örneğin bina denetimi gibi bazı özel koşulların konulması.

3.1.2. Uygulama Sınırları

Bu kitap katıların yandığı yatay alanları varsaymaktadır; boyutlandırma amacıyla yangındaki alan, yangındaki odanın alanından küçük olmalıdır. Yine, yangının gelişiminde otomatik yangın söndürme sistemlerinin hesaplanmasına olanak veren matematiksel yaklaşımlar da yapılmıştır.

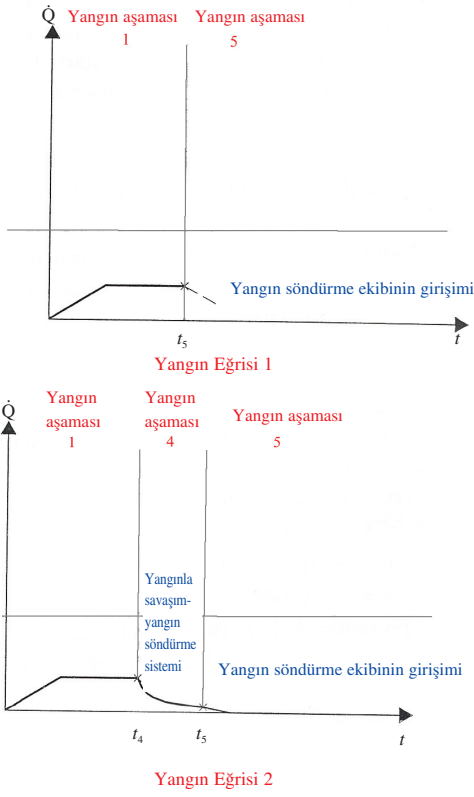
Bu yöntem, sıvıların yanmasını temel alan ve kararlı biçimde alevin düşey gelişiminden etkilenen yangınlar (örneğin rafların yanması) için uygun değildir. Ayrıca bu kitapta açıklanan yöntemin, ani alevlenme ya da oksijen bakımından fakir çevrelerdeki hava almayan yangınlar için bir tahmin olanağı vermediğine de dikkat edilmelidir. Bu durumlarda, uygunluğun doğrulanması için bu durumlara uyan yangın eğrilerinin belirlenmesi için uygun zon modellerine veya CFD temelli yangın simülasyon modelleri gibi diğer yöntemlere dayanan hesaplamalar temel alınmalıdır.

3.2. Yangının Gelişimi ve Yangın Aşamaları

3.2.1. Genel

Doğal bir yangının zaman içerisinde gelişimi birkaç aşamayla nitelendirilebilir. Bir yangın; içten içe yanma, ilk alevli yanma, yangının gelişmesi ve yangının sona ermesi gibi değişik aşamalardan geçer. Yangının gelişmesi, boyutlandırmada kullanılan hesaplama yöntemlerinde yaklaşık olarak ele alınmış ve değişik yangın aşamaları cinsinden ifade edilerek basitleştirme yönünde gidilmiştir.

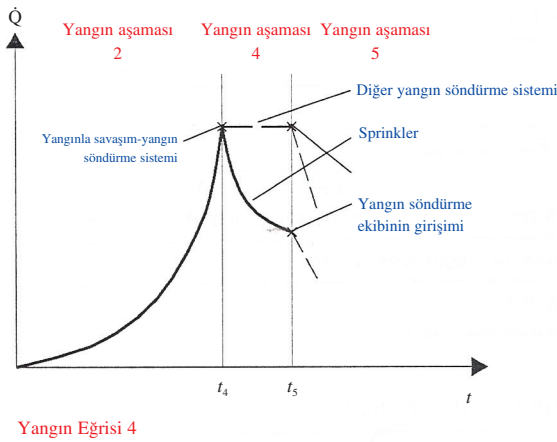
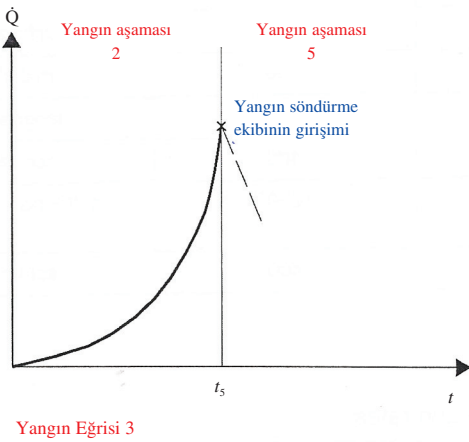
Isı çıkışının zaman içerisinde değişmesi, yangın yükünün dağılımına, yangının yatay olarak ortalama ilerleme hızına, havalandırma koşullarına, herhangi bir otomatik yangın söndürme sisteminin etkin-



Şekil 2. Düşük-enerjili yangınlar için farklı yangın eğrileri $[Q(t)]$.

leşme zamanına ve yangın söndürme ekibinin çalışmaya başladığı zamana bağlıdır. Değerlendirme yönünden aşağıdaki yangın aşamaları kullanılır:

- Aşama 1: Düşük ısı çıktısıyla ilk yangın aşaması,
- Aşama 2: Isı çıktısı ve yangın alanının zamanın karesiyle değiştiği yangının gelişme aşaması,
- Aşama 3: Sabit bir ısı çıktısı ve yangın alanıyla devam eden yangın aşaması,
- Aşama 4: Otomatik yangın söndürme sisteminin etkinleştiği kont-



rol altına alınan yangın aşaması,

• Aşama 5: Söndürme ekibinin mücadele verdiği yangın aşaması. Duman gazı kütlelerinin değişik sınır koşulları altında yersel dağılımını daha ayrıntılı biçimde belirlemek için, aşağıdaki yangın gelişim türleri ele alınır:

- Düşük enerjili yangınlar: Düşük ısı çıktısıyla gelişen yangınlar,
- Yüksek enerjili yangınlar: Yüksek ısı çıktısıyla gelişen yangınlar, Düşük enerjili yangınlar ve yüksek enerjili yangınlar için değişik yangın aşamaları söz konusudur.

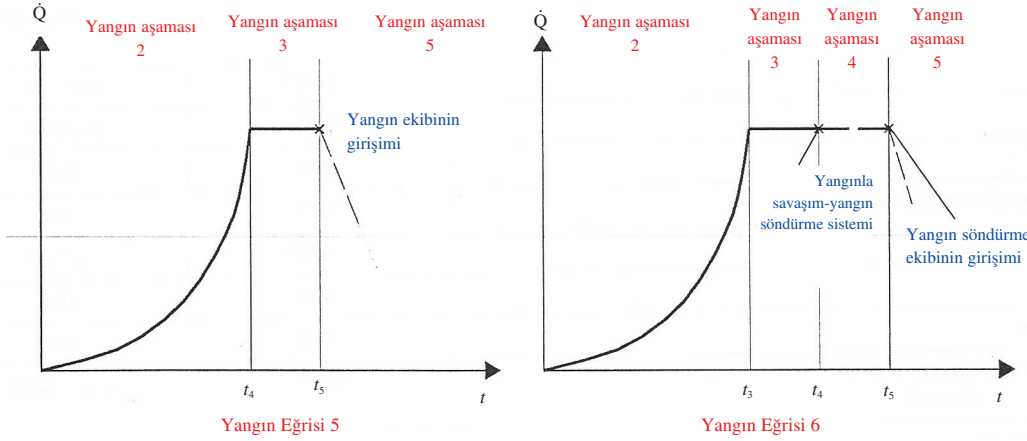
3.2.2. Düşük Enerjili Yangınlar İçin Yangın Eğrileri

Düşük enerjili yangınlar, düşük ısı çıktılı (30 kW~300 kW) ve küçük bir yangın alanıyla nitelendirilebilir. Bu tür yangınlar, boyutlandırma amacıyla ve odadaki yangında belirli iklimsel koşulların etkisini değerlendirme olanağı elde etmek için ele alınır. Bu durumlarda, planlanan duman atma sistemleri ile alarm sistemlerinin verimi ya da etkinliği araştırılır.

Gelişimi ilk aşamayla (aşama 1) sınırlı olan düşük enerjili yangın, otomatik yangın sisteminin etkinleştirilmesiyle (duman detektörlerinin çalıştırdığı bir spreng yangın sistemi, sprinkler değil) hafifletilir ve yangın ekibinin müdahalesiyle söndürülebilir. Buna göre bu tür bir yangın için yapılan boyutlandırmanın Bölüm 3.4'deki Aşama 1,4 ve 5'in dikkate alınması gerekmektedir. Olası niteliksel yangın eğrileri Şekil 2'de gösterilmektedir.

3.2.3. Yüksek Enerjili Yangınlar İçin Yangın Eğrileri

Kural olarak, duman atma sistemlerinin maksimum gerekli performansı yüksek enerjili yangınlar temelinde belirlenir. Yüksek enerjili yangınların araştırılması genellikle yangının gelişim aşamasıyla (Aşama 2) başlar. Söz konusu sınır koşullarına bağlı olarak, yangın söndürme ekibi tarafından yangın savaşımı başlayana kadar olan ara aşamalar yangının devamı (Aşama 3) ve kontrol altına alınması (Aşama 4) aşamaları olabilir. Buna göre, boyutlandırma işlemleri Bölüm 3.4'deki 2 ve 5 arasındaki aşamaları dikkate alınmalıdır. Olası eğrilerin nitelikleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Yüksek enerjili yangınlarda farklı yangın eğrileri ve yangın aşamalarının gösterimi.

3.3. Açığa Çıkan Isının ve Yangın Alanının Hesaplanması

Değerlendirilen yangın riskine bağlı olarak, zamana göre açığa çıkan ısı miktarı ve yangın alanı her olası yangın aşaması için, tablo değerleri kullanılarak belirlenebilir. Tekil yangın aşamalarının değiştirilmesi, daha sonraki boyutlandırma aşamalarında araştırılması gereken temel değerlere bağlı olarak farklı kısmi yangın eğrilerini belirleme olanağı verir.

Yangın gelişim miktarı	Yangın şiddeti katsayısı kW/s ²
Yavaş	0.0029
Orta hızlı	0.012
Hızlı	0.047
Çok hızlı	0.188

Tablo 1. Yangın şiddeti katsayısı VdS 2827'ye göre, ± parametresi

Bürolar	300*)	Orta*)
Otel odaları	250*)	Orta*)
Satış alanları	500*)	Hızlı*)
Sergiler, tiyatrolar, sinemalar, sahneler	500	Hızlı
Konutlar	500*)	Orta*)
Müze	300	Orta*)
Yarı-treyler yangını	400**)	Yavaş
Ahşap paletler (1,2x1,2x0,14); Nemlilik:6~12%, istifli blok depolama, yükseklik 0,5 m	1250*)	Orta'dan hızlıya kadar
Posta çantaları, depolama		
Yüksekliği 1,5 m	400*)	Hızlı

Tablo 2. Birim alan başına açığa çıkan ısı ve yangının gelişim miktarı örnekleri.

*) Kaynak: VdS 2827

***) Kaynak: VdS 2827'den türetilmiştir.

Aşağıdaki yangın parametreleri boyutlandırmayı etkiler:

- Birim alan başına maksimum ısı çıkışı q_r (kW/s²),
- Ortalama yatay ilerleme hızı (m/s),
- Yangın şiddet katsayısı α (kW/s²),

3.4. Yangın Aşamaları

Bu rehber kitabın amaçlarına göre, farklı yangın aşamalarını ifade etmek için sonraki bölümlerde listelenen parametreler kullanılır.

3.4.1. İlk Aşama (Aşama 1)

Doğal ve güç kullanan duman kontrol sistemlerinde ilk 300 s'de lineer olarak artan ısı çıktısının sabit ve 100 kW olduğu kabul edilir. Bölüm 5'e göre bu aşama, t₄'de Bölüm 3.4.5'e göre t₅'de sona erer. Yangın alanı başlama sırasında A=0,40 m² dir. Basitleştirme amacıyla, bunun ilk aşamada sabit olduğu varsayılır.

3.4.2. Yangının Gelişimi (Aşama 2)

Yangının gelişimi ısı çıktısıyla ve zamanın karesiyle artan yangın alanı ile nitelendirilir. Aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{Q}(\tau_2) = \dot{q}_f \cdot A(\tau_2) \quad (1)$$

$$A(\tau_2) = (v \cdot \tau_2)^2 \quad (2)$$

$$v = \sqrt{\frac{\alpha}{\dot{q}_f}} \quad (3)$$

Burada;

Q = Toplam ısı çıktısı, kW

q_r = Birim alan başına maksimum ısı çıktısı, kW/m²

A = Yangın alanı, m²

v = Yangının ortalama ilerleme hızı, m/s (yatayda)

α = Yangın şiddeti katsayısı, kW/s²

τ_2 = Saniye olarak Aşama 2'deki zamansal değişim,

$i = 3, 4, 5$ ve t'nin global zaman değişkeni olduğu yerde $\tau_2 = t$ ve $0 \leq t$, dir.

Tekil yangın teknik parametreleri Tablo 1 ve Tablo 2'den alınabilir; bu değerler yeterli hava beslemesinin bulunması halinde yangın yükü ile kontrol edilen yanmaya uygulanır. Diğer, objeye özgü değerler bulunduğu, seçime bağlı olarak bunlar kullanılır.

3.4.3. Süreğen Yangın Aşaması (Aşama 3)

Yerel olarak kapatılmış tüm alan yangında ele alındığı sürece yan kenarları diğer yangın yüklerinden yeterli uzaklıkta olan palet yangını

nında olduğu gibi) sürekli yangın aşaması (Aşama 3) başlar. Isı çıktı miktarı ve yangın alanı için önceki aşama (Aşama 2) sona erdiğinde sahip olduğu değerler korunarak sabit kalır.

$$\dot{Q}(\tau_3) = \dot{Q}(t_3) = \text{sabit} \quad (4)$$

$$A(\tau_3) = A(t_3) = \text{sabit} \quad (5)$$

Burada;

t_3 Aşama 3'ün başlamasından önceki süre, saniye

τ_3 Aşama 3'deki zamansal değişken, saniye

$i=4,5$ ve t 'nin global zaman değişkeni olması durumunda $\tau_3=t-t_3$ ve $t_3 < \tau_3 \leq t_i$ dir.

3.4.4. Kontrol Altındaki Yangın Aşaması (Aşama 4)

Bir otomatik yangın söndürme su sistemi devreye girdiğinde bunun yangını söndürme etkisi daha sonraki ısı çıktı miktarı gelişimini etkileyebilir. Sprinkler sistemin yangını söndürmesini engelleyen örtü olmaması durumunda, ısı çıktı miktarının sprinkler sistemin etkinleşmesiyle birlikte azalacağı varsayılır. Su sprej sistemi ya da su miktarı bilinmeyen diğer otomatik yangın söndürme sistemleri hakkında kapsamlı araştırmaların bulunmadığı yerlerde, ısı çıktı miktarı ve yangın alanının etkinleşmenin başlamasından itibaren sabit kaldığı varsayılır. Isı çıktı miktarı ve yangın alanı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{Q}(\tau_4) = \dot{Q}(t_4) \cdot e^{-0.0023 \cdot \tau_4} \quad (6)$$

$$A(\tau_4) = A(t_4) = \text{sabit} \quad (7)$$

Diğer yangın söndürme sistemi

$$\dot{Q}(\tau_4) = \dot{Q}(t_4) = \text{sabit} \quad (8)$$

$$A(\tau_4) = A(t_4) = \text{sabit} \quad (9)$$

Burada,

t_4 =Aşama 4'ün başlamasından önceki süre, saniye

τ_4 = Aşama 4'deki zaman değişkeni, saniye

t 'nin global zaman değişkeni olması durumunda, $\tau_4=t-t_4$ ve $t_4 < \tau_4 \leq t_5$ dir. Boyutlandırmada dikkate alınan otomatik yangın söndürme su sisteminin geçerli kurallara göre dizayn edilmesi ve buna göre işletilmesi gereklidir.

3.4.5. Yangın Söndürme Ekibinin Yangınla Savaşım Aşaması (Aşama 5)

Elle yangın savaşımının başlamasına kadar olan süre yangının başlamasıyla yangın alarmı ve yangın ekibinin savaşıma başlaması arasındaki süreyi kapsar. Tablo 3 ve Tablo 4'den aşağıdaki boyutlandırma miktarları kullanılabilir:

Elle yangın savaşımı başlayana kadar geçen süre;

$$t_5 = t_a + t_b \quad (10)$$

3.5. Otomatik Yangın Söndürme Su Sistemlerinin Etkinleşme Süresinin Belirlenmesi

Yangının gelişme aşamasında sprinkler sistemlerin etkinleştirme süreleri, Tablo 5~Tablo 8 arasındaki tablolar kullanılarak belirlenebilir. Bunlarda verilen sayısal değerler daha sonraki hesaplamalara t_4 olarak girer.

	Yangın alarmı	Zaman
a1	DIN VDE 0833'a göre otomatik duman dedektörleri tarafından etkinleştirilen, yangın dedektörü ve alarm sistemli otomatik yangın alarmı	$t_{a1} = 120$ s
a2	Sprinkler sisteminin çalıştırdığı yangın alarmı	$t_{a2} = t_4$ Bölüm 3.5.1'e göre
a3	Yangın alarmını doğrudan yangın ekibine göndermeyen, sprinkler sisteminin çalıştırdığı yangın alarmı	$t_{a3} = t_{a2} + 300$ s
a4	DIN VDE 0833'a göre otomatik maksimum sıcaklık dedektörleri tarafından etkinleştirilen, yangın dedektörü ve alarm sistemli otomatik yangın alarmı	t_{a4} Bölüm 3.5.2'ye göre
a5	Diğer yangın alarmları (telefon çağrısı gibi)	$t_{a5} = 600$ s

Tablo 3. Yangın alarmına kadar olan süreler, t_a .

	Yangın alarmı	Zaman
b1	İstenen koşullar (bir fabrika yangın ekibinin varlığı)	$t_{b1} = 480$ s
b2	Normal koşullar (profesyonel yangın ekibinin varlığı/ yangın zeminin kolay denetimi gibi)	$t_{b2} = 780$ s
b3	Olumsuz koşullar (yardımcı bir yangın ekibinin varlığı/ yangın zeminin kolay denetlenmesi yada profesyonel yangın ekibi/ yangın zemininin zor denetlenmesi gibi)	$t_{b3} = 1080$ s
b4	Özel olumsuz koşullar (yardımcı bir yangın ekibinin varlığı/ yangın zemininin zor denetlenmesi gibi)	$t_{b4} = 1380$ s

Tablo 4. Yangın ekibinin yangına girişim süresi t_b .

NOTLAR: Tablo 4'deki değerler yangın ekibinin yangın mahalline intikalinden sonraki hazırlıklar için 180 s'lik bir süreyi de içermektedir. Mahalde karşılaşılan duruma göre daha uzun hazırlık sürelerinin kabul edilmesi gerekebilir. Bu değerler, mühendislik yöntemlerinin kullanılması ile duman ve ısı kontrol sistemlerinin boyutlandırılmasında yaklaşık değerlerdir. Korunma amaçlarının tanımına göre (AGBF Bund), bir konuttaki yangından insanların kurtarma işleri için gerekli müdahale sürelerinden farklıdır.

Tablo değerleri uygulanırken, aşağıdaki sınır koşulları ve sprinkler nitelikleri dikkate alınmalıdır;

- Sprinkler kafaları tavana yakın olmalıdır (maksimum uzaklık 10 cm),
- Yangın alanı ile tavan arasındaki maksimum yükseklik (h_{max} = Şekil 4'e bakınız),
- Nominal etkinleşme (devreye girme) sıcaklığı (θ_e),
- EN 12259-1'e göre tepki süresi endeksi (RTI) veya tepki sınıfı.

Basitleştirme amacıyla, duman hüzmelerinin tavana vurma noktasından radyal olarak uzaklaşacağı ve komşu bina elemanlarının bu işleme etki yapacağı varsayılacaktır. Tablodaki etkinleştirme değerleri sadece düzlem tavanlara uygulanabilir.

Tepki sınıfı		Hızlı	Özel			Standart A	
Tepki süresi endeksi (s.m) ^{1/2}		RTI=27	RTI=50	RTI=80	RTI=120	RTI=160	
Yükseklik 3.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	505	520	535	555	570
		68	590	605	615	635	655
		79	670	680	695	715	730
		93	770	780	790	810	825
		141	-	-	-	-	-
		182	-	-	-	-	-
Yükseklik 4.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	570	580	600	615	630
		68	675	685	700	715	735
		79	775	785	795	815	830
		93	895	905	915	930	950
		141	-	-	-	-	-
		182	-	-	-	-	-
Yükseklik 6.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	650	660	670	690	705
		68	775	785	800	815	830
		79	905	915	925	940	955
		93	1080	1090	1100	1115	1130
		141	-	-	-	-	-
		182	-	-	-	-	-
Yükseklik 8.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	755	760	775	790	800
		68	895	900	910	925	940
		79	1025	1030	1045	1055	1070
		93	1180	1190	1200	1210	1225
		141	-	-	-	-	-
		182	-	-	-	-	-
Yükseklik 10.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	890	895	905	920	935
		68	1055	1065	1075	1085	1100
		79	1215	1220	1230	1245	1255
		93	1400	1410	1420	1430	1440
		141	-	-	-	-	-
		182	-	-	-	-	-

Tablo 5. $\alpha=0.0029 \text{ kW/s}^2$ için sprinkler etkinleştirme süreleri t_4 (saniye).

Ara değerler için enterpolasyon yapılabilir.

Duman hızmesinin eksenine ile sprinkler kafası arasındaki belirlenmiş uzaklık olarak $r_{\max}=3,25 \text{ m}$ (bakınız şekil 4) boyutlandırma amaçlarıyla olağan bir yaklaşımdır. Bu uzaklık konusundaki varsayım, VdS CEA 4001De belirtilen sprinkler arasındaki 4,60 m'lik kafes (grid) uzaklığının sonucu olan en uygunsuz değeri hesaba katmaktadır.

Yangın eğrileri belirlenirken, teorik en erken zaman olarak 120 saniyelik bir süre hesaba katılır. Pratikte, yangının gelişimine bağlı olarak daha erken etkinleşme sürelerine (yangın söndürme tesisatının) ulaşılabilir. Tablo 5 ve Tablo 8 arasındaki tablolar, tavanla sprinkler kafası arasındaki uzaklığın maksimum 10 cm olması durumunda geçerlidir.

Not 1: Olanaklıysa, sprinkler nitelikleri en az 900 s sonra etkinleşme sağlanması temelinde seçilmelidir. Tablodaki 900 s'lik etkinleşme süresini aşan koyu renkle işaret edilmiş değerler sadece özel durumlarda kullanılabilir. Bu rehber kitapta belirtilen eğrilerin belirlenmesinde, etkinleşme süresi 900 s'den fazla olduğunda teorik olarak sprinklerin hiç etkinleşmediği ve duman gazı kütlelerinin bir engelleme olmaksızın çıktığı varsayımı yapılmaktadır.

Not 2: Tablo 5 ve 8 arasındaki tablolarda verilen etkinleşme (activation) süreleri, FDS [2] yangın simülasyon modeli kullanılarak, ve [4] ve [5] de verilen ampirik eşitliklere $C=0,7 (\sqrt{m/s})$ gibi bir ısı iletim (conductivity) kabul edilerek hesaplanmıştır.

[4]ve [5] den alınan dönüştürme eşitlikleri EK'de (Eşitlik A1) ve Eşitlik (A8) arasında verilmektedir.

Tepki sınıfı	Hızlı	Özel			Standart A	
Tepki süresi endeksi (s.m) ^{1/2}	RTI=27	RTI=50	RTI=80	RTI=120	RTI=160	
Yükseklik 3.0 m	57	225	240	255	270	285
	68	265	275	290	310	325
	79	300	310	325	340	360
	93	340	350	365	380	400
	141	465	475	490	505	525
	182	565	570	585	600	620
Yükseklik 4.0 m	57	275	285	300	315	330
	68	330	340	350	390	385
	79	380	385	400	415	430
	93	440	445	460	475	490
	141	640	645	655	670	685
	182	780	785	790	800	815
Yükseklik 6.0 m	57	320	330	345	360	375
	68	390	400	410	425	440
	79	450	460	470	485	500
	93	530	540	550	560	575
	141	820	830	850	865	885
	182	995	1010	1030	1040	1060
Yükseklik 8.0 m	57	385	395	405	420	435
	68	455	465	475	490	500
	79	520	530	540	550	565
	93	595	605	615	630	640
	141	835	845	850	865	875
	182	1020	1025	1035	1045	1055
Yükseklik 10.0 m	57	455	465	475	485	500
	68	535	545	555	565	580
	79	615	620	630	645	655
	93	705	715	725	735	745
	141	990	1000	1005	1020	1030
	182	1210	1220	1225	1235	1245

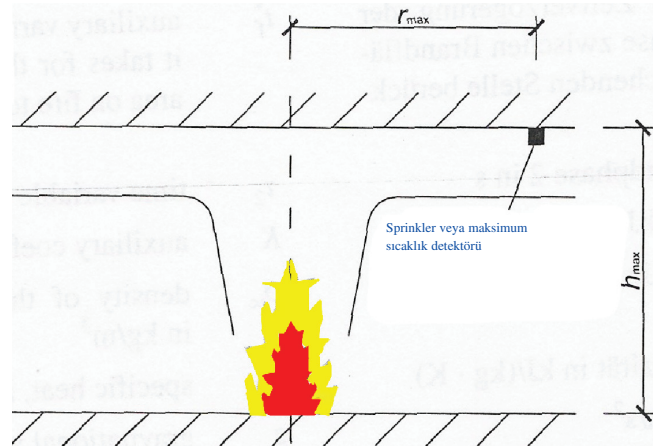
Tablo 6. $\alpha=0.012 \text{ kW/s}^2$ için sprinkler etkinleştirme süreleri t_a (saniye).

Ara değerler için enterpolasyon yapılabilir.

3.5.2. Maksimum Yangın Sıcaklığı Detektörleri Kullanarak Yangın Söndürme Sistemlerinde Etkinleşme (Activation) Sürelerinin Hesaplanması

Maksimum yangın sıcaklığı dedektörleri ile etkinleştirilen otomatik yangın söndürme sistemlerinde dedektörlerin geçici tepki verme süresi Eşitlik (11) ve Eşitlik (16) arasındaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

Bu, duman gazının zaman içerisinde dedektördeki sıcaklık gelişimini belirleyerek ve bu değeri, EN 54-7'de belirtildiği gibi (bakınız eşitlik [11]), seçilen dedektör tipinin maksimum statik tepki süresi ile karşılaştırarak yapılabilir. İlkel olarak dedektörlerin tavana yakın yerleştirildikleri gözlemlenmelidir.



Şekil 4. r_{max} ve h_{max} büyüklüklerinin gösterimi.

Tepki sınıfı		Hızlı	Özel		Standart A		
Tepki süresi endeksi (s.m)1/2		RTI=27	RTI=50	RTI=80	RTI=120	RTI=160	
Yükseklik 3.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	125	140	150	165	175
		68	145	155	170	185	195
		79	165	175	185	200	215
		93	185	195	205	220	235
		141	245	255	270	285	300
		182	295	305	315	335	350
Yükseklik 4.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	145	155	165	180	190
		68	165	175	185	200	215
		79	185	195	205	220	235
		93	210	220	230	245	360
		141	285	290	305	320	330
		182	340	350	360	375	390
Yükseklik 6.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	175	185	195	300	220
		68	205	210	225	235	250
		79	230	240	250	265	275
		93	260	270	280	295	305
		141	355	365	375	390	400
		182	430	440	450	460	475
Yükseklik 8.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	210	220	230	240	255
		68	245	250	260	275	285
		79	275	285	295	305	320
		93	315	320	330	345	255
		141	435	440	450	450	475
		1820	525	535	540	555	565
Yükseklik 10.0 m	Nominal etkinleşme sıcaklığı, °C	57	245	250	260	275	285
		68	285	295	300	315	325
		79	325	330	340	355	365
		93	370	380	385	400	410
		141	515	520	530	540	550
		182	625	630	640	650	660

Tablo 7. $\alpha=0.047 \text{ kW/s}^2$ için Sprinkler etkinleştirme süreleri t_4 (saniye).

Ara değerler için enterpolasyon yapılabilir.

Yangının gelişme aşaması için (Aşama 2) Eşitlik (11)'in doğrulanması, Eşitlik (12)-(16) [4] arasındaki eşitlikler kullanılarak yapılacaktır. İlkel olarak doğrulama yinelemeli (iterative) nitelikte olmak zorundadır. Doğrulama (ya da kanıtlama):

$$\vartheta_{\text{Rauch}} \geq \vartheta_{\text{WM}} \quad (11)$$

$$\vartheta_{\text{Rauch}} = \Delta T_2^* [K^{0.6} (T_\infty / g) \alpha^{0.6} h_{\text{max}}^{-0.6}] + T_\infty - 273 \quad (12)$$

Burada:

$$\Delta T_2^* = \begin{cases} 0 & t_2^* \leq t_f^* \\ \left(\frac{t_2^* - t_f^*}{0,188 + 0,313 r_{\text{max}} / h_{\text{max}}} \right)^{1,333} & t_2^* \geq t_f^* \end{cases} \quad (13)$$

$$t_2^* = \tau_2 / K^{-0,2} \alpha^{-0,2} h_{\text{max}}^{-0,8} \quad (14)$$

$$t_f^* = 0,954(1 + r_{\text{max}} / h_{\text{max}}) \quad (15)$$

$$K = g / (c_p T_\infty \rho_\infty) \quad (16)$$

Burada;

ϑ_{WM} = Maksimum sıcaklık dedektörünün maksimum statik tepki sıcaklığı, °C

ϑ_{Rauch} = Dedektördeki duman gazlarının sıcaklığı, °C

T_∞ = Çevresel sıcaklık, K

ΔT_2^* = Boyutsuz duman gazı sıcaklığı (yardımcı değişken),

t_2^* = Boyutsuz zaman,

t_f^* = Duman gazlarının yangın alanından araştırma altındaki noktaya kadar yükselmesini dikkate alan yardımcı değişken,

τ_2 = Aşama 2'deki zaman değişkeni, s

K = Yardımcı katsayı, $\text{m}^4(\text{kJ} \cdot \text{s}^2)$

ρ_∞ = Çevre sıcaklığındaki havanın yoğunluğu, kg/m^3

c_p = Özgül ısı, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

g = Yer çekimi ivmesi, m/s^2

α = Yangın şiddeti katsayısı, kW/s^2

h_{max} = Yangın alanı ile tavan arasındaki maksimum düşey uzaklık, m

r_{max} = Duman hızmesinin eksemi ile maksimum sıcaklık detektörü arasındaki yatay uzaklık, m.

Tepki sınıfı	Hızlı	Özel			Standart A	
Tepki süresi endeksi (s.m)1/2	RTI=27	RTI=50	RTI=80	RTI=120	RTI=160	
Yükseklik 3.0 m	57	120	120	120	120	120
	68	120	120	120	120	120
	79	120	120	120	120	130
	93	120	120	120	135	145
	141	135	145	155	165	180
	182	155	165	180	190	205
Yükseklik 4.0 m	57	120	120	120	120	120
	68	120	120	120	120	130
	79	120	120	120	135	145
	93	120	125	135	145	155
	141	150	160	170	185	195
	182	180	190	200	210	225
Yükseklik 6.0 m	57	120	120	120	125	135
	68	120	120	130	140	150
	79	125	135	145	155	165
	93	140	150	160	170	180
	141	190	195	205	220	230
	182	225	235	240	255	265
Yükseklik 8.0 m	57	120	125	135	145	155
	68	135	140	150	160	170
	79	150	155	165	175	185
	93	170	175	185	195	205
	141	230	235	245	255	265
	182	275	280	290	300	310
Yükseklik 10.0 m	57	135	140	150	160	170
	68	155	160	170	180	190
	79	175	180	190	200	210
	93	195	205	210	225	235
	141	270	275	285	295	305
	182	325	330	335	345	355

 Tablo 8. $\alpha=0.188 \text{ kW/s}^2$ için Sprinkler etkinleştirme süreleri t_d (saniye).

3.5.3. Diğer Otomatik Yangın Söndürme Sistemlerinin Etkinleştirme Süreleri

Duman gazı dedektörleri, sıcaklık artışı dedektörleri ya da alev dedektörleri ile etkinleştirilen yangın söndürme sistemlerinin etkinleştirme süreleri, bu dedektörlerin tepki sürelerine ve zaman içerisinde dumanın dağılmasına bağlıdır. Tepki süreleri uygun mühendislik yöntemleri kullanılarak belirlenecek veya tahmin edilecektir. Düşük enerjili yangın senaryosuna göre, kurulu hiç bir sprinkler sistemin etkinleştirilmediği varsayımı yapılmalıdır. Sonuç olarak bu senaryonun otomatik yangın belirleme ve duman alarm sistemleri de dahil olmak üzere duman çekme sistemlerinin etkinliğini belirlemede kullanıldığına dikkat edilmelidir.

3.6. Tekil Yangın Aşamalarının Nitelendirilmesi

Tablo 9, bu rehber kitapta, tanımlanan bütün yangın aşamalarını açığa çıkan ısı ve yangın alanı için sürekli temelde olan da dahil olmak üzere özetlemektedir.

3.7. Konvektif Yoldan Açığa Çıkan Isı Miktarının Hesaplanması

Açığa çıkan ısı miktarının hesaplanmasında, bu ısının % 30 oranında radyasyonla ve % 70 oranında konveksiyonla sıcak gazlara aktarıldığı varsayımı yapılır. Buna göre konvektif ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{konv}(t) = Q(t) \cdot 0,7 \quad (17)$$

Burada,

\dot{Q}_{konv} = Konvektif biçimde açığa çıkan ısı miktarı, kW

\dot{Q} = Toplam açığa çıkan ısı miktarı, kW

3.8. Yangın Testlerinden ve Yangın Simülasyon Hesaplarından Elde Edilen Yangın Eğrileri

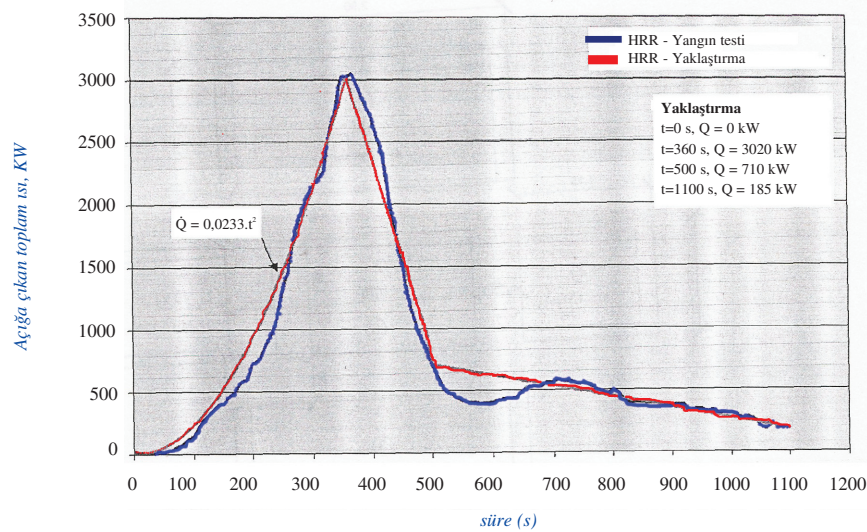
İlerideki bölümlerde gösterilen yangın eğrileri, yangın simülasyonları veya gerçek ölçekteki testlerden elde edilmiş objeye özgü değerlerdir. Tekil resimlerde gösterilen açığa çıkan ısının yaklaşık değerleri, eldeki mevcut riskine uygun olmaları koşuluyla ısı ve duman kontrolünde boyutlandırma amacıyla kullanılabilir.

Yangın aşaması	Isı çıktı miktarı	Yangın alanı	Zaman aralığı
Aşama 1 Yangın başlangıcı	$\dot{Q}(\tau_1) = 0,333 \cdot \tau_1$ $\dot{Q}(\tau_1) = 100 \text{ kW}$	$A(\tau_1) = 0,40 \text{ m}^2$ $A(\tau_2) = 0,40 \text{ m}^2$	$0 \leq \tau_1 \leq 300 \text{ s}$ $300 \text{ s} < \tau_1 \leq \tau_i$ $i = 4, 5$ $\tau_1 = t$
Aşama 2 Yangının gelişmesi	$\dot{Q}(\tau_2) = q_r \cdot (A(\tau_2))$	$A(\tau_2) = (v \cdot \tau_2)^2$	$0 < \tau_2 \leq t_i$ $i = 3, 4, 5$ $\tau_2 = t$
Aşama 3 Yangının devamı	$\dot{Q}(\tau_3) = \dot{Q}(t_3) = \text{sabit}$	$A(\tau_3) = A(t_3) = \text{sabit}$	$t_3 < \tau_3 \leq t_i$ $i = 4, 5$ $\tau_3 = t - t_3$
Aşama 4a Sprinkler etkinleşmesiyle yangının kontrol altına alınması	$\dot{Q}(\tau_4) = \dot{Q}(t_4) \cdot e^{-0,0023 \cdot (\tau_4)}$	$A(\tau_4) = A(t_4) = \text{sabit}$	$t_4 < \tau_4 \leq t_5$ $\tau_4 = t - t_4$
Aşama 4b Farklı bir otomatik yangın söndürme sisteminin çalışmasıyla yangının kontrol altına alınması	$\dot{Q}(\tau_3) = \dot{Q}(t_3) = \text{sabit}$	$A(\tau_4) = A(t_4) = \text{sabit}$	$t_4 < \tau_4 \leq t_5$ $\tau_4 = t - t_4$
Elle yangın söndürme girişimleri ile yangının söndürülmesi	-	-	t_5

Tablo 9. Tekil yangın aşamalarının nitelendirilmesi.

3.8.1. Yangın Testinden Isı Çıktısı (Çekyat Koltuk)

Şekil 5'de çizilen yangın eğrisi bir çekyat koltukta gerçekleştirilen yangın testinden belirlenmiştir. Açığa çıkan toplam ısı miktarı yaklaşık 3 MW ve yangının maksimum alanı 2 m^2 dir. Sonuç olarak, birim alan başına açığa çıkan ısı 2 yaklaşık olarak $\dot{q}_r=1500 \text{ kW/m}^2$ dir ve yangın ilerleme hızı $t=360 \text{ s}$ ye kadar $v=3,9 \text{ mm/s}$ olmuştur.



Şekil 5. Açığa çıkan toplam ısı (HRR)- Alevlenme geciktiren kimyasal içermeyen PU köpüğünden koltuk.

3.8.2. Yangın Simülasyonunun CFD Hesaplarından Elde Edilen Yangın Eğrileri

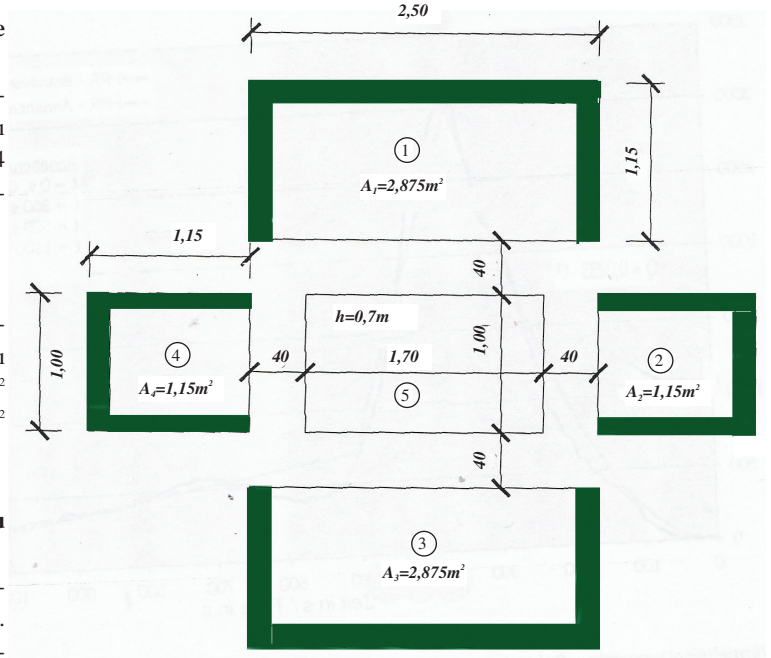
CFD temelli bir yangın simülasyon modeli uygulayarak Şekil 6'da gösterilen oturma odası koltuk takımındaki ısı çıktısı hesaplanmıştır. Maksimum toplam ısı çıktısı yaklaşık 11,4 MW'a ulaşmış olup, maksimum yangın alanı 8,1 m² olmuştur.

3.8.3. Yangın Testinden Elde Edilen Isı Çıktısı (Printer)

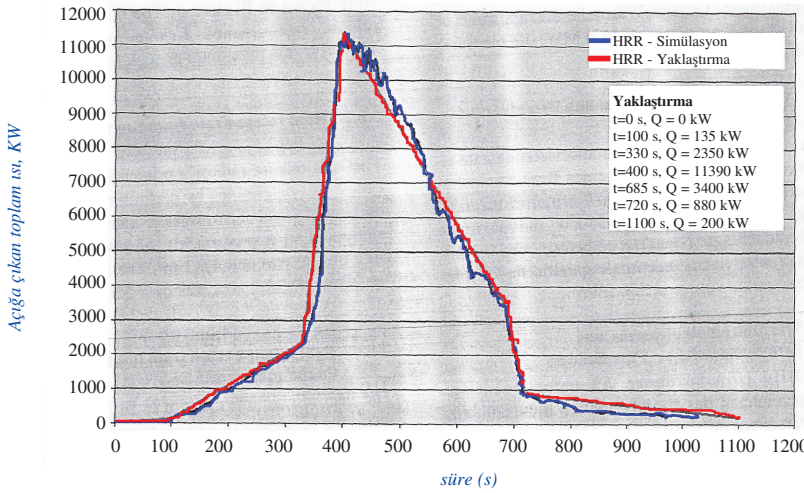
Şekil 9'da gösterilen printerin ısı çıktısı bir yangın testi gerçekleştirilerek saptanmıştır. Printerin maksimum ısı çıktısı 55 kW olarak hesaplanmıştır. Maksimum yangın alanı 0,1 m² dir. Birim alan başına ısı çıktısı bu durumda, $\dot{q}''=550 \text{ W/m}^2$ olmaktadır.

3.8.4. Yangın Testinden Elde Edilen Isı Çıktısı - Yolcu Arabaları

Şekil 10'da gösterilen ısı çıktı miktarları değişik yolcu arabalarının yangın karşısındaki davranışını nitelendirmektedir. Aracın türüne bağlı olarak değişik yangın eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 6. Sonsuz bir odada oturma odası takımı (örneğin geniş bir atriyumda).



Şekil 7. Oturma odası koltuk takımında açığa çıkan toplam ısı miktarı-HRR.

Hesaplama aşağıdaki malzeme niteliklerine dayandırılmıştır: Çekyat: Koltukta, yangın nedeniyle ısı çıktısı ($\dot{Q}_{\max}=3,4 \text{ MW}$; $t=390 \text{ s}$ sonra)

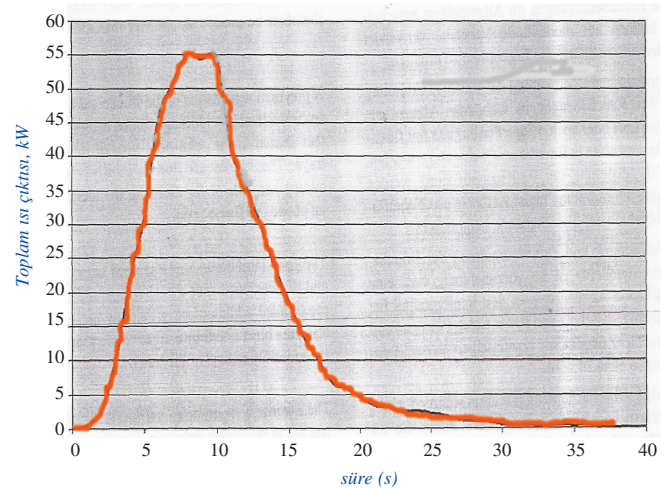
Koltuklar: Poliüretan/koltuk döşemesi,
Tutuşma sıcaklığı=280°C,
Buharlaşma ısısı 1,8 kJ/g,
Teorik ısıl değer=30 kJ/g,

Masa: Ahşap, tutuşma yok.

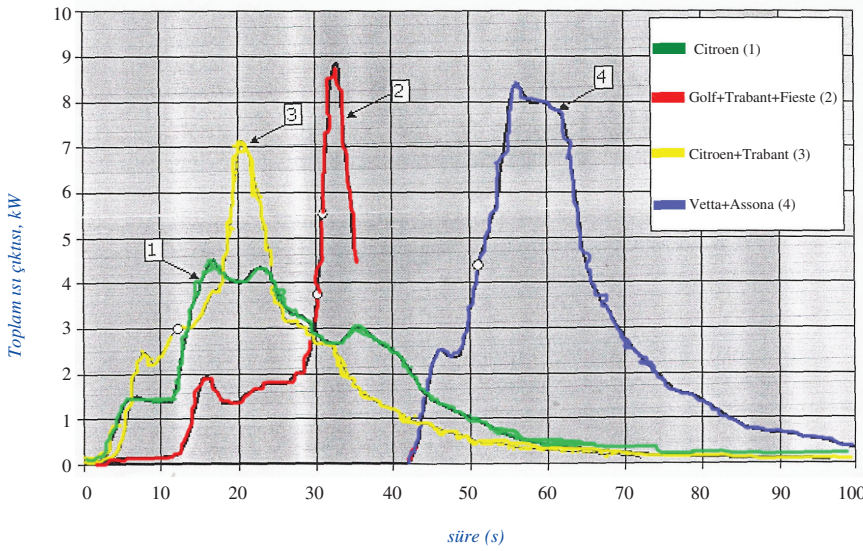
Kullanılan yazılım: FDS (Fire dynamic simulator) version 3.1,SSMokeview (görselleştirme yazılımı), Antional Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA



Şekil 8. Sonsuz bir odada oturma odası koltuk takımında - t=415 saniyede tam gelişmiş haldeki yangın için bilgisayar görselleştirmesi [8].



Şekil 9. Toplam ısı çıktısı (HRR) - Printer [8].



Şekil 10. Değişik araba yangınlarında toplam ısı çıktısı (HRR) [9].

4. Tüm Duman Kontrol Sisteminin Etkinliğinin Doğrulanması

4.1. Genel

Tüm duman kontrol sistemi, tamamlandıktan sonra bir işlevsel etkinlik testine alınabilir. Pratik gerçek ölçekli bir etkinlik testi, genellikle tek seçenek değildir. Bu nedenle, gerçeğe yakın sonuçlar veren model testleri kullanılabilir.

Duman gazı akışının pratik biçimde doğrulanması için tavalara içeriside sıvı yakıtın yandığı sıcak hava veya açık havuz yangınları kullanılarak yapılabilir. Alev bölgesinin üzerinde duman gazı çıkışını görselleştirmek için genellikle bu işi kolaylaştırıcı aerosoller eklenir. Test sırasında içeride bulunan personelin istenmeyen etkilere maruz kalmasını önleyici önlemler alındıktan sonra, yangın simülasyonu gerçeğe yeteri kadar yakın olmak üzere boyutlandırılır ve konumlandırılır.

Test yüzeyinde izin verilebilir sıcaklıklar özellikle binada bulunan malzemeler ve ekipman (örneğin sprinkler) tarafından belirlenir. Dolayısıyla ısı çıktısı da sınırlandırılmalıdır.

Gözütülecek Sınır Koşulları

Bu simülasyon testlerinin yapıldığı yerlerde aşağıdaki sınır koşulları gözlemlenecektir:

- Aerosol sisinin bozulmaması için bu sis, ısı kaynağından ya da yanmakta olan tavadan itibaren çok kısa bir uzaklıkta eklenmemelidir. Bu aerosol akışkanları (görselleştirmek için) sadece olabildiğince uzun ömürlü olanlardan seçilecektir. Bozulan (decomposition) aerosol sisleri kolaylıkla yanlış sonuçlara götürebilmektedir.
- Doğal veya güç kullanarak duman çekme sistemi, hava giriş açıklıkları, duman perdeleri, alarm sistemleri, acil durum güç kaynakları, yangını erken belirleme sistemleri, kapı kontrolleri vb. gibi, duman kontrol sistemi için gerekli bütün ekipmanlar, son çalışma kontrollerinde belirlendiği biçimde işlevsel olmalı ve bunlar da doğrulama testine dahil edilmelidir.
- Hava giriş açıklıkları belirlenen biçimde olmalı (konumlandırma, tekil ve toplam alan bakımından) ve duman kontrol sisteminin gerektirdiği biçimde çalışmalıdır.
- Odada duman akışını etkileyebilecek herhangi bir ayrıntı (aparatlar, fittingler, güneşlikler vb) ya mevcut halleriyle kalacak (gerçek test) ya da akışkanlar mekaniğinin benzerlik yasasına göre modellenecektir.

- Havalandırma ve iklimlendirme sistemleri duman kontrol sisteminin gereksindiği biçimde çalışır ve işlevsel halde bulunacaktır.
- Test sırasındaki oda sıcaklığı, odanın kullanım sırasındaki sıcaklığına eşit olacaktır.
- Bina gövdesi tam ve işlevsel olacaktır.
- Duman gazının dağılımı, duman hızmasına takipçi-gaz (örneğin N_2O , SF_6) karıştırılarak niceliksel (kantitatif) olarak araştırılacaktır. Takipçi-gazlar (iz bırakan gazlar) odadaki yerel konsantrasyonu belirlemeye yardım eder.

Belgelendirme Konusunda Karşılanacak Gereklilikler

Aşağıdaki bilgileri içeren kapsamlı bir belgelendirme yapılacaktır:

- Yukarıda sıralanan izlenecek hususlara ilişkin ayrıntılı bilgiler,
- Kullanılan yangın kaynağının ve aerosol sisinin

açıklanması,

- Yangın yerlerinin konumları,
- Isı kaynağı ve test düzeneğinin gerçek konumları ve yangın senaryosunun benzerlik aralığının başlangıcında yükseklik bağlantısı,
- Dış iklimsel koşulların (dış mahal sıcaklığı/rüzgar koşulları) açıklanması,
- İşlevsel zincirin açıklanması,
- Duman-sınır tabakasının fotoğrafla veya videoyla görselleştirilmesi,
- Herhangi bir ölçme raporları/diyagramları,
- Diğer sınır koşullarının açıklaması,
- Test sonuçlarının değerlendirilmesi.

4.2 Sıcak Havanın Yangın Simülasyonu Olarak Kullanımı

Yangın simülasyon kaynağı olarak sıcak hava kullanıldığında, görselleştirme amacıyla hava akımına bir aerosol eklenir. Bu test duman gazının bina içindeki dağılımı gerçek duman gazı dağılımına benzerdir. Aerosol içeren gaz (duman gazı) ile çok az aerosol içeren (duman-sız tabaka) arasındaki sınır tabaka görsel olarak saptanır.

Bu yöntem hem düşük enerjili hem de yüksek enerjili yangınların simülasyonunda kullanılabilir. Yüksek enerjili yangınlar simüle edildiğinde akışkanlar mekaniği benzerlik yasasından transfer fonksiyonları kullanılır.

Aşağıdaki sınır koşulları izlenecektir:

- Yukarı doğru yükselen hava jetinin konveksiyon tahrikli hava jetine benzer olmalı, diğer bir deyişle türbülanslı olmalı ve ek bir akış momentumundan etkilenmemelidir. Ayrıca bu jetteki türbülansın da etkilenmemesine dikkat edilmelidir.
- İlk aşama sırasında, duman gazları tavana ulaşacak kadar güçlü (yeterli) bir kaldırma etkisine veya hiç bir yükselmeye sahip olmayabilir. Bu, mahallin üst kısmında bulunan hava tabakasının sıcaklığının ısı jetin sıcaklığından yüksek olması halinde karşılaşılan durumdur.

İşlevsel test sırasında sıcaklık tabakaları bulunduğu (örneğin geniş bir aydınlık alanına sahip atriumlar veya buz pateni salonlarında) duman gazı üst tabakalara ulaşamayabilir.

Yükseklik arttıkça hava sıcaklığı da arttığından havanın kaldırma et-

kisi azalır. Bu, kaldırma kuvvetinin tamamen dengelenmesine yol açabilir. Bu durumda ısıl (termal) jet bozulur ve odada ağırlıklı olarak bulunan hava akımıyla harmanlanır.

Çevresel sıcaklıkla ısıl jet arasındaki sıcaklık farkının nötr hale geldiği yükseklik koordinatı z ; denge yüksekliği olarak adlandırılır. Bu yükseklikle ilgili bir tahmin aşağıdaki Eşitlik (18) de bulunmaktadır. Eğer sıcaklık artışı, sıcaklıkla yaklaşık olarak doğrusal ise, ZE, aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir:

$$z_E = 0,74 \cdot \dot{Q}_{konv}^{0,25} \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right)^{-0,375} \quad (18)$$

Burada;

Z_E denge yüksekliği,

Q_{konv} konvektif ısı çıktı miktarı kW,

Δz yangın alanı ile tavan (tırmanma) arasındaki yükseklik farkı,

ΔT tavana yakın ve döşemeye yakın bölgeler arasındaki sıcaklık farkı K.

Yangın simülasyon düzeneği tarafından karşılanması gerekenler

- Hava akımı ayarlanabilir ve ölçülebilir olmalıdır,
- Brülör çıktısı ayarlanabilir ve ölçülebilir olmalıdır,
- Görşelleştirme amacıyla duman hüzmesine eklenen aerosol sisi 250 m³/h~350 m³/h arasında bulunmalıdır. Kural olarak bu, birkaç sis üreticinin kullanımını gerektirecektir. Tekil akışlar (hava ve aerosol karışımı) her bir boruda ayrı olarak ölçülür,
- Jet çıkışındaki akış momentumu, uygun önlemlerle azaltılmalı ve yukarı doğru olanak oranında serbest bir jet çıkışı sağlanmalıdır,
- (Dumanın) gerçek çıkış yeri bilinmelidir.

4.2.1. Özellikle İlk Aşamının Simülasyonunda Test Performansı Parametrelerinin Seçimi İçin Öneriler

Değişik test serileri için aşağıdakilerden en az birisi seçilmelidir.

- Seri 1

Konvektif ısı çıktısı	50 kW
Konvektif hava hacmi	0,5 m ³ /s
Test düzeneğinin çıkışında ortalama sıcaklık	83°C

- Seri 2

Konvektif ısı çıktısı	100 kW
Konvektif hava hacmi	1 m ³ /s
Test düzeneğinin çıkışında ortalama sıcaklık	83°C

- Seri 3

Konvektif ısı çıktısı	150 kW
Konvektif hava hacmi	1,5 m ³ /s
Test düzeneğinin çıkışında ortalama sıcaklık	83°C

Testin süresi, en azından yangın eğrilerinden elde edilen, yangın ekibinin yangına girişimine kadar olan süreyi (t_s) içermelidir. Bununla birlikte minimum süre 10 dakikadır.

Diğerlerinin yanı sıra nicelik testlerinden aşağıdaki bilgiler elde edilebilir.

- Binadaki duman gazı akışının niceliksel değerlendirilmesi (Kantlanmış işlevsel ilişkilerin bilinmesi, beklenen yangın gelişiminden sapmaları belirlemeyi sağlar),
- Binadaki duman dolu (duman tabakası) ve dumansız (dumansız tabaka) bölümlerin belirlenmesi,

- Duman kontrol sisteminin niceliksel değerlendirmesi,
- Duman kontrol sisteminin önceden belirlenen (hesaplanmış) niteliklerinin karşılaştırılması,
- Duman tabakası oluşum süresi içerisinde yangın gelişiminin tahmin edilmesi.

Diğerlerinin yanı sıra aşağıdakiler nicelik testleri ile belirlenemez:

- Odadaki sıcaklık dağılımı,
- Bina elemanlarının yüzey sıcaklıkları,
- Kirlenici madde konsantrasyonları,
- Görüş kısıtlanmasının değerlendirilmesi,
- Otomatik yangın söndürme sistemlerinin etkinleşme (devreye girme) süreleri,
- Isı dedektörlerinin etkinleşme süreleri,
- Rüzgarın dışsal etkileri.

4.2.2. Niceliksel (Kantitatif) Doğrulama

Bu testlerin duman kontrol sisteminin niceliksel değerlendirmesi için kullanıldığı yerlerde, örneğin tam gelişkin yangınların değerlendirilmesi, akışkanlar mekaniği benzerlik yasalarında uygun dönüşümler yapılmalıdır.

Benzerlik aralığının başlangıcında ısıl jetteki duman gazı kütleli akışı, yangın simülasyon düzeneğindeki hava akışı ile karşılaştırılır. Jet-biçimlendirme bölgesinin sonundaki hava akışı Thomas ve Hinkley eşitliği ile hesaplanır;

$$\dot{m}_{p1}(z) = 0,19\sqrt{4 \cdot A \cdot \pi} \cdot z^{1,5} \quad (19)$$

$z=l_f$ olan yerde,

Jet-biçimlendirme bölgesinin yüksekliği

$$l_f = 2\sqrt{A} \quad (20)$$

$m_{p1}(z)$ duman gazı kütlesi (hüzme), kg/s

A: yangın alanı m²

l_f : jet-biçimlendirme bölgesinin uzunluğu, m

Dumanın eklendiği benzerlik aralığının başlangıcı ve z arasında farklılık olması durumunda ($z \neq l_f$) dönüştürmeler Eşitlik (21) ve Eşitlik (22) uyarınca yapılacaktır:

$$\dot{m}_0(z) = \dot{m}_0(l_f) \cdot \left(\frac{l_f - z_{0,0}}{z - z_{0,0}} \right)^{-1,667} \quad (21)$$

$$z_{0,0} = -1,02 \cdot D + 0,083 \cdot \dot{Q}_0^{0,4} \quad (22)$$

Burada;

$z_{0,0}$ gerçek orijin, m

D yangın çapı, m, $D = \sqrt{4 \cdot A / \pi}$

Q_0 toplam ısıl çıktı miktarı, kW

Model (M alt indisli) ve boyutlandırma için kullanılan yangın gelişimi (O alt indisli) için Arşimet (Ar) ve Euler (Eu) benzerlik büyüklükleri birbirine eşitse, akış işlemlerinin benzerliği benzerlik mekaniğine uyar. Açıklamalar VDI 6019-Kısım 2'de bulunmaktadır.

$$Ar = \frac{g \cdot l \cdot \Delta T}{T_\infty \cdot w^2} \quad (23)$$

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot w^2} \quad (24)$$

Burada;

- g yer çekimi ivmesi m/s^2
 l karakteristik uzunluk, m
 T_∞ çevresel sıcaklık, K
 ΔT sıcaklık farkı, K
 w akış hızı, m/s
 Δp basınç farkı, Pa
 ρ gazın yoğunluğu, kg/m^3

Benzerlik faktörleri ile ifade edilirse;

$$f_{\Delta T} = \frac{\Delta T_M}{\Delta T_0} \quad (25)$$

$$\frac{f_g \cdot f_l \cdot f_{\Delta \theta}}{f_{T_\infty} \cdot f_w^2} = 1 \quad (26)$$

$$\frac{f_{\Delta p}}{f_p \cdot f_w^2} = 1 \quad (27)$$

Test, orijinal odada gerçekleştirildiğinde $f_l=1$ 'dir.

$f_g=1$ ve $f_{T_\infty}=1$ olması durumunda,

$$f_{\Delta \theta} = f_w^2 \quad (28)$$

Eğer $f_l=1$ ve $Eu=Sabit$ ise;

$f_v=f_w \cdot f_l^2$ eşitliğinden

$$f_v = f_w \quad (29)$$

bulunur.

Isı akışının fonksiyonel ilişkisinden;

$$f_{\dot{Q}} = f_v \cdot f_p \cdot f_{\rho_0} \quad (30)$$

Eşitlik(31) de $i=i$ koyularak f_i elde edilir ve Eşitlik (31) den,

$$f_{\dot{Q}} = f_w \cdot f_{\Delta \theta} \quad (31)$$

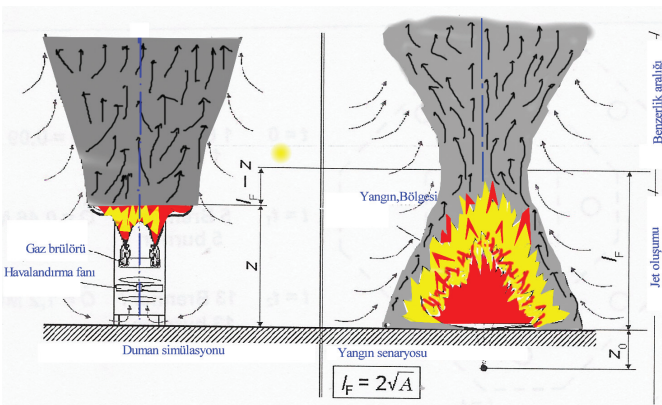
elde edilecektir. Daha önce hesaplanan ısı çıktı miktarını dikkate alarak, f_w ve $f_{\Delta \theta}$ için iki fonksiyonel ilişki olarak

$$f_{\dot{Q}} = f_w \cdot f_{\rho_0} \quad (32)$$

$$f_w^2 = f_{\Delta v} \quad (32)$$

elde edilir.

Bu dönüştürmeler, yangın simülasyon düzeneğinin çıkışında gerekli



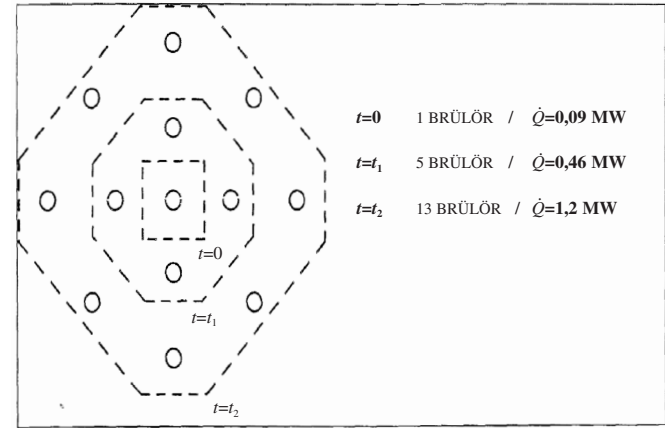
Şekil 12. Duman simülasyon/yangın senaryosu.

hacimsel akış ve sıcaklıklar ile birlikte, fanlı duman gazı çekme sistemlerinde hacimsel akış ve zamansal gelişimi belirlemeye olanak verir. Yukarıdaki niteliklerin kullanımı bu rehber kitabın EK'ler bölümünde verilen örneklerle açıklanmaktadır.

4.2.2.1. Gerçek Isı Çıktı Miktarlarının Niceliksel Doğrulaması

Yangının ilk aşamasından yüksek ısı çıktıklarına kadar duman egzoz sistemlerinin etkinliğinin doğrulanması için gerçek yangın senaryolarının istendiği durumlarda, Şekil 12'de gösterilenler gibi sistemler kullanılabilir.

Aralarında düzgün aralıklar bulunan birkaç sıvı-yakıt brülörü kulla-



Şekil 13. Gerçek yangının $Q(t)$ yangın eğrisine karşı gelen ısı çıktısı simülasyonu için brülör ayarlaması.

ılır. Şekil 13 Belirli bir $Q(t)$ yangın eğrisinin ısıl çıktısını simile etmek için olası brülör düzenlemesini göstermektedir. Tekil brülörleri ayarlamaksızın elde edilen eğri, bir adım fonksiyonu üretir. Brülörleri ayarlayarak, hemen hemen adsız bir $Q(t)$ eğri fonksiyonuna ulaşmak olanaklıdır.

Brülör alevlerinin büyük yüksekliklere ulaşmasını önlemek için ve yangın alanının üzerindeki ısı çıktısının üniformluğunu sağlamak üzere, dizisinin üzerine yatay dağılım için bir sapıtma plakası yerleştirilir. (Şekil 12)

Artan ısı çıktı miktarlarının ve artan yangın alanının simülasyonuna olanak veren bu yöntem, özellikle iç mahallerde yıpranmaya neden ısıl çıktı durumlarında kullanılır (ticaret fuarı salonları, kara yolu tünelleri, alarm sistemleri vb).

Şekil 13'deki örnek 1,2 MW'a kadar olan ısı çıktı miktarlarını göstermektedir. Sadece işlevsel testlerin ötesinde, bu araştırmalar bina elemanlarının yüzey sıcaklıklarını olduğu kadar sıcaklık dağılımını belirlemekte de kullanılır.

4.3. Yangın Simülasyon Kaynağı Olarak Yanar Tepsilerin Kullanımı

4.3.1. Simülasyon Kaynakları Olarak Yanar Tavaların Kullanılması

Yangın simülasyon testlerinde yanar tavaların kullanılması, ısı kaynağı başına nispeten yüksek ve sabit ısı miktarlarının elde edilmesine olanak verirken, yüksek binalarda duman egzoz sistemlerinin doğrulanması için ve kaldırma kuvvetinin tahrik ettiği duman dağılım momentumunun duman kontrol sisteminin etkinliği bakımından kritik olduğu yerler için özellikle uygundur.

İz sadece doğrudan biçimde olanaklıdır. Diğer değerlemeler, Bölüm 4.2.2'ye göre, benzerlik yasaları dikkate alınarak dönüştürülmelidir. İçerisinde fuel oil yakılan meal yakma tavaları yangın simülasyon kaynakları olarak yangındaki belirli bir alan için uygundur. Yanmakta olan tavayı bir su dolu geniş tepsinin içerisine koyarak, toplam yanma zamanı içerisinde uniform bir ısı çıktısı sağlayacaktır. Örneğin denatüre edilmiş etanol (% 96 hacimsel) gibi bol miktarda ısı çıkaran bir uygun yakıt kullanılabilir.

Tablo 10'da yakma tavaları ve bunlarda etanol yakılması halinde elde edilecek ısı çıktıları gösterilmektedir.

Yakma tavalarının sayısı	Yakma tavalalarının boyutları (LxBxH), mm	Su tepsilerinin boyutları (LxBxH), mm	Yakma tavası başına etanol miktarı, l	Toplam ısı çıktı miktarı, kW
1	427x297x65	495x350x180	2,5	60
1	594x420x130	700x495x130	5,5	140
1	841x595x90	990x700x180	13	340
2	841x595x130	990x700x180	15	700
4	841x594x130	990x700x180	16	1500

Tablo 10. Isı kaynağı başına yanma tavalarının sayısı, tavaların iç boyutları, AS 4392'ye göre önerilen yakıt ve ısı çıktı miktarları.

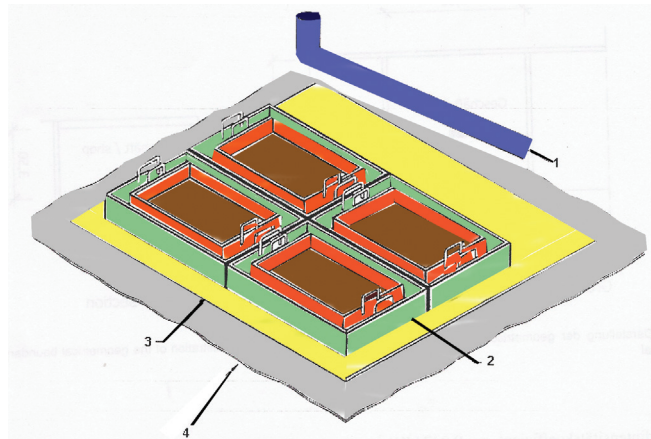
4.3.2. Kaynak Uyarlamasının Tanımlanması

İlkesel olarak yangın simülasyon kaynakları, boyutlandırma yangınına yeteri kadar yakın değerler sağlanacak biçimde boyutlandırılacak ve uyarlanacaktır.

4.3.3. Güvenlik Önlemleri

Yüksek alevlenme yeteneğindeki yakıtlar ve açık alevlerin işlem gördüğü binalarda güvenlik önlemleri alınmalıdır.

Yakma tavaları, yanmayan bir altlığın üzerine yerleştirilmelidir (örneğin kalsiyum silikat tablalar); diğer kolay yanan malzemeler, test sırasında yakma tavalarından uzakta bulundurulacaktır. Yakma tavalalarına yakın olan bina yüzeylerinin sıcak gazlardan ve radyatif ısıdan korunması gereklidir. İlkesel olarak, ısı çıktısı tavadaki yakıtın tamamen yanmasıyla tamamlanır. Yakıt bitmeden alevin durdurulması gerektiğinde yakma tavalarını (kapak plakaları, yangın söndürücüler) suya daldırmak için gerekli ekipman hazır olmalıdır.

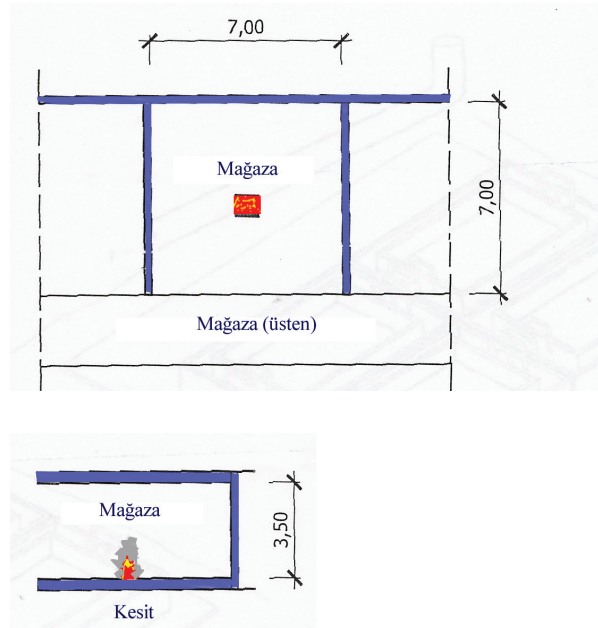


Şekil 14. AS 4391-1999'a göre belirlenen toplam ısı çıktısı 1,5 kW olan bir test düzeni.

- 1- Sis (aerosol) beslemesi,
- 2- Tava uyarlaması,
- 3- Su geçirmez altlık,
- 4- Alçıpan.

Önerilen yakıt miktarı, en az 10 dakika boyunca sabit bir yangın kademesi oluşturacaktır (sabit bir ısı çıktısı). Dıştaki su tepsilerindeki su miktarı, yakıt yanmazken tavaların yüzmesini önleyecek biçimde belirlenmelidir.

Diğer duman hüzmesi bölgeleri için (aralıklı alev yüksekliğine kadar) AS 4391-199'a göre Thomas ve Hinkey formülleri kullanılarak hüzme karakteristikleri verilebilir. Heskestad'ın [3] hüzme formülü, alevden uzak bölgelerde doğru sonuçlar verir.



Şekil 15. Bir mağazanın geometrik sınır koşullarının gösterimi.

5.1. Sprinkler Donanımlı Bir Mağazada Yangın Eğrilerinin Belirlenmesi

Bu rehber kitaptaki yangın eğrileri, bir alışveriş merkezindeki atriumla bağlantısı olan bir mağaza için çıkartılacaktır.

Seçilenler:

- Birim malın başına maksimum ısı çıktısı, Tablo 2'de belirtildiği gibi satış alanlarında $\dot{q}_p=500 \text{ kW/m}^2$,
- Yangın şiddeti yoğunluğu Tablo 1'den, hızlı yangın varsayımı ile $\alpha= 0,047 \text{ kW/s}^2$,
- Dumana tepki veren otomatik yangın dedektörleri kullanımı,
- Otomatik yangın söndürme sisteminin uyarlanması: sprinkler, normal tepki verme sıcaklığı: 68°C , $\text{RTI}=80 \text{ (s.m)}^{0,5}$
- Yangın ekibinin girişim süresi: normal

Yüksek enerjili yangın için yangın eğrileri

Aşama 5

Sınır koşulları

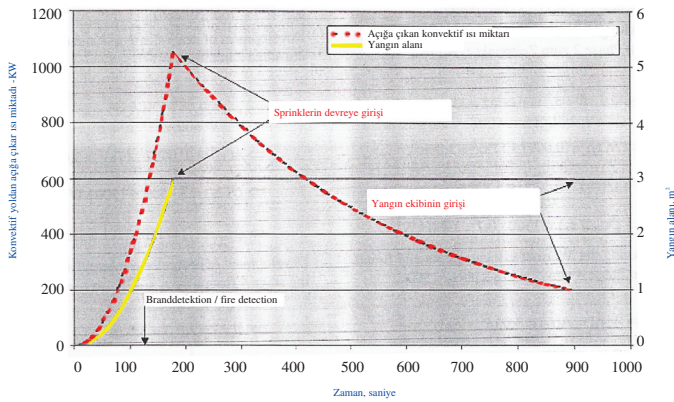
- $t_{1a}=120$ s Tablo 3'e göre alarmin çalışmasından önce geçen zaman
 - $t_{2b}=780$ s Tablo 4'e göre yangın ekibinin girişiminin başlamasına kadar olan süre
- $\Rightarrow t_s=120$ s + 780 s = 900 s

Aşama 2 / Aşama 4

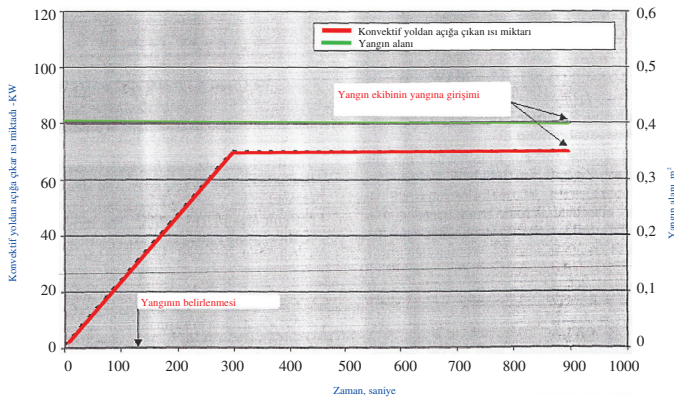
Sprinklerin çalışması;

Sprinklerin çalışmaya başladığı zaman Bölüm 3.5'de verildiği gibi belirlenir. Aşağıdaki girdi parametreleri varsayılmıştır:

- $h=3,5$ m (yangın alanı ile tavan arasındaki uzaklık)
- Tavan ile sprinkler diski arasındaki uzaklık: 10 cm
- $\alpha=0,0047$ kW/s²



Şekil 16. Yüksek enerjili yangın: Açığa çıkan konvektif ısı miktarı ile yangın alanının gösterimi.



Şekil 17. Düşük enerjili yangın: Çıkan konvektif ısı miktarı ile yangın alanının gösterimi.

\Rightarrow Sprinklerin etkinleşme süresi, Tablo 7'den; $t_4=178$ s (interpolasyonla hesaplandı).

Aşama 2'de $t_4=178$ 'de açığa çıkan ısı miktarının gelişimi ve yangın alanı

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{0,047}{500}} = 0,0097 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow A(\tau_2) = (0,0097 \times 178)^2 = 3,0 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \dot{Q}(\tau_2) = 3.500 = 1500 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{konv}(\tau_2) = 1500 \cdot 0,7 = 1050 \text{ kW}$$

Aşama 4'de $t_4=178$ s'den $t_5=900$ s'ye kadar açığa çıkan ısı miktarının gelişimi ve yangın alanı;

$$\Rightarrow A(\tau_4) = A(t_4) = 3,0 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \dot{Q}(\tau_4) = 1500 \cdot e^{-0,0023t_4}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}(\tau_5) = 1500 \cdot e^{-0,0023(900-178)} = 285 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{konv}(\tau_5) = 285 \cdot 0,7 = 200 \text{ kW}$$

Düşük enerjili yangın için yangın eğrileri,

Aşama 1

- $t_s=900$ s

- sprinkler etkinleşmiyor

$$\Rightarrow A(\tau_1) = A(t_4) = 0,4 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \dot{Q}(\tau_1 > 300s) = 100 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{konv}(\tau_1) = 100 \cdot 0,7 = 70 \text{ kW}$$

5.2. Duman Gazı Dağılımının Niceliksel Değerlendirilmesi

Yangının gelişimi, 1,43 MW'lık bir ısı çıktısı ile temsil edilecektir. Birim alan başına maksimum ısı çıktısı olan 715 kW/m^2 için hesaplanan yangın alanı 2 m^2 'dir. O zaman konvektif ısı çıktısı, eşitlik(17) kullanılarak;

$$\dot{Q}_{konv} = 0,7 \cdot \dot{Q}$$

$$\dot{Q}_{konv} = 1,0 \text{ MW dır.}$$

Test serisi 3'e göre yangın simülasyonu 150 kW 'lık bir konvektif ısı çıktısı için çalıştırılır. Bu da aşağıdaki benzerlik faktörüne götürür;

$$f_{\dot{Q}} = \frac{\dot{Q}_M}{\dot{Q}_0} = \frac{150 \text{ kW}}{1000 \text{ kW}} = 0,15$$

$$f_{\Delta\theta} = \frac{f_{\dot{Q}}}{f_w} = \frac{0,15}{f_w}$$

Bu eşitliğin Eşitlik (33)'e dahil edilmesiyle f_w için benzerlik faktörü;

$$f_w^3 = 0,15$$

$$f_w = \frac{w_M}{w_0} = \sqrt[3]{0,15} = 0,53$$

$$w_M = 0,5w_0$$

buna göre,

$$\dot{V}_M = 0,53 \dot{V}_0$$

ve;

$$f_{\Delta\theta} = \frac{0,15}{0,53} = 0,28$$

Jet biçimlendirme bölgesinin sonu için, gerçek odada duman gazı kütleli akışı Thomas ve Hinkley tarafından açıklanan eşitlik (21) kullanılarak hesaplanır;

$$\dot{m}_0 = 4,5 \text{ kg/s}$$



jet oluşturma bölgesinin uzunluğu

$$l_F = 2\sqrt{2} = 2,83 \text{ m}$$

Durum 1: $z=l_F$ yüksekliğinde test duman gazı beslemesi

Isıtılması gereken hava kütlesi bu durumda,

$$\dot{m}_M = 53\dot{m}_0 = 53,4, 5 \text{ kg/s} = 2,385 \text{ kg/s}$$

Alternatif olarak hava debisi;

$$\dot{V}_M = \frac{2,385 \text{ kg/s}}{1,2 \text{ kg/m}^3} = 1,988 \text{ m}^3/\text{s}$$

burada $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ tür.

$$\Delta\theta_0 = \frac{Q_{qkonv}}{\dot{m}_M \cdot C_{p,Rauch}} \rightarrow \Delta\theta_0 = 222 \text{ K}$$

θ_{s0} 'un ortalama jet sıcaklığı orijinal jet biçimlendirme bölgesinin sonundaki sıcaklık olup,

$\theta_{s0} = (222+20) = 242 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenir. Bu durumda eldeki tam sıcaklık artışı,

$$\Delta\theta_M = \Delta\theta_0 \cdot 0,28 = 62,16 \text{ }^\circ\text{C} \text{ olur.}$$

Buradan, jet biçimlendirme bölgesinin sonundaki ortalama sıcaklık (modeldeki) θ_{sM} , aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\theta_{sM} = 82,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

Not: Yangın simülasyon kaynağının yukarıdaki boyutlandırması her zaman gösterilecek veya belgelendirilecektir. Güç kullanan (fanlı) duman kontrol sistemleri durumunda, örneğin dumansız tabakaların yüksekliği için niceliksel ifaelere yer verilecek ve çekme havasının debisi benzerlik faktörü f_c ile (bu durumda $f_c = 0,53$) azaltılacaktır. Birçok durumda bu, havalandırma sisteminde kapsamlı ayarlamalara gerek gösterir.

Durum 2: Test duman gazının $z \neq l_F$ yüksekliğinde besleme yapması

$$z = 1,7 \text{ m}; l_F = 2,83 \text{ m}$$

$z \neq l_F$ ise; orijinal duman gazı kütleli debisi dönüştürülmelidir;

z yüksekliğindeki kütleli debi Eşitlik (22) kullanılarak hesaplanır;

Bu sonuçtan model testinde aşağıdaki sıcaklık farkı elde edilir;

$$\frac{\dot{m}_0(l_F)}{\dot{m}_0(z)} = \left(\frac{2,83 - (-0,32)}{1,70 - (-0,32)} \right)^{1,667} = 2,1$$

Buna göre, z yükseklikte akması gereken duman gazı kütlesi;

$$\dot{m}_0(z) = \frac{4,5 \text{ kg/s}}{2,1} = 2,14 \text{ kg/s}$$

Yangın simülasyon düzeneği aşağıdaki gaz debisini üretir;

$$\dot{m}_M(z) = 2,14 \text{ kg/s} \cdot 0,53 = 1,13 \text{ kg/s}$$

Buna göre hacimsel akı miktarı(debi);

$$\dot{V}_M(z) = \frac{1,13 \text{ kg/s}}{1,2 \text{ kg/m}^3} = 0,945 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hüzmedeki (orijinal) duman gazının $z=1,7$ m'deki ortalama sıcaklığı;

$$\Delta\theta_0 = \frac{1000 \text{ kW}}{2,14 \text{ kg/s} \cdot 1,0 \text{ kJ/kg.K}} = 467,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_M = \Delta\theta_0 \cdot 0,28 = 130,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_R = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

olarak hesaplanır.

Burada; oda sıcaklığı θ_∞ dur. Buradan, z yükseklikteki ortalama jet sıcaklığı (modeldeki) θ_{sM} aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\theta_{sM} = (130,8+20) \text{ }^\circ\text{C} = 150,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

6. Kaynaklar

[1] Seifert,U; Stein, J.: Rauchversuche in Gebäuden.VFDB(2001) 3,S,123-128.

[2] McGrattan,K,B et al.Fir dynamics Simulator (Version 2)-Technical Reference Guide. NISTIR 6783.NIST National Institute of Standards and Technology, Gaithsburg (USA)2001.

[3] Brein, D.: Anwendungsbereiche und-grenzenfur praxisrelevante Modellensätze zur Bewertung der Rauschausbereitung für Brandschutztechnik, Karlsruhe, Dezember, 2001.

[4] Evans ,Davis D.: Ceiling Jet Flows in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 2nd Edition Section 2/Chapter 4, National Fire Protection Association, Quincy,Massachusetts, 1995.

[5] Davis ,William D.:The Zone Fire Model Jet: A model for The Prediction of Detector Activation and Gas Temperatures in the Presence of Smoke Layer. NISTIR 6324, National Institute of Standards and Technology, Gaithsburg, Maryland, May 1999.

[6] Ergebnisbericht zur Beurteilung von Branden an Schienenfahrzeugen als Bemessungsbrände zur brandschutztechnischer Auslagung von oberirdischen Personenverkehrsanlagen der Deutschen Auslegung von oberirdischen Personennverkehrsanlagen der Deutschen Bahn AG (Fassung 09/2000).

[7] Paschen,C.: Katalog Brandszenarien Universität Wuppertal (unveröffentlichte Unterlagen), Original-Werte aus: Loveseat fire time line.Fire Scenarios,Building and Fire Research Laboratory,NIST National Institute of Standards and Technology, Gaithsburg, (USA) Internet address: www.bfrl.nist.gov.

[8] Paschen,C.: Katalog Brandszenarien, Universität Wuppertal (unveröffentlichte Unterlagen).

[9] Steinert,C.:Experimentelle Untersuchungen zum Abbrand und Feuerübersprunghalten von .Personnenkraftwagen, vfbd (2000)4,S.163-172.

Bibliyografi

Teknik Kurallar

AS 4391-1999:1999-01-19 Smoke Management Systems: Hot smoke test.

DIN 18232 Rauch-und Warmerefreihaltung(Smoke and heat control systems). Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN 54-7:2001-03 Brandmeldeanlagen: Teil 7:Rauchmelder; Punktförmige Melder nach dem Steurlicht-Durchlicht-oder Ionisationsprinzip: F,Deutsche Fassung EN 54-7:2000,(Fire detection and alarm systems: Part 7:Smoke detectors: Point detectors using scattered light, transmitted light or ionization: German version EN 54-7:2000)Berlin:Beuth Verlag.

DIN EN 12101-1:1995-11 Anlagen zur Kontrolle von Rauch-und Warmeströmungen; Teil 1:Spezifikation für Rauschürzen:Anforderungen und Prüfverfahren:Deutsche Fassung prEN 12-101-1:1995(Smoke and heat control systems :Part 1.:Specification for

smoke curtains:Requirements and test methods:German version prEN 12101-1:1995)Berlin:Beuth Verlag

DIN EN 12259-1:1995-11 Ortsfeste Löschanlagen; Bauteile für Sprinkler und Sprühwasserlangen; Teil 1:Sprinkler:Deutsche Fassung EN 12259-1:2001(Fixed fire fighting systems :Components for sprinkler and water spray systems:Part 1:Sprinklers:German version EN 12259-1:2001) Berlin,Beuth Verlag

DIN VDE 0833 Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall (Alarm systems for fire, intrusion and hold up) Berlin: Beuth Verlag

VdS 2092:1999-89 Richtlinien für Sprinklanlagen; Planung und Einbau. Zurückgezogen seit 2003-01.Nachfolgedokument VdS CEA 4001:2003-01

VdS 2827:2005-09 Bemessungsbrände für Brandsimulationen und Brandschutzkonzepte. Berlin: Beuth Verlag

VdS CEA 4001:2005-09 Richtlinien für Sprinkleranlagen: Planung und Einbau, Berlin:Beuth Verlag

VDI 6019 Blatt 2 Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden; Ingenieurmethoden(in Vorbereitung)

EK: Dönüştürme Eşitlikleri

A1 [4] e göre, tavanın altındaki sıcaklık gelişimi ve hızın belirlenmesinde kullanılan eşitlikler:

$$T-T_{\infty} = \Delta T_2^* [K^{2/5}(T_{\infty}/g)\alpha^{2/5}h_{\max}^{-3/5}] \quad (A1)$$

$$U = U_2^* (K^{1/5}\alpha^{1/5}h_{\max}^{-1/5}) \quad (A2)$$

Burada;

$$\Delta T_2^* = \begin{cases} 0 & t_2^* \leq t_f^* \\ \left(\frac{t_2^* - t_f^*}{0,188 + 0,313 \cdot r_{\max}/h_{\max}} \right)^{4/3} & t_2^* > t_f^* \end{cases} \quad (A3)$$

$$t_2^* = \tau_2 / (K^{-0,2}\alpha^{-0,2}h_{\max}^{0,8}) \quad (A4)$$

$$t_f^* = 0,954(1+r_{\max}/h_{\max}) \quad (A5)$$

$$K = g/(c_p T_{\infty} \rho_{\infty}) \quad (A6)$$

$$U_2^* = 0,59 (r_{\max}/h_{\max})^{-0,63} \sqrt{\Delta T_2^*} \quad (A7)$$

T_{∞} = Çevresel sıcaklık, K

T = Duman gazı sıcaklığı (tavana yakın), K

ΔT_2^* = Boyutsuz duman gazı sıcaklığı (yardımcı değişken),

U_2^* Boyutsuz duman gazı sıcaklığı (yardımcı değişken)

U = Duman gazı hızı (tavana yakın), m/s

Δt_2^* = Boyutsuz zaman

t_f^* = Duman gazlarının yangın alanından araştırma altındaki noktaya kadar yükselmesini dikkate alan yardımcı değişken,

τ_2 = Aşama 2'deki zaman değişkeni, s

K = Yardımcı katsayı, $m^4(kJ/s^2)$

ρ_{∞} = Çevre sıcaklığındaki havanın yoğunluğu, kg/m^3

c_p = Özgül ısı, $kJ/(kg.K)$

g = Yer çekimi ivmesi, m/s^2

α = Yangın şiddeti katsayısı, kW/s^2

h_{\max} = Yangın alanı ile tavan arasındaki maksimum uzaklık, m

r_{\max} = Duman hüzmelerinin eksenini ile maksimum sıcaklık detektörü arasındaki yatay uzaklık, m

A2 [5]'e göre sprinklerin tepki-elemanı sıcaklığının belirlenmesi için eşitlik

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{\sqrt{U}}{RTI} \left[T - T_e - \frac{C}{\sqrt{U}} (T_e - T_{\infty}) \right] \quad (A8)$$

T_e = Tepki-elemanı sıcaklığı, K

T = Duman gazı sıcaklığı, K

RTI = Tepki süresi endeksi, $\sqrt{(s.m)}$

U = Duman gazı hızı (tavana yakın), m/s

C = İletkenlik katsayısı, $\sqrt{(m/s)}$

Çeviren

Yük. Mak. Müh. Nejat DEMİRCİOĞLU YTÜ Makine Mühendislik Fakültesi'ni bitirdikten sonra, aynı üniversitede lisansüstü eğitimini tamamlamış, ABD'de kısa süreli bir Air Conditioning programından sertifika olarak DEU İMYO'da soğutma sistemleri programını yürütmüş ve bu görevden emekli olmuştur.

"zamanı değerli kılan,
içine sığdırabildiğiniz tecrübelerdir"



neredeyse yarım asıra uzanan tecrübe



ÜNTEŞ[®]
iklimlendirme uzmanı

Merkez

Cetin Ermeç, Bulvarı 73. Sok.
No: 4 Öveçler - ANKARA
Tel : 0.312.472.87.00 (Pbx)
Fax : 0.312.472.87.77

Fabrika

İstanbul Yolu 37. Km.
Kazan - ANKARA
Tel : 0.312.814.12.16 (Pbx)
Fax : 0.312.472.87.77

İstanbul Bölge

19 Mayıs Mah. Sümner Sok.
Zitas İş Merkezi D-2 Blok
Daire: 7 Kozyatağı - İSTANBUL
Tel: 0.216.410.11.88
Fax: 0.216.410.11.76

İzmir Bölge

Teknik Malzeme İş Merkezi
1202/1 Sokak No: 17/218
Gıda Çarşısı - Yenisehir - İZMİR
Tel : 0.232.469.05.55 (Pbx)
Fax : 0.232.459.12.92

Adana Bölge

Ziyapasa Bulvarı İbrahim
Özekici Apt. Asmakat
No: 62 ADANA
Tel : 0.322.459.00.40 (Pbx)
Fax : 0.322.459.01.80