

**KAPALI HACİM ÖZELLİKLERİNE GÖRE BİNALARDA
ÖNGÖRÜLEN YANGINA DİRENÇ SÜRELERİNİN
BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ**

Sedat ALTINDAŞ

**DOKTORA TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2010
ANKARA**

Sedat ALTINDAŞ tarafından hazırlanan “KAPALI HACİM ÖZELLİKLERİNE GÖRE BİNALARDA ÖNGÖRÜLEN YANGINA DİRENÇ SÜRELERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ” adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Füsun DEMİREL
Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Mimarlık Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA (Jüri Başkanı)
Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Füsun DEMİREL (Danışman)
Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmangazi Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Cüneyt KURTAY
Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Tarih: 02/07/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sedat ALTINDAŞ

**KAPALI HACİM ÖZELLİKLERİNE GÖRE BİNALARDA ÖNGÖRÜLEN
YANGINA DİRENÇ SÜRELERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR
MODEL ÖNERİSİ
(Doktora Tezi)**

Sedat ALTINDAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2010**

ÖZET

Binaların bir yangın anında, güvenli bir şekilde boşaltılması ve yangın ekiplerinin çalışmasını sağlayacak süre boyunca ayakta kalması gerekmektedir. Buna yapısal yangına direnç tasarımı denilmektedir. Söz konusu süreler hükme dayalı ya da performans dayalı olarak belirlenmektedir. Hükme dayalı yaklaşımı esas alan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)'de bina ve yapısal elemanların tasarımı için öngörülen yangına direnç süreleri hükümsel kurallar halinde verilmektedir. Bu süreler standart yangın eğrilerine göre belirlenmiş standart yangına direnç süreleridir. Ancak, binayı oluşturan kapalı hacimlerde çıkan şiddetli yangınlarda yapı elemanları öngörülen süreler kadar yangına direnç gösterememektedir. Bunun sonucunda bina, BYKHY'de öngörülenden daha kısa sürede çökebilmektedir. Bu çalışma ile kapalı hacim özelliklerine göre binalarda öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik bir model önerilmiştir. Modelin, kapalı hacimlerden oluşan barınma, konaklama, kurumsal ve büro binalarında uygulanması amaçlanmıştır. Kapalı hacim özellikleri; kapalı hacmin taban alanı, açıklığın alanı, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı, açıklığın konumu ve boyutu, kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğu ve yapı tipi ile sınırlandırılmıştır. Model, farklı kullanımlara sahip çeşitli hacimleri

barındıran örnek bir hastane yapısı üzerinde uygulanmıştır. Modelin kullanılması ile BYKHY'e göre yangına direnç sürelerinin belirlenmesinde ve binanın kompartımanlara ayrılmasında kapalı hacim özelliklerinin de dikkate alınması sağlanmaktadır.

Bilim Kodu : 804.1.099
Anahtar Kelimeler : Kapalı hacim, yangın şiddeti, yangına direnç, yangına direnç süresi, yangından korunma yönetmelikleri
Sayfa Adedi : 121
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Füsun DEMİREL

**A MODEL PROPOSAL CONCERNING THE DETERMINATION OF FIRE
RESISTANCE RATINGS ACCORDING TO CHARACTERISTICS OF
CLOSED SPACES
(Ph.D. Thesis)**

Sedat ALTINDAŞ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2010**

ABSTRACT

In case of fire, buildings are required to remain standing during the period necessary for safe evacuation and for proper functioning of fire brigade crew. This is called structural fire resistance design. These periods in question are determined based on either performance or prescriptive rules. In the National Fire Protection Regulation grounded on prescriptive approach, envisaged fire resistance ratings for the design of constructional components and building are specified as prescriptive rules. These ratings are standard fire resistance ratings determined by standard fire curves. However, constructional components cannot resist to severe fire that take place in closed spaces composing the building through envisaged periods. As a result of this, the building may collapse sooner than the envisaged periods set out in the National Fire Protection Regulation. By this study, a model concerning the determination of fire resistance rating according to characteristics of closed spaces is proposed. Model is aimed to be applied to office buildings, institutional buildings, residential buildings and buildings for accommodation purposes. Characteristics of closed space in this model are limited with floor area, opening area, ratio of opening area to floor area, location and size of opening, fire load density and building type. Model is applied to a sample hospital having various

spaces with different intended uses. By using this model, consideration of closed spaces characteristics for determination of fire resistance ratings according to the National Fire Protection Regulation and for separating building into compartments has been ensured.

Science Code	: 804.1.099
Key Words	: Closed space, fire severity, fire resistance, fire resistance rating, fire safety regulations,
Page Number	: 121
Adviser	: Prof. Dr. Füsün DEMİREL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca duruşu, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Füsün DEMİREL'e, değerli yorumları ve yapıcı eleştirileri için Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ ve Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU'ya, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli aileme, özellikle doktora başlamanın konusunda beni teşvik eden ağabeyim Ünal ALTINDAŞ'a ve benim için gösterdiği fedakârlıktan ve verdiği destekten dolayı kızım Melike'nin annesi sevgili Eşim Eylem TEKEMEN ALTINDAŞ'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1. Yapı Elemanlarının Yangına Direnç Performansları	7
2.2. Ülkelerin Yapısal Yangına Direnç Uygulamaları	17
3. YANGINA DİRENÇ GEREKLERİNİN BELİRLENMESİNDE KAPALI HACİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ	26
3.1. Yapısal Yangına Direnç Gerekleri	26
3.2. Yapısal Yangına Direnç Tasarımı	29
3.2.1. Tasarımda kullanılan yangın eğrileri	29
3.2.2. Yangın şiddeti ve yapı elemanlarının yangına direncinin belirlenmesi.....	35
3.3. Kapalı Hacim Parametrelerinin Yapı Elemanlarının Yangına Direnci Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi	40
3.3.1. Kapalı hacim parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler	41
3.3.2. Kapalı hacimdeki açıklığın etkisi	47

3.3.3. Kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğunun etkisi	58
3.3.4. Kapalı hacmin yapı elemanı tiplerinin etkisi	62
4. BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİKDE GEREKLİ YANGINA DİRENÇ SÜRELERİNİN KAPALI HACİM ÖZELLİKLERİNE GÖRE BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ.....	64
4.1. Modelin Amacı ve Kapsamı	67
4.2. Modelin Aşamaları	70
4.3. Modelin Örnek Bina Aracılığı İle Sınanması	77
4.3.1. Modelin örnek bir binaya uygulanması	77
4.3.2. Model ile Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin karşılaştırılması	83
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	94
EKLER	100
EK-1. Terminoloji.....	101
EK-2. Yangın yükü yoğunlukları.....	105
EK-3. OZone Bilgisayar Modeli.....	111
Ek-4. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğe göre öngörülen yangına direnç performans sınıfları ve süreleri	116
Ek-5. Model uygulanan örnek binaya ait kat planları.....	118
ÖZGEÇMİŞ	120

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ülkelerin yapısal yangına direnç tasarım uygulamaları	25
Çizelge 3.1. Çeşitli yapı tipleri için çevirme faktörü	38
Çizelge 3.2. Kapalı hacim parametrelerinin yangın şiddetine etkisi için kullanılan yöntemler	42
Çizelge 3.3. Kapalı hacim ve açıklık alanının yangın şiddetine etkisi	47
Çizelge 3.4. Açıklık alanın kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin eşdeğer süre (t_e) ve yanma süresine (t_b) etkisi	48
Çizelge 3.5. Yangın yükü yoğunluğunun eşdeğer süreye (t_e) etkisi	58
Çizelge 3.6. Yangın yükü yoğunluğunun yanma süresine (t_b) etkisi.....	58
Çizelge 3.7. Kapalı hacimlerin yangın yükü yoğunluklarına göre sınıflandırılması.....	61
Çizelge 3.8. Kapalı hacim tiplerine göre yapı elemanları.....	62
Çizelge 3.9. Kapalı hacim tipinin yangın şiddetine etkisi	63
Çizelge 4.1. Binaya ilişkin parametreler	70
Çizelge 4.2. Kapalı hacim parametrelerinin belirlenmesi	71
Çizelge 4.3. Kapalı hacimlere ait varsayılan yangın yükü yoğunlukları	73
Çizelge 4.4. Kapalı hacim yapı tipleri için çevirme faktörü	74
Çizelge 4.5. Bina için yapısal yangına direnç tasarım düzenlemeleri	76
Çizelge 4.6. Örnek bina parametreleri	77
Çizelge 4.7. Örnek binayı kapalı hacimlere ayırma	78
Çizelge 4.8. Örnek binadaki farklı her kapalı hacme ait parametre verileri	79
Çizelge 4.9. Örnek binaya ait kapalı hacimlerin yangın şiddeti ve yangına direnç değerleri	80
Çizelge 4.10. Modele göre örnek binaya ait yangına direnç düzenlemeleri.....	81

Çizelge 4.11. Modele göre örnek binaya ait yapısal yangına direnç tasarımı	82
Çizelge 4.12. Yapı elemanlarının farklı A_v/A_f oranlarında gerçek yangına direnç süreleri	84
Çizelge 4.13. Önerilen Model ile BHKHY'nin karşılaştırılması	85
Çizelge 5.1. Kapalı hacim parametrelerinin yangın şiddeti ve yangın direncine etkisi	89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. ASET/RSET zaman çizelgesi	2
Şekil 1.2. Tez akış şeması	6
Şekil 2.1. Yönetmeliklerde yangına direnç gereksinimlerinin sağlanması	18
Şekil 3.1. Yapı elemanlarının yangına direnç performansları.....	27
Şekil 3.2. Yangına direnç performans gereksinimlerine bir örnek	28
Şekil 3.3. Ülke ve kuruluşlara ait değişik standart yangın eğrileri	30
Şekil 3.4. Kapalı hacimdeki yangın olayı	32
Şekil 3.5. Kapalı hacimdeki yangının sıcaklık zaman grafiği	33
Şekil 3.6. Isı yayılım oranına göre kapalı hacim yangının gelişim grafiği	35
Şekil 3.7. Örnek yapı elemanı kesiti.....	42
Şekil 3.8. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin (0,025-0,25) yangın şiddetine etkisi.....	49
Şekil 3.9. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin (0,10-0,20) yangın şiddetine etkisi.....	49
Şekil 3.10. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin kapalı hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi.....	50
Şekil 3.11. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin yapı elemanının sıcaklığına etkisi.....	51
Şekil 3.12. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin yapı elemanının yangına direncine etkisi	52
Şekil 3.13. Açıklık konumunun kapalı hacimdeki gaz ve yapı elemanı sıcaklığına etkisi	54
Şekil 3.14. Açıklığın en/boy'unun yangın şiddetine etkisi	55
Şekil 3.15. Açıklığın en/boy'unun kapalı hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi.....	56
Şekil 3.16. Açıklığın en/boy'unun yapı elemanının sıcaklığına etkisi	56

Şekil 3.17.	Açıklığın en/boy'unun yapı elemanının yangın direncine etkisi	57
Şekil 3.18.	Yangın yükü yoğunluğunun kapalı hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi	59
Şekil 3.19.	Yangın yükü yoğunluğunun yapı elemanının sıcaklığına etkisi	59
Şekil 3.20.	Yangın yükü yoğunluğunun yapı elemanının yangın direncine etkisi	60
Şekil 3.21.	Kapalı hacim tiplerinin kapalı hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi	62
Şekil 3.22.	Kapalı hacim tiplerinin yapı elemanının sıcaklığına etkisi	63
Şekil 4.1.	Yapı elemanları için öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesi.....	65
Şekil 4.2.	Yapı elemanları için öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik model	68
Şekil 4.3.	Modelin akış diyagramı	69
Şekil 4.4.	Güvenli yangına direnç sürelerinin belirlenmesi	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
t_d	Algılayıcıların tutuşmayı algılamasından gelen algılama süresi
t_a	Algılayıcılardan gelen alarm süresi
t_p	Alarmın algılanmasından kaçışın başlanmasına kadar geçen süre
t_m	Kullanıcıların güvenli bir alana ulaşma süresi
R	Yük Taşıma Kapasitesi (Load-bearing Criterion)
E	Bütünlük (Integrity)
I	Yalıtım (Insulation)
t_e	Eşdeğer Süre (dakika)
t_b	Yanma süresi (dakika)
e_f	Yangın yükü enerji yoğunluğu (MJ/m ²)
k_b	Çevirme faktörü (dakika.m ² /MJ)
w_f	Havalandırma faktörü
A_h	Çatıdaki yatay açıklık alanı (m ²)
A_v	Açıklıkların alanı (m ²)
A_f	Kapalı hacmin taban alanı (m ²)
α_v	Açıklıkların alanının kapalı hacmin taban alanına oranı
$t_{fi,d}$	Yapı elemanların standart yangına direnç tasarım değeridir.
$t_{fi,ger}$	Gerekli olan yangına direnç süresi
E	Toplam yangın yükü (MJ)
Q_v	Havalandırma kontrollü yanma oranı (MW)

Kısaltmalar Açıklama

RSET	Gerekli Güvenli Boşaltım Süresi (Required Safe Egress Time)
ASET	Uygulanabilir Güvenli Boşaltım Süresi (Available Safe Egress Time)
FRR	Yangına Direnç Derecesi (Fire Resistance Rating)
DTM	Dünya Ticaret Merkezi
ISO	Uluslararası Standard Kuruluşu
BS	İngiliz Standardı
EU	Avrupa Birliği
EFTA	Avrupa Serbest Ticaret Birliği
UL	Underwriters Laboratories
ASTM	American Society for Testing and Materials
BYKHY	Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
EN	Avrupa Standardı
CIB	Uluslararası Yapı Konseyi
CPD	Yapı Malzemeleri Direktifi
NIST	Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü
NFPA	Ulusal Yangından Korunma Birliği

1. GİRİŞ

Dünyada, binalarda çıkan yangınlar her yıl binlerce kişinin ölümüne ve daha fazlasının yaralanmasına neden olmaktadır. Örneğin, Avrupa Topluluğu ülkelerinde her yıl yaklaşık 50000 kişi ölmekte ve bunun 10 ila 15 katı kadarı da yaralanmaktadır. Yangın, çok büyük mal kaybına neden olmakta¹, aynı zamanda tarihi varlıklara hasar vermekte, sonrasında oluşan, kirlenmiş yangın söndürme suyu, atmosfere yayılan parçacıklar ve zehirli gazlar ile çevreyi kirletmektedir [1].

Binaların yapısal yangın güvenliğinin sağlanması için, yangın anında kullanıcıların güvenli bir şekilde boşaltılmasını, yangının yayılmasının sınırlandırılmasını ve itfaiye ile acil kurtarma ekiplerinin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan bir süre boyunca ayakta kalacak ve çökmeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

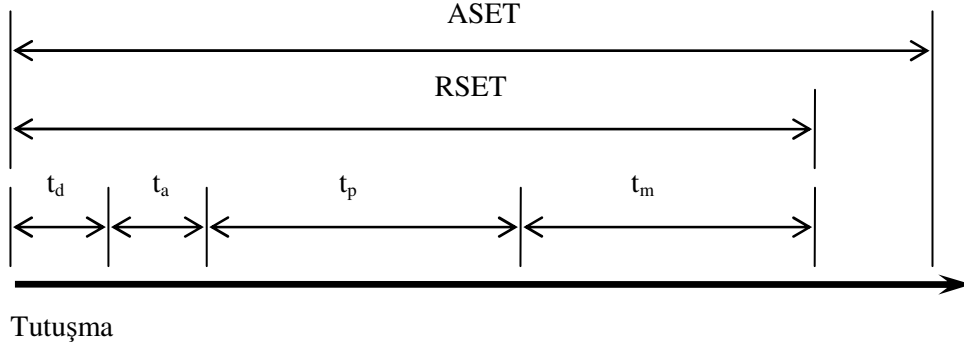
Kullanıcıların güvenli bir şekilde binayı ya da bir bölümünü boşaltarak güvenli alana ulaşması için gereken süre; gerekli güvenli kaçış ya da boşaltım süresi (RSET) olarak ifade edilmektedir. Performansa dayalı yangından korunma tasarımında, gerekli güvenli boşaltım süresi (RSET) ile binanın sağladığı uygulanabilir güvenli boşaltım süresinin (ASET) karşılaştırılması yangın güvenliğinin temeli olarak kabul edilmektedir (Şekil 1.1). RSET, birbirini izleyen dört sürenin toplamıdır. Bunlar; algılayıcıların tutuşmayı algılama süresi (t_d), algılayıcılardan gelen alarm süresi (t_a), kullanıcıların alarmı algılamasından kaçışa başlamasına kadar geçen süre (t_p) ve kullanıcıların güvenli bir alana ulaşma süresi(t_m)dir [2].

$$RSET= t_d+t_a+t_p+t_m \quad (1.1)$$

ASET’de ise tutuşma, yangının büyümesi, yangın ve dumanın yayılmasının etkisi söz konusudur. Bunlar; yangın çıkan kapalı hacmin yangın yükü, iç yüzeyi kaplayan elemanların yangına tepkisi ve havalandırma özellikleri gibi çeşitli değişkenlere

¹ Avrupa Topluluğu ülkelerindeki toplam mal kaybının gayrisafi yurtiçi hâsılanın % 0,5’i %1,0’ı arasında olduğu tahmin edilmektedir [1].

bağılıdır. ASET'in RSET'den küçük olması, kullanıcıların binayı ya da binanın bir bölümünden güvenli alana geçişlerinin sağlanamayacağı anlamına gelecektir [2].



Şekil 1.1. ASET/RSET zaman çizelgesi [2].

Otel veya yüksek binalarda, yatak odaları ve benzeri hacimler ile koridorlar arasındaki duvar ve kapıların veya üst katları koruyan döşeme/tavan sistemi gibi yangına dirençli bölücü elemanların, yangının çıktığı odadaki yangına direnç süresi, güvenli boşaltım süresini (ASET) vermektedir. Günümüzde, bina ve onu oluşturan elemanlarının yangına direnç derecesinin (FRR), ASET olduğu varsayılmaktadır [3].

Yapı elemanları, yangına karşı direnç gösterdikleri süre kadar yangına direnç derecesine (FRR) sahip olmaktadır. Bu, standart bir yangına direnç deney fırınında, standart zaman sıcaklık eğrisini takip eden bir yangın etkisi altında yapı elemanına ait düzeneğin ayakta kalma süresidir. Yapı elemanlarının yangına direnç derecelendirmesinde 30, 60, 90 dakika gibi süreler esas alınmaktadır.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)[4]'te, bina taşıyıcı sistem ve elemanlarının, gerek bir bütün olarak ve gerekse her bir elemanı ile, bir yangında insanların boşaltılması veya söndürme boyunca korunmaları için yeterli bir süre stabil kalmalarını sağlayacak şekilde hesaplanarak boyutlandırılması istenmektedir. Söz konusu sürede yapı elemanlarının, binayı oluşturan kapalı hacimlerdeki doğal yangın koşulları altında da yeterli direnci gösterebilmesi gereklidir. Ancak hükme dayalı bir yönetmelik olan BYKHY'te binanın yangına

direnç derecesi standart yangın eğrisine göre belirlenmekte olup kapalı hacimdeki yangın koşulları dikkate alınmamaktadır. Bu durumda, standart bir yangın eğrisine göre yangına direnci (FRR) belirlenmiş yapı elemanları, kapalı hacimlerdeki yangın koşulları altında istenen yangın direncini her zaman sağlayamamaktadır.

Bu çalışma ile kapalı hacim özelliklerine göre öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik bir model önerilmiştir. Model ile, BYKHY’de binaların yangına direnç sürelerinin belirlenmesinde kapalı hacim özelliklerinin dikkate alınması amaçlanmıştır. Ayrıca BYKHY’te öngörülen yangına direnç süresinin (FRR), binayı oluşturan tüm kapalı hacimler için yeterliliği de doğrulanmaktadır. Model; öncelikli olarak, şiddetli yangın çıkması olası kapalı hacimlerin belirlenerek bunların yangın şiddetinin analitik yöntemler ile hesaplanması ve bu hacimlere ait yapı elemanlarının öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenerek BYKHY’te öngörülen yangına direnç süreleri ile karşılaştırılması esaslı üzerine kurulmuştur. Modelin uygulanması, konut, otel yatak odası, derslik, ofis gibi kapalı hacimlerden oluşan barınma, konaklama, kurumsal ve büro binaları ile sınırlandırılmıştır.

Kapalı hacimlerdeki yangın şiddeti basit yöntemlerle analitik olarak hesaplanabilmektedir. Bu şekilde kapalı hacimlerdeki yapı elemanları için öngörülen yangına direnç derecesi (FRR) belirlenebilmektedir. Bunun için çalışmada Eurocodes’da yer alan *eşdeğer süre* t_e kullanılmıştır.

Tasarım aşamasında binayı oluşturan her bir kapalı hacmin yangın şiddetinin belirlenmesi uzun bir işlem olacağı için yüksek yangın şiddetine sahip kapalı hacimlerin belirlenmesi ve bunların yangın şiddetinin hesaplanarak öngörülen yangına direnç değerlerinin bulunması, binanın yangın durumunda stabil kalmasını sağlamak için gerekli olan tasarım işlemlerini kısaltacaktır.

Binanın veya kapalı hacmin geometrisi (yüzey alanı, kat yüksekliği, duvar ve döşeme tipi, açıklıkların tipi, doğrama tipi, vb.) ve yangının karakteristiği (yangın yükü, havalandırma koşulları, ısı yayılım oranları, vb.), yangının büyümesi ve binada

yayılmasını etkileyen temel parametrelerdir [5,6]. Tezde; kapalı hacim özelliklerinin yangın şiddetine ve yapı elemanlarının yangın direncine olan etkilerinin belirlenmesinde kullanılan parametreler, kapalı hacmin taban alanı ile açıklığın alanı, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı, açıklığın konumu, açıklığın boyutu, kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğu ve yapı tipi sınırlandırılmıştır.

Kapalı hacim özelliklerine göre binalarda ve onu oluşturan kapalı hacimlerde öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik bir model önerisi sunan tez kapsamında yürütülen çalışma aşağıdaki şekilde planlanmıştır:

Tezin giriş bölümünde, yapı elemanlarının yangına direnç derecelerinin, binanın sağladığı güvenli boşaltım süresi olarak değerlendirildiği ve yapı elemanlarının yangına direncinin bulundukları kapalı hacimde çıkan yangın şiddetinden etkilendiği vurgulanmaktadır. Şiddetli bir yangında yapı elemanının öngörülenden daha kısa bir sürede çökeceği belirtilmektedir. Yangın şiddetini ve buna bağlı olarak yapı elemanlarının yangın direncini etkileyen kapalı hacim özellikleri sınırlandırılmıştır. Bu bağlamda tez çalışmasının amacı, kapsamı ve yöntemi belirlenmektedir.

İkinci bölüm literatür araştırması olup yapı elemanlarının yangına direnç performanslarını, bunun için esas alınan yangın eğrileri ile kapalı hacim parametrelerinin yangına direnç performansına etkisi üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca ülkelerin yapısal yangına direnç yönetmelikleri, yangın eğrileri ve yangına direncin belirlenmesi kapsamında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapısal yangına direnç tasarımı bağlamında ülkemizdeki ve dünyadaki uygulamalar ve gelişmeler ile ilgili genel bilgi verilmiştir.

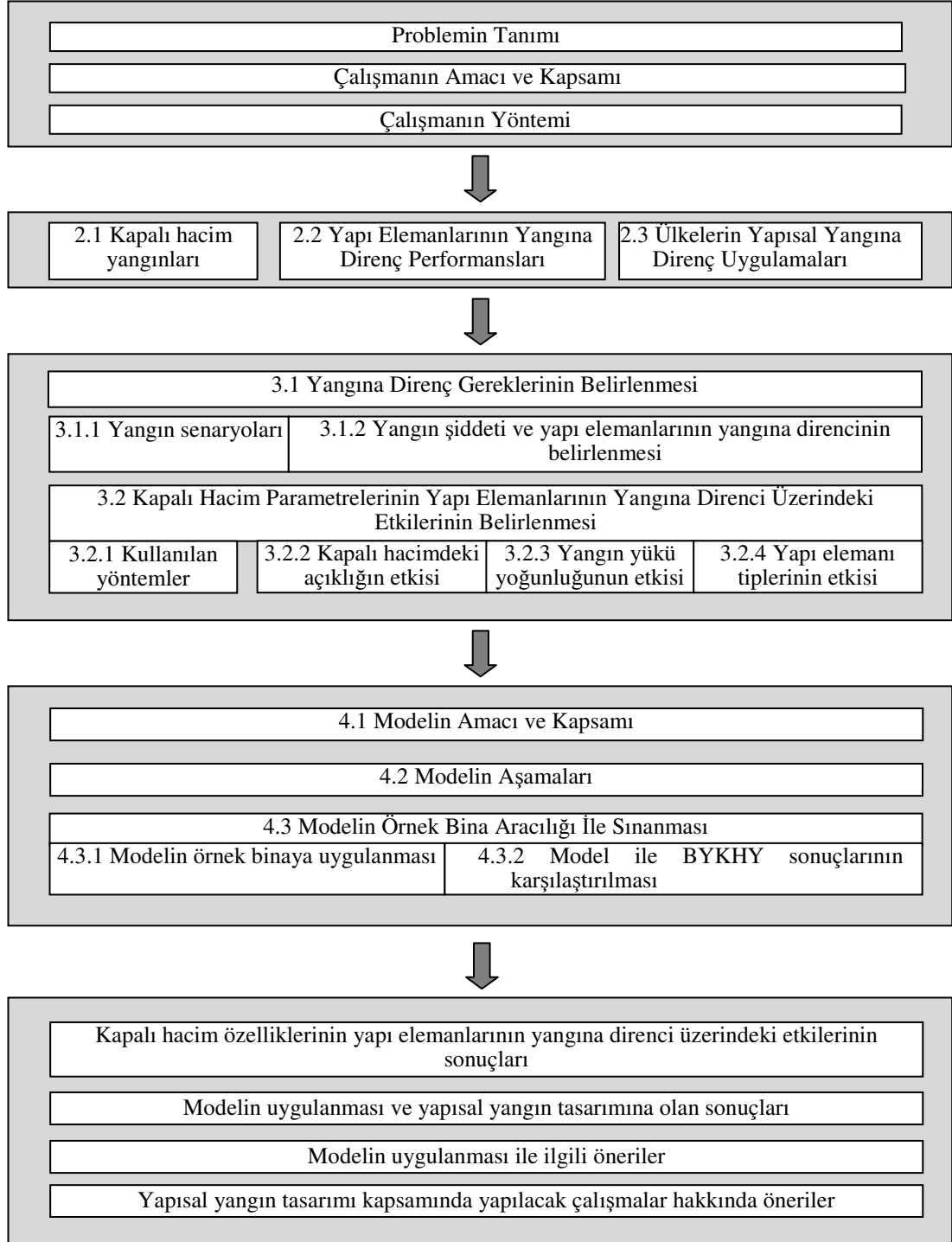
Üçüncü bölümde; yapısal yangına direnç tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. Yapısal yangına direnç tasarımının, tasarımda kullanılan yangın eğrilerinin, kapalı hacimdeki yangın şiddetinin ve yapı elemanlarının yangına direncinin belirlenmesi aşamalarından oluştuğu anlatılmıştır. Yapı elemanlarının yangına dirençlerinin kapalı hacim özellikleri ile ilişkisi ortaya konulmuştur. Kapalı hacimde çıkan doğal bir yangın durumunda yapı elemanlarının göstereceği gerçek yangına direnç süresinin,

standart yangına göre belirlenen yangına direnç süresinden (R), farklı çıkabileceği anlatılmıştır. Doğal yangınların, kapalı hacmin taban alanı, açıklığı, yangın yükü yoğunluğu ve yapı tipi gibi farklı özelliklerden etkilendiği belirtilerek yangın şiddetinin belirlenmesi ile yapı elemanının kapalı hacimdeki doğal bir yangın durumundaki gerçek yangın direncinin tahmin edilebileceği belirtilmiştir

Bu bölümde, kapalı hacim özelliklerinin yangının şiddeti üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde analitik bir yöntem izlenmiş, yangın şiddetine ve güvenli boşaltım sürelerine ait sayısal eşitlikler ile OZone bilgisayar modeli kullanılmıştır. Daha sonra yangın şiddetinin, yangın direncine olan etkisinden yararlanılarak açıklığın ve kapalı hacmin taban alanı, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı, açıklığın en/boyu oranının ve kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğu parametreleri altında yapı elemanının yangına direncinin değişimi hesaplanmıştır.

Dördüncü bölümde, yangına direnç değişimine etkileri bağlamında kapalı hacim özellikleri dikkate alınarak tasarım aşamasında yapı elemanları için öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik bir model önerilmiştir. Model, BYKHY’te yer alan yapısal yangına direnç yaklaşımı esas alınarak geliştirilmiştir. Model, farklı kullanımlara sahip çeşitli hacimleri barındıran örnek bina üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca, modele ve BYKHY’nin hükme dayalı kurallarına göre öngörülen yangına direnç sürelerinin yeterliliği, OZone bilgisayar programı ve üçüncü bölümünde anlatılan analitik yöntemler yardımıyla değerlendirilmiştir.

Son bölümde ise elde edilen veriler değerlendirilerek sonuçlar ortaya konulmuştur. Model ve BYKHY kapsamında yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur. Tez çalışmasına ait genel akış şeması Şekil 1.2’de verilmektedir.



Şekil 1.2. Tez akış şeması

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tezin amaç ve kapsamı doğrultusunda bu bölümde, dünyadaki gelişmeler, uygulamalar ve yapılan çalışmalarla ilgili bir literatür araştırması yapılmıştır. Öncelikle yapı elemanlarının yangına direnç performansları, söz konusu performansların belirlenmesinde kullanılan yangın eğrileri ve kapalı hacim yangınları ile ilgili yapılan çalışmalar ülkemizden ve dünyadan örnekler verilerek anlatılmıştır. Yapısal yangına direnç tasarımı ile ilgili olarak Türkiye ve Dünya yönetmeliklerindeki uygulamalar ortaya konmuştur.

2.1. Yapı Elemanlarının Yangına Direnç Performansları

Yapı Elemanları

Yapı elemanlarının yangına direnç performansları ile ilgili yapılan çalışmaların, binadaki yapısal elemanların ahşap, betonarme ve çelik yapı elemanı olmak üzere üç ana malzeme başlığı altında toplandığı görülmektedir.

Ahşap en eski ve yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Yangın koşullarındaki davranışı ahşabın cinsine ve sunta, lamine, kereste gibi işlenmişlik düzeyine bağlı olarak oldukça değişiklik göstermektedir. Tutkallı lamine ahşabın yangına etkisi, kerestenin yangına olan etkisine benzer olarak kabul edilmektedir [7].

Beton, bir ila iki saat süren bir yangında genel olarak sadece kabul edilebilir bir düzeyde hasar görmektedir. Depo, mağaza gibi yerlerde çıkan uzun süreli yangınlarda, betonda daha derin hasarlar oluşabilmektedir. Klasik betonarme ile öngerilmeli betonun yangındaki belirgin farkları, ön ya da ard gerilmeler için kullanılan yüksek çekme dayanımlı çelik tel veya çubukların performansıdır. Yangın koşullarında, yük altındaki çelik üniteler sıcaklığın 400 °C'ye ulaşmasıyla dayanımlarını hızlı bir şekilde kaybetmektedirler [7].

Çelik, hafifliği ve yüksek çekme dayanımı nedeniyle yaygın olarak kullanılan yanmaz bir yapı malzemesidir. Ancak çelik sistemlerin, yüksek sıcaklıkta çekme dayanımı özelliklerini kaybettikleri ve bu nedenle çökmelerin olduğu bilinen gerçektir. Çelik sistemler üzerinde yapılan çalışmalar genel olarak iki ana başlıkta toplanmıştır. Bunlardan ilki, çelik sistemlerin yangına karşı yalıtılması ile ilgili detaylar ve bunların yangın performanslarının ölçülmesidir [8-11]. Yapıdaki tüm çelik sistemin yalıtılması maliyet ve görsel kaygılardan dolayı gerçekleştirilememektedir. Bu kapsamda yangın şiddeti yüksek kapalı hacimlerdeki yapı elemanlarının yalıtılması önem kazanmaktadır. Performansa dayalı tasarım doğrultusunda, alevlerin etkisinde kalacak bölgelerin belirlenmesi, çelik sistemler üzerinde yapılan çalışmaların yoğunlaştığı ikinci alan olmaktadır.

Yangın Eğrileri

Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmalarda EN standartları ve Eurocodes, ABD’de yapılan çalışmalarda ise UL ve ASTM standartları, diğer bölgelerde ise BS, EN ve ASTM standartları kullanılmaktadır. Yapı elemanlarının yangına direnç dereceleri belirlenirken ABD’de ASTM E 119, diğer ülkelerde ISO 834 standart zaman sıcaklık eğrisi esas alınmaktadır. Ancak doğal yangın koşulları standart yangın eğrilerine göre çok farklı olmakta dolayısıyla yapı elemanının standart sıcaklık zaman eğrisine göre deney ya da hesaplara belirlenmiş yangına direnç derecesi beklenen performansı gösterememektedir. Bu kapsamda yapı elemanlarının yangına direnç performanslarının belirlenmesinde standart yangın eğrileri yanında etkisinde kaldıkları yangına ait doğal yangın eğrileri de kullanılmaktadır.

Chang, Buchanan ve Moss’ın [12] yaptıkları “İzolasyonun, çelik döşeme makaslarının yangın davranışına olan etkileri” adlı çalışma, beton döşeme plakları destekleyen açık ağırlı çelik makasların, tasarım için yangın etkisinde gösterdikleri davranışı kapsamaktadır. Bu çalışma, 11 Eylül 2001 terör saldırılarında uçakların çarpması ile oluşan yangın sonucunda yıkılan Dünya Ticaret Merkezi-DTM (World Trade Center-WTC)’ndeki döşeme makaslarının olası yapısal davranışı üzerine bazı görüşler vermektedir. Analizler, “SAFIR” doğrusal olmayan elemanlar programı

kullanılarak yapılmıştır. Analiz edilen makaslar, yangına karşı yalıtımlı ve yalıtımsız olmak üzere ve olası üç farklı tip bağlantıya sahip olacak şekilde örneklendirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları; çelik makasların olası başarısızlık durumlarının bağlantı noktalarının dayanımına bağlı olduğunu ve yangına karşı yalıtım uygulanmamış alanların da yalıtılmasının önemini göstermiştir. DTM’de katlı döşemeler yangın etkisinde kalmış olup, bu çalışmada yapılan analiz sadece tekli döşemeler üzerine gerçekleştirilmiştir. Çalışma, gerçekleşen yangın olayı sonucunda çöken binanın gerçek davranışını saptamaya yönelik değildir. Çelik kiriş yapı elemanı yalıtımlı ve yalıtımsız olarak ISO 834 standart yangın eğrisine göre analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; yalıtımlı çelik kiriş elemanlarının birleşimleri 79 ile 170 dakika yangına direnç gösterirken, aynı elemanların yalıtımsız olma durumlarında dirençleri 11-18 dakika olmuştur [12].

Hakkarainen ve Oksanen’nin [13] yaptıkları “Ahşap cephelerin yangın güvenlik değerlendirmesi” adlı Nordic araştırma projesi kapsamında, çok katlı bir konut binasının ahşap cephesinin yangındaki davranışı incelenmiştir. Bina dışından göreceli olarak küçük bir yanma kaynağı ve parlama (flash-over) sonrası bir kapalı hacim yangını olarak iki farklı senaryo kullanılmıştır. Çeşitli kaplama malzemeleri, yüzey iyileştirmeleri ve taşıyıcı yapı ile birlikte ahşap cepheler, orta ve geniş ölçekte yangın deneyi ile denenmiştir. Çalışmada, bir dış yangın olayında cephelerin alevlerin üst katlara yayılmasının engellenmesinin en etkili yolunun cephe üzerinde saçak, cumba gibi çıkıntılarda yapılacak yapısal değişiklikler olduğu, bu çıkıntılarda yeterli derinlik ve genişlik ile bunların ön ve alt yüzeylerinin yanmaz malzemeden olmasının sağlanmasına özellikle dikkat çekilmiştir. Yangın geciktiriciler kullanılarak, alevin yayılmasının büyük ölçüde geciktirilebileceği hatta durdurulabileceği ortaya konmuş, yağmurlamalı ya da yağmurlamasız çok katlı konut binalarına ait cepheler için kullanılacak kabul kriterleri önerilmiştir.

Badaruzzaman ve arkadaşları [14] tarafından yapılan “Profilli çelik saclı kuru levha (profiled steel sheet dry board - PSSDB) döşeme panel sisteminin yangına direnç performansı” adlı çalışmada, PSSDB olarak da bilinen yenilikçi bir kompozit panel sisteminin yangına direnç performansı incelenmiştir. Çeşitli katkılarının ve yüzey

işlemlerin uygulandığı 168 x 168 cm boyutunda dört farklı döşeme paneli numunesine, yük taşıma koşulları altında yangına direnç deneyi uygulanmıştır. Deney BS 476-Bölüm 21'e göre standart yangın eğrisi koşullarında yürütülmüştür. Deney sonuçlarına göre, PSSDB sistemi iyi bir yangına direnç performansı göstermiştir. Sistem, Malezya Devleti'nin yerleşim, ofis ve diğer genel kullanıma açık binalar için öngördüğü gereksinimleri kolaylıkla karşılamaktadır. Deney numuneleri arasında yer alan normal beton yerleştirilmiş ve kaplanmış panelin yangına direnç yönünden en iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.

Manzello, Gann, Kukuck, Prasad ve Jones [15] “Bölme elemanlarının doğal yangın performansı” isimli çalışmalarında, iki adet 244 x 244 cm boyutunda X tipi alçı panelli bölme elemanına, yüksek binalarda yer alan tipik bir büro şeklinde hazırlanan bir kapalı hacimlerdeki doğal yangın koşulları altında yangın performans deneyleri uygulanmıştır. Deneylerle, bölme elemanlarının yangın etkisinde kalan ve kalmayan her iki yüzeyi, özellikle panel birleşim yerlerinden olmak üzere termocouple yanında görsel ve kızılötesi kameralarla incelenmiş, bölme elemanlarının doğal yangın koşulları altındaki yangına direnç performansları ortaya konulmuştur.

Takeda [16] “Ahşap dikmeli taşıyıcı olmayan duvar elemanlarının yangına direncinin tahminine yönelik bir model” adlı çalışmada, ahşap çerçeveli duvar ve döşeme elemanlarının yangına direncinin tahminine yönelik bir bilgisayar model serisi (WALL2D, WALL2DN) geliştirmiştir. Modelde, iki boyutlu ısı yalıtım denklemleri ve yapı elemanları boyunca ısı transferini tanımlayan termofiziksel özellik verileri kullanmıştır. Ahşap dikmeli duvar elemanlarının kaplama malzemesi olarak alçı panel levhalar, yalıtım malzemesi olarak da cam yünü, taş yünü, polistren ve polüretan köpük kullanılmıştır. Alçı panellerin yüksek sıcaklıkta büzülmesinden itibaren paneller arasındaki bileşimler açılmakta ve sıcak gaz bu açıklıklardan içeri girerek ve ahşap dikme ile alçı panelin iç yüzeyini ısıtmaktadır. Geliştirilen WALL2DN modeli bu olayı da simüle etmektedir. Model ayrıca dikmeler arasındaki yalıtım boyunca gerçekleşen ısı transferini hesaplamakta ve yük taşımayan duvarların yangına direnci üzerinde yalıtımın etkilerini göstermektedir. Modelde ASTM E 119, ISO 834 ve ulusal standart yangın eğrileri kullanılmaktadır.

Yeni Zelanda’da duvarların yangına direnci fiziksel deney veya yangın laboratuvarı veya yangın uzmanlarının görüşleri ile belirlenmektedir. Ancak burada duvar elemanına etki eden yangın ISO 834 koşulları ile belirlenmektedir. Pratikte, duvar elemanına etki eden güncel ısı akışı çok değişken olup yakıtın cinsi ve dağılımına, oda kaplamasının ısı özelliklerine, odanın boyutuna ve havalandırmasına bağlı olmaktadır. Bu kapsamda Collier’in [17] “Ahşap çerçeveli hafif duvar elemanlarının yangına direnci” adlı araştırmasında, taşıyıcı olsun ya da olmasın, ahşap bir duvar panelinin standart yangın deneyine ve doğal yangın durumlarında gösterdiği yangına karşı direnci tahmin etmeye dönük bir model ortaya konulmuştur. Yangına direncin tahmininde, kaplamaların ısı iletkenliği ve duvarın her iki yüzeyi ile boşluklarındaki ışıma ve taşıma konveksiyon için sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Model, ahşap dikmelerin yapısal yetersizliklerini belirlemeye yönelik olarak kömürleşen ahşap için bir algoritma da içermektedir. Collier’in çalışmasında deneysel bir oda yangının sonuçları zaman-sıcaklık eğrisi olarak kullanılmış ve duvarın tahmin edilen sıcaklığı yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel oda yangını sonuçları ayrıca Canterbury Üniversitesi’ndeki parlama sonrası tasarım yangını çalışmaları sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Collier’in bu çalışmasında, bir boyutlu sonlu farklar bilgisayar modelinin gelişimi tanımlanmış, standart ve gerçek yangın koşullarında ayırıcı duvarların yalıtım özelliğinin çöküşü ve ısı performans tahmin edilmiştir. Isıl tepki modeli üzerine oluşturulan ahşabın kömürleşmesi modeliyle, ahşap dikmenin yük taşıma kapasitesi hesaplanmış ve yapısal çöküş zamanı değerlendirilmiştir. Odadaki doğal yangına ait sıcaklığın artış oranının standart yangından yüksek olduğu deney sonucunda görülmüştür. Doğal yangında, duvarlarda ölçülen sıcaklık ortaya konan modelin tahmininden geride kalmasına rağmen, benzer duvar sistemlerindeki standart yangın deneylerinde gözlenenlerden fazla çıkmaktadır [17].

Yangına direnç konusunda yapılan çalışmaların çelik ve kompozit yapı elemanları ile metal ya da ahşap dikmeli bölme duvarlar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bunun temel nedeni masraflı olan araştırma projelerinin ilgili yapı malzemelerini üreten firmalar ya da bunların oluşturdukları birlikler tarafından finanse edilmesidir.

Araştırmalar, Avrupa ya da Amerika’da yerleşik olan ve gelişmiş yangın laboratuvarlarına sahip büyük araştırma kuruluşları veya bunların ortak girişimleri tarafından yürütülmektedir. Ülkelerdeki yaygın yapı teknikleri de malzemelerin yangın performansları üzerinde yapılan çalışmaları şekillendirmektedir. İskandinav ülkeleri, Kanada ve Yeni Zelanda gibi bölgelerde ahşap yapı elemanları ön plana çıkarken, Amerika ve Avrupa’da bölücü olarak kullanılan hafif çerçeveli alçı paneller üzerinde yapılan çalışmalar ağırlık kazanmıştır.

Konu ile ilgili modeller ve yöntemler

Yapı elemanlarının yangına direnç performanslarının belirlenmesinde deneysel çalışmalara da başvurulmaktadır. Ancak yapılan deneylerin masraflı ve gerekli deney sayısının fazla olması nedeniyle çoğu zaman deneysel çalışmalar yerine sayısal modeller kullanılmaktadır. Bu modeller, deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile ısı geçişi ve mekanik denklemler temel alınarak geliştirilmektedir. Bilişim alanında yaşanan büyük gelişmeler sonucunda, bilgisayar modellerinin kullanım ve gerçek koşullara yakın değer verme özellikleri artmıştır.

Thomas ve Lloyd [3]’un birlikte yaptıkları “Kaçış yollarındaki koruyucu yapı bileşenlerinin yangına direnci” adlı araştırmada, kapalı hacim yangınları ile birlikte yapı elemanlarının yangına dirençleri incelenmiştir. Bu kapsamda, kapalı hacim yangın şiddetini belirlemek için Eurocode’da düzenlenen “eşdeğer süre” formülü Yeni Zelanda Yangın Yönetmeliği koşullarına uygun olarak kullanılmıştır.

Bentz, Prasad ve Yang [18] “Isıl performans modellerine uygun yangına dirençli malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi için bir metodolojiye doğru” çalışmalarında, malzemenin, herhangi bir entalpi (tepki ve faz değişkenlerinden dolayı), ısıl yalıtkanlığı, ısıl kapasitesi ve yoğunluğu ile karakterize edildiği bir model önerilmiştir. Bu termodinamik özellikler, modelin gerçek performansı için oda sıcaklığından 1000 °C’nin üzerine kadar geniş bir sıcaklık aralığında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Deneysel, teorik ve modelleme yaklaşımının bir bileşimi bu kritik çıktı parametrelerini sağlamak için önerilmektedir. Çalışmada

özellikle yangına dirençli malzemelerin üç boyutlu mikroyapısını ve bunların ısı yalıtkanlığı arasındaki ilişkiye değinilmiştir.

Konig [19]'in “Eurocode 5’e göre yapısal yangın tasarımı-tasarım kuralları ve arka planı” adlı çalışmasında, EU ve EFTA ülkelerinde ahşap yapıların yangın tasarımı için EN 1995-1-2’nin tasarım kurallarının yeniden bir gözden geçirilmesine ve ilgili araştırma projelerinin arka planlarına göndermelerde bulunmaktadır. Ön standart olan ENV 1995-1-2 ile yeni EN 1995-1-2 arasında önemli değişiklikler olmuştur. Ahşap yapı elemanlarındaki kömürleşme çok sistematik bir yolla ortaya konmuş ve korumanın değişik evreleri ile kömürleşme oranı uygulanmıştır. Kesitsel gerilme ve büzülme özelliklerinin belirlenmesi için, iki alternatif kural verilmiştir. Ayrıca, kömürleşme ve değişiklik faktörü için tasarım kuralları, boşlukları yalıtımla doldurulan duvar ve döşeme bileşenlerinin ahşap çerçeveli elemanları içinde verilmiştir. Modifiye edilmiş bileşenlerin katkı yöntemi, ayrıca ayırıcılık fonksiyonlarının doğrulanmasını da içermektedir. Bağlantılar için tasarım kuralları, zaman ve yük taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi ortaya koyacak şekilde sistematize edilmiştir. Kod, FE analizi için ısı ve termomekanik özelliklerin verilmesi ile ısı ve yapısal analiz için hesaplama yöntemleri sağlamaktadır. Ayrıca parametrik yangın eğrileri kullanılarak doğal yangın için sınırlı tasarım kuralları da sunulmaktadır.

Kapalı hacim yangınları ve yangına direnç performansına etkileri

Kapalı hacim yangınları ile ilgili ilk araştırmalar, 1920’lerde Ingberg tarafından ABD’de yapılan tam ölçekli basit yangın deneyleri ile başlamıştır [20,21]. Söz konusu çalışma ile standart deney yangınlarının binadaki gerçek yangın koşulları ile ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ingberg tarafından yapılan denemeler yangına dirençli kapalı hacim kavramına temel oluşturmuştur [21].

Tam gelişmiş doğal yangınlarla ilgili ilk sistematik çalışmalar ise 1949-1957 yılları arasında Japonya’da olmuştur. Bu çalışmalarda, farklı boyutta ve açıklık alanına sahip kapalı hacimlere ait ondört tam ölçekli yangın deneyi yapılmıştır. Sonuçlar Kawagoe tarafından raporlanarak, yangın yüklerine ait yanma oranının kapalı

hacimlerin havalandırma açıklıklarının alanı ve biçimine bağlı olduğu değerlendirilmiştir [22]. Bir kaç yıl sonra, Kawagoe ve Sekine kapalı hacimdeki yangınların sıcaklık zaman eğrisinin tahmini için bir yöntem sunmuşlardır [21,23].

Yapısal elemanların tasarım yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik 1960'larını sonu ile 1970'lerde bazı deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde, yangına katkıda bulunmayan elemanlardan yapılmış orta büyüklükteki kapalı hacimlerdeki doğal yangın gelişimi tam olarak anlaşılmıştır. Güncel çalışmaların ise genel olarak, hacmi oluşturan yanıcı malzemelerin doğal yangına katkılar ile sıcaklığın uniform bir biçimde yayılmadığı varsayılan geniş ve/veya uzun hacim yangınları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [21].

Yapı elemanlarının yangına direnci konusunda doğrudan direnç modelleri ve dolaylı olarak kapalı hacim yangının gelişimine ait modeller bulunmaktadır. Bölge modelleri, kapalı hacimler içindeki yangının gelişiminin etkilerini tahmin etmek için geliştirilmiştir. "Bölgesel" yaklaşım teorisi sınırlandırılmış alanlar için alev ve katman gelişiminin modeli 1970'lerde Zukoski gibi birkaç grup tarafından yangınlara uygulanmıştır. "Bölgesel" yaklaşım, üniform bölge şeklinde alanları bölmektedir, bunlar birleştikleri zaman, bütün olarak alanı tanımlamaktadır. Buradaki her bölge, ilgili korunum kanunları, ilişkili durumları tanımlayacak matematiksel denklemler şeklinde çözülmektedir. "Bölgesel" yaklaşımda, kapalı hacimlerdeki yangın çoğunlukla üstte sıcak duman tabakası ve alttaki soğuk hava tabakası olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmaktadır. Alevler, alttaki tabaka ve üstteki sıcak tabaka arasında bir entalpi pompası gibi davranmaktadır. Gerçekte, odanın boyutu ve yangında ısı yayılım hızına bağlı olarak, üstteki sıcak duman tabakası ile alttaki soğuk tabaka arasında mükemmel bir şekilde tanımlanmış bir arayüz bulunmamaktadır ve üstteki tabakada sıcaklık üniform değildir (yüksek sıcaklığın alevlere yakın olduğu gözlemlenmiştir). Buna rağmen, iki üniform bölge kullanılması, pek çok koşul altında kapalı bir hacimdeki yangının gelişiminin tahminine izin vermektedir [24].

Bölge modellerine ait uygulamalarda, hacimler kapı, pencere gibi elemanlardan dolayı tam olarak kapalı olmamakta ve havalandırmalar çoğu zaman hesaba

katılmaktadır. Kapalı hacimler için bölge modelleri tekli oda ve çoklu oda konfigürasyonlarının her ikisi için geliştirilmiştir [24].

Ülkemizde de bu alanda Beceren tarafından yapılan “Kapalı Hacim Yangınlarının Modellenmesi ve Komşu Hacımlara Yangın Geçişinin İncelenmesi” adlı doktora tezinde, kapalı hacim yangın modelinin sayısal çözüm yönteminden bahsedilmiş ve sayısal çözümle elde edilen sonuçlar çeşitli deneysel değerlerle karşılaştırılmış ve deneysel sonuçlarla uyumu incelenmiştir. Ayrıca kapalı hacim yangın modelleri ile özellikle bölge modelleri ile bu çalışmanın karşılaştırılması yapılmış, modeller arasındaki farklılıkları ile birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Doktora tezinde geliştirilen yangın modeli kullanılarak, yakıt kontrollü yangın durumu ve oksijen kontrollü yangın durumu için açıklık alanının, açıklık konumunun ve tavan malzemesinin ve kalınlığının yanan madde miktarına, oksijen konsantrasyonuna, gaz sıcaklığına, üst oda sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Burada, pratikte rastlanılan yangınlarda yangının asma tavan içine veya üst kata geçiş süresini tahmin etmek için tavan üst yüzey sıcaklığı hesaplanmıştır [25].

Haksever [26] ,“Kapalı hacımlardaki tabii yangınların analizinde yeni bir model” adlı doktora tezinde, bir bölge yangın odası modeli çalışması yapmıştır. Oda içindeki sıcaklık dağılımının homojen olduğunu kabul etmiş ve buna göre oda içindeki sıcaklık değişimini hem yatay hem de düşey açıklık olması halinde incelemiştir [25].

Alan (field) modeli, bölge modeline benzer şekilde, bir kapalı hacim veya kapalı hacimler sırasının içinde yangın gelişim modelini ortaya koymak için kullanılmaktadır. Bölge modelinde, kapalı hacimler iki bölgeye ayrılmakta ve bu bölgeler korunum denklemleri (kütle, enerji ve momentum vb.) ile çözülmekte iken, alan modelinde hacimlerin kontrolü için çok büyük sayıda küçük hacimlere bölünmekte ve kontrol edilen her hacim korunum denklemleri ile çözülmektedir. Bu nedenle bölge modeline göre daha detaylı çözümler sunulmaktadır. Alan modeli, bölge modelinin yangın olayını tanımlayamadığı karmaşık kapalı hacim geometrilerinde ve ayrıca açık alandaki büyük yakıt tankı yangınları gibi kapalı hacim dışındaki yangınlarda kullanılmaktadır [24] .

Yangının büyümesi ve binada yayılmasının belirlenmesinde, binanın geometrisi (yüzey alanı, kat yüksekliği, duvar ve döşeme tipi, açıklıkların tipi, doğrama tipi, vb.) ve yangının karakteristiği (yangın yükü, havalandırma koşulları, ısı yayılım oranları, vb.) ile ilgili bazı parametreler dikkate alınmaktadır. Bu nedenle yangının değerlendirmesi için “parametrik yangınlara” bakmak daha uygun olmaktadır. Parametrik yangında genel bir terim olup yangın eğrisi, standart yangın eğrileri ile karşılaştırıldığında binalardaki gerçek yangınların gelişimi çizgisine daha yakındır. Burada, kapalı hacme ait açıklık faktörü, duvar ve tavan tipi, yangın yükünün miktarı, kapalı hacim boyutu olarak yangının büyümesine etkisi olan temel parametreler hesaba katılmaktadır. Analitik biçimde belirtilmesine rağmen, bazı varsayımlar ve şematik sunumlar içermektedir [5].

Doğal bir yangın senaryosu için basit veya ileri düzeydeki hesaplama modellerini temel alan nümerik hesaplamalar da kullanılmaktadır. Nümerik hesaplama yaklaşımı ile çoklu kapalı hacimlerdeki yangının gelişiminin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu nümerik modellerin kullanılmasında, akışkanlar dinamiğini temel alan “alan modeli” ilgi çekmektedir. Ancak işlemler için belli bir zaman gerektiğinden basit bina yerleşimleri için, “alan modeli” yerine “bölge modeli” kullanmak oldukça uygun olmaktadır. Bunlara ait bilgisayar kodları, basit “tek bölge” modeli ve binadaki sıcak gazların çeşitli katmanlarını hesaba katan daha karmaşık “iki bölge” veya “çoklu bölge” modelini kapsamaktadır. Günlük tasarımlar için bu bilgisayar kodlarını kullanmak hala çok zor olup ön tasarım aşamasında parametrik yangın eğrilerini kullanmak daha pratik bir uygulama olmaktadır [5].

Yangına direnç modelleri, yangın etkisinde kalan yapı elemanlarının tepkilerini göstermektedir. Bu modellerden bazıları tek başına değerlendirilebileceği gibi, alan veya bölge modellerinin içinde bütünleşik olarak da değerlendirilmektedir. Yangına direnç modellerinin mantığı, alan modeline benzemektedir. Yapısal nesne küçük hacimlere bölünmekte ve yapının görevini yapamaz hale geldiği zamanın belirlenmesi katı cisimlerin mekanik davranışı ve ısı transferi denklemleri ile çözülmektedir. Yapısal elemanlar için çevre koşulları (etki eden yangın vb.) olduğu gibi, malzemenin özellikleri de bir çıktı olarak model için gereklidir. Bu modeller bir

kolon veya kirişin çöktüğü ya da deforme olduğu zamanı ve yangın süresine bağlı olarak yapısal elemanın içindeki belirli bir derinlikteki sıcaklığı belirlemek için çok kullanışlı olabilmektedir. Pek çok yapı elemanının farklı imal edilmesi, değişik özellik ve uygulama koşullarına sahip olmasından dolayı, yapısal elemanları karakterize eden uygun bir modelin seçilerek kullanılmasına dikkat edilmelidir [24].

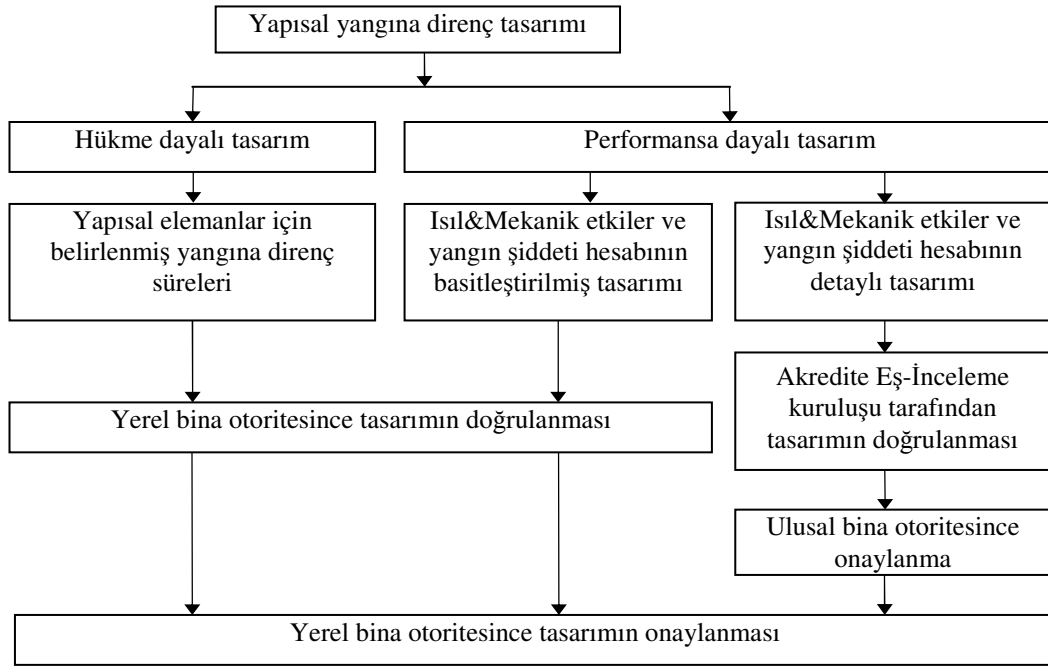
Bilgisayar kaynaklarındaki gelişmelerden dolayı yangına direnç modellerinin sayısı hızla artmaktadır. Bu kapsamda, performansa dayalı yapısal yangın tasarımında kullanılmak üzere pek çok model ortaya konmaktadır [24].

2.2. Ülkelerin Yapısal Yangına Direnç Uygulamaları

Yapısal yangına direnç tasarımına yönelik uygulamalar ülkelere göre belirgin şekilde farklılıklar göstermektedir. İnşaat yöntemleri vb. çeşitliliklerinden kaynaklanan bu farklılıkların çoğu zaman belirli bir teknik temeli bulunmamaktadır [27]. Ülkeler binaların yangına direnç tasarımlarını aşağıdaki iki yöntemle yapmaktadır [28]:

- Hükme dayalı tasarım; yapının bina yönetmelikleri kapsamında verilen kriterlere, sayısal değerlere ve sınıflara uygun tasarımıdır [28]. Bu şekilde, yapının yangın durumunda güvenli olduğu ülke yönetmelikleri tarafından kabul edilmektedir.
- Performansa dayalı tasarım; yapının veya tasarımın “Doğrulama Yöntemleri” ile yangına direnç performans gereksinimlerine uygunluğunun belirlenmesidir. Bunun için gelişmiş mühendislik yöntemleri gerekmektedir. Bu kapsamda çeşitli analiz yöntemleri kullanılmakta, ayrıca proje bazında yapılan örnek çalışmaların sonuçları genelleştirilerek farklı uygulamalarda faydalanılmaktadır [28];

Bir çok ülke, performansa dayalı yaklaşımları kendi bina yönetmelikleri içerisinde farklı biçimlerde uygulamaktadır. Uygulamaya yönelik bu yaklaşımların kesin sınırları bulunmamaktadır. Performansa dayalı uygulamalara ait düzenlemeler yönetmeliklerinin hükme dayalı kısımlarıyla karışmaktadır [29] (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Yönetmeliklerde yangına direnç gereksinimlerinin sağlanması

Performansa dayalı yaklaşıma göre yapısal yangına direnç tasarımının yangın eğrisinin belirlenmesi, yapı elemanının sıcaklığının tahmini ve yapı elemanının direncinin hesaplanması olmak üzere üç temel adımı bulunmaktadır [30]. Yangın eğrisi, ortaya konan yangın modeline göre belirlenmektedir. ISO 834 gibi standart yangın eğrileri kapalı hacimlerdeki doğal yangın koşullarını temsil etmemekte, bir kriter olarak yapısal tekil elemanların yangına direnç kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Basitleştirilmiş düzenlemelerde çoğunlukla, yanma periyodu süresince sabit sıcaklığa sahip yangınları kabul eden yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Yanma süresi ve en yüksek sıcaklığın hesaplanmasında yangın çıkan kapalı hacimlere ait yangın yükü, açıklık vb. parametreler dikkate alınmaktadır. Yapı elemanlarının yangın boyunca göstermiş olduğu sıcaklık değişimi deneysel ve analitik yöntemler ile belirlenebilmektedir. Analitik yöntemlerde, yangın ve yapı elemanı arasındaki ısı transferi; net ışıınım yükü, konvektif ısı akışı ve malzemede iletilen ısı ile tanımlanabilmektedir. Bunun için basitleştirilmiş ve gelişmiş olmak üzere iki farklı seviyede hesaplama modelleri bulunmaktadır. Isı transfer analizinden elde edilen sıcaklık eğrisi altındaki yapısal elemanın yangın direnci çeşitli yapısal yangına direnç modelleri ile hesaplanabilmektedir [31].

Türkiye

Türkiye’de geçerli olan yönetmelik BYKHY [4]’dir. Bu yönetmelikte, yapısal yangına dirençle ilgili EN 13501-2 [32] standardında yer alan Avrupa yangına direnç sınıflandırması kullanılmaktadır. BYKHY’te, İngiliz yönetmeliğinde [33] ortaya konulan hükümlere göre tasarım yaklaşımı esas alınmıştır. Binaların ve yapı elemanları için öngörülen yangına direnç süreleri BYKHY [4]’te yer alan EK-3/B ve EK-3/C tablolarından belirlenmektedir. Bu iki aşamalı bir süreç olup ilk aşamada binanın yüksekliği, kullanım sınıfı ve yangın söndürme sistemleri göz önüne alınarak bir yangına direnç süresi öngörülmekte, ikinci aşamada ise söz konusu binayı oluşturan yapı elemanlarının konumlarına bağlı olarak yangına direnç performans gerekleri belirlenmektedir. Yönetmelikte, yapı elemanlarının öngörülen yangın direncini sağladığının belirlenmesinde, deney ya da hesap yöntemlerinden hangilerinin kullanılacağı belirtilmemektedir.

Avrupa Birliği

Yapı Malzemeleri Direktifine [34] göre; bir yapı elemanın yangına direnç performansının belirlenebilmesi için temel kriter, yangın ve duman yayılımının sınırlandırılması ve yapının yük taşıma kapasitesinin belirli bir süre korunmasıdır. Bu gereksinim; yük taşıyıcı elemanın ve/veya bölücü elemanın yangına karşı direnç sağlaması ile ilgilidir. Yapı elemanlarının yangına karşı direncinin değerlendirilmesinde, standart yangın ya da doğal yangın senaryoları düşünülmekte ve yangına karşı direnci hesaplanmaktadır [35].

Avrupa’da, yapı elemanlarının yangına karşı direncinin değerlendirilmesinde, ISO 834 standardına uygun fırın deneyleri kullanılmaktadır [36]. Söz konusu deneylerden elde edilen veriler kullanılarak EN 13501-2,3,4 sınıflandırma standartlarına göre yapı elemanlarının yangına karşı direnç performans sınıflandırılması yapılmaktadır.

Yapısal elemanların tasarımına yönelik olarak bina yönetmeliklerinde farklı ulusal tasarım standartları yerine tek bir tasarım standardı kullanılması (Eurocodes) için

1979 yılında çalışmalara başlanılmıştır. Çalışmalar 1990 yılından itibaren Avrupa Standardizasyon Kuruluşu (CEN) bünyesinde sürdürülmektedir. Bu arada Yapı Malzemeleri Direktifi (89/106/EEC- CPD) [34] kapsamındaki altı temel gerekten biri olan “Yangın Durumunda Emniyet” kriteri de yangına direnç bağlamında söz konusu tasarım standartları ilişkilendirilmiştir. Eurocodes tüm Avrupa’da ulusal yapısal tasarım standartları yerine geçmeye başlamıştır.

Eurocodes’da doğal yangınlar, basitleştirilmiş ve gelişmiş olarak iki aşamada ele alınmaktadır. Doğal yangın eğrisi gerçek bir yangın davranışını (yangının başlaması, büyümesi, devamı ve sonrasında azalarak sönmesini) canlandırmaktadır. Tam gelişmiş doğal yangının şiddeti, kapalı hacmin yangın yüküne, havalandırma ve ısısal özellik parametrelerine bağlıdır. Standart yangın olarak ISO 834 standart sıcaklık-zaman eğrisi, hidrokarbon eğrisi² ve dış yangın eğrisi³ gibi geleneksel yangın eğrileri yer almaktadır. Eurocodes’da yapı elemanlarının yangına karşı direncinin değerlendirilmesi için ısı etken düzeylerinden yararlanılmaktadır. Isıl etkenin farklı seviyeleri standart yangın senaryolarından belirlenmektedir [30].

İsveç

İsveç’te performansa dayalı bina yönetmeliği 1994’de ortaya konmuştur. Bu yönetmelikte hem standart hem de doğal yangın eğrisi bulunmaktadır [30]. İsveç Bina Yönetmeliğinde [37] yangına direnç gereksinimleri, binalar sınıflandırılarak veya parametrik yangın eğrilerine göre belirlenmektedir. Bu gereksinimler doğrultusunda yapı elemanlarının yangına dirençlerinin tasarımı hesap ve deney yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Binaların yangına direnç sınıfları belirlenirken, yangın yükü yoğunlukları (200 MJ/m^2 ’den az, $200 \text{ MJ/m}^2 - 400 \text{ MJ/m}^2$, 400 MJ/m^2 ’den fazla olmak üzere) dikkate alınmaktadır. Burada yapı elemanının yangına direnç performansı; ISO 834’ü esas alan SIS 02 48 40 İsveç Standardına uygun deney edilerek, SIS 02 48 40 ve yönetmeliğin ilgili bölümünde

² Hidrokarbon eğrisi: Petrol platformları vb. yerlerde çıkan yangınların temsilinde kullanılan çok şiddetli bir yangın eğrisidir.

³ Dış yangın eğrisi: Dış cephede yer alan elemanların etkisinde kaldığı yangınları temsil etmektedir.

ortaya konan durumlar doğrultusunda hesaplanarak veya bunların kombinasyonu ile belirlenebilmektedir. Kapalı hacim özelliklerinin de dikkate alındığı parametrik yangınlara göre yapı elemanlarının öngörülen yangına direncinin belirlenmesinde; yangın yükü yoğunluğu ve kapalı hacmin sıcaklığı göz önüne alınmaktadır. Binanın yangına direnci; hesaplama, deney veya projeye özel tasarlanan deneyler veya bunların bir birleşimi şeklindeki analitik tasarım ile belirlenmektedir [37].

Finlandiya

Finlandiya’da binaların yangın güvenlik gereksinimleri, kılavuz ve yönetmeliklerde belirtilmiş sayısal kriterler ve yangın sınıflarına uygunluk ile sağlanmaktadır. Yönetmelik binanın ilgili kullanımı ve özelliklerini hesaba katan doğal yangın senaryolarının da kullanımına izin vermektedir [38]. Binalar yangın yükü yoğunluklarına göre, 1200 MJ/m^2 üstü, $1200 \text{ MJ/m}^2 - 600 \text{ MJ/m}^2$ arası, 600 MJ/m^2 ’den az olacak şekilde kategorize edilmektedir. Bu kategorilere göre yangın ayırıcı ve yük taşıyıcı yapı elemanlarının yangına direnç gerekleri belirlenmektedir. Yük taşıyıcı yapı elemanlarının tasarımında standart sıcaklık/zaman eğrisini temel alan sınıflandırma veya doğal yangın senaryoları referans alınabilmektedir. Binanın, Standart sıcaklık/zaman eğrisini referans alan sınıf gereksinimlerine (R 60, 90, 120) göre tasarlanması durumunda gereksinimlere uygunluk; deney, hesaplama veya bunların kombinasyonu şeklinde ya da tablo verilerinin kullanımı (söz konusu verileri kullanan onaylanmış tasarım yöntemleri) ile değerlendirilmektedir [38].

İngiltere

İngiltere’de standart yangın deneylerinden elde edilen veriler tablolar halinde sunulmaktadır. Doğal bir yangında, binanın ve yapı elemanlarının yangına karşı direncinin değerlendirilmesinde hesap yöntemlerine izin verilmektedir [30]. Yangına dirençli yapı elemanlarının İngiliz teknik şartnamelerine uygun olması veya İngiliz standartlarına ya da Eurocodes’a uygun tasarlanması gerekmektedir. İngiliz yangın yönetmeliğinde binalar için öngörülen yangın direnç süresi, yangın şiddeti, yapı yüksekliği ve bina kullanım sınıfı faktörlerinden etkilenmektedir [33] .

ABD (New York)

ABD’de ülke çapında geçerli tek bir yangın yönetmeliğinin geliştirilmesinin zorluğundan dolayı, her eyalette yerel otoriteler tarafından ayrı yasal düzenlemeler sağlanmıştır. Bu durumun sağlıklı bir şekilde yürütülmesinde Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) ve Ulusal Yangından Korunma Birliği (NFPA) önemli bir rol üstlenmişlerdir [30]. New York Eyaleti Bina Yönetmeliğinde [39]; yapısal yangın tasarımı ile ilgili olan bölümde; bina tiplerine bağlı olarak yapı elemanlarının öngörülen yangına direnç süreleri (FRR)⁴ saat cinsinden verilmektedir.

New York Eyaleti Bina Yönetmeliğine göre [39]; yapı elemanları ASTM E 119 yer alan deneylere göre, ilgili ulusal standartlara göre yönetmelikte yer alan hesap yöntemleri kullanılarak, ASTM E 119’u esas alan mühendislik analizlerine göre öngörülen FRR’yi sağladığı belirlenmektedir. Ayrıca, yetkili yangın laboratuvarlarınca yangın direnci onaylanmış yapı elemanları ya da yönetmelikte verilen yangına direnç değerleri belirlenmiş yapı elemanları ya da yangından koruma malzemeleri kullanılarak öngörülen FRR’yi sağlanmaktadır.

Yeni Zelanda

Yeni Zelanda’da “The Building Act 1991”in kabul edilmesi ile ulusal bina yönetmeliğine geçilmiştir. Performansa dayalı bina yönetmeliği 1993 yılında zorunlu olmuştur [40]. Bina yönetmeliğine göre, binaların yangın durumunda güvenlik performans gereksinimlerine sahip olarak tasarlanması onaylanmış “Doğrulama Yöntemleri”, onaylanmış dokümanlar olarak yayımlanan “Kabul Edilebilir Çözümler” ve yangın mühendisliğinin özel çözümlerinin kullanıldığı “Alternatif Çözümler” olmak üzere üç farklı yol ile sağlanmaktadır. “Doğrulama Yöntemleri” onaylanmış hesap yöntemleri olup, genel olarak tasarım için iyi hazırlanmış

⁴ FRR: (Yangına Direnç Derecesi-Fire Resistance Rating) Bina elemanı, bileşeni ve bölümünün, ASTM E 119’a göre belirlenmiş yangını sınırlandırma özelliğini devam ettirebilmesi ve/veya verilen yapısal görevlerini yerine getirebilmesinin süre aralığıdır. Avrupa yaklaşımında (Eurocodes), yangına direnç, yük taşıma kapasitesi (R), E (Bütünlük), I (Yalıtım) olarak 3’e bölünmüştür. Yangın duvarı gibi herhangi bir ayırıcı bölümde yer almayan taşıyıcı elemanlar için R, FRR olarak kullanılmaktadır.

uygulama düzenlemeleridir. Ancak henüz tasarım için onaylanmış bir “Doğrulama yöntemi” bulunmamaktadır. “Kabul Edilebilir Çözümler”, bina yönetmeliğindeki gerekleri karşıladığı kabul edilen hükme dayalı olarak belirlenmiş değerleri sağlayan çözümlere ait dokümanlardır. Eğer yapı, bu iki seçeneğe uygun değilse, bina yönetmeliğindeki gerekleri karşılayan “Alternatif Çözümler” önerilebilmektedir. “Alternatif Çözümler”, “Kabul Edilebilir Çözümler”e göre daha yenilikçi olup, özel yangın güvenlik mühendisliği çözümleridir. Bu çözümler yüksek bilgi seviyesi ve geniş teknik kaynaklara referans vermekle mümkün olmaktadır [41]. Ülkede pek çok binada, yangın güvenliği için, bina yönetmeliğindeki hükme dayalı değerleri karşılayan “Kabul Edilebilir Çözümler”e göre tasarım yapılmaktadır [40].

“Kabul Edilebilir Çözümler (C/AS 1) [42]”e göre, yangının yayılması ve yapısal çökmeyi önlemek için, bina elemanları, seçilmiş riske uygun yangına direnç derecelendirmesi (FRR)’ye göre inşa edilmektedir. Bazı durumlar için FRR değeri hükme dayalı olarak belirlenmekte diğer durumlar için yapısal yangın direnç derecelendirmesi (S rating) veya kapalı hacim derecelendirmesinden (F rating) elde edilmektedir. Yapı elemanının yangına direnci, ISO 834 standart yangın eğrisini esas alan Avustralya, Y.Zelanda veya İngiliz standartlarına göre deneye belirlenmektedir.

Japonya

Japonya’da kullanılan yangın yönetmeliği, yapıların ve malzemelerin detaylı teknik şartnamelerinde yer alan fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak şekilde genel anlamda; performansa dayalı bir kimliğe sahiptir. Yapısal yangına direnç tasarımı; yapısal elemanların yangın etkisinde kalması, bu sırada çelik ve kompozit gibi yapı elemanlarının sıcaklığının yükselmesi ve yapı sisteminin çöküşü için ulaşılan en son noktaların hesaplanması için standart yöntemleri içermektedir. Yapısal yangın direnci ile ilgili basitleştirilmiş bir doğrulama yöntemi serisi ve performans değerlendirmenin bir çerçevesi olarak “Kenshoho Doğrulama Yöntemi” eklenmiştir. Doğrulama yönteminin kullanımı ile yapı elemanlarının yangına direncinin gerekli kontrolü hızlı ve kolay bir şekilde yapılabilir [43].

Yangın yönetmeliğinde, yangına direncin fonksiyonel gereksinimlerinin belirlenmesinde iç ve dış yangın olmak üzere iki çeşit yangın kullanılmaktadır. Binada çıkan iç yangınlar bina durumuna bağlıdır. Yangın şiddeti, hesap yöntemleri ile öngörülmektedir. Binayı çevreleyen bir alanda çıkan dış yangın ise, bina sahibinin kontrolünde olmayıp, komşu parselin durumlarına bağlıdır. Doğrulama yönteminde dış yangın için herhangi bir analitik yöntem belirtilmemiştir. Ancak, ISO 834 standart yangını güvenilir olarak kabul edilmektedir. Tasarımcı, yangına direncin fonksiyonel gereksinimlerin yapı tarafından karşılandığını belirlemek için, yapısal yangına direnç tasarım yönteminin hükme dayalı ve performansa dayalı yaklaşımlarından herhangi birini seçebilmektedir [43].

Avustralya ve Çin

Avustralya'da tüm hesap ve sonuçlarda, ISO 834 yangın eğrisi temel alınmaktadır. Diğer yangın eğrilerini göz önüne alan herhangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Çelik yapı elemanları için sıcaklık tahmin prosedürü standart yangın deneylerinden elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak çıkarılmıştır. Çin'de tüm hesaplamalarda ISO 834 standart yangın eğrisi temel alınmaktadır. Çelik elemanlarının yangın süresince sıcaklıklarının tahmini için analitik çözümler verilmekte ancak bu sadece ISO 834 standardını esas alan yangınlar için geçerli olmaktadır [30].

Ülkelerin yapısal yangına direnç uygulamalarının genel bir değerlendirmesi

Yönetmeliklerde; yapı ve yapı elemanları için yangına direnç gerekleri belirlenmektedir. Ülke yönetmeliklerinin büyük çoğunluğunda yapı elemanlarından yangına direnç için sağlaması gereken süreler, hükme dayalı olarak öngörülmektedir. Burada yapı elemanlarının yangına direnç sürelerinin belirlenmesinde standart yangın eğrileri kullanılmaktadır. Ancak kapalı hacimlerde çıkan doğal yangınlar standart yangınlara göre daha şiddetli olabilmektedir. Bu nedenle, yapının ayakta kalması için doğal yangın koşullarına göre yangına direnç gereklerinin yeniden belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Bu performansa dayalı bir yaklaşımdır.

Yapı elemanlarının öngörülen yangına direnç değerlerine uygunluğu, deney veya hesap yöntemleri ile sağlanmaktadır. Yapı elemanlarının yangına direncin belirlenmesinde performansa dayalı yaklaşımlarda, standart yangın eğrileri yanında kapalı hacimlerde çıkan yangınların da esas alındığı görülmektedir.

İsveç, Yeni Zelanda, Finlandiya ve Japonya gibi ülkelerin yönetmeliklerinde, yapısal yangına direnç gereksinimlerinin belirlenmesinde, hükümlerin yanında doğal yangın koşullarını etkileyen kapalı hacim özellikleri de dikkate alınmaktadır [44]. Ülkemizde ise hükme dayalı olarak hazırlanmış olan BYKHY yürürlüktedir.

Gelecekte, birçok ülkede binalardaki yangın güvenliği tasarımında daha fazla performansa dayalı veya mühendislik yöntemlerinin uygulanmasına yönelik büyük değişiklikler gerçekleşecektir. Ülkelerin, yönetmeliklerin sağlayabildikleri serbestliklerin sürdürülebilmesi için, yangın güvenliği mühendisliği ile ilgili araştırmalarda ilerleme kaydetmeleri gerekmektedir. Bu süre içerisinde, binaların yapısal yangın güvenliği tasarımı, yangın güvenliği mühendisliğinin ve yönetmeliklerdeki hükümlere dayalı kalıplaşmış yöntemlerin bir arada kullanılması şeklinde devam edecektir [1]. İnceleme yapılan ülkelere ait yönetmeliklerde, kullanılan yangın eğrisi ve yapı elemanın yangın direncine uygunluğunun belirlenebilmesi bağlamında genel yaklaşımlar Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ülkelerin yapısal yangına direnç tasarım uygulamaları

ÜLKE	Yangın eğrisi		Yapı Elemanlarının Yangına Direncinin Belirlenmesi	
	Standart	Doğal	Deney	Hesaplama Yöntemi
Türkiye	+		+	+
Avrupa	+	+	+(1)	+(2)
UK	+		+	+
İsveç	+	+	+	+
Finlandiya	+	+	+	+
ABD (New York)	+		+	+
Avustralya	+		+	
Yeni Zelanda	+	+	+	
Çin	+			+
Japonya	+	+		+
(1) EN 13501 Sınıflandırma standardına göre				
(2) Eurocode'lara göre				

3. YANGINA DİRENÇ GEREKLERİNİN BELİRLENMESİNDE KAPALI HACİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Binalar, normal kullanımlara uygun, içinde bulunan kişilerin beğeneceği ve hepsinden daha önemlisi bu kişiler için güvenli olacak bir şekilde tasarlanmalıdır. Binaların yangına karşı güvenli olmasının sağlanması, tasarıma esas örnek uygulamalar, uygun bulunan tasarımların denetlenmesi ve uygulama ile ilgili yönetmelik ve teknik kılavuzların kullanılması şeklinde, bir ölçüde yangın yönetmeliklerini oluşturan ve uygulamaları denetleyen birimlere aittir [1].

Birçok ülke, yangından korunma amacıyla kabul edilebilir alt düzeyi oluşturmak için hükme dayalı zorunluluklar getirmiştir. Bu zorunluluklar, binaların tasarımında mimar ve mühendisler için rehber görevini üstlenmektedir. Ancak, tamamen hükme dayalı yapılan tasarımlar, her zaman gerek duyulan esnekliği sağlamadığı gibi belirlenmiş fonksiyonel gereksinimlerin karşılanamadığı durumları da doğurmaktadır. Performansa dayalı düzenlemelerde ise, kabul edilebilir tasarımlar ve kısıtlı olmayan sayıda çözümler üzerine odaklanma söz konusu olmaktadır [45,46].

Günümüzde yönetmeliklerin, performansa dayalı düzenlemelerden oluşturulması yönünde bir eğilim dünya çapında oluşmuştur. Bazı ülkeler bu yaklaşımı yıllar önce kabul etmiş olup, bazı ülkelerde ise oluşturulma aşamasındadır [46].

3.1. Yapısal Yangına Direnç Gerekleri

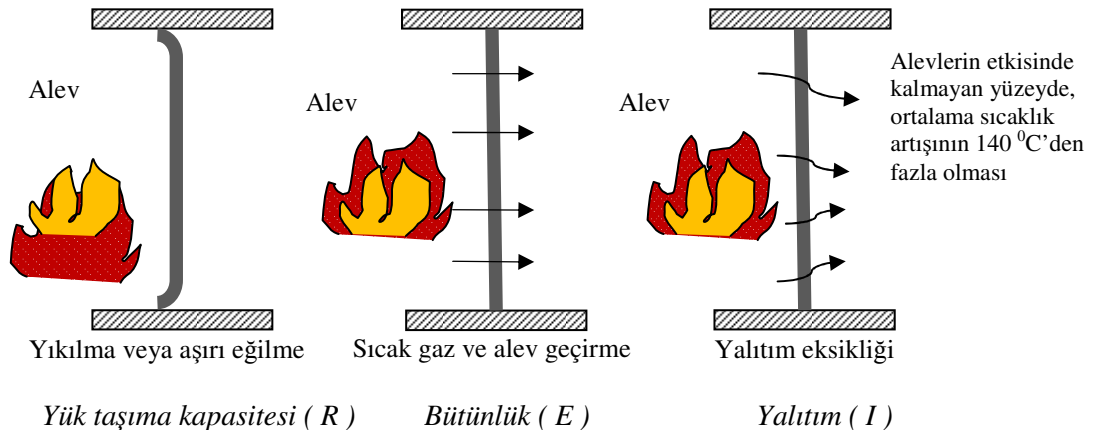
Yangın yönetmelikleri, binaların boşaltım için gereken süre boyunca yapısal yangına direnç göstererek ayakta kalacak şekilde tasarlanmasını sağlamalıdır. Binanın yangın anında istenen süre boyunca ayakta kalmasını sağlamak için binayı oluşturan yapı elemanlarının yapısal yangına direnç gereklerinin belirlenmesi gereklidir.

Yapının, yapı kısmının veya elemanın, belirli bir süre için belirli bir yangın etkisinde kalması ve belirli bir yük düzeyinde öngörülen performansı (yük taşıma ve / veya yangın ayırma) yerine getirme becerisine yangına direnç denilmektedir [47].

Yangına Direnç Derecesi (Fire Resistance Rating - FRR), ISO 834 gibi standart bir zaman sıcaklık eğrisini takip eden standart bir deney fırınındaki yapı düzeneğinin çökme aşamasına kadar gösterdiği yangına direnç performansının süresidir [3]. Avrupa standartlarında (EN) standart yangına direnç olarak adlandırılmaktadır [47].

Avrupa standartlarında, yapı elemanlarının yangına direnç performansının karakterize edilebilmesi için üç temel kriter kullanılmaktadır [34, 48, 49] (Şekil 3.1). Bu performans kriterleri ve sembolleri sırasıyla aşağıda gösterilmektedir;

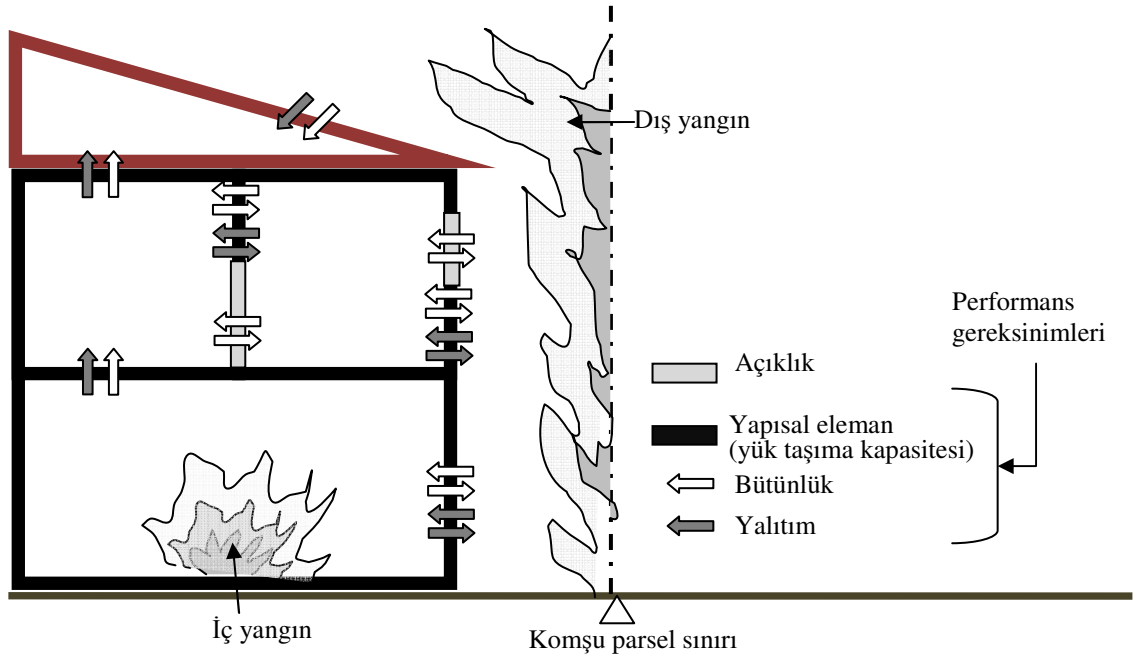
- R - Yük Taşıma Kapasitesi (Load-bearing Criterion): Yıkılmaya veya aşırı eğilmeye karşı yapı elemanının gösterdiği dirençtir. Kısaca, yapı elemanının yangın etkisinde belli süre yapısal kararlılığını (stabilite) koruma kapasitesidir.
- E - Bütünlük (Integrity) : Yapı elemanının alev etkisinde kalan yüzeyinden diğer yüzeye olan sıcak gaz ve alev geçişine gösterdiği dirençtir.
- I - Yalıtım (Insulation) : Yapı elemanının, alev etkisinde kalmayan yüzeyindeki yoğun sıcaklık artışına karşı gösterdiği dirençtir. Kısaca, yapı elemanının yangın etkisinde kalan taraftan diğer tarafa ısı transferinde önemli bir ısı aktarımı olmadan, yalnız bir taraftan yangın etkisinde kalmasının sağlanmasıdır [32].



Şekil 3.1. Yapı elemanlarının yangına direnç performansları [35].

Yangına direnç performans kriterlerine ait semboller, gösterilen performans süresi için “dakika” cinsinden ifade edilmekte olup, standart zaman/sıcaklık eğrisine göre yapı elemanının yangına direncin belirlenmesi halinde kullanılmaktadır [48]. Yapı elemanlarının yangına direnç performans süresi 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dakika olarak belirlenerek; R 30, R 60,..., RE 30, RE 60,..., REI 30, REI 60,... şeklinde sınıflandırılmaktadır. Örnek olarak 160 dakika yük taşıma kapasitesine, 85 dakika bütünlüğe ve 43 dakika ısı yalıtımına sahip bir yapı elemanının yangına direnç performans sınıfları R 120 / RE 60 / REI 30 olarak gösterilmektedir [32, 35, 50].

Yangına direnç derecesi (FRR), taşıyıcı ve/veya ayırıcı fonksiyona sahip yapı elemanlarının yangına direnç performansı için kullanılmaktadır. Avrupa ve Türkiye’de yangına direnç performansı, taşıyıcı yapı elemanları için R, taşıyıcı ve ayırıcı yapı elemanları için RE ya da REI olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada yangına direnç performansı olarak, yük taşıma kapasitesi (R) esas alınmaktadır.



Şekil 3.2. Yangına direnç performans gereksinimlerine bir örnek.

Yangına direnç performans gereksinimlerinin belirlenmesinde yapı elemanlarının konumları ve etkisinde kaldıkları yangın koşulları dikkate alınmaktadır. Bu koşullar, ülke otoriteleri tarafından belirlenmektedir (Şekil 3.2). Örneğin, ülkeler arasında oluşan farklı yaklaşımları ortadan kaldırmak ve yapı malzemelerinin serbest dolaşımını sağlamak amacıyla yapı malzeme ve elemanlarına genel bir yaklaşım getiren Avrupa Birliği'nde çatıların dış yangın performansının belirlenmesi için üye ülkelere ait dört farklı yangın senaryosu kullanılmaktadır. [51].

3.2. Yapısal Yangına Direnç Tasarımı

Genel yaklaşım olarak; binada kullanılan yapı elemanlarının yangına direnç performans süreleri binanın genel yangın direncini vermektedir [5]. Binaların öngörülen yangına direnç performans gereklerini sağlayacak şekilde tasarımı, hükme dayalı ya da performansa dayalı tasarım yöntemleri ile olabilmektedir. Hükme dayalı tasarımda, bina yönetmeliklerinde sayısal kriter ve sınıf olarak verilen yangına direnç gereklerine uygun yapı elemanları kullanılarak binanın yapısal yangın güvenliği sağlanmış olmaktadır. Performansa dayalı tasarımda ise; binanın yangın performans gereklerine uygunluğu “Doğrulama Yöntemleri” belirlenmektedir. Bunun için gelişmiş mühendislik yöntemleri gerekmektedir. Analiz yöntemleri ve proje bazında yapılan örnek yapısal yangına direnç tasarım çalışmalarının genelleştirilerek farklı uygulamalarda kullanılması da mümkün olmaktadır [28].

Performansa dayalı yaklaşıma göre yapısal yangına direnç tasarımı, tasarımda kullanılacak yangın eğrilerinin belirlenmesi, yapı elemanının sıcaklığının tahmini ve direncinin hesaplanması olmak üzere üç aşamada yapılmaktadır [30].

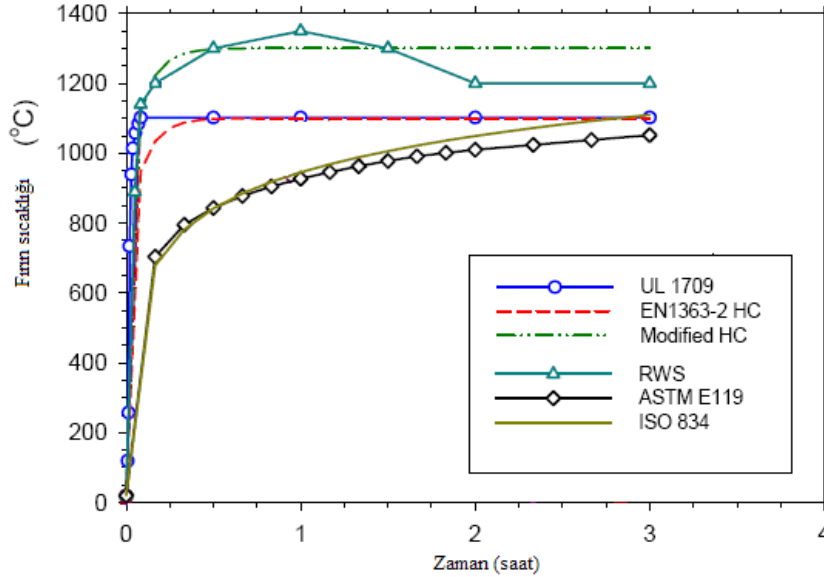
3.2.1. Tasarımda kullanılan yangın eğrileri

Hükme dayalı kurallara göre tasarımda, yapı elemanlarının yangına direncini belirlemek için standart yangın eğrileri esas alınmaktadır. Performansa dayalı yaklaşımda ise yapı elemanlarının yangın direncinin belirlenmesinde bulunduğu

kapalı hacim özelliklerine uygun doğal yangın senaryoları esas alınmakta ve yangının gelişimi için basit ya da geliştirilmiş yangın modelleri kullanılmaktadır.

Standart yangın eğrileri

Yapılarda meydana gelen yangının gelişimi ulusal mevzuatlarda tanımlanmış ve analitik formüllerle verilen standart eğrilerle (basitleştirilmiş modeller kapsamında) gösterilmektedir. Bu eğrilerde yangının bir bitişi olmamakta yani azalma süreci bulunmamaktadır (Şekil 3.3). Kesin kurallara uygunluk üzerine kurulmuş hükme dayalı yangın yönetmeliklerinde, çeşitli bina tipi ve kullanımı için yangına direnç gereksinimlerinin belirtilmesi amacıyla standart yangın eğrileri esas alınmaktadır. Bu eğriler yapı elemanlarının derecelendirilmesi ve yangına direnç deneyleri için kullanılmakta olup doğal yangınlarla fazla bir bağlantıları bulunmamaktadır [5].



Şekil 3.3. Ülke ve kuruluşlara ait değişik standart yangın eğrileri [52]

Standart yangına direnç deneyleri, ilgili yapı elemanlarına ait deney standartlarına göre gerçekleştirilmektedir. Bu standartlar ülkelere göre değişmektedir, ancak kullanılan yangın eğrileri benzerdir. Genellikle ISO 834 yangın eğrisi esas alınmaktadır. Bu eğrinin zamana bağlı olarak değişimi aşağıdaki şekildedir [53]:

$$T = 345 \log(8t + 1) + 20 \quad (3.1)$$

ABD’de, ISO 834 eğrisine benzer olan ve ASTM E -119 [54] standardında tanımlanmış bir sıcaklık zaman eğrisi kullanılmaktadır. Söz konusu eğrinin zamana bağlı olarak değişimi aşağıdaki şekildedir [55]:

$$T = 345 \log(0,133t + 1) + 20 \quad (3.2)$$

Söz konusu standart yangın eğrileri ofis, mağaza, konut vb. kullanım amaçlı binalardaki selüloz yangınlarla ilişkilidir [56]. Bu eğriler ile genel uygulamalar için “ortalama” bir tanımın yapılması amaçlanmaktadır. Ancak, uygulamalarda, standart ortamdan önemli derecede sapmaların olduğu yangın senaryolarının kullanılması gerekli olabilmektedir. Örneğin petrokimya ve açık deniz petrol tesislerindeki sıvı havuz yangınları gibi çok şiddetli yangınlar bunlara güzel bir örnektir. Bu tür yangınlar yüksek sıcaklık ve çabuk büyüme hızı ile karakterize edilmektedir. Bunlar için hidrokarbon eğrisi olarak isimlendirilen sıcaklık zaman eğrisi kullanılmaktadır. Bu eğrinin zamana bağlı olarak değişimi aşağıdaki şekildedir [57].

$$T = 1080 [1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}] + 20 \quad (3.3)$$

Yukarıdaki eşitliklerde (Eş. 3.1, Eş. 3.2 ve Eş. 3.3);

t : Deneyin başlangıcından itibaren geçen süre (dakika),

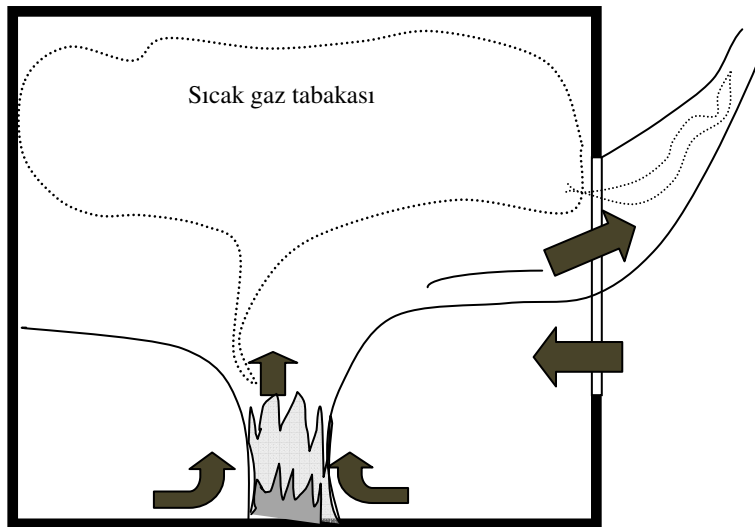
T : Gerekli ortalama fırın sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$).

Kullanım amacına ve kullanılan yangın senaryolarına göre bu tip standart yangın eğrilerini artırmak mümkündür (Bkz. Şekil 3.3). Bu yangın eğrilerin bitiş noktası, bina sahipleri, sigorta firmalarınca istenen ve ulusal yönetmeliklerde öngörülen yangın süreleri ile ilişkili olarak tasarımcı tarafından belirlenmektedir [56].

Kapalı hacim yangınları

Genelde barınma, konaklama, büro veya kurumsal binalarda yangın tek bir kapalı hacimde başlamaktadır. Bu kapalı hacim, evde yatak odası, büro binalarında ofis, kurumsal binada bir derslik olabilmektedir. Hacimler kullanım amacıyla ilişkili olarak dikdörtgen şekilde ve çok geniş olmayan küçük biçimsel oranlara sahiptir. Ayrıca, dar ve uzun olan koridorlar, normal derslik ve bürolara göre oldukça büyük hacimli olan geniş anfiler ve konferans salonları da göz önüne alınmaktadır. Bu tip kapalı hacimlerin dış cephesinde bir pencere olmamasına rağmen her zaman bir kapısı bulunmaktadır ve bu kapı yangın boyunca açık veya kapalı olabilmektedir. Kapalı hacim biçimi, hacimdeki açıklıkların sayısı, alanı ve konumunun yangın şiddeti ve davranışı üzerine doğrudan etkileri olmaktadır [58].

Kapalı hacimde çıkan yangında sıcak gaz tavana kadar yükselmekte ve tavanla karşılaşınca yatayda onu yalamaktadır. Sıcak gazlar tavana ulaştığında, burada sıcak gaz tabakası oluşmakta ve döşemeye doğru genişlemektedir. Bu, kapalı hacimdeki açık olan kapı veya pencerenin üst noktasına ininceye kadar devam etmektedir. Bundan sonra açıklık(lar)dan sıcak gaz çıkarak kapalı hacimden uzaklaşmakta ve çevreleyen alanlardan da kapalı hacme taze hava girişi olmaktadır. Taze hava, sıcak gaz çıkışı sağladığı gibi yangını da beslemektedir [58](Şekil 3.4).

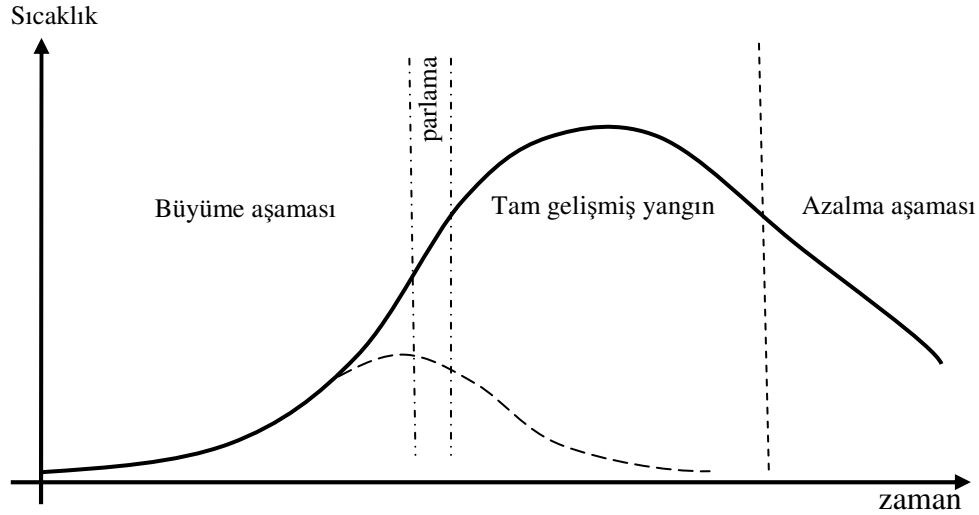


Şekil 3.4. Kapalı hacimdeki yangın olayı [58, 59]

Açıklık olmayan tipik bir kapalı hacimde çok yavaş ve düşük yoğunluklu bir yanma olmakta ve kapalı hacimdeki oksijen desteğine bağlı olarak kendi kendine sönme olabilmektedir. Koridor gibi dar uzun kapalı hacimlerde, yangının açıklığın olduğu taraftaki yanıcı malzemeleri yakma eğiliminde olduğu görülmektedir. Alevin ve ısının bu hareketi açıklığın boyutu ve konumundan etkilenmektedir[60].

Kapalı hacimlerde çıkan doğal yangınlar yangın senaryoları ile gösterilmektedir. Yangın senaryosu, genel olarak, yangının gelişim süreci üzerinde etkisi olan bina şartları ve sistemleri ile birlikte yangının tutuşma ve büyüme işlemini, tam olarak geliştiği evreyi ve şiddetinin azaldığı evreyi belirlemektedir [61] (Şekil 3.5):

- Büyüme aşamasında; yangın çıktığı noktadan büyümeye ve kapalı hacimdeki sıcaklık artmaya başlar.
- Tam gelişmiş aşamada; parlama (flash over)⁵ meydana gelir ve kapalı hacim ve içeriği alevle kaplanır.
- Azalma aşamasında; kapalı hacim sıcaklığı düşer, yangın uygun tüm yakıtları tüketir ve enerji kaybetmeye başlar.



Şekil 3.5. Kapalı hacimdeki yangının sıcaklık zaman grafiği [8]

⁵ Yaygın bir tanıma göre parlama, kapalı hacim taban alanındaki ısımanın 20 kW/m^2 ve tavandaki sıcaklığın 600°C olduğu noktadır [55].

Büyüme aşaması

Bu aşamada, yangın alevli ya da içten yanma şeklinde başlar. Yangının büyüme oranı, kapalı hacimdeki yanıcı madde miktarı ve tipi, açıklık konumu ve sayısı ve kapalı hacim geometrisi ile ilişkili olarak yangın çıktığı noktanın konumuna bağlıdır. Toplam potansiyel enerji, kapalı hacimdeki tüm içeriğin yanması sonucunda açığa çıkacaktır, tipik olarak bu yangının tam gelişmiş evresinde oluşmaktadır [62]. Yangın yükü tipik olarak yanabilir içerikler ve tüm yüzeyler ile son kaplamaları kapsamaktadır. Yangın yükünün hesaplanması, Ek-3’de ayrıntılı anlatılmaktadır.

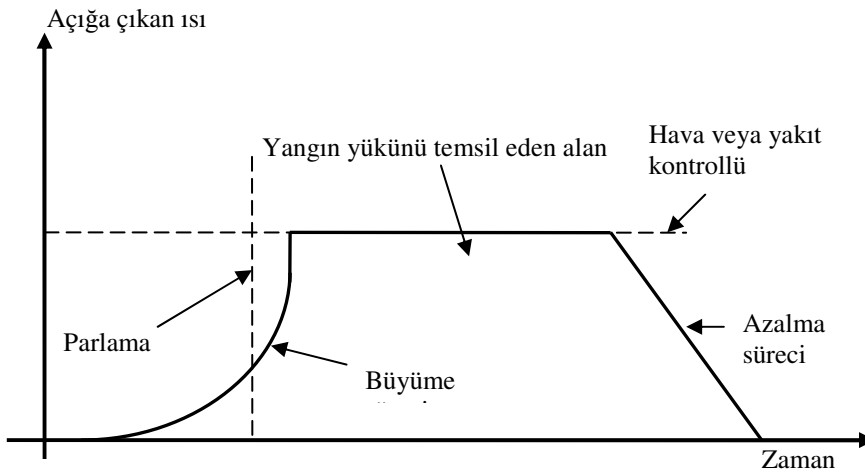
Tam gelişmiş yangın aşaması

Büyüme aşamasında kapalı hacim sıcaklığı artmakta, kapalı hacimdeki içerik ve hacmin iç yüzeyi ısıl bozulmaya uğramakta ve yanabilir katkılar uçucu gazlar çıkarmaya başlar. Bu süreç piroliz olarak bilinmektedir. Kapalı hacimdeki yangın büyüdükçe sıcaklık yükselmeye ve piroliz oranı ile birlikte kapalı hacimdeki uçucu gaz yoğunluğu artmaya başlamaktadır. Oksijen, sıcaklık ve uçucu gaz yoğunluğu, tutuşma için yeterli olduğunda, kapalı hacimde parlama (flash over) meydana gelmekte, tüm yanabilir malzemeler tutuşmaktadır [62]. Kapalı hacim yangınının parlamaya ulaşma olasılığı çok önemlidir, çünkü tam gelişmiş yangın aşamasında kapalı hacim sıcaklığı 1100 °C gibi yüksek bir sıcaklığa çıkabilmektedir [55]. Yüksek sıcaklıklarda yapısal hasarların büyük olmasından dolayı, bu sıcaklık süresinin uzunluğu, kapalı hacmin yapısal bütünlüğünü doğrudan etkilemektedir.

Azalma aşaması

Kapalı hacimdeki yakıt içeriği tükendiğinde, uçucu gaz üretimi düşecek ve yangının azalma periyodu başlayacaktır. Bu aşama sırasında, yangının şiddeti düşerken kapalı hacim sıcaklığı azalmaktadır. Azalma oranı; kapalı hacimdeki yanabilir içeriğin miktarına ve fiziksel düzenine, açıklıkların boyut ve biçimine, kapalı hacmi çevreleyen elemanların ısı özelliklerine bağlı olmaktadır. Tipik olarak yangın azalma aşamasına girdiğinde, havalandırma kontrollü yangından yakıt kontrollü bir

yangına geçmektedir. Havalandırma kontrollü yangında, kapalı hacmi çevreleyen açıklıklardan gelen yangını besleyen taze hava miktarı ile yangın sınırlandırılmaktadır. Bu tip yangın çoğunlukla parlamaya kadar ve parlama sonrasında olmaktadır. Ancak, parlama oluştuğunda ve yangın tam gelişmiş aşamada iken uygun tüm yakıtlar yangın tarafından tüketilmekte ve daha sonraki sürede yangının şiddeti, yanma için yeterli taze hava desteği olmasına rağmen, yanmaya hazır yakıt miktarının azalması ile kontrol edilmeye başlanmaktadır [62] (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Isı yayılım oranına göre kapalı hacim yangının gelişim grafiği [56]

3.2.2. Yangın şiddeti ve yapı elemanlarının yangına direncinin belirlenmesi

Yapı elemanlarının yangına direnç performansının belirlenmesinde hesaplama, deney ya da bu ikisinden elde edilen verileri kullanan mühendislik yargıları olmak üzere üç temel yaklaşım kullanılmaktadır [56]. Ayrıca, yangına direnci daha önceden hesaplama veya deney yolu ile belirlenmiş yapı elemanlarına ait detayların tablolar halinde verildiği tasarımlar da yangına dirençli yapı elemanı olarak uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak bu tasarımların yangına direnç performansları standart yangın eğrilerine göre belirlenmektedir. Kapalı hacimdeki yangın şiddeti ve yapı elemanının yangına direncinin belirlenmesinde bu yaklaşımlara ait birçok yöntem kullanılmaktadır. Yapı elemanının yangına direncinin deney yolu ile belirlenmesi yaklaşımı bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Diğer yaklaşımlara ait yöntemler tez çalışması ile ilişkili olarak genel bir şekilde aşağıda ortaya konmuştur.

Avrupa Yapısal Tasarım Standardında (Eurocodes), yapı elemanlarının hesap yöntemleri ile belirtilen yangın direncine sahip olduğu doğrulanmaktadır. Yapı elemanının belirlenen dirence sahip olduğunun doğrulanması, zamanının fonksiyonuna göre [47];

$$t_{fi,d} \geq t_{fi, ger} \quad (3.4)$$

veya şiddetine göre:

$$R_{fi,d} \geq E_{fi, ger} \quad (3.5)$$

veya sıcaklığına göre:

$$\theta_d \leq \theta_{cr,d} \quad (3.6)$$

şeklinde olabilmektedir [47]. Burada:

$t_{fi,d}$: Yangına direncin tasarım süresi

$t_{fi, ger}$: Gerekli olan yangına direnç süresi

$R_{fi,d}$: t süresindeki yangın durumunda elemanın direncinin tasarım değeri,

$E_{fi, ger}$: t süresindeki yangın durumu için, ilgili etki tesirlerinin tasarım değeri,

θ_d : Malzeme sıcaklığının tasarım değeri

$\theta_{cr,d}$: Kritik malzeme sıcaklığının tasarım değeridir.

Tablo verileri

Yönetmelikler ve standartlar kapsamında, belirli yapı elemanlarının daha önceden belirlenmiş yangına direnç değerleri tablolar halinde sunulmaktadır. Örneğin ABD’de UL’nin (Underwriters Laboratories) yayınladığı ve yapı detaylarının yer aldığı “Yangına Direnç İndeksleri” ve Ulusal Standart Bürosunun raporları kullanılabilmektedir [63]. Tasarımcı söz konusu yapı elemanlarını kullanarak binayı yönetmeliklerde öngörülen yangına direnç süresine sahip olacak biçimde tasarlayabilmektedir. Buradaki süre standart yangın eğrisine göre belirlenmiş yangına

direnç süresidir. Hükme dayalı yönetmeliklerde kullanılan bu yaklaşımda, proje ve onay açısından kolaylık olmasına rağmen tasarım belirli detaylarla kısıtlanmaktadır.

Eşdeğer süre (t_e)

Eşdeğer süre (time equivalent) (t_e) formülü kapalı hacimdeki yangının şiddeti için bir değer vermektedir. Bu değer kapalı hacme ait yapı sisteminin standart ISO 834 deney fırınında ayakta kalması için umulan yangına direnç süresi olarak ifade edilmektedir. Kısaca yangın etkisinin eş değer süresi olarak adlandırılmaktadır. Bu formül, genel olarak kapalı hacimlerin yangın şiddetini etkileyen havalandırma, yangın yükü ve kapalı hacmi çevreleyen elemanların ısı özellikleri parametreleri ile ilişkilidir [3]. Eşdeğer sürenin hesaplanmasında iki ayrı yaklaşım kullanılmaktadır. Birincisinde yapı elemanındaki benzer sıcaklık yükselmesini temel alan eşitlikler diğerinde ise ısı çıkışıdaki eşitlikler göz önünde tutulmaktadır [64].

Sıcaklık yükselmesini temel alan fırın deneyleri ve doğal yangın etkilerinin ilişkisi ile ilgili ilk çalışmalar Law [65] tarafından yapılmıştır. Law, doğal yangın etkileri altında yalıtımlı çelik elemanlarında çöküş için kritik 550 °C sıcaklığa ulaşma süresini hesaplamaktadır. Ortaya konulan eşitlikle (Eş. 3.7), havalandırma alanı, kapalı hacmin dış yüzeyi ve yangın yükünün bir fonksiyonu olan gerekli yangına direnç süresi dakika olarak bulunmaktadır [64].

$$t_{e,d} = \frac{KL_{fik}}{\sqrt{(A_v A_t)}} \quad (3.7)$$

Burada;

$t_{e,d}$: Gerekli eşdeğer yangına direnç süresi (dakika)

K : Sabit sayı

L_{fik} : Toplam yangın yükü (yanmaya eşdeğer ahşap ağırlığı, kg)

A_v : Düşey açıklıkların alanı (m²)

A_t : Toplam dış yüzey (m²)

Geçerliliği artırılmak üzere söz konusu eşitlikte, zamanla değişiklikler yapılmıştır. Eşitlik CIB tarafından 1989 yılında aşağıdaki biçimde yayımlanmıştır [66]:

$$t_{e,d} = c w q_{f,d} \quad (3.8)$$

$$w = \sqrt{\frac{A_f}{A_v}} \sqrt{\frac{A_f}{A_t \sqrt{h_{eq}}}} \quad (3.9)$$

Burada;

A_f : Döşeme alanı (m^2)

$q_{f,d}$: Yangın yükü yoğunluğu (MJ/m^2)

h_{eq} : Açıklık yüksekliği (m)

Bir diğer yaklaşım ise EN 1991-1-2 Ek-E’de yer alan eşdeğer süredir. Kapalı hacimdeki yapı elemanının tasarımı için gerekli standart yangına direnç süresi veren eşdeğer sürenin (t_e) hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır [3, 47].

$$t_e = e_f k_b w_f \quad (3.10)$$

Burada;

t_e : Eşdeğer süre (dakika)

e_f : Yangın yükü enerji yoğunluğu (MJ/m^2)

k_b : Çevirme faktörü ($dakika.m^2/MJ$) (Çizelge 3.1)

w_f : Havalandırma faktörü

Çizelge 3.1. Çeşitli yapı tipleri için çevirme faktörü [3, 67, 68].

Yapı malzemesi	k_b
Alçıpanel tavan ve duvar, ahşap döşemeler	0,09
Hafif beton döşeme ve tavan, alçıpanel duvarlar	0,08
Normal beton tavan ve döşeme, alçıpanel duvarlar	0,065

$$w_f = \left(\frac{6,0}{H} \right)^{0,3} \left[0,62 + \frac{90(0,4 - \alpha_v)^4}{1 + b_v \alpha_h} \right] > 0,5 \quad (3.11)$$

$$\alpha_v = A_v/A_f \quad 0,025 \leq \alpha_v < 0,25 \quad (3.12)$$

$$\alpha_h = A_h/A_f \quad \alpha_h < 0,20 \quad (3.13)$$

$$b_v = 12,5 (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) \quad (3.14)$$

Burada;

H : Kapalı hacmin yüksekliği (m)

A_h : Çatıdaki yatay açıklık alanı (m²)

A_v : Açıklıkların alanı (m²)

A_f : Döşeme alanı (m²)

Ayrıca yapısal yangın tasarımı için aşağıdaki durumun doğruluğu belirlenmiş olmalıdır [47]:

$$t_e < t_{fi,d} \quad (3.15)$$

Burada [47];

t_e : Yangın etkisinde kalmanın eşdeğer süresidir⁶.

$t_{fi,d}$: EN 1992, EN 1996 ve EN 1999'un yangınla ilgili bölümlerine göre değerlendirilmiş yapı elemanların standart yangına direncin tasarım değeridir.

⁶ Bu, standart yangın etkisinde kalmaya ilişkin olarak listelenmiş veri veya diğer basitleştirilmiş kuralları esas alan yapı elemanlarının yangına direnç tasarımında kullanılabilir.

Bilgisayar modelleri

Yangın direnç bilgisayar modelleri, yangın etkisinde kalan yapı elemanlarının tepkilerini göstermektedir. Bu modellerden bazıları tek başına değerlendirilebileceği gibi, alan veya bölge yangın modellerinin içinde bütünleşik olarak da değerlendirilmektedir. Yangın direnç modellerinin mantığı, alan modeline benzemektedir. Yapısal eleman küçük hacimlere bölünmekte ve yük taşıma görevini yapamaz hale geldiği zamanın belirlenmesi katı cisimlerin mekanik davranışı ve ısı transferi denklemleri ile çözülmektedir. Yapısal elemanlar için kapalı hacim koşulları (yangın etkisinde kalma gibi) yanında, malzemenin özellikleri de birer girdi olarak model için gereklidir [24].

3.3. Kapalı Hacim Parametrelerinin Yapı Elemanlarının Yangına Direnci Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi

Kapalı hacme ait boyut, açıklık alanları, yangın yükü, yapı tipi gibi parametrelerin kapalı hacimde çıkan doğal yangının şiddeti üzerinde büyük etkileri vardır. Yapı elemanlarının gerçek yangın performansı, yangın şiddetinin artması ya da azalmasına göre ISO 834 ya da ASTM E119 gibi standart yangın eğrileri esas alınarak belirlenmiş standart yangına direnç performanslarından farklı çıkabilmektedir.

BYKHY’te, binayı oluşturan yapı elemanlarının standart yangın direnci boşaltım için gerekli süre (RSET) ve güvenli söndürme süresi olarak kabul edilmektedir. Kapalı hacimde çıkan şiddetli yangında yapı elemanının gerçek yangına direnç performansı, öngörülen standart yangına direnç performansına göre daha düşük çıkabilmektedir. Bu durumda, uygulanabilir güvenli boşaltım süresi (ASET) öngörülen süreden (RSET) daha az olmakta ve binanın boşaltım ve yangın söndürme yönünden güvensiz olma durumu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle binanın öngörülen süre (RSET) boyunca ayakta kalabilmesi için, binayı oluşturan kapalı hacimlerin özelliklerine uygun yangın senaryolarının kullanılması ve bunları temsil eden doğal yangın eğrilerine göre yapı elemanlarının standart yangına direnç sürelerinin

öngörülmesi gereklidir. Kapalı hacim parametrelerine göre yapı elemanlarının gerçek yangına direnç performansları deney ya da hesap yoluyla belirlenmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, aşağıda verilen kapalı hacim özelliklerinin yangın şiddetine dolayısıyla yapı elemanının yangın direncine etkisi incelenmiştir:

- Kapalı Hacimdeki açıklığının etkisi
 - Açıklığın ve kapalı hacmin taban alanı
 - Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı
 - Açıklığın konumu
 - Açıklık en/boy oranı
- Kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğunun etkisi
- Kapalı hacim yapı tiplerinin etkisi

3.3.1 Kapalı hacim parametrelerinin etkilerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Binayı oluşturan kapalı hacimlere ait olan ve yukarıda belirtilen hacim özelliklerinin, yangın şiddeti ve yapı elemanlarının yangına direnç performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde aşağıda belirtilen yöntemler kullanılmıştır;

- Tablo veriler (Önceden standart yangına direnci (R) belirlenmiş tasarımlar),
- Analitik yöntemler,
- Bilgisayar modelleri (Gelişmiş hesaplama modelleri).

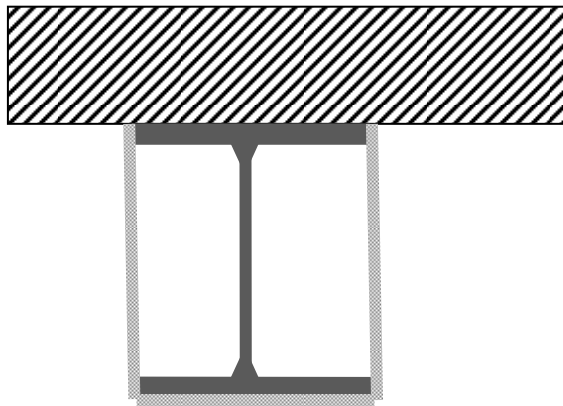
Bu bölümde, tablo verilerden standart yangın eğrisine göre direnci (R) belirlenmiş bir tasarım, örnek yapı elemanı olarak seçilmiştir. Kapalı hacim parametrelerinin doğal yangın şiddetine ve örnek yapı elemanının yangına direncine etkisi ise basit analitik yöntemler (Eşdeğer Süre (t_e), Yanma süresi (t_b) ve ASET) ve “OZone Bilgisayar Programı” yardımıyla incelenmiştir (Çizelge 3.2). Elde edilen bulgular yorumlanarak çalışmanın Dördüncü Bölümünde ortaya konulan modelde kullanılmak üzere kapalı hacme ait yangın şiddetini artıran parametre değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Kapalı hacim parametrelerinin yangın şiddetine etkisi için kullanılan yöntemler

Yangına direncin belirlenmesi		Yangın Eğrisi	Yangın şiddeti	Yangına direnç [dakika]	Kapalı hacim parametreleri
Tablo verileri		Standart yangın	Standart sıcaklık zaman eğrisi (ISO 834)	Standart yangına direnç (R)	Yok
Hesaplama Yöntemi	Eşdeğer süre (t_e)	Doğal Yangın	Standart sıcaklık zaman eğrisine eş değer süre [dakika]	Standart yangın direncine eşdeğer süre (t_e)	Var
	ASET	Doğal Yangın	Yanma süresi (t_b) [dakika]	Gerçek yangına direnç $ASET=R \times t_b / t_e$	Var
Bilgisayar Modeli	OZone	Doğal Yangın	Doğal yangın eğrisi (grafik)	Gerçek yangına direnç R_{OZone}	Var

Tablo verileri

Bu çalışmada yangına direnç derecesi (R) belirlenmiş örnek yapı elemanı olarak, kapalı hacmin tavanında bulunan ve üç tarafı 30 mm kalınlığında alçı levha ile kutuya alınmış IPE 200 çelik putrel kiriş seçilmiştir (Bkz. Şekil 3.7). Örnek yapı elemanının DIN 4102 [69] standardında yangına 90 dakika direnç gösterdiği (R veya F 90) belirtilmiştir. Bu süre, yapı elemanının ISO 834 standart yangın eğrisine göre belirlenmiş olan standart yangına direnç süresidir.



Koruyucu kaplamanın;

Özgül ısısı: 1700 J/kgK

Yoğunluğu: 800 kg/m³

Isıl iletkenliği: 0,2 W/mK

Şekil 3.7. Örnek yapı elemanı kesiti.

Hesap yöntemleri

Farklı parametre değerlerine sahip kapalı hacimlerin yangın şiddetini belirlemek için analitik yöntem olarak eşdeğer süre (t_e) ve yanma süresi (t_b) kullanılmıştır. Daha sonraki aşamada, kapalı hacim parametrelerinin yapı elemanlarının yangına dirençleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için $t_b/t_e \times R$ eşitliğinden elde edilen ASET (binanın sağladığı uygulanabilir güvenli boşaltım süresi) kullanılmıştır.

Eurocode eşdeğer süre (t_e)

Bu çalışmada eşdeğer sürenin (t_e) hesaplanmasında Eurocode'da yer alan eşitlik (Eş. 3.10) kullanılmıştır [3, 47].

$$t_e = e_f k_b w_f \quad (3.10)$$

Kapalı hacmin tavanında yatay açıklık bulunmadığı ($A_h : 0$) varsayılmaktadır. Buna göre havalandırma faktörü (Bkz. Eş. 3.11) aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenmektedir.

$$w_f = \left(\frac{6,0}{H} \right)^{0,3} \left[0,62 + 90(0,4 - \alpha_v)^4 \right] > 0,5 \quad (3.16)$$

Zamanın fonksiyonu olarak yapısal yangına direncin doğrulanması [47];

$$t_{fi,d} \geq t_{fi, ger} \quad (3.4)$$

Şeklindedir. Bu kapsamda aşağıdaki durumun doğruluğu belirlenmiş olmalıdır [47]:

$$t_e < t_{fi,d} \quad (3.15)$$

Burada;

$t_{fi,d}$: Yapı elemanların standart yangına direncin tasarım değeridir.

$t_{fi,ger}$: Gerekli olan yangına direnç süresidir.

t_e : Yangın etkisinde kalmanın eşdeğer süresidir.

Yukarıdaki eşitliklerden (Eş. 3.4, Eş. 3.5) anlaşılacağı üzere binayı oluşturan kapalı hacmin yangın boyunca ayakta kalması isteniyorsa, buna ait yapı elemanları tasarlanırken dikkate alınacak yangına direnç süresi ($t_{fi,d}$), eşdeğer süre (t_e) değerinden büyük olmalıdır.

Yanma Süresi (t_b)

Havalandırmanın kontrol edildiği ve yanma oranının sabit olduğu bir kapalı hacim yangını varsayıldığında, havalandırma temel alınarak toplam yangın yükünün yanma oranına bölünmesiyle [70] bir yanma süresi (t_b) belirlenmektedir [3].

Yanma süresi (t_b) aşağıdaki sıralama doğrultusunda hesaplanmaktadır [3]:

- a. Toplam yangın yükünün belirlenmesi: Döşeme alanı ile yangın yükü yoğunluğunun çarpımı ile toplam yangın yükü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$E = A_f e_f \quad (3.17)$$

Burada;

E : Toplam yangın yükü (MJ)

A_f : Döşeme alanı (m^2)

e_f : Yangın yükü yoğunluğu (MJ/m^2)

- b. Şiddet bağıntıları kullanılarak havalandırmayı esas alan yanma oranının hesaplanması [67]. Bunun için kapalı hacmin açıklık alanı ve yüksekliği (eğer birden fazla açıklık varsa- toplam açıklık alanı ve ortalama açıklık yüksekliği) belirlenmektedir (Parlama sonrası durumunda, tüm pencerelerin kırıldığı varsayılmaktadır).

$$Q_v = 1,5 A_v \sqrt{H} \quad (3.18)$$

Burada;

Q_v : Havalandırma kontrollü yanma oranı (MW)

A_v : Açıklıkların alanı (m²)

H : Açıklığın yüksekliği (m)

c. Toplam yangın yükünün yanma oranına bölünmesi ile yanma süresinin, hesaplanması.

$$t_b = E/Q_v \quad (3.19)$$

Burada;

t_b : Yanma süresi (saniye)

Uygulanabilir güvenli boşaltım süresi (ASET)

Uygulanabilir güvenli boşaltım süresi (ASET), kapalı hacimdeki doğal bir yangında yapı sisteminin ayakta kalması için umulan süredir. ASET, yapı sisteminin gerçek yangına direnç süresi olup, bu süre boyunca insanlar yapıyı güvenli bir şekilde boşaltabilmektedir. Bu çalışmada kapalı hacmin sağladığı güvenli boşaltım süresinin belirlenmesi için Thomas ve Lloyd'un ortaya koyduğu formülasyon kullanılmıştır. Formülasyonda, yapı elemanının standart yangına direnci (R) ve yanma süresi (t_b) ile orantılı, yangın şiddeti ile ters orantılı olarak aşağıdaki ilişkiler verilmektedir [3].

$$ASET \propto t_b, \quad ASET \propto R, \quad ASET \propto \frac{1}{t_e}$$

Birleştirme sonunda aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$ASET = k (t_b/t_e) R \quad (3.20)$$

Burada;

k : Sabit sayıdır. Bu analizde $k= 1.0$ olduğu varsayılır.

t_b : Yanma süresi

t_e : Eşdeğer süre

ASET: Uygulanabilir güvenli boşaltım süresi (Available Safe Egress Time)

R : Yapı elemanının standart yangına direnç süresi (Fire Resistance Rating).

Kısaca, yanma süresinin (t_b) eşdeğer süreye (t_e) oranının yapı elemanının standart yangına direnci (R) ile çarpımı o elemanın ASET olarak gerçekçi bir yangına direnç süresini vermektedir.

$$ASET = R (t_b/t_e) \quad (3.21)$$

Bilgisayar modeli

Bu çalışmada, OZone V2.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu program, ECSC (Avrupa Kömür Çelik Birliği)'nin sponsorluğunda “Doğal Yangın Güvenliği Kavramı” ve “Doğal Yangın Güvenliği Kavramı, Tam Ölçekli Deney, Eurocodes'daki Uygulamalar ve Kullanıcı Dostu Tasarım Araçlarının Gelişimi” araştırmaları kapsamında geliştirilmiştir. OZone V2.0 programının amacı, kapalı hacimdeki yangın etkisinde kalan elemanlarının yapısal tasarımında mühendislere yardımcı olmaktır. Kod, bir taraftan kapalı hacimdeki yangını modellemekte diğer taraftan yapısal elemanlar üzerine bölgesel yangının etkilerini ortaya koymaktadır [71,72]. Programın çalışma prensibi Ek-2'de kısaca anlatılmıştır.

OZone bölge modelinin farklı bir bölge modeli olan NAT [73] ile karşılaştırılması yapılarak geçerliliği kanıtlanmıştır. Ayrıca, OZone simülasyonları ile Fransa'da CTICM laboratuvarlarında yapılan deney sonuçlarının [74] karşılaştırılması yapılmış ve OZone program çıktılarının geçerliliği onaylanmıştır [71,72].

3.3.2. Kapalı hacim açıklığının etkisi

Kapalı hacim açıklığının yangının şiddetine ve yapı elemanlarının yangına direncine olan etkileri ile ilgili olarak, açıklık alanının değişimi, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı, açıklığın kapalı hacmin duvarı üzerindeki konumu ve açıklığın en/boy oranındaki değişimler incelenmiştir

Kapalı hacmin ve açıklığın alanı

Kapalı hacim ve açıklık alanının yangın şiddetine olan etkilerini belirlemek için 400 MJ/m² yangın yükü yoğunluğuna ve sırasıyla 20, 40 ve 60 m² taban alanına ve 2 ila 10 m² arasında açıklık alanına sahip kapalı hacimler kullanılmıştır.

Kapalı hacim ve açıklık alanları değişimlerine göre yangın şiddeti analitik yöntemlerle dakika olarak hesaplanmıştır. Farklı alana sahip her kapalı hacim için yangın şiddetine ait eşdeğer süre (t_e) ve yanma süresi (t_b) Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kapalı hacim ve açıklık alanının yangın şiddetine etkisi

Açıklık alanı (A_v) [m ²]	Kapalı hacmin taban alanı (A_f)					
	20 m ²		40 m ²		60 m ²	
	t_b	t_e	t_b	t_e	t_b	t_e
2	31,43	39,61	62,85	57,86	94,28	65,97
3	20,95	28,53	41,9	47,69	62,85	57,86
4	15,71	22,43	31,43	39,61	47,14	50,83
5	12,57	19,54	25,14	33,32	37,71	44,78
6	10,48	18,47	20,95	28,53	31,43	39,61
7	8,98	18,22	17,96	24,98	26,94	35,24
8	7,86	18,21	15,71	22,43	23,57	31,57
9	6,98	18,22	13,97	20,68	20,95	28,53
10	6,29	18,47	12,57	19,54	18,86	26,04

Çizelge 3.3’deki veriler incelendiğinde, kapalı hacmin taban alanı (A_f) sabit olarak açıklık alanı (A_v) büyüdükçe yangının şiddeti (t_e) ve yanma süresinin (t_b) azaldığı görülmektedir. Açıklık alanı ve yangın yükü yoğunluğu sabit olarak kapalı hacmin taban alanı büyüdükçe yangının şiddeti (t_e) ve yanma süresi (t_b) de artmaktadır.

Yangın şiddetinin (t_e) ve yanma süresinin (t_b) artması ya da azalmasının nedeni açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranının ($\alpha_v = A_v/A_f$) değişmesidir. Yangın yükü sabit olarak (α_v) oranına sahip farklı büyüklükteki kapalı hacimlerde (t_e) ve (t_b) değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Örnek olarak, 20 m² alana sahip hacimde 3 m² açıklık, 40 m²'lik hacimdeki 6 m² açıklık ve 60 m²'lik hacimdeki 9 m² açıklıklar aynı (A_v/A_f) oranına (0,15) sahip olarak aynı (t_b) ve (t_e) değerini vermektedir. Bundan dolayı, kapalı hacim ve açıklık alanları yerine, çalışmanın bu aşamasından itibaren açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı ($\alpha_v = A_v/A_f$) yangın şiddetine etki eden bir parametre olarak dikkate alınmaktadır.

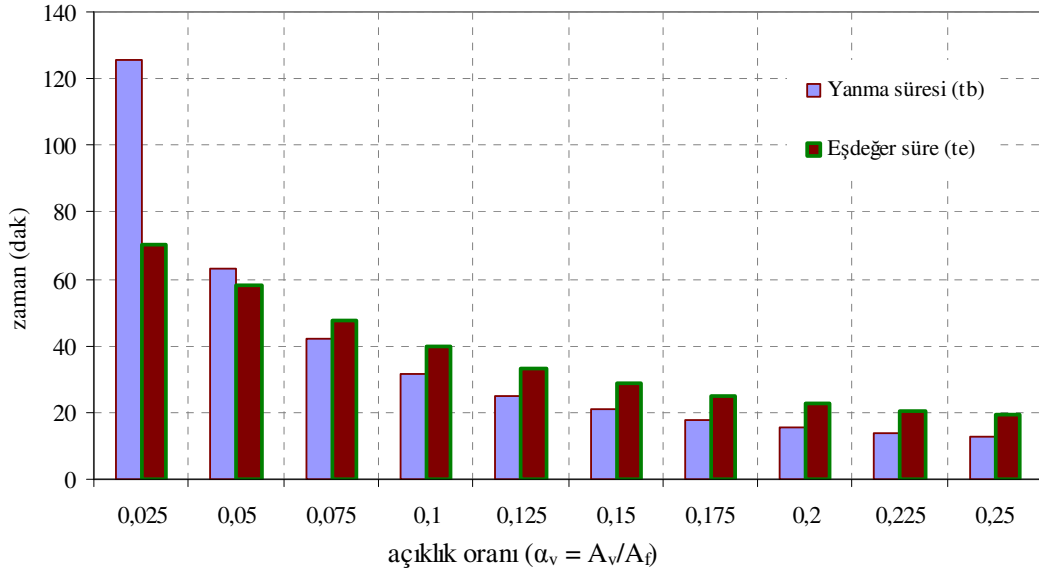
Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı

Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı ($\alpha_v = A_v/A_f$) değişiminin kapalı hacimdeki yangın şiddetine olan etkileri 40 m² alana ve 400 MJ/m² yangın yükü yoğunluğuna sahip bir kapalı hacim üzerinde analiz edilmiştir (Çizelge 3.4.).

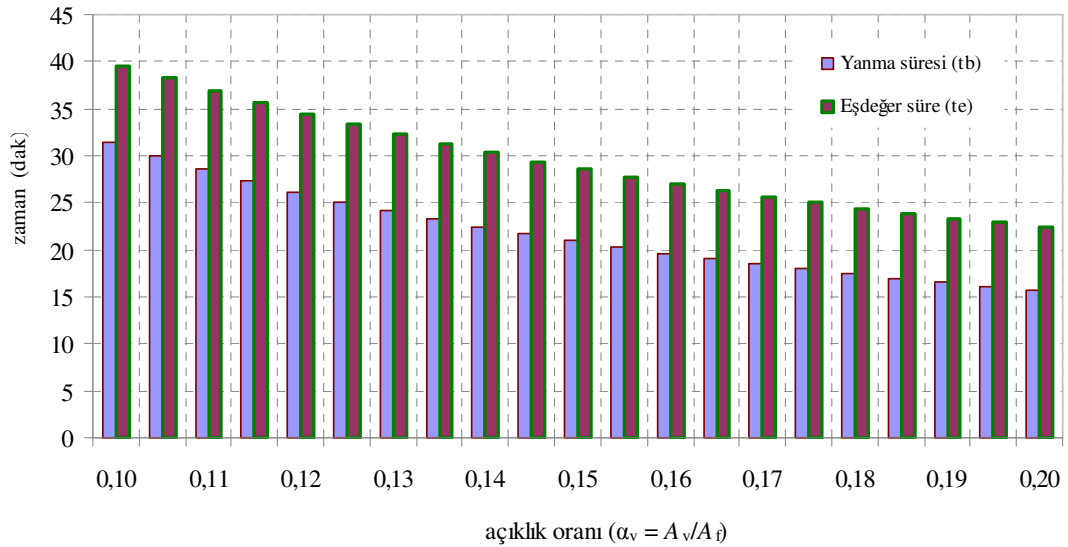
Çizelge 3.4. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin (t_e) ve (t_b)'ye etkisi

Açıklık alanı [m ²]	Açıklık alanı/ kapalı hacmin taban alanı $\alpha_v = A_v/A_f$	Yangın Şiddeti [dakika]	
		Yanma süresi (t_b)	Eşdeğer Süre (t_e)
1	0,025	125,71	70,46
2	0,050	62,85	57,86
3	0,075	41,9	47,69
4	0,100	31,43	39,61
5	0,125	25,14	33,32
6	0,150	20,95	28,53
7	0,175	17,96	24,98
8	0,200	15,71	22,43
9	0,225	13,97	20,68
10	0,250	12,57	19,54

Yangının şiddeti (t_e) ve yanma süresinin (t_b) değişimi Şekil 3.8'de grafik halinde sunulmaktadır. Söz konusu (t_e) ve (t_b) değerlerinin 0,10 ila 0,20 ($\alpha_v = A_v/A_f$) arasında değişimi Şekil 3.9'da görülmektedir. Buna göre; α_v oranı arttıkça yangının şiddeti (t_e) ve yanma süresi (t_b) azalmaktadır. Ancak yanma süresinin yangın şiddetine göre daha hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir.



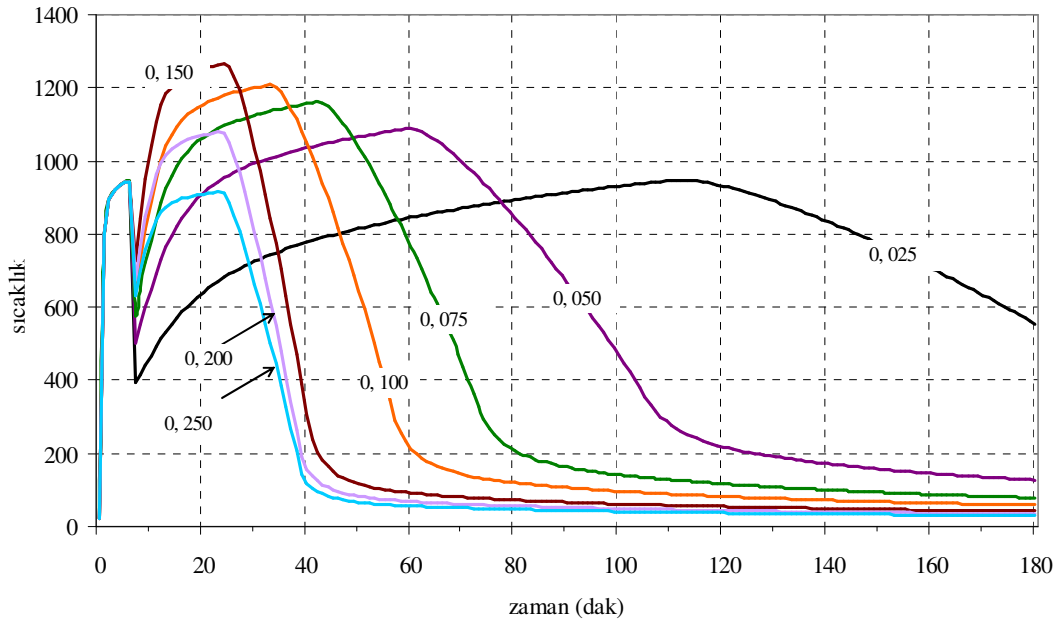
Şekil 3.8. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin (0,025-0,25) yangın şiddetine etkisi



Şekil 3.9. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin (0,10-0,20) yangın şiddetine etkisi

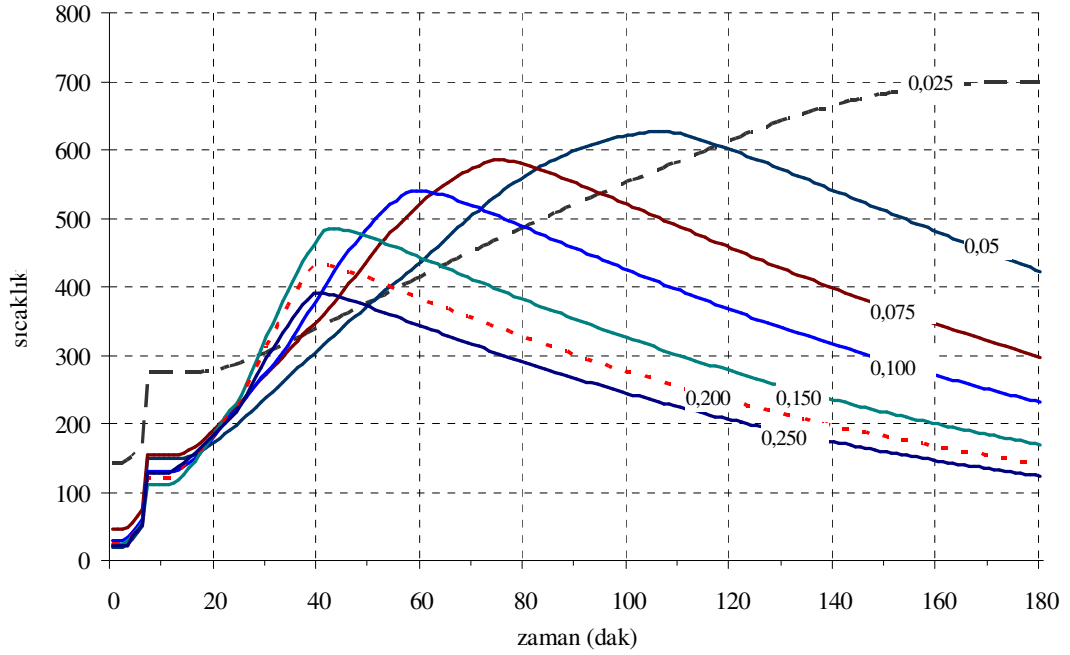
OZone programı yardımıyla, 40 m^2 taban alanına ve 400 MJ/m^2 yangın yükü yoğunluğuna sahip kapalı hacimde çıkan doğal bir yangın farklı A_v/A_f oranlarında canlandırılmıştır. Yangın sırasında, kapalı hacimdeki gaz sıcaklığı değişimi Şekil 3.10'da, örnek yapı elemanının sıcaklığı değişimi ise Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Şekillerde yer alan sıcaklık eğrileri incelendiğinde, (A_v/A_f) oranı 0,125 – 0,150

arasında kapalı hacmin gaz sıcaklığının en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Bundan daha büyük A_v/A_f oranlarında yangın sıcaklığının pik noktası düşmekte, hızlı bir yanma olmakta ve soğuma fazına çabuk geçilmektedir. A_v/A_f 'nin 0,125'den küçük oranlarında ise yangın sıcaklığının pik noktası düşmekte ve kapalı hacim sıcaklığının bu noktaya ulaşması ve sonrasında soğuma fazı süresi de artmaktadır.



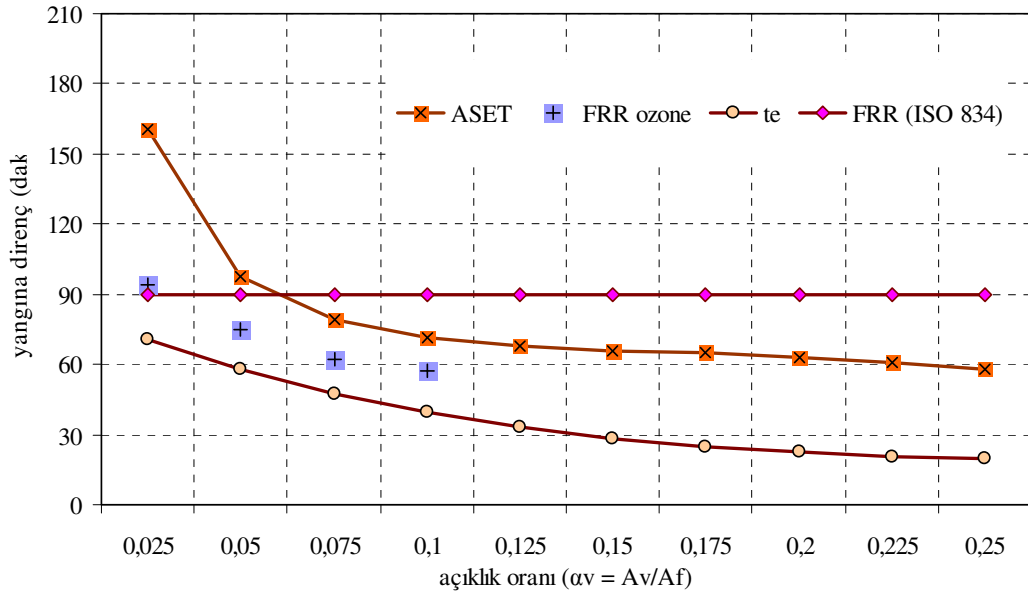
Şekil 3.10. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranının hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi

Örnek yapı elemanı olarak seçilen çelik kirişin çöküş için kritik sıcaklık olan 540 °C'ye en hızlı 0,075 ve 0,10 açıklık oranlarında ulaştığı Şekil 3.11'de yer alan sıcaklık eğrilerinde görülmektedir. Açıklık oranı küçüldükçe, yapı elemanı sıcaklığının çökme için kritik noktaya ulaşma zamanı artmaktadır. Ancak soğuma fazına da yavaş geçildiği ve sıcaklığın daha uzun sürede azaldığı görülmektedir. 0,125'den büyük A_v/A_f oranlarında ise yangın çok hızlı bir şekilde soğuma fazına geçtiğinden örnek yapı elemanı kritik sıcaklık seviyesine ulaşamamaktadır.



Şekil 3.11. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin yapı elemanının sıcaklığına etkisi

Beceren [25], çalışmasında bu durumu, kapalı hacimdeki yanan madde miktarına ve dolayısıyla yangın odası sıcaklığına etki eden açıklık alanın küçük olması durumunda içeri hava akışı sınırlandığından kapalı hacimdeki yanmanın kötüleştiği ve kapalı hacim sıcaklığının düşük kaldığı şeklinde belirtmiştir. Buna göre, aynı yakıt girişinde, eğer açıklık alanı çok küçükse yangın odasında parlama haline ulaşılmamakta ve yangın odasının üstünde yer alan üst oda sıcaklığı da burada bulunan malzemeleri tutuşturacak değere erişememektedir. Açıklık alanının büyük olması durumunda hacim içindeki sıcak gazların dışarıya akış miktarları daha büyük olmakta dolayısıyla entalpi akışı daha fazla olduğundan, hacmin üstünde yer alan tabaka sıcaklığı da daha hızlı bir şekilde düşmektedir.



Şekil 3.12. Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı değişiminin yapı elemanının yangına direncine etkisi

Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranına ($\alpha_v = A_v/A_f$) bağlı olarak örnek yapı elemanının hesaplanan gerçek yangına direnç süreleri ile yangın şiddeti (t_e) Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Buna göre;

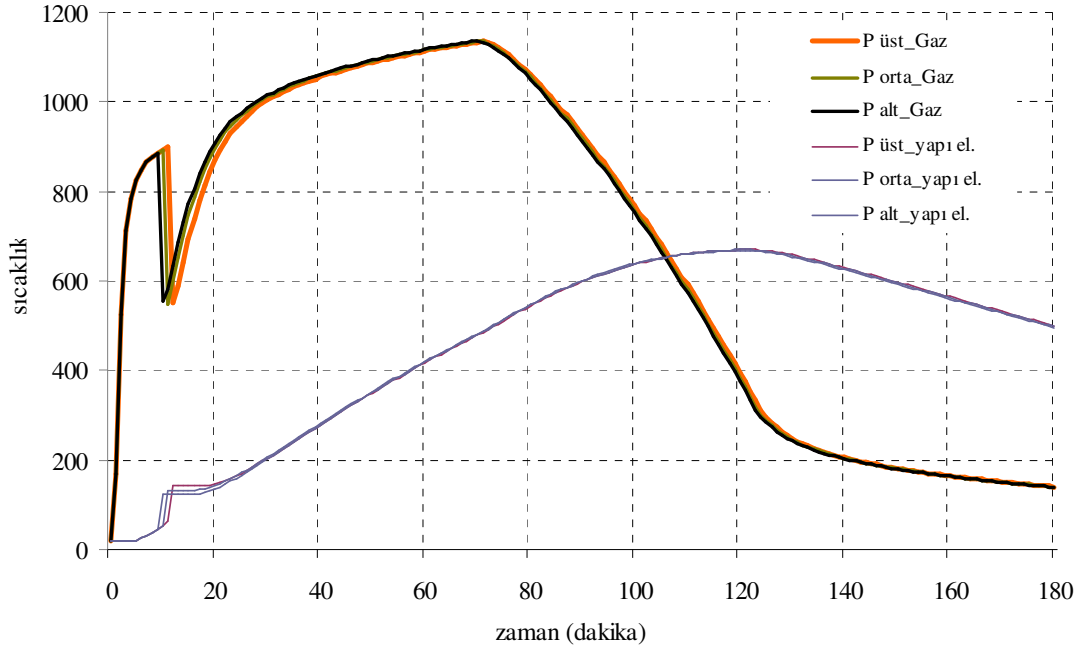
- Eşdeğer süre (t_e), A_v/A_f oranı arttıkça azalmaktadır. Yapı elemanlarının bu sürenin üstünde bir standart yangın direncine (R) sahip olması durumunda kapalı hacmin ayakta kalacağı varsayılmaktadır. Buna göre 90 dakika standart yangına direnci (R90) olan yapı elemanını, hacimdeki doğal yangın boyunca çökmeyecektir.
- OZone programı ile hesaplanan örnek yapı elemanının yangına direnci, açıklık oranının artışına bağlı azalmaktadır. Ancak A_v/A_f oranı 0,1’den itibaren kapalı hacim yangın şiddetine bağlı olarak yapı elemanın sıcaklığında çöküş için gerekli kritik sıcaklık düzeyine (yaklaşık 540 °C) ulaşılması nedeniyle her hangi bir çökme olmamaktadır (Bkz. Şekil 3.11).
- ASET yöntemine göre, standart yangına direnci 90 dakika olan örnek yapı elemanın A_v/A_f oranı arttıkça hacimdeki gerçek yangına direnç süresi azalmaktadır.
- OZone programı ile ASET yöntemi sonuçlarının, A_v/A_f ’nin 0,1 oranına kadar paralellik gösterdiği görülmektedir.

Genel olarak A_v/A_f oranı arttıkça kapalı hacim yapı elemanlarının yangına karşı direnç süresi artmaktadır. Ancak bu durum, yapı elemanının yangına karşı uzun süre direnç gösteren betonarme, kâgir gibi yapı malzemeleri olduğunda ya da yangına karşı yalıtım malzemeleriyle kutuya alma gibi yöntemlerle dirençli hale getirildiğinde geçerli olmaktadır. Çöküş için gereken kritik sıcaklık seviyesi düşük olan hafif bölme duvar gibi yapı elemanlarında açıklık oranı artışına bağlı olarak gerçek yangın dirençleri azalmaktadır. Bu nedenle A_v/A_f oranına bağlı olarak yangın şiddetinin (t_e) azalmasına rağmen ve örnek yapı elemanının kutuya alma şeklindeki yangın yalıtımından dolayı çökme olmamıştır.

Açıklığın konumu

Açıklık konumunun yangın şiddeti üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi için 4 m yüksekliğinde bir kapalı hacmin dış cephesi üzerinde yer alan 2,5 x 2,0 m boyutunda bir açıklık, üst kenarının sırasıyla kapalı hacmin tavanına bitişik olarak ($P_{üst}$), tavana 1 m uzaklıkta (P_{orta}) ve tavandan 2 m aşağıda olacak (P_{alt}) şekilde konumlandırılmıştır. Çalışmadaki analitik yöntemler, bu analizin yapılabilmesi için kullanılmadığından OZone programı yardımıyla kapalı hacimdeki gaz sıcaklığı ve yapı elemanının sıcaklık değişimleri hesaplanarak grafikler halinde Şekil 3.13’de sunulmuştur

Şekil 3.13’da görüldüğü üzere açıklıkların kapalı hacmin tavanına veya tabanına yakın konumlandırılmasının yangın şiddetine ve yapı elemanının yangın direncine olan etkileri önemsizmeyecek kadar küçüktür. Bu nedenle yangın şiddetini etkileyen parametre olarak yüzeylerdeki açıklığın düşey konumu dikkate alınmamıştır.



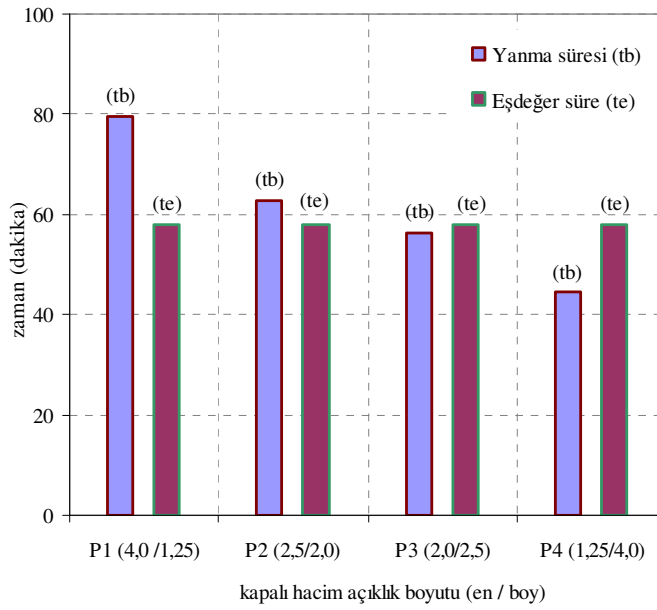
Şekil 3.13. Açıklık konumunun kapalı hacimdeki gaz ve yapı elemanı sıcaklığına etkisi

Benzer bir durum Beceren tarafından yapılan doktora çalışmasında da ortaya konmuştur. Buna göre, açıklığın kapalı hacmin dış duvarı üzerinde tavan seviyesi veya taban seviyesinde inşa edilmesi durumunda gerek yapı elemanı sıcaklığında gerekse kapalı hacim gaz sıcaklığında küçük değişimler olmaktadır. Açıklığın taban seviyesinde olması durumunda odaya sağlanan oksijen miktarının azalması ile yanan madde miktarı ve açığa çıkan enerji azalmakta fakat sıcak gazların dışarı akışının zorlaşması nedeniyle akışlar sonucunda ısı kayıpları da azalmaktadır [25].

Açıklığın boyutu

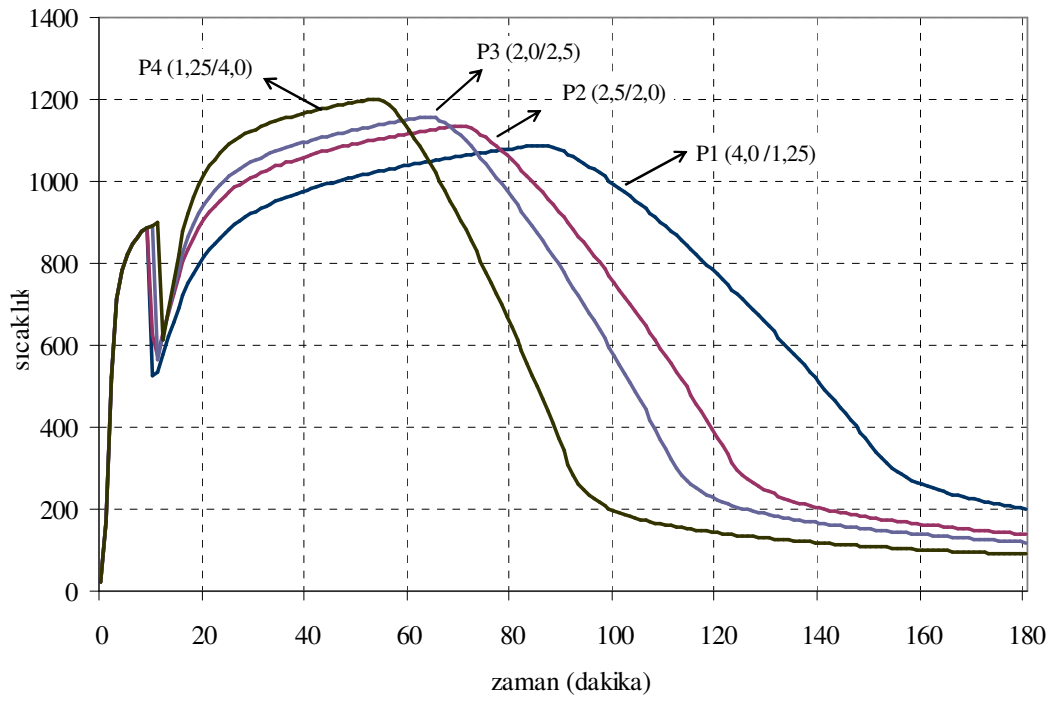
Kapalı hacme ait açıklık boyutu değişimlerinin kapalı hacmin yangın şiddeti ve yapı elemanının yangına direnci üzerindeki etkilerinin analizi için açıklık eninin (a) boyuna (b) oranı (a/b) kullanılmıştır. Açıklığın boyutunun etkisi, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı ($\alpha_v = 0,05$) olan ve 400 MJ/m^2 yangın yükü yoğunluğuna sahip bir kapalı hacim üzerinde analiz edilmiştir. Bunun için hepsi 5 m^2 alana sahip farklı boyutlarda 4 açıklık (P1, P2, P3 ve P4) belirlenmiştir. Her bir

açıklığın kapalı hacimdeki yangın şiddetine olan etkileri Şekil 3.14’de gösterilmektedir. Söz konusu şekil incelendiğinde, açıklığın en/boy’u arttıkça yanma süresinin (t_b) uzadığı görülmektedir. Ancak eşdeğer süre (t_e) açıklık boyutu değişimlerinden etkilenmemektedir.

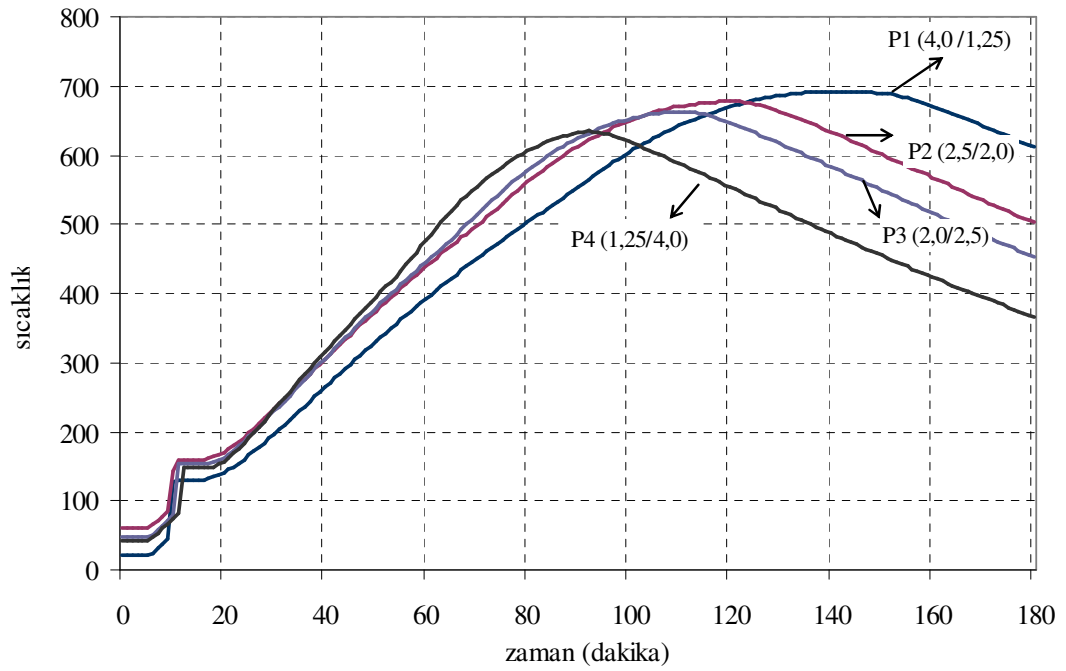


Şekil 3.14. Açıklığın en/boyu’nun yangın şiddetine etkisi

Açıklığın en/boy değişiminin kapalı hacimdeki yangın şiddetine ve örnek yapı elemanının yangın direncine etkileri OZone programı yardımıyla incelendiğinde, en/boy oranı azaldıkça yanma süresinin kısaldığı ve doğal yangın sıcaklığının pik noktaya daha çabuk ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.15, Şekil 3.16). Bunun sonucunda kritik sıcaklığa da daha kısa sürede ulaşılmaktadır.

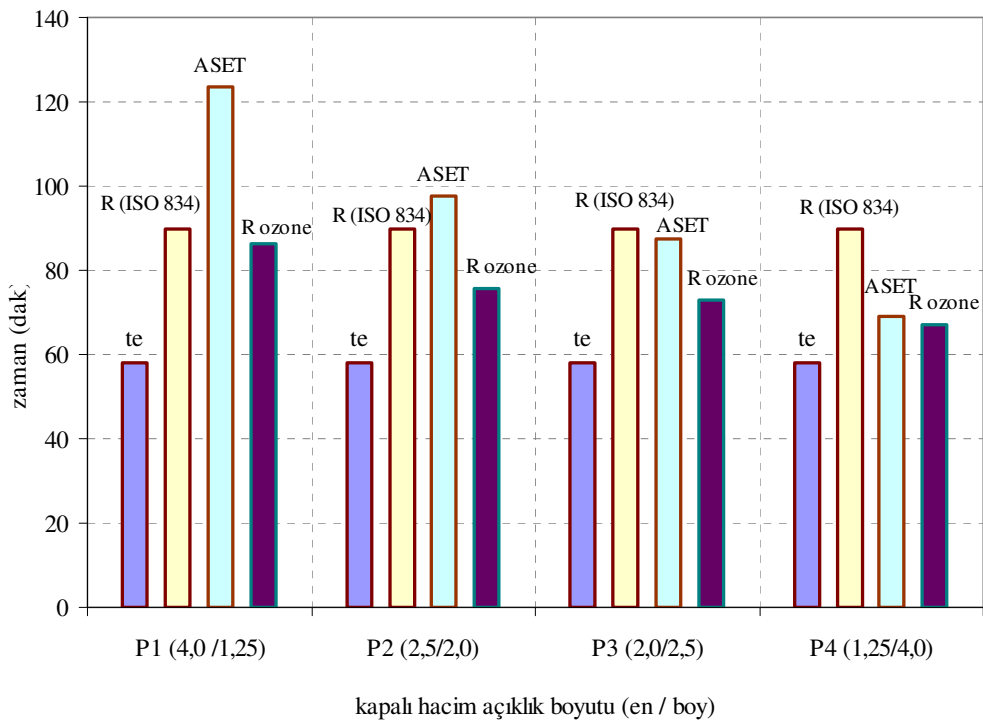


Şekil 3.15. Açıklığın en/boy'unun kapalı hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi



Şekil 3.16. Açıklığın en/boy'unun yapı elemanının sıcaklığına etkisi

Açıklığın en/boyu'nun yapı elemanlarının yangına direncine olan etkileri incelendiğinde, en/boy'unun azalması durumunda Ozone bilgisayar modeli ve ASET yöntemine göre yapı elemanının kapalı hacimdeki yangına direncinin azaldığı görülmektedir. Eşdeğer süre (t_e) eşitliği açıklık boyutu değişimlerinden etkilenmemektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Açıklığın en/boy'unun yapı elemanının yangın direncine etkisi

Açıklığın en/boy'u azaldıkça yangının şiddeti (t_e) sabit kalmasına rağmen yanma süresi kısalmakta, kapalı hacim yangının sıcaklığı pik noktasına daha çabuk ulaşmaktadır. Yapı elemanının çöküş için gerekli kritik sıcaklığı, yangının pik sıcaklığından daha düşük olduğu bir durumda erken bir çöküş olmaktadır. OZone Modeli ve ASET yönteminin sonuçları da bu durumu doğrulamaktadır.

3.3.3. Kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğunun etkisi

Farklı açıklık oranlarına sahip kapalı hacimlere ait yangın yükü yoğunluklarının değişiminin yangın şiddetine (t_e) ve yanma süresine (t_b) olan etkileri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da gösterilmektedir. Buna göre yangın yükünün artışına paralel olarak yangın şiddeti (t_b) ve yanma süresi (t_e) artmaktadır.

Çizelge 3.5. Yangın yükü yoğunluğunun eşdeğer süreye (t_e) etkisi

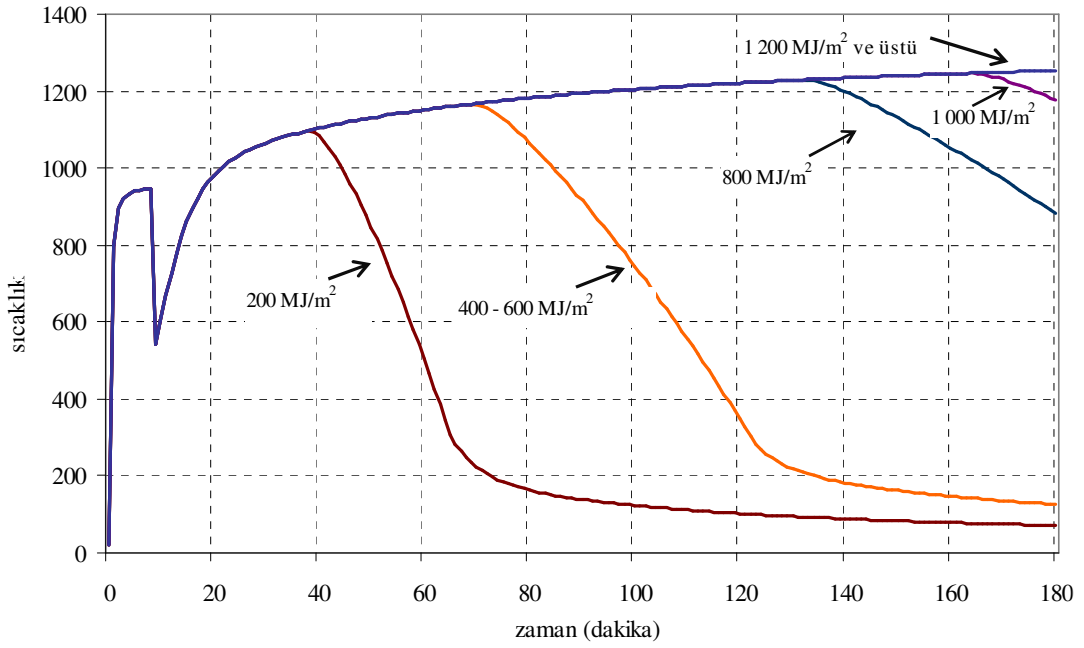
A_v [m ²]	A_f [m ²]	α_v A_v/A_f	Yangın yükü yoğunluğu [MJ/m ²]									
			200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
5	20	0,250	9,8	19,5	29,3	39,1	48,9	58,6	68,4	78,2	87,9	97,7
5	40	0,125	16,7	33,3	50,0	66,6	83,3	100,0	116,6	133,3	149,9	166,6
5	60	0,083	22,4	44,8	67,2	89,6	111,9	134,3	156,7	179,1	201,5	223,9
5	80	0,063	26,2	52,5	78,7	105,0	131,2	157,5	183,7	210,0	236,2	262,5
5	100	0,050	28,9	57,9	86,8	115,7	144,7	173,6	202,5	231,4	260,4	289,3
5	120	0,042	30,9	61,8	92,7	123,6	154,4	185,3	216,2	247,1	278,0	308,9
5	140	0,036	32,4	64,7	97,1	129,5	161,9	194,2	226,6	259,0	291,3	323,7
5	160	0,031	33,5	67,1	100,6	134,1	167,7	201,2	234,7	268,3	301,8	335,3
5	180	0,028	34,5	68,9	103,4	137,9	172,3	206,8	241,3	275,7	310,2	344,7
5	200	0,025	35,2	70,5	105,7	140,9	176,2	211,4	246,6	281,9	317,1	352,3

Çizelge 3.6. Yangın yükü yoğunluğunun yanma süresine (t_b) etkisi

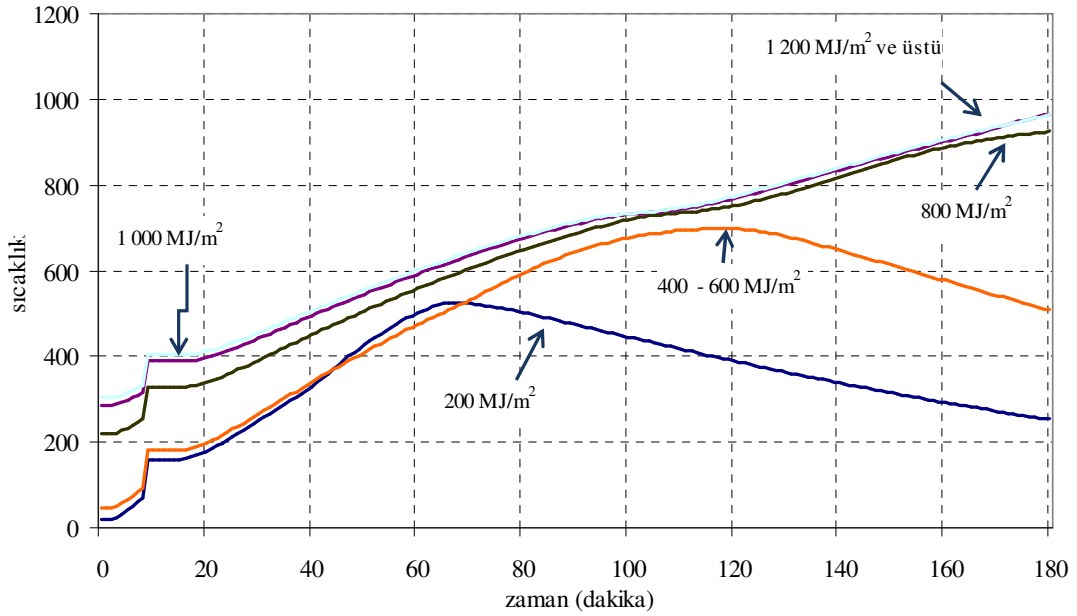
A_v [m ²]	A_f [m ²]	α_v A_v/A_f	Yangın yükü yoğunluğu [MJ/m ²]									
			200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
5	20	0,250	6,3	12,6	18,9	25,1	31,4	37,7	44,0	50,3	56,6	62,9
5	40	0,125	12,6	25,1	37,7	50,3	62,9	75,4	88,0	100,6	113,1	125,7
5	60	0,083	18,9	37,7	56,6	75,4	94,3	113,1	132,0	150,8	169,7	188,6
5	80	0,063	25,1	50,3	75,4	100,6	125,7	150,8	176,0	201,1	226,3	251,4
5	100	0,050	31,4	62,9	94,3	125,7	157,1	188,6	220,0	251,4	282,8	314,3
5	120	0,042	37,7	75,4	113,1	150,8	188,6	226,3	264,0	301,7	339,4	377,1
5	140	0,036	44,0	88,0	132,0	176,0	220,0	264,0	308,0	352,0	396,0	440,0
5	160	0,031	50,3	100,6	150,8	201,1	251,4	301,7	352,0	402,3	452,5	502,8
5	180	0,028	56,6	113,1	169,7	226,3	282,8	339,4	396,0	452,5	509,1	565,7
5	200	0,025	62,9	125,7	188,6	251,4	314,3	377,1	440,0	502,8	565,7	628,5

Kapalı hacmin ($\alpha_v=0,05$) açıklık oranında ve 100 m² taban alanına sahip olarak yangın yükü yoğunluklarının değişiminin kapalı hacimdeki gaz sıcaklığı ve örnek yapı elemanının sıcaklığına etkisi OZone programı yardımıyla analiz edilmiştir (Şekil 3.18, Şekil 3.19). Buna göre yangın yükü yoğunluklarının 400 MJ/m²'den küçük, 400-600 MJ/m² arası ve 600 MJ/m²'den büyük şeklinde öbeklendiği

görülmektedir. Yapı elemanı sıcaklığına ait 200 ile 400-600 MJ/m² eğrilerinin pik noktasına ulaşarak soğuma fazına geçişleri arasında yaklaşık 60 dakikalık bir zaman bulunmaktadır.

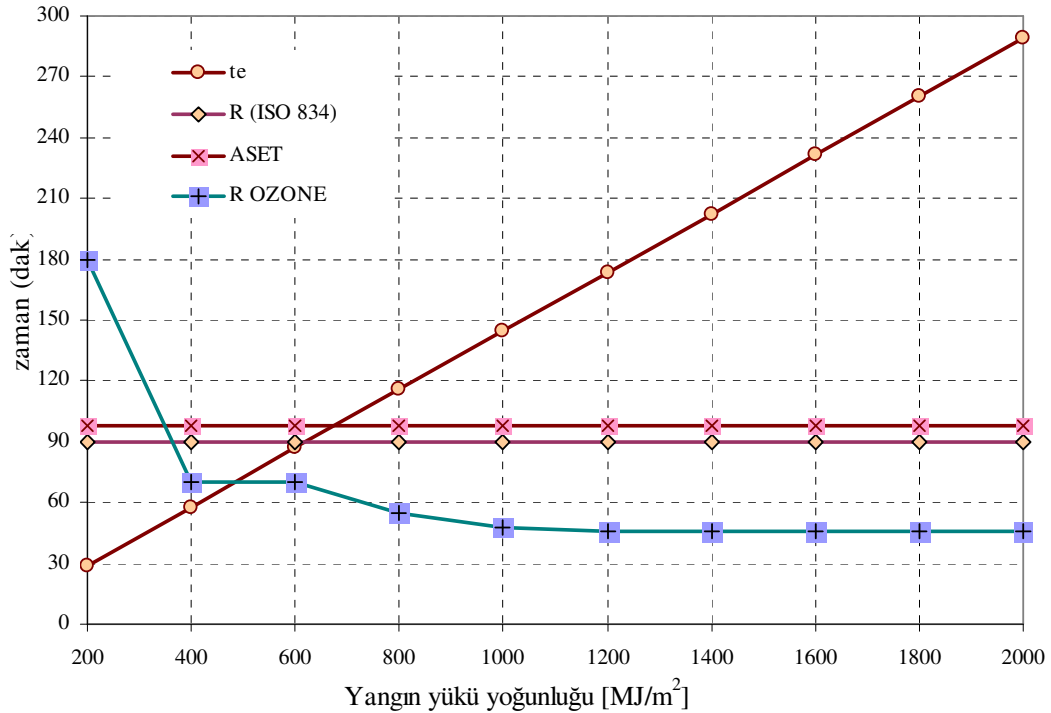


Şekil 3.18. Yangın yükü yoğunluğunun kapalı hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi



Şekil 3.19. Yangın yükü yoğunluğunun yapı elemanının sıcaklığına etkisi

Yangın yükü yoğunluğu değişiminin yapıların yangına direncine etkisi Şekil 3.20’de ortaya konmaktadır. Yapının yangın süresince ayakta kalması isteniyorsa, eşdeğer süreden (t_e) daha büyük değerlerde standart yangına direncine (R) sahip yapı elemanlarından inşa edilmesi gerekmektedir. Yapı elemanının standart yangına direnci 90 dakika (R 90) iken yaklaşık 600 MJ/m² yangın yükü yoğunluğuna kadar eşdeğer süre (t_e) değeri (R 90)’dan düşüktür. Ancak sonraki yangın yükü yoğunluklarında (t_e) değeri standart yangına direncinin üstüne çıkmıştır. Söz konusu durum OZone programına göre hesaplanan yapı elemanının yangına direnç verileri ile örtüşmekte olup yangın yükü yoğunluğunun artışına bağlı olarak yapı elemanının yangına direnci azalmaktadır. Yaklaşık 1 000 MJ/m² yangın yükü yoğunluğundan sonra da doğal yangın direnci en düşük değerine ulaşarak sabit hale gelmektedir. OZone programına göre; 400 MJ/m²’den küçük, 400-600 MJ/m² arası ve 600 MJ/m²’den büyük olmak üzere üç farklı yangına direnç seviyesinin ortaya konduğu görülmektedir. Her grup arasında yapı elemanlarının yangına direnci belli oranlarda değişmektedir.



Şekil 3.20. Yangın yükü yoğunluğunun yapı elemanının yangın direncine etkisi

Şekil 3.20'ye göre;

- Yangın yükü yoğunluğu artışı oranına bağlı olarak eşdeğer süre (t_e) artmaktadır.
- ASET yöntemi, yangın yükü yoğunluğu değişiminin etkilerini ortaya koyamamaktadır. Bu yöntemin farklı yangın yükü yoğunluğuna sahip kapalı hacimde kullanılmasının uygun olmadığı görülmektedir.
- OZone programına göre, yangın yükü yoğunluğu arttıkça yapı elemanının yangına direnci azalmaktadır. 1000 MJ/m²'den sonra yapı elemanlarının yangına direnci sabit kalmaktadır. Bu süre doğrudan yapı elemanının yangına karşı yalıtım özelliği ile ilgilidir.

Kapalı hacim yangın yükü yoğunluğunun yangın şiddetine ve yapı elemanlarının yangın direncine olan etkileri incelendiğinde, 400 MJ/m² den az, 400-600 MJ/m² arası ve 600 MJ/m²'den fazla olmak üzere 3 farklı aralıkta direnç değerlerinde değişiklikler olduğu görülmektedir. Bu nedenle, kapalı hacimlerdeki yapı elemanlarının öngörülen yangına direnç değerlerinin belirlenmesinde yangın yükü yoğunlukları olarak; 400 MJ/m²'den küçük kapalı hacimlerde 400 MJ/m², 400 - 600 MJ/m² arası kapalı hacimlerde 600 MJ/m², 600 MJ/m²'den büyük kapalı hacimlerde 1000 MJ/m² esas alınmalıdır. Benzer uygulamaların diğer ülkeler tarafından da yapıldığı görülmektedir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Kapalı hacimlerin yangın yükü yoğunluklarına göre sınıflandırılması

Ülke	Yangın yükü yoğunluklarına (MJ/m ²) göre sınıflandırma		
	1	2	3
Model	400	600	1000
İsveç [37]	200	≤ 400	> 400
Finlandiya [38]	600	600-1200	1200
Y.Zelanda [42]	400	800	1200

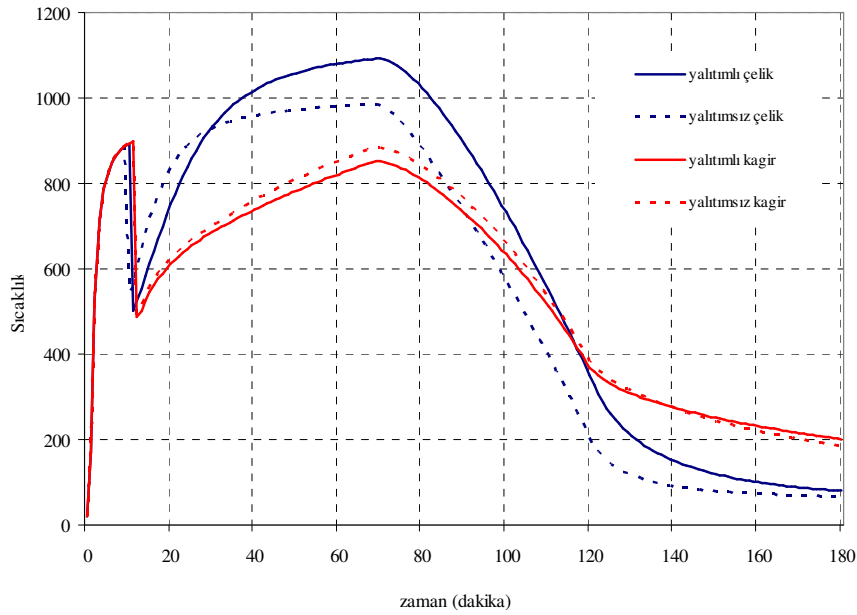
3.3.4. Kapalı hacmin yapı elemanı tiplerinin etkisi

Kapalı hacmin 400 MJ/m^2 yangın yükü yoğunluğuna ve ($\alpha_v=0,05$) açıklık oranında Çizelge 3.8’de verilen yapı tiplerinde yapılmasının kapalı hacmin ve yapı elemanının sıcaklığına olan etkisi OZone programı ile analiz edilmiştir.

Çizelge 3.8. Kapalı hacim tiplerine göre yapı elemanları

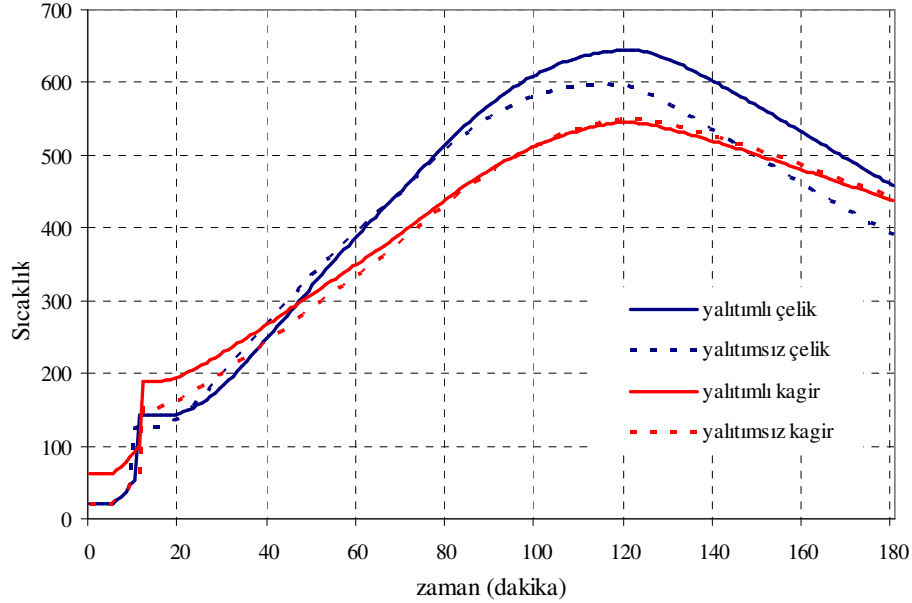
Yapı tipi	Isı yalıtımı	Taşıyıcı sistem	Dış duvar (dıştan içe)	İç duvar	Döşeme
Çelik	Var	Çelik	Çim. yonga levha taş yünü alçı panel levha	Alçı panel levha taş yünü	Kontrplak taş yünü alçı panel levha
Çelik	Yok	Çelik	Çim. yonga levha alçı panel levha	Alçı panel levha	Kontrplak alçı panel levha
Kâgir	Var	Betonarme	Tuğla duvar taş yünü sıva	Tuğla duvar	Ahşap parke betonarme döşeme sıva
Kâgir	Yok	Betonarme	Tuğla duvar sıva	Tuğla duvar	Ahşap parke betonarme döşeme sıva

Betonarme kâgir yapı tipindeki kapalı hacimlerde, çelik taşıyıcılı ve hafif bölme duvarlı kapalı hacimlere göre daha yavaş bir yanma olduğu, sıcaklığın daha düşük seviyede kaldığı ve soğuma fazının daha yavaş olduğu görülmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Kapalı hacim tiplerinin kapalı hacimdeki gaz sıcaklığına etkisi

Yapı elemanının sıcaklığında da benzer bir durum söz konusudur. Buna göre çelik taşıyıcılı ve hafif bölme duvarlı kapalı hacimde, yapı elemanlarının çöküş için kritik sıcaklığa daha kısa sürede ulaştıkları görülmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Kapalı hacim tiplerinin yapı elemanı sıcaklığına etkisi

Bu durum, çalışmada kullanılan analitik yöntemler tarafından da doğrulanmaktadır. Eurocodes eşdeğer süre eşitliğinde (Bkz. Eş. 3.10), kapalı hacim yapı tipine göre bir çevirme faktörü (Bkz. Çizelge 3.1) kullanılarak yapı tipinin yangın şiddetine ve yapı elemanın gerekli yangın direncine etkisi dikkate alınmaktadır. Örnek olarak, $A_v/A_f = 0,05$ olan, 400 MJ/m^2 yangın yükü yoğunluğunda ve 100 m^2 taban alanına sahip bir kapalı hacmin sırasıyla üç farklı yapı tipinde yapılması durumunda, kapalı hacim için eşdeğer süre ile standart yangın direnci 60 dakika olan bir yapı elemanın ASET yöntemine göre gerçek yangına direnç süresi Çizelge 3.9’da görülmektedir.

Çizelge 3.9. Kapalı hacim tipinin yangın şiddetine etkisi

Yapı malzemesi	Çevirme faktörü k_b	Eşdeğer süre t_e	ASET (R 60 için)
	[dakika.m ² /MJ]	[dakika]	[dakika]
Alçıpanel tavan ve duvar, ahşap döşemeler	0,09	80,1	42,1
Hafif beton döşeme ve tavan, alçıpanel duvarlar	0,08	71,2	47,4
Normal beton tavan ve döşeme, alçıpanel duvarlar	0,065	57,9	58,3

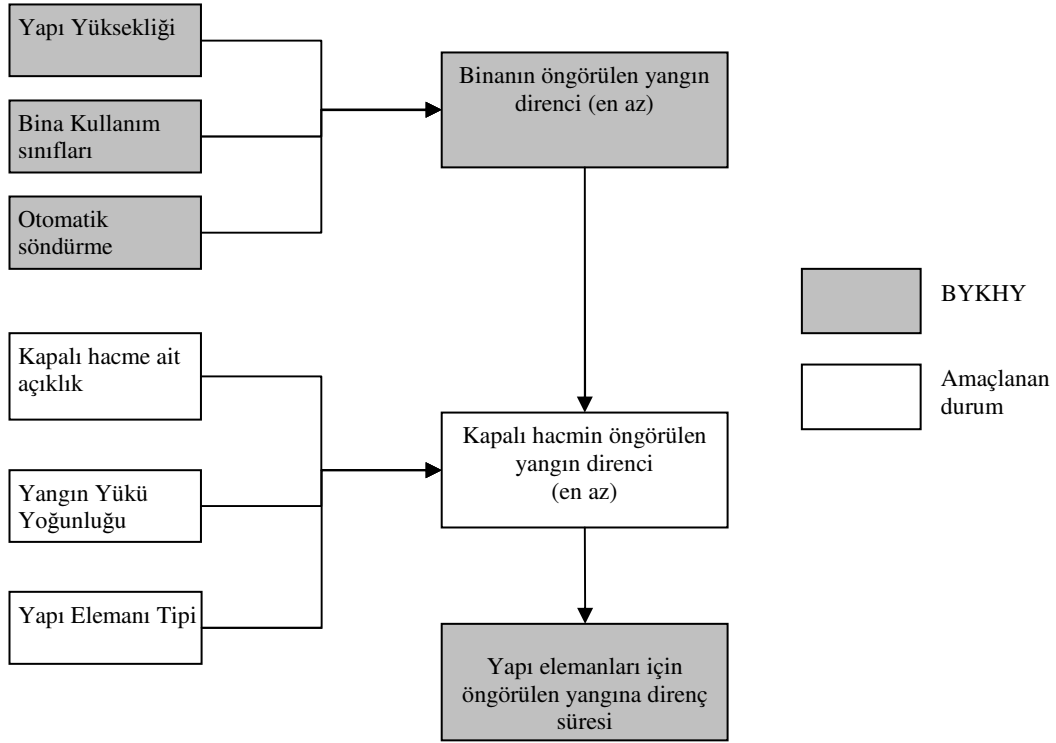
4. BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİKDE GEREKLİ YANGINA DİRENÇ SÜRELERİNİN KAPALI HACİM ÖZELLİKLERİNE GÖRE BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

Ülkemizde yürürlükte bulunan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)'e göre binaların, yangın çıkması hâlinde;

- “a) Yük taşıma kapasitesi belirli bir süre için korunabilecek,
- b) Binanın bölümleri içerisinde yangının ve dumanın genişlemesi ve yayılması sınırlandırılabilir,
- c) Yangının komşu binalara sıçraması sınırlandırılabilir,
- ç) Kullanıcıların binayı terk etmesine veya diğer yollarla kurtarılmasına imkân verecek,
- d) İtfaiye ve kurtarma ekiplerinin emniyeti göz önüne alınacak” şekilde inşa edilmesi gerekmektedir [4].

Bunun sağlanabilmesi için; “Bina taşıyıcı sistem ve elemanlarının, gerek bir bütün olarak ve gerekse her bir elemanı ile, bir yangında insanların tahliyesi veya söndürme süresinde korunmaları için yeterli bir zaman boyunca stabil kalmalarını sağlayacak şekilde hesaplanarak boyutlandırılması” zorunlu tutulmaktadır [4].

Yangın yönetmeliğinde (BYKHY) hükme dayalı bir yaklaşım sergilenmekte olup binayı oluşturan taşıyıcı sistem ve elemanlarının yangın durumunda stabil kalmaları için öngörülen yangına direnç süreleri BYKHY Ek-3’de yer alan tablolarda verilmektedir (Bkz. Ek-4). Yangın yönetmeliğinde taşıyıcı sistem ve yapı elemanları için öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesinde, binaya ait yükseklik, kullanım sınıfı ve yağmurlama sisteminin bulunup bulunmadığına ilişkin parametreler göz önüne alınmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Yapı elemanları için öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesi

Kapalı hacim ile kompartıman arasındaki ilişki

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere performansa dayalı tasarımda yapısal elemanların öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesinde, yangının çıktığı odanın ve burada çıkan yangının özellikleri dikkate alınmaktadır.

Burada öncelikle yangının çıktığı “oda” ile “kompartıman” arasındaki ayrımın yapılması gereklidir. Oda genel olarak, bina elemanları ile fiziksel olarak belirlenmiş yaşam ve aktivite içeren özel mekânlardır. Mekâna ait tanımlar değişkendir. Örneğin modern mutfaklar çoğu zaman salonun bir parçası olmakta ancak mutfak olarak adlandırılmaktadır. Burada kullanım amacından gelen sınırlamadan dolayı hacim tanımlanmıştır. Kompartıman ise binanın diğer bölümlerinden ayrılabilen özellikteki binanın bağımsız hacimleridir. Kompartımanı çevreleyen duvar ve

döşemelerde devamlı açıklıklar bulunmamaktadır. Diğer taraftan, kapı ve pencereler, kapatılabilir özelliklerinden dolayı kompartımanı çevreleyen yapı elemanlarının bir parçası olarak kabul edilebilmektedir [75].

Kompartımanlar, TS EN ISO 13943 standardında yangın bölmesi (fire compartment) olarak adlandırılmakta olup yangına belirli bir direnci olan yapı elemanları ile binanın bitişik diğer boşluklarından alt bölme olarak bölünen, ayrılan kapalı hacim olarak tanımlanmaktadır [76].

Ülkemizde konu ile ilgili yapılan akademik çalışmalarda [25,26], odalarda çıkan yangınların incelendiği ve yangın çıkan odanın “kapalı hacim” olarak adlandırıldığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında da önceki çalışmalarla sürekliliğin sağlanması için binayı oluşturan ve yangın çıkan oda için kapalı hacim tanımı kullanılmaktadır.

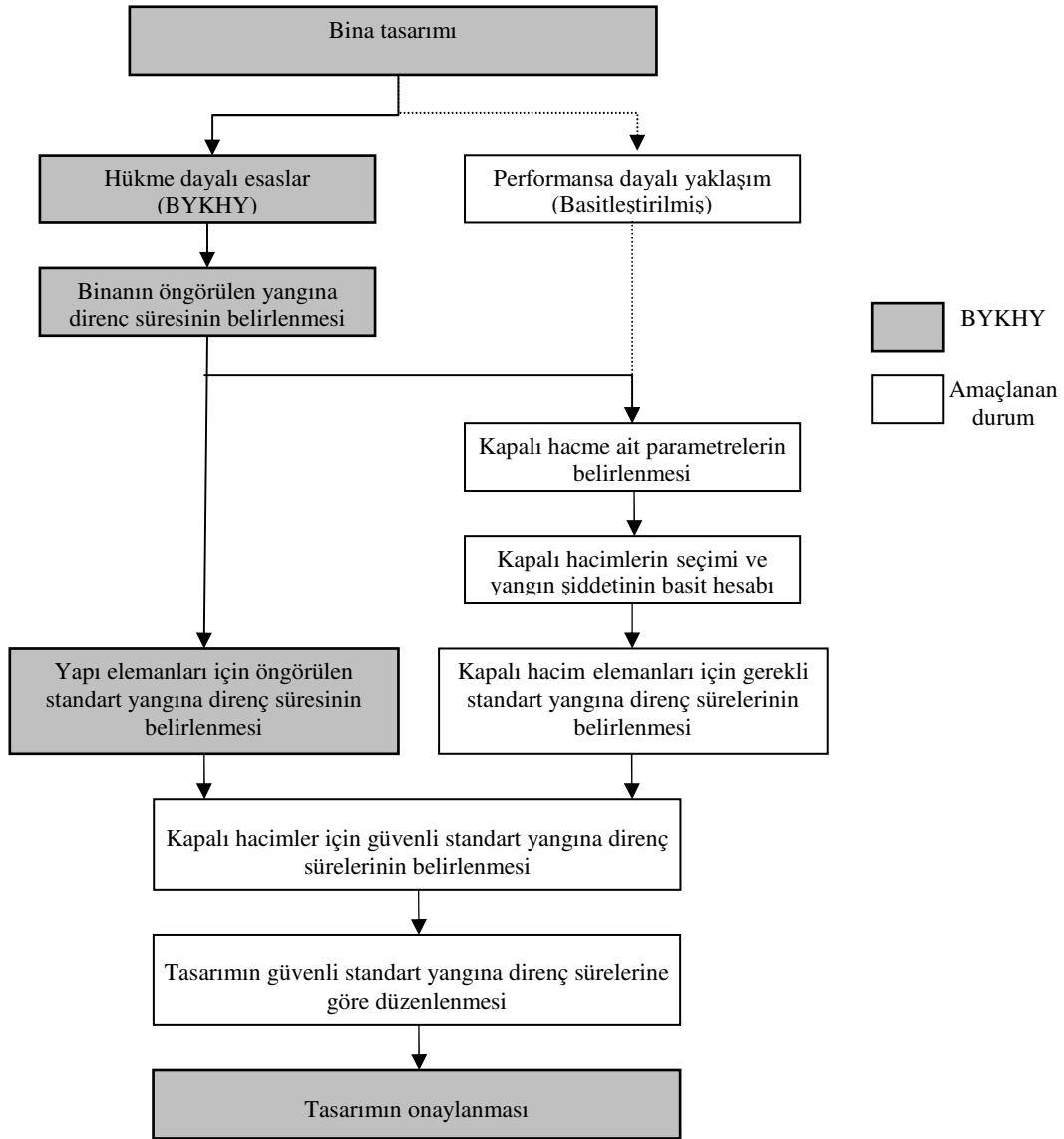
BYKHY [4]’te binanın kompartımanlara bölünmesi öngörülmektedir. Yönetmelikte, kompartıman, bina içerisinde, tavan ve taban döşemesi dâhil olmak üzere, her yanı en az 60 dakika yangına karşı dirençli yapı elemanları ile duman ve ısı geçirmez alanlara ayrılmış bölge olarak tanımlanmaktadır. Kompartıman alanları için kesin bir düzenleme bulunmamaktadır. Ancak, konaklama ve toplanma amaçlı binalarda, güvenli kaçışın sağlanabilmesi ve yangın yayılımının sınırlandırılması için kompartımanların oluşturulması ile yüksek yangın tehlikesi olan yerlerin duvar ve döşemelerinin de kompartıman duvarı özelliğinde olması istenmektedir. Binalardaki kompartımanlara ait en fazla alanlar ise BYKHY Ek-4’de gösterilmektedir. Yönetmelikteki yapısal yangın tasarımında, kompartıman ve kompartımanın içinde yer alan kapalı hacimlerin özellikleri ve buralarda çıkan yangın koşulları dikkate alınmamakta ve kapalı hacimlerdeki yangın şiddetlerine göre binayı kompartımanlara ayırma konusunda tasarımcıya bir yol gösterilmemektedir.

4.1. Modelin Amacı ve Kapsamı

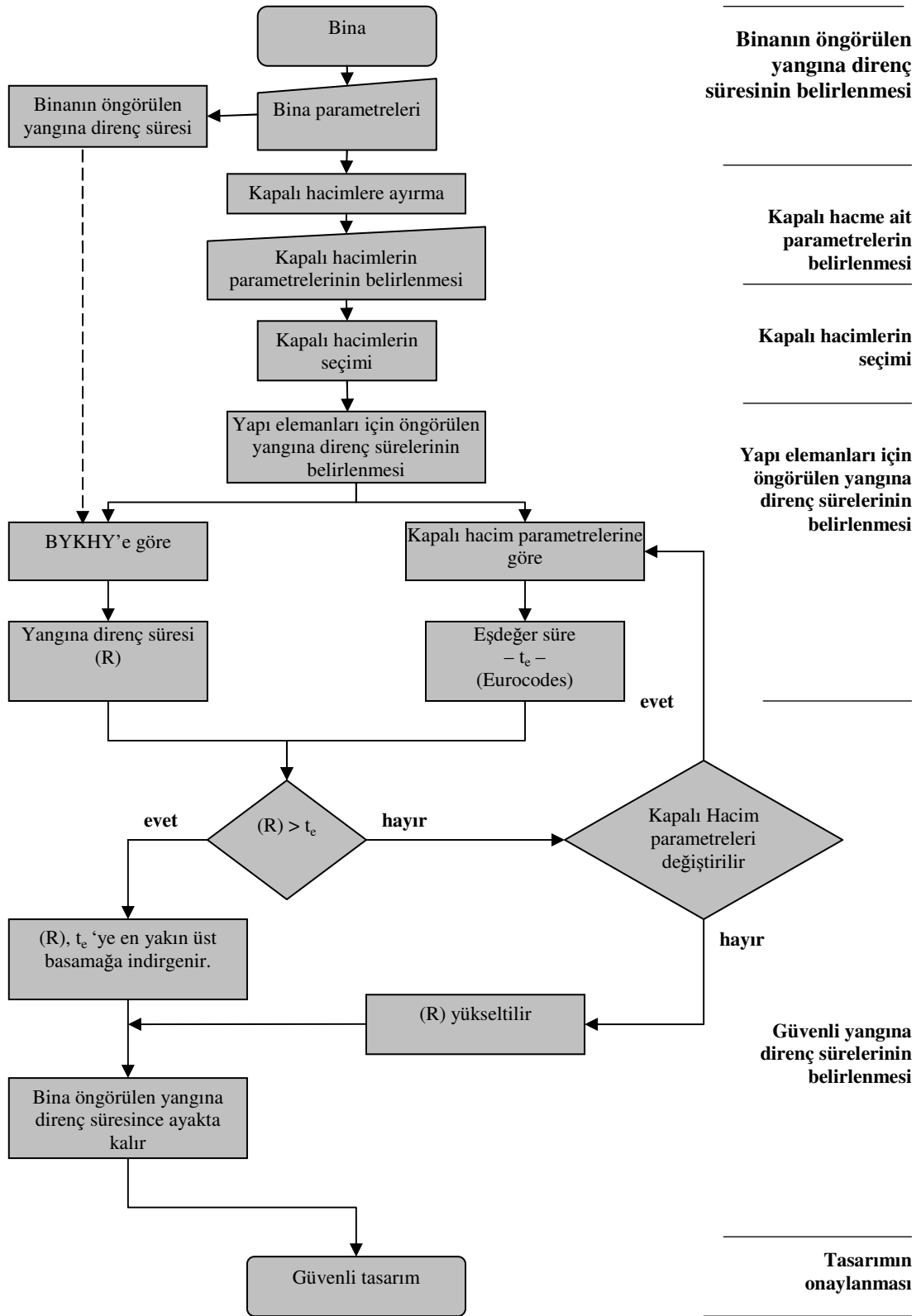
Kapalı hacimdeki bir yangın durumunda yapı elemanları, standart yangına göre öngörülen yangına direnç değerini sağlayamamakta ve beklenenden daha kısa sürede stabilitesini yitirebilmekte veya verilen değer, ihtiyacın çok üstünde kalabilmektedir [77,78]. Bu nedenle yapı elemanlarının yangına direnç süreleri belirlenirken, kapalı hacimde çıkan bir yangında da gerçek yangına direncinin, öngörülen yangına direnç sürelerini karşılamaları sağlanmalıdır. Bunun için yapı elemanlarının öngörülen standart yangına direnç performanslarının belirlenmesinde, bulundukları kapalı hacmin özelliklerinin de dikkate alınması gereklidir (Bkz. Şekil 4.1).

Bu bölümde, BYKHY hükümleri bağlamında yapı elemanlarının, bir yangın durumunda bulundukları kapalı hacim özellikleri de dikkate alınarak öngörülen süre boyunca stabil kalmalarını sağlayacak şekilde boyutlandırılmaları için gerekli standart yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik olarak bir model önerilmiştir (Şekil 4.2). Model hükme dayalı BYKHY'in yapısal yangına direnç tasarımında performansa dayalı bir yaklaşım içermesini sağlamaktadır.

Modelin tasarımcı tarafından BYKHY'e göre bina için öngörülen yangına direnç süresinin kapalı hacimlerdeki yapısal elemanlar için yeterliliğinin değerlendirilmesine yönelik bir yöntem olarak ve kapalı hacimlerdeki yangın şiddetleri doğrultusunda binanın kompartımanlara ayrılması için bir araç olarak kullanılması amaçlanmaktadır.



Şekil 4.2. Yapı elemanları için öngörülen yangına direnc sürelerinin belirlenmesine yönelik model



Şekil 4.3. Modelin akış diyagramı

4.2. Modelin Aşamaları

Tasarım aşamasında kapalı hacim özellikleri dikkate alınarak yapı elemanları için gerekli standart yangına direnç değerlerinin belirlenmesine yönelik modelin akış diyagramı Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Modelde, yapısal yangın güvenliği yönünden güvenli binaların tasarımında BYKHY'de öngörülen yangına direnç sürelerinin geçerliliği kapalı hacim bazında sorgulanmaktadır. Yüksek yangın direnci gereken şiddetli yangın tehlikesine sahip kapalı hacimler belirlenerek yangın şiddetinin düşürülmesi ya da öngörülen yangına direnç süresinin artırılması gibi iyileştirmeler veya yangın yükü düşük olan bölümlerde yangına direnç süresinin azaltılması önerilmektedir. Bu amaçla hazırlanan modelin binalara uygulanması toplam altı aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır.

Birinci aşama: Binanın öngörülen yangına direnç süresinin belirlenmesi

Binaya ilişkin olarak BYKHY Ek-3/C'ye (Bkz. Ek-4) göre bina için öngörülen yangına direnç süresi (R) hükme dayalı olarak bulunmaktadır. Bunun için, öncelikle binaya ilişkin parametreler belirlenmelidir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Binaya ilişkin parametreler

Yapı yüksekliği	Bodrum kat(lar)ın derinliği [m]	(....)
	Zemin üstü kat(lar)ın yüksekliği [m]	(....)
Yağmurlama sistemi	Var	☐
	Yok	☐
Bina kullanım sınıfı	Konutlar	☐
	Konaklama amaçlı binalar	☐
	Kurumsal binalar	☐
	Büro binalar	☐
	Ticaret amaçlı binalar	☐
	Endüstriyel yapılar,	☐
	Toplanma amaçlı binalar,	☐
	Depolama amaçlı tesisler	☐

İkinci aşama: Kapalı hacim parametrelerinin belirlenmesi

Bina, yangının çıkabileceği en küçük bölmeler olarak kapalı hacimlere bölünmektedir. Bunun için öncelikle katlara, katlarda kapalı hacimlere ayrılmaktadır. Daha sonra, kapalı hacimlere ait Çizelge 4.2’de yer alan parametreler belirlenmektedir. Ancak, yatakhane, derslik, otel odası gibi birbirini tekrar eden benzer hacimler için tek bir kapalı hacmin dikkate alınması yeterli olmakta, farklı her hacim için parametrelerin belirlenmesi işlemi tekrarlanmaktadır.

Çizelge 4.2. Kapalı hacim parametrelerinin belirlenmesi

Kapalı Hacim Parametreleri			
Açıklık	Açıklık genişliği [m]	a	(....)
	Açıklık yüksekliği [m]	b	(....)
	Açıklık en /boy oranı	a/b	(....)
	Açıklık alanı [m ²]	$A_v = a \times b$	(....)
Kapalı Hacim	Taban alanı [m ²]	A_f	(....)
	Yüksekliği [m]	H	(....)
Açıklık alanı / Kapalı hacmin taban alanı		A_v / A_f	(....)
Kapalı hacim yangın yükü yoğunluğu [MJ/m ²]		e_f	(....)
Kapalı hacim yapı tipi	Betonarme, kâgir		☐
	Hafif betonarme tavan döşeme, alçı panel duvarlar		☐
	Hafif taşıyıcı yapı elemanlı ve bölme duvarlı		☐

Üçüncü aşama: Kapalı hacim seçimi

Çalışmanın üçüncü bölümünde kapalı hacim parametrelerinin yangın şiddetine etkileri incelenmiş ve yangın şiddetini artıran parametre değerleri belirlenmiştir. Buna göre, yapı elemanlarının öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesi için aşağıdaki ölçütleri sağlayan yangın şiddeti yüksek kapalı hacimler seçilecektir:

- Açıklık alanı / kapalı hacmin taban alanı (A_v / A_f) benzer olanlardan birer kapalı hacim,
- Açıklık alanı / kapalı hacmin taban alanı (A_v / A_f) $\leq 0,20$ olan kapalı hacimler,
- Yangın yükü yoğunluğu $\geq 600 \text{ MJ/m}^2$ olan kapalı hacimler,

- Öncelikle hafif yapı elemanları ile yangına karşı yalıtımsız yapı elemanlarına sahip kapalı hacimler.

Dördüncü aşama: Yapı elemanları için öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesi

Seçilen kapalı hacimlere ait yapı elemanlarının öngörülen standart yangına direnç süreleri hükme dayalı olarak BYKHY'den ve performansa dayalı olarak kapalı hacim parametrelerine göre eşdeğer süreden (Eş. 3.10) belirlenecektir.

a) BYKHY'e göre öngörülen yangına direnç süresi

Kapalı hacme ait yapı elemanlarının öngörülen standart yangına direnç süreleri (R), hükme dayalı olarak BYKHY Ek-3/B'ye göre belirlenmektedir (Bkz. Ek-4). Binanın zemin üstü ve alt kısımları için ayrı ayrı yangına direnç süreleri öngörülmektedir.

b) Kapalı hacim parametrelerine göre öngörülen standart yangına direnç süresi (Eşdeğer süre)

Kapalı hacim parametrelerine göre yapı elemanlarının yangın boyunca ayakta kalması gereken yangına direnç süreleri, Eurocode'da yer alan eşdeğer süre t_e (Eş. 3.10) ile belirlenmektedir [47]. Söz konusu eşitliğe göre bulunan süreler, BYKHY'de dikkate alınan standart bir yangın durumuna karşı yapı elemanının gösterdiği direnç süresi olarak kabul edilmektedir.

$$t_e = e_f k_b w_f \quad (3.10)$$

Burada;

e_f : Yangın yükü yoğunluğu (MJ/m²)

k_b : Çevirme faktörü (dakika.m²/MJ)

w_f : Havalandırma faktörü

Bu hesaplamada kullanılan yangın yükü yoğunluğu değeri ulusal yangın yükü sınıflandırmasından ve/veya bir yangın yük incelemesi yapılarak bağımsız bir proje

için elde edilen özel değerden belirlenebilmektedir [47]. BYKHY’de yangın yükü yoğunluğuna göre kapalı hacimlere ait herhangi bir değer ve sınıflandırma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, modelde kullanılmak üzere çeşitli ülkelerin yönetmeliklerinden yararlanılarak, tezin üçüncü bölümünde ortaya konulan sınıflandırılmaya uygun olarak kapalı hacim yangın yükü yoğunlukları belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Ayrıca, kapalı hacimlerin yangın yükü yoğunluğunun belirlenmesine ait Eurocode’da yer alan yöntem Ek-2’de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Çizelge 4.3. Kapalı hacimlere ait varsayılan yangın yükü yoğunlukları

Bina tipi	Kapalı hacmin kullanım amacı	Yangın yükü yoğunluğu [MJ/m ²]			
		Japonya[43]	Finlandiya[38]	BYKHY[4]	Model
Konutlar	Yatak odaları	240	---	----	400
	Diğer odalar	720	< 600	----	600
Konaklama amaçlı binalar	Oteller, misafirhane, yurtlar	---	< 600	---	600
Kurumsal binalar	Eğitim tesisleri (Sınıflar)	400	< 600	---	600
	Sağlık hizmeti	---	< 600	---	600
	Tutukevi, cezaevi ve ıslahevi	---	< 600	---	400 (EN 12845)
Büro binaları	Ofis	560	---	---	600
	Toplantı odaları	160	---	---	400
Ticaret amaçlı binalar	Mobilya mağazası, kitap	960	---	---	1000
	Diğer	480	---	---	600
Endüstriyel yapılar	Oto tamir	---	600 < x < 1200	---	1000
Toplanma amaçlı binalar	Kafeterya	240	< 600	---	600
	Yeme ve içme tesisleri	480	< 600	---	600
	Kütüphaneler	---	600 < x < 12100	---	1000
	Tiyatro, sinema	400-480	< 600	---	600
	Müzeler ve sergi yerleri	240	---	---	400
	İbadethaneler	---	< 600	---	400
	Spor alanları	80	< 600	---	400
Depolama amaçlı tesisler	Depolar vb. yerler	2000	> 1200	---	1000
	Otoparklar	240	< 600	---	400

Hesaplama da kullanılan çevirme faktörü kapalı hacmin yapı tipine göre belirlenmektedir. Buna göre modelde kullanılan kapalı hacim yapı tipleri için çevirme faktörü Çizelge 4.4’de verilmektedir. Kapalı hacim yapı elemanlarının ısı özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmediği durumlarda çevirme faktörü (k_b) 0,07 olarak alınmaktadır [47].

Çizelge 4.4. Kapalı hacim yapı tipleri için çevirme faktörü

Kapalı hacim yapı tipi	k_b [dakika.m ² /MJ]
Betonarme, kâgir	0,065
Hafif betonarme tavan döşeme, alçı panel duvarlar	0,08
Hafif taşıyıcılı yapı elemanlı ve bölme duvarlı	0,09

Bu çalışma, tavanında açıklık bulunmayan kapalı hacimler ile sınırlandırılmıştır. Kapalı hacmin tavanında yatay açıklık bulunmadığı için, havalandırma faktörünün hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik (Eş. 3.16) kullanılmaktadır.

$$w_f = \left(\frac{6,0}{H} \right)^{0,3} [0,62 + 90(0,4 - \alpha_v)^4] > 0,5 \quad (3.16)$$

$$\alpha_v = A_v/A_f \quad 0,025 \leq \alpha_v < 0,25 \quad (3.12)$$

Burada;

H : Kapalı hacmin yüksekliği (m)

A_v : Açıklıkların alanı (m²)

A_f : Döşeme alanı (m²)

Beşinci aşama: Güvenli yangına direnç sürelerinin belirlenmesi

Güvenli standart yangına direnç sürelerinin belirlenmesi için, kapalı hacimdeki yapı elemanlarının BYKHY'e göre öngörülen süre (R) ile kapalı hacim parametrelerine göre öngörülen süre (eşdeğer süre t_e) karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda aşağıdaki iki durum ortaya çıkmaktadır.

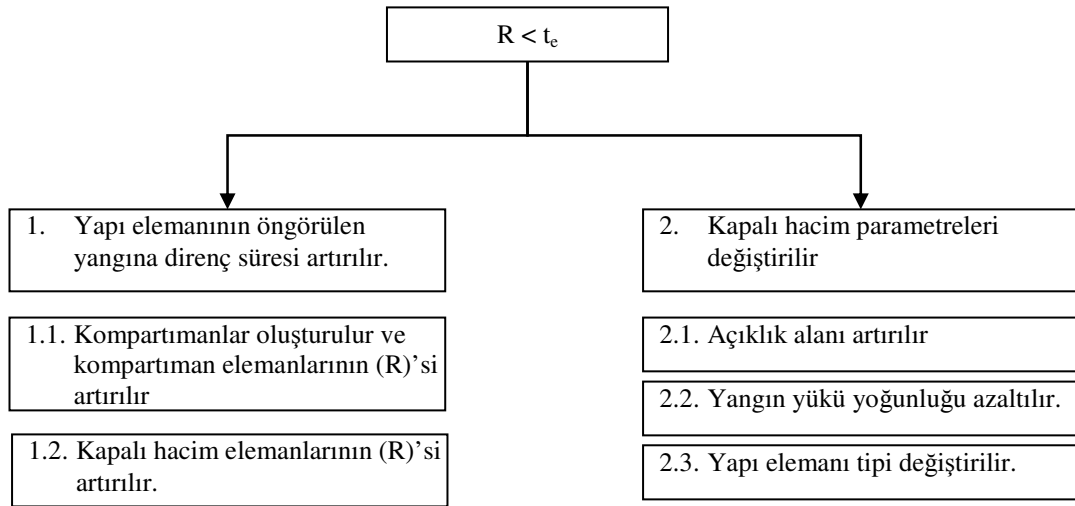
1) $(R) \geq (t_e)$ durumu

BYKHY'e göre yapı elemanları için öngörülen yangına direnç süresinin kapalı hacimde çıkan yangın durumunda yeterli olacağı ve kapalı hacmin istenen yangına direnç süresi boyunca ayakta kalacağı varsayılmaktadır. Bu durumda BYKHY'de

öngörülen standart yangına direnç süreleri (R), eşdeğer süreden (t_e) az olmayacak şekilde azaltılabilmektedir.

11) (R) < (t_e) durumu

Kapalı hacimde çıkan doğal bir yangında yapı elemanının yangın süresi boyunca ayakta kalamayacağı ve çökeceği varsayılmaktadır. Bu durumda kapalı hacim yapısal yangına direnç tasarımı için Şekil 4.4’de verilen çözümler önerilmektedir.



Şekil 4.4. Güvenli yangına direnç sürelerinin belirlenmesi.

Şekil 4.4’de verilen çözüm yollarından hangisi ya da hangilerinin izleneceği, kapalı hacim özelliklerine göre tasarımcı tarafından belirlenmektedir. Tasarımcı, yalnızca kapalı hacimdeki yapı elemanlarının yangına direnç sürelerinin artırılması yolunu seçerse, öncelikle benzer kapalı hacimler bir araya getirilerek kompartımanlar oluşturulmakta ve kompartımanı çevreleyen yapı elemanlarının standart yangına direnç derecesi (R) artırılmaktadır. Bunun sağlanamadığı durumlarda ise, ilgili kapalı hacme ait yapı elemanlarının öngörülen standart yangına direnç süresi (R) artırılmaktadır.

Tasarımcı, kapalı hacim parametrelerini değiştirerek $R \geq (t_e)$ durumunun sağlanması yolunu da seçebilmektedir. Bu durumda, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranının (A_v / A_f) artırılması, yangın yükü yoğunluğunun azaltılması (hacmin kullanım amacının değiştirilmesi) ve yapı elemanı tiplerinin değiştirilmesi parametrelerinden bir ve birkaçı kullanılarak $R \geq (t_e)$ durumu sağlanabilmektedir.

Altıncı aşama: Tasarımın onaylanması

Yapı elemanlarının BYKHY’de belirlenen süreler boyunca stabil kalmasını sağlayacak şekilde boyutlandırılması için beşinci aşamadaki işlemler ve belirlenen süreler doğrultusunda, bina için yapısal yangın tasarımı ortaya konmaktadır. Bu kapsamda izlenen yol Çizelge 4.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Bina için yapısal yangına direnç tasarım düzenlemeleri

Temel alınan	Yapılan düzenlemeler		
BYKHY	Bina için öngörülen yangına direnç süresi belirlenir		
	Yapı elemanları için öngörülen yangına direnç süresi belirlenir		
Kapalı hacim parametreleri	Yangına direnç düzenlemesi		Yapısal düzenleme
	Kapalı hacmin yangın şiddeti yüksek	Yangın şiddeti düşürülür	Kapalı hacme ait yapı elemanları için yangına direnç süresi belirlenir
		Öngörülen yangına direnç süresi artırılır	Benzer kapalı hacimler bir araya getirilerek kompartımanlar oluşturulur
			Kompartımanları çevreleyen yapı elemanları için öngörülen yangına direnç süreleri belirlenir
	Kapalı hacmin yangın şiddeti düşük	Öngörülen yangına direnç süresi azaltılır	Kapalı hacme ait yapı elemanları için yangına direnç süresi belirlenir

4.3. Modelin Örnek Bina Aracılığı ile Sınanması

Ortaya konan model örnek binaya uygulanmıştır. Modele göre elde edilen yapısal yangına direnç tasarım sonuçları BYKHY'in hükme dayalı kurallarına göre yapılan tasarım ile karşılaştırılmıştır.

4.3.1. Modelin örnek bir binaya uygulanması

Modelin uygulandığı örnek bina bir araştırma ve uygulama hastanesi olup BYKHY'e göre kurumsal binalar sınıfına girmektedir. İlgili bina parametreleri doğrultusunda (Çizelge 4.6), BYKHY Ek-3/C'ye göre binanın 60 dakika boyunca yangına direnç göstermesi öngörülmektedir. Bu süre aynı zamanda bina için gerekli olan güvenli boşaltım süresi (RSET) olmaktadır.

Çizelge 4.6. Örnek bina parametreleri

Yapı yüksekliği	Bodrum kat(lar)ın derinliği [m]	4,00
	Zemin üstü kat(lar)ın yüksekliği [m]	20,13
Yağmurlama sistemi	Var	☐
	Yok	☒
Bina kullanım sınıfı	Konutlar,	☐
	Konaklama amaçlı binalar	☐
	Kurumsal binalar	☒
	Büro binalar	☐
	Ticaret amaçlı binalar	☐
	Endüstriyel yapılar,	☐
	Toplanma amaçlı binalar,	☐
	Depolama amaçlı tesisler	☐

Bina düşeyde katlara, her kat kendi içinde kapalı hacimlere ayrılmıştır (Çizelge 4.7). Analiz yapmak için bina katlarında kullanım sınıfı, açıklık oranı ve konum dikkate alınarak farklı hacimler seçilmiş, benzer özelliklere sahip hacimler için tek bir hacim belirlenmiştir. Sırasıyla farklı her kapalı hacme ait parametre değerleri bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4.8).

Çizelge 4.7. Örnek binayı kapalı hacimlere ayırma

Düşey	Yatay
3. kat :	61 adet kapalı hacim
2. kat :	64 adet kapalı hacim
1.kat	61 adet kapalı hacim
Zemin kat :	54 adet kapalı hacim

İncelenen kapalı hacimlerin tamamına yakının parametre değerleri, modelde yüksek yangın şiddeti için belirlenen değerlerin üstünde olduğu görülmektedir. Bu nedenle Çizelge 4.8’de yer alan kapalı hacimlerin tamamının yangın şiddeti hesaplanarak kapalı hacim parametrelerine göre öngörülen yangına direnç süresi bulunmuştur (Bkz. Çizelge 4.9).

Kapalı hacimlerde çıkan bir yangın boyunca kapalı hacmin ayakta kalması için, BYKHY’e göre öngörülen standart yangın direncinin (R), parametrik verilere göre belirlenen eşdeğer süreden (t_e)’den büyük olması gereklidir. Kapalı hacmin öngörülen yangına direnci(R)’nin eşdeğer süreden (t_e) küçük olduğu durumlarda, yangının şiddeti sonucunda kapalı hacmin çökeceği varsayılmaktadır. Buna göre, bir yangın durumunda, kapalı hacimde yer alan yapısal elemanlar yangına karşı dirençlerini yitirecek, alev ve duman diğer kapalı hacimlere yayılacaktır.

Çizelge 4.8’de $R < t_e$ olan kapalı hacimlerin ve benzer özellikle olanların katlara göre dağılımı Ek-5’de gösterilmektedir. Söz konusu kapalı hacimler için parametreleri değiştirilerek $R \geq (t_e)$ durumu sağlananlar Çizelge 4.10’da belirtilmektedir. Bunun için örnek binanın zemin katında, kapalı hacimlerin açıklığının artırılması için zemin seviyesi altında kalan dış duvarlar için kuranglez oluşturulması önerilmektedir. Bir arada bulunan yangın şiddeti yüksek kapalı hacimlerden kompartımanlar oluşturularak yalnızca kompartımanı çevreleyen yapı elemanlarının yangına direnç derecesi (R) artırılmaktadır (Bkz. Ek-5). Model sonucuna göre örnek bina için öngörülen yapısal yangına direnç düzenlemeleri Çizelge 4.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Örnek binadaki farklı her kapalı hacme ait parametre verileri

	Kapalı Hacim	Kullanım Amacı	A_v [m ²]	A_f [m ²]	$\alpha_v=A_v/A_f$	a/b	Yangın Yüğü Yoğ. [MJ/m ²]	Yapı Tipi
Zemin kat	MZ03	Güvenlik	2,56	10,6	0,25	1,00	600	B.A.
	MZ14	Kafeterya	5,12	67,81	0,08	1,00	600	B.A.
	MZ17	Hemş. Odası dinl.	0	13,05	$\leq 0,025$	0	600	B.A.
	MZ20	Doktor din.	0	18,01	$\leq 0,025$	0	600	B.A.
	MZ24	Kardiyoloji	0	10,54	$\leq 0,025$	0	1000	B.A.
	MZ27	Resüsyon	0	46,07	$\leq 0,025$	0	1000	B.A.
	MZ48	Sekreter	2,56	16,38	0,16	1,00	600	B.A.
	MZ45	Doktor odası	2,56	11,75	0,25	1,00	600	B.A.
	MZ41	Ofis	2,56	14,7	0,17	1,00	600	B.A.
	MZ44	Ofis	2,56	14,7	0,17	1,00	600	B.A.
	MZ30	Muayene odası	5,12	239,45	0,25	2,00	600	B.A.
1. kat	M111	Gözlem (yataklı)	5,12	30	0,17	1,00	600	B.A.
	M112	Gözlem (yataklı)	4,76	30	0,16	0,75	600	B.A.
	M116	Derslik	5,12	34	0,15	1,00	600	B.A.
	M122	Resusitasyon	2,56	14,7	0,17	1,00	1000	B.A.
	M123	Kan alma	5,12	31,3	0,16	1,00	600	B.A.
	M124	Yıkınma	2,56	14,7	0,17	1,00	400	B.A.
	M126	Laborutavar	2,56	43,07	0,06	1,00	1000	B.A.
	M140	Makroskobi	1,28	43,07	0,03	1,00	1000	B.A.
	M141	Laborutavar	5,12	30,26	0,17	1,00	1000	B.A.
	M149	Kirli çıkış	5,12	21,80	0,23	1,00	1000	B.A.
	M151	Depo	1,28	14,51	0,09	2	1000	B.A.
2. kat	M203	Doktor odası	2,56	21,9	0,12	1,00	600	B.A.
	M204	Hemşire	2,56	10,5	0,24	1,00	600	B.A.
	M205	Enfeksiyon yoğun bakım (yataklı)	30,94	100,56	0,31	2,56	600	B.A.
	M213	Atık	0,52	6,94	0,07	0,81	1000	B.A.
	M223	Kirli çıkışı	0	14,7	$\leq 0,025$	0,00	600	B.A.
	M224	Doktor soyunma	2,56	14,7	0,17	1,00	600	B.A.
	M232	Cerrahi yoğun bakım (yataklı)	7,68	229,47	0,03	2,00	600	B.A.
	M243	Kirli çıkışı	0	14,7	$\leq 0,025$	0,00	1000	B.A.
3. kat	M255	Doktor odası	2,08	14,53	0,14	0,81	600	B.A.
	M302	Anjiyo odası	3,84	68,74	0,06	2,00	600	B.A.
	M311	Sekreter	2,56	10,62	0,24	1,00	600	B.A.
	M312	KDC yoğun bakım	30,94	100,56	0,31	2,56	600	B.A.
	M331	Ameliyathane	0	44,88	$\leq 0,025$	0,00	600	B.A.
	M361	Bayan hasta hazırlama	1,28	14,5	0,09	2,00	600	B.A.
	M363	Anjiyo sonrası	3,84	103,84	0,04	2,00	600	B.A.

Çizelge 4.9. Örnek binaya ait kapalı hacimlerin yangın şiddeti ve yangına direnç değerleri

Kapalı Hacim	Kullanım sınıfı	Öngörülen Standart Yangına Direnç [dakika]				$R \geq t_e$
		BYKHY'e göre			Parametrik verilere göre	
		Taşıyıcı sistem	Döşeme	Komp. duvarı	t_e	
Mz03	Güvenlik	60	60	60	32,10	+
MZ14	Kafeterya	60	60	60	76,74	-
MZ17	Hemş. Odası dinl.	60	60	60	113,83	-
MZ20	Doktor din.	60	60	60	113,83	-
MZ24	Kardiyoloji	60	60	60	189,71	-
MZ27	Resüsyon	60	60	60	189,71	-
MZ48	Sekreter	60	60	60	44,47	+
MZ45	Doktor odası	60	60	60	34,11	+
MZ41	Ofis	60	60	60	40,52	+
MZ44	Ofis	60	60	60	40,52	+
MZ30	Muayene odası	60	60	60	117,13	-
M111	Gözlem (yataklı)	60	60	60	41,22	+
M112	Gözlem (yataklı)	60	60	60	43,89	+
M116	Derslik	60	60	60	45,93	+
M122	Resusitasyon	60	60	60	67,53	-
M123	Kan alma	60	60	60	42,75	+
M124	Yıkanma	60	60	60	27,01	+
M126	Laborutavar	60	60	60	144,72	-
M140	Makroskobi	60	60	60	182,76	-
M141	Laborutavar	60	60	60	69,20	-
M149	Kirli çıkış	60	60	60	54,30	+
M151	Depo	60	60	60	116,25	-
M203	Doktor odası	60	60	60	56,83	+
M204	Hemşire	60	60	60	31,95	+
M205	Enfeksiyon yoğun bakım (yataklı)	60	60	60	29,72	+
M213	Atık	60	60	60	128,46	-
M223	Kirli çıkışı	60	60	60	113,83	-
M224	Doktor soyunma	60	60	60	40,52	+
M232	Cerrahi yoğun bakım (yataklı)	60	60	60	106,46	-
M243	Kirli çıkışı	60	60	60	189,71	-
M255	Doktor odası	60	60	60	47,99	+
M302	Anjiyo odası	60	60	60	89,28	-
M311	Sekreter	60	60	60	32,13	+
M312	KDC yoğun bakım	60	60	60	29,72	+
M331	Ameliyathane	60	60	60	113,83	-
M361	Bayan hasta hazırlama	60	60	60	69,72	-
M363	Anjiyo sonrası	60	60	60	103,55	-

Çizelge 4.10. Modele göre örnek binaya ait yangına direnç düzenlemeleri

Kapalı Hacim	Kullanım Amacı	Kapalı hacim parametreleri değiştirilir		Öngörülen standart yangına direnç süresi artırılır	
		Değiştirilen parametreler	-t _e - [dakika]	Kompartıman veya kapalı hacim	-R- [dakika]
MZ17	Hemş. Dinl.odası	Benzer hacimler için kurangleze bakan açıklıklar oluşturulacaktır	36,78	Kapalı hacim	60
MZ20	Doktor din.		48,28	Kapalı hacim	60
MZ24	Kardioloji	Benzer hacimler için kurangleze bakan açıklıklar oluşturulacaktır.	53,35	Benzer hacimler bir araya gelerek kompartımanlaşma sağlanır	120
MZ27	Resüsitasyon		98,55		
MZ30	Muayene odası	Benzer hacimler için açıklığın alanı artırılacaktır	98,93	Kapalı hacim	120
M122	Resusitasyon	---		Benzer hacimler bir araya gelerek kompartımanlaşma sağlanır	120
M126	Laborutavar				
M140	Makroskobi				
M141	Laborutavar				
M151	Depo				
M213	Atık	---		Kapalı hacim	120
M223	Kirli çıkışı	---		Kapalı hacim	120
M232	Cerrahi yoğun bakım (yataklı)	Benzer hacimler için açıklığın alanı artırılır.	81,94	Benzer hacimler bir araya gelerek kompartımanlaşma sağlanır	90
M243	Kirli çıkışı	---		Kapalı hacim	120
M302	Anjiyo odası	Benzer hacimler için açıklığın alanı artırılacaktır.	58,89	Kapalı hacim	60
M331	Ameliyathane	---		Benzer hacimler bir araya gelerek kompartımanlaşma sağlanır	120
M363	Anjiyo sonrası	Benzer hacimler için açıklığın alanı artırılacaktır	77,65	Kapalı hacim	90
- Yangın şiddeti yüksek hacimler bir bütün olarak ayrı bir kompartıman olarak düzenlenecektir. - Zemin katta kuranglez yapılacaktır.					

Çizelge 4.11. Modele göre örnek binaya ait yapısal yangına direnç tasarımı

Yapısal Yangına Direnç Düzenlemeleri				Öngörülen yangına direnç süresi [dakika]
Binanın yangına direnç süresi				60
Genel	Taşıyıcı sistem			60
	Yük taşıyıcı duvar			60
	Döşemeler			60
	Dış Duvarlar			60
	Kompartıman duvarları			60
	Kaçış Merdivenleri			120
Kat	Kompartıman veya kapalı hacim		Yapı elemanları	
3. kat	Kompartıman (Ameliyathaneler)	M 327-358	Kompartımanı çevreleyen yapı elemanları	120
	Kapalı hacimler	M 363, 318	Kaçış yoluna komşu yüzeyler	90
2 kat	Kompartıman (Dahili yoğun bakım)	M 238-241	Kompartımanı çevreleyen yapı elemanları	90
	Kompartıman (Cerrahi yoğun bakım)	M 232-238	Kompartımanı çevreleyen yapı elemanları	90
	Kapalı hacimler	M 236-226 215,214, 258-261,263, 249-253	(Kaçış yoluna komşu yüzeyler)	120
	Kapalı hacimler	M 223, 243	Tüm kapalı hacim elemanları ve şaft geçişleri	120
1. Kat	Kompartıman (Laboratuvarlar)	M119 - 132	Kompartımanı çevreleyen yapı elemanları	120
	Kompartıman (Laboratuvarlar)	M136-M147	Kompartımanı çevreleyen yapı elemanları	120
	Kapalı hacimler	M158 M115 M162	(Kaçış yoluna komşu yüzeyler)	120
	Kapalı hacimler	M117	Tüm kapalı hacim elemanları ve şaft geçişleri	120
Zemin kat	Kompartıman (Gözlem)	MZ 31-34	Kompartımanı çevreleyen yapı elemanları	120
	Kompartıman	MZ 23-28	Kompartımanı çevreleyen yapı elemanları	120
	Kapalı hacimler	MZ 52-53 MZ 30	Tüm kapalı hacim elemanları ve şaft geçişleri	120
	Kapalı hacimler	MZ 13 MZ22	(Kaçış yoluna komşu yüzeyler)	120

4.3.2. Model ile Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin karşılaştırılması

Modelin örnek binaya uygulanmasında, yangın şiddeti yüksek olan kapalı hacimlerin parametreleri değiştirilerek yangın şiddeti (eşdeğer süre- t_e) düşürülmüş veya yapı elemanları için öngörülen yangına direnç süreleri $R > t_e$ olacak şekilde artırılmıştır. Binanın, BYKHY'e ve Model'e göre yapılan yapısal yangına direnç tasarımları doğal yangın koşullarında karşılaştırılmıştır. Bunun için basit bir analitik yöntem olan ASET yöntemi ile gelişmiş OZone bilgisayar programı kullanılmıştır.

Karşılaştırma için örnek yapı elemanı olarak seçilen IPE 200 çelik putrelin kapalı hacim koşulları altındaki gerçek yangına direnç süreleri kullanılmıştır. Söz konusu putrelin sırasıyla 22, 30 ve 40 mm kalınlığında alçıpanel levha ile kaplanarak 60, 90 ve 120 dakika standart yangına direnç gösterdiği tablo verilerinden alınmıştır. Örnek yapı elemanının BYKHY ve modele göre yapılan tasarımlara göre OZone bilgisayar modeli ve ASET yöntemi ile ortaya konan gerçek yangına direnç süreleri Çizelge 4.13'de gösterilmiştir. Söz konusu çizelge ile aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- MZ 20, MZ 22, M 149 ve M 223 numaralı kapalı hacimler gibi 25 m^2 ve daha küçük olan kapalı hacimlerin yangın şiddetleri, yangın yükü yoğunluğundan ve açıklık alanının kapalı hacim taban alanına oranından (A_v/A_f) fazla etkilenmemekte ve ilgili yapı elemanlarında çökme oluşmaktadır.
- MZ27, MZ30, M127, M232, M331 ve M363 numaralı hacimler gibi A_v/A_f oranı 0,05 ve daha küçük olan kapalı hacimlerde, yapı elemanlarının gerçek yangın direnci standart yangın direncine göre daha büyük olmakta, yangından koruyucu kaplamanın kalınlığına bağlı olarak kimi zaman yapı elemanlarında hiç çökme olmamaktadır. Model uygulanan kapalı hacimlerden MZ30, MZ27, M363 ve M232'nin açıklık oranları artırılarak A_v/A_f oranları yükseltilmiş bunun sonucunda eşdeğer süreleri (t_e) düşürülmüştür. Ayrıca yapı elemanlarının öngörülen standart yangına direnç süreleri, $R > t_e$ olacak şekilde yeniden belirlenmiştir. Ancak modelin uygulanması sonrasında bu hacimlerdeki yapı elemanlarının standart yangına direnç değerlerinin artırılmasına rağmen, gerçek yangına direnç değerlerinin önceki duruma göre gerilediği görülmüştür.

- M 214 ve M302 numaralı kapalı hacimler gibi A_v/A_f oranı 0,05 ile 0,15 arasında ve hacmin taban alanı 25 m^2 üzerinde olan yerlerdeki yapı elemanlarının gerçek yangına direnç değerleri standart yangına direnç değerlerine yakın almaktadır. Kapalı hacimlerdeki A_v/A_f oranının 0,15'den yüksek olması durumunda yapı elemanlarında çoğu zaman çökme olmamaktadır. Çizelge 4.12'de, kapalı hacimdeki A_v/A_f oranı 0,20'yi geçtikten sonra, 60 dakika yangına dirençli yapı elemanının çökmediği görülmektedir.
- Yangın şiddeti yüksek olan kapalı hacimlerde, yangın yükü yoğunluğu azaltılarak yangın şiddeti (eşdeğer süre- t_e), $R > t_e$ olacak şekilde düşürülebilmektedir. Yangın yükü yoğunluğu kullanım amacıyla ilişkili olduğundan ancak hacmin kullanım amacı değiştirilerek yangın yükü yoğunluğu azaltılmaktadır. Örnek bina hastane yapısı olduğu için kullanım amaçları ihtiyaç programı doğrultusunda belirlenmektedir Bu nedenle modelde kapalı hacimlerin kullanım amaçlarının değiştirilerek yangın yükü yoğunluğunun azaltılarak yangın şiddetinin düşürülmesi yoluna gidilmemiştir.
- Örnek bina, betonarme taşıyıcılı ve tuğla bölme duvarlıdır. Bu tip yapı elemanlarından oluşan kapalı hacimlerde yangın şiddeti diğer yapı tiplerine göre daha düşük olmaktadır. Modele göre, bu hacimlerde öngörülen standart yangın direnci diğer yapı tiplerine göre daha düşüktür. Bundan dolayı, yapı tipinin değiştirilerek yangın şiddetinin düşürülmesi yoluna gidilememiştir.

Çizelge 4.12. Yapı elemanlarının farklı A_v/A_f oranlarında gerçek yangına direnç süreleri

Kapalı hacim : M 302 e: : 600 MJ/m ² Af: : 68,5 m ²			Gerçek yangına direnç süresi [dakika]					
			R 60 için		R 90 için		R 120 için	
(A_v) [m ²]	A_v/A_f	t_e [dakika]	ASET	OZone	ASET	OZone	ASET	OZone
7,68	0,11	58,99	48,06	59,2	72,09	80,2	96,13	çöküş yok
8,96	0,13	52,15	66,01	55,8	99,01	çöküş yok	132,01	çöküş yok
10,56	0,15	45,36	55,85	52,4	83,78	çöküş yok	111,71	çöküş yok
12,16	0,18	40,25	54,76	51,0	82,13	çöküş yok	109,51	çöküş yok
13,76	0,20	36,52	53,43	50,4	80,14	çöküş yok	106,85	çöküş yok
15,36	0,22	33,89	51,65	çöküş yok	77,48	çöküş yok	103,31	çöküş yok

Çizelge 4.13. Önerilen Model ile BHKHY'nin karşılaştırılması

Kapalı hacim	Kullanım Amacı	e [MJ/m ²]	Af [m ²]	BYKHY'e göre tasarım						Önerilen Modele göre tasarım					
				(A _v) [m ²]	A _v /A _f	t _e	Öngörülen yangına direnç	Gerçek yangın direnci		Av	A _v /A _f	t _e	Öngörülen yangına direnç	Gerçek yangın direnci	
								ASET	Ozone					ASET	Ozone
MZ 30	Muayene Odası	600	240,3	5,1	0,02	114,0	R 60	184,0	170,3	10,2	0,04	98,9	R 120	148,0	101,3
MZ 27	Resitütasyon	1000	46,2	1,5	0,03	178,0	R 60	114,0	160,3	5,1	0,11	98,6	R 120	96,2	105,5
MZ 20	Doktor dinlenme	600	22,3	0,6	0,03	107,0	R 60	113,0	çöküş yok	2,6	0,11	48,3	R 120	92,2	çöküş yok
MZ 22	Depo	600	16,4	0,4	0,02	114,0	R 60	114,0	çöküş yok	0,4	0,02	114	R 120	228,0	çöküş yok
MZ 14	Kafeterya	600	93,2	5,1	0,06	76,0	R 60	63,9	79,6	5,1	0,06	76,0	R 120	127,8	126,4
M127	Laboratuvar	1000	46,2	1,2	0,03	190,0	R 60	133,0	> 4 h	1,2	0,03	190	R 120	266,0	> 4 h
M149	Kirli çıkışı	1000	21,7	4,2	0,19	62,6	R 60	44,1	60,6	5,1	0,24	54,3	R 120	82,64	Çöküş yok
M223	Kirli Çıkışı	1000	14,7	0,4	0,03	190,0	R 60	129,0	> 4 h	0,4	0,03	190	R 120	258,0	> 4 h
M232	Cerrahi yoğun bakım	600	247,0	7,7	0,03	106,0	R 60	126,0	118,6	15,4	0,06	81,9	R 90	86,6	85,4
M302	Anjiyo	600	68,5	3,8	0,06	89,8	R 60	89,7	102,5	7,7	0,11	58,9	R 60	48,1	58,5
M363	Anjiyo sonrası	600	106,6	3,8	0,04	104,0	R 60	117,0	131,7	7,7	0,07	77,7	R 90	82,7	88,2
M331	Ameliyathane	600	44,7	1,2	0,03	114,0	R 60	131,0	198,5	1,2	0,03	114	R 120	262,0	> 4 h

Yapısal yangın tasarımlarının gerçek yangına direnç süreleri karşılaştırıldığında, genel olarak modelin Yönetmelikte verilen ve güvenli kaçış süresi olarak kabul edilen standart yangına direnç sürelerini karşıladığı ve binanın bir yangın durumunda öngörülen süre boyunca ayakta kaldığı ($RSET > ASET$) görülmüştür. Ancak, kapalı hacimlerin bazılarında modelde öngörülen yangına direnç süresinden daha kısa sürede çökme olduğu görülmektedir. Bu durumun nedenleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Modelde kullanılan Eurocodes eşdeğer süre (t_e), kapalı hacim yangınının şiddeti için dakika cinsinden bir değer vermektedir. Eşdeğer süre, hacme giren hava miktarı ile ilişkili olup, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı (A_v/A_f) arttıkça azalmaktadır. Modele göre, (A_v/A_f) oranı küçük olan kapalı hacimlerin eşdeğer süresi yüksek olduğu için, yapı elemanlarının önerilen standart yangına direnç sürelerinin $R > t_e$ olacak şekilde yükseltilmesi gerekmektedir. Ancak, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı (A_v/A_f) 0,05 den düşük olan kapalı hacimlerdeki yanma süresi uzamakta, yangın sıcaklığının pik değeri düşmekte ve bu değere ulaşmak için uzun bir süre gerekmektedir. Bu durumda, kapalı hacimdeki yapı elemanı öngörülen standart yangın direncinden daha uzun bir süre yangına direnç göstermekte ve koruyucu kaplamanın kalınlığına bağlı olarak kimi zaman hiç çökme olmamaktadır.
- Yangın şiddetini düşürmek için kapalı hacimdeki A_v/A_f oranı artırılarak eşdeğer sürenin (t_e) azaltılması durumunda yanma hızlanmakta, özellikle A_v/A_f oranı 0,05 ile 0,15 arasındaki kapalı hacimlerde yangın sıcaklığının ulaşacağı pik değeri artmaktadır. Bunun sonucunda yapı elemanlarının gerçek yangın direnci, öngörülen standart yangın direncinden daha düşük çıkabilmektedir. Kapalı hacimlerdeki A_v/A_f oranının 0,15'den yüksek olması durumunda yanma süresi kısaltmakta ve yangının pik değeri düşmektedir. Bu nedenle kaplama kalınlığına bağlı olarak yapı elemanlarında çoğu zaman çökme olmamaktadır.
- Yaklaşık 25 m^2 ve daha küçük olan ve 600 MJ/m^2 ve daha az yangın yükü yoğunluğuna sahip kapalı hacimlerde çıkan gerçek yangınlarda, hacmin alanıyla orantılı olarak yangın yükünün azlığından dolayı çoğu zaman yapı elemanlarının kritik çökme sıcaklığına ulaşamamaktadır. Bu nedenle yangına karşı az da olsa yalıtılmış yapı elemanlarında çökme meydana gelmemektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yangın güvenliği ile ilgili olarak, yapı elemanlarının standart yangın direncinin (R) bina için gerekli güvenli boşaltım süresi (RSET) varsayıldığı bir yaklaşımda, doğal yangında yapı elemanın göstereceği gerçek yangına direnç süresi, binanın ortaya koyduğu uygulanabilir güvenli boşaltım süresini (ASET) vermektedir. Binayı oluşturan kapalı hacimlerde çıkan doğal yangınlar, deney fırınlarında gerçekleştirilen standart yangınlara göre daha şiddetli olduğunda, yapı elemanının gerçek yangına direnç süresi, binanın ayakta kalması için öngörülen gerekli standart yangına direnç süresinden daha düşük olabilmekte, kullanıcılar için istenen boşaltım süresi sağlanamadığından ($ASET < RSET$) bina güvensiz olmaktadır.

Ülke yönetmeliklerinin büyük çoğunluğunda, yapı elemanlarının yangına direnci için sağlaması gereken süreler, hükme dayalı olarak öngörülmektedir. Bu yönetmeliklerde yapı elemanlarının yangına direnç sürelerinin belirlenmesinde standart yangın eğrileri kullanılmaktadır. Ancak kapalı hacimlerde çıkan şiddetli bir yangında yapının ayakta kalması için doğal yangın koşullarına göre yangına direnç gereksinimlerinin yeniden belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Bu performansa dayalı bir yaklaşımdır. Yapılan literatür araştırmasında, yapısal yangına direnç gereksinimlerinin belirlenmesinde, bazı ülkelerin yönetmeliklerinde hükme dayalı kuralların yanında doğal yangın koşullarını etkileyen kapalı hacim özelliklerinin de dikkate alındığı görülmektedir.

Ülkemizde yapısal yangına direnç gereksinimleri BYKHY'nin hükme dayalı kurallarına göre belirlenmektedir. Bu tezde, yapı elemanlarının, BYKHY'de öngörülen süre boyunca stabil kalmalarını sağlayacak şekilde boyutlandırılmaları için yangının çıktığı kapalı hacim özellikleri de dikkate alınarak gerekli standart yangına direnç sürelerinin belirlenmesine yönelik olarak performansa dayalı bir model önerilmektedir. Bu kapsamda ilk olarak, kapalı hacim özelliklerinin yangının şiddetine ve yapı elemanlarının yangına direncine olan etkileri incelenmiştir.

Kapalı hacimde çıkan doğal yangın performansını ve buna bağlı olarak yangının etki ettiği yapı elemanının yangın direncini etkileyen pek çok parametre bulunmaktadır. Bu kapsamda tezin üçüncü bölümünde, yangının şiddetini ve yapı elemanlarının yangına direncini etkileyen kapalı hacim özellikleri incelenmiştir.

Tezde; kapalı hacim özelliklerinin yangının şiddeti üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde analitik bir yöntem izlenmiş, yangın şiddetine ve güvenli boşaltım sürelerine ait sayısal eşitlikler ile OZone bilgisayar modeli kullanılmıştır. Daha sonra yangın şiddetinin, yapı elemanının yangın direncine olan etkisinden yararlanılarak kapalı hacim özellikleri olarak açıklığın ve kapalı hacmin taban alanı, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı, açıklığın en/boyu oranının ve kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğu parametrelerinin yapı elemanlarının yangın direncine etkileri Çizelge 5.1’de ortaya konmuş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yapılan çalışmada, yangın yükü sabit olarak açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı (A_v/A_f) aynı olan farklı büyüklükteki kapalı hacimlerde yangın şiddeti değerlerinin benzer olduğu görülmüştür. Bundan dolayı, yangın şiddetine ve yapı elemanlarının yangın direncine olan etkilerini belirlemek için kapalı hacim ve açıklık alanları yerine, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranları (A_v/A_f) bir parametre olarak dikkate alınmıştır.
- Tez kapsamında yer alan konaklama, kurumsal ve büro kullanım sınıflarına ait binalardaki kapalı hacim yüksekliklerinin büyük değerde olmamasından dolayı kapalı hacim duvarındaki açıklığın, tavan veya döşemeye yakın konumlandırılmasının yangın şiddetine ve yapı elemanlarının yangın direncine olan etkileri önemsenecek kadar küçük çıkmıştır. Bu nedenle, kapalı hacim özelliklerinin etkilerini belirlemede açıklığın konumu bir parametre olarak dikkate alınmamıştır.
- Öngörülen yangına direnç sürelerinin belirlenmesinde kapalı hacimler, performans esaslı yaklaşımı benimseyen yönetmeliklerdekine benzer şekilde yangın yükü yoğunlukları $\leq 400 \text{ MJ/m}^2$ ise $e = 400 \text{ MJ/m}^2$, 400 ila 600 MJ/m^2 arasında ise $e = 600 \text{ MJ/m}^2$ ve $> 600 \text{ MJ/m}^2$ ise $e = 1000 \text{ MJ/m}^2$ esas alınmak üzere sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.1. Kapalı hacim parametrelerinin yangın şiddeti ve yangın direncine etkisi

Kapalı hacim parametreleri		Yangın Şiddetine etkileri	Yapı elemanlarının yangın direncine etkisi	Sonuç
Kapalı hacim açıklığı	Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı arttıkça yangın şiddeti düşmekte, yanma süresi azalmaktadır. Yanma hızlanmaktadır.	Açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı arttıkça yangın şiddeti düşmekte, yanma süresi azalmaktadır. Yanma hızlanmaktadır.	Yapı elemanlarının yangına karşı yalıtımsız ve kapalı hacim yangın yükü yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda, 0,075 – 0,150 açıklık oranlarında, erken bir çökme olabilmektedir. Daha büyük açıklık oranlarında yapı elemanın sıcaklığı çökme için gerekli kritik sıcaklık düzeyine ulaşmamakta ve çökme olmamaktadır. Yapı elemanlarının kâgir veya yangına karşı korunmuş olduğu durumlarda, açıklık oranı arttıkça yangına karşı gösterdikleri direnç süresi de artmaktadır.	Yapı elemanının yeterli korunmadığı ve yangın yükü yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda, özellikle kapalı hacimlerdeki yangın sıcaklık seviyesinin en üst düzeye çıktığı 0,075–0,150 açıklık oranında yapı elemanı, ISO 834 standart yangında öngörülenden daha kısa sürede çökebilmektedir. Yapı elemanın yangına direncinin analitik ya da deney yöntemleri ile kontrolü gereklidir
	Açıklığın konumu	Açıklıkların kapalı hacim duvarındaki konumunun etkileri önemsenmeyecek kadar küçüktür.		Açıklıkların kapalı hacim duvarındaki konumunun etkileri önemsenmeyecek kadar küçüktür.
	Açıklık boyutu	Açıklığın en boy oranı (a/b) azaldıkça yanma süresi azalmakta ancak yanma hızlanmaktadır.	Açıklığın en/boy oranı azaldıkça yapı elemanları, çöküş için kritik sıcaklığa daha çabuk ulaşmakta ve yangına direnç seviyeleri azalmaktadır.	Açıklığın en boy oranı düşük olan kapalı hacimlerdeki yangın şiddetinin ve yapı elemanın yangına direncinin kontrolü gereklidir. Özellikle en boy oranı 1’den küçük olan kapalı hacimler değerlendirilir.
Kapalı hacim yangın yükü yoğunluğu		Yangın yükü yoğunluğu arttıkça kapalı hacimlerdeki yangının şiddeti ve yanma süresi artmaktadır.	Yangın yükü yoğunluğu arttıkça yapı elemanlarının yangına karşı dirençleri de azalmaktadır. Yangına direnç süresi düşük olan kullanım sınıflarına ait binalardaki yangın yükü yoğunluğu yüksek kapalı hacimlere dikkat edilmelidir.	Kapalı hacimlerin yangın yükü yoğunlukları olarak; • <400 MJ/m² için 400 MJ/m², • 400- 600 MJ/m² arası için 600 MJ/m², • >600 MJ/m² için 1000 MJ/m² esas alınmalıdır.
Kapalı hacim tipleri		Kâgir binalarda, çelik binalara göre daha yavaş bir yanma olmakta ve sıcaklık çok üst seviyelere çıkmamaktadır. Soğuma fazı yavaştır.	Kâgir binalardaki yapı elemanlarının yangına karşı dirençleri yüksektir. Diğer tip binalarda yapı elemanları belirlenirken yangına katkı sağlamayan malzemelerden yapılmasına ve yangına karşı yalıtılmasına dikkat edilmelidir.	Öncelikle kâgir yapı tipleri dışındaki kapalı hacimlerdeki yangın şiddetinin ve yapı elemanın yangına direncinin kontrolü gereklidir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; binayı oluşturan kapalı hacimlerde çıkan doğal yangınların, deney fırınlarında gerçekleştirilen standart yangına göre daha şiddetli olabildiği ve yapı elemanlarının gerçek yangına direnç süresinin, öngörülen standart yangına direnç süresinden daha düşük çıkabildiği görülmüştür. Bunun sonucunda istenen boşaltım süresi sağlanamadığından bina kullanıcılar için güvensiz olmaktadır. Bu nedenle çalışmanın dördüncü bölümünde; binanın BYKHY’de istenen güvenli boşaltım süresi boyunca ayakta kalmasının ($RSET > ASET$) sağlanmasına yönelik bir model geliştirilmiştir.

Modelde, binaların yapısal yangın güvenliği ile ilgili olarak, BYKHY’de öngörülen yangına direnç sürelerinin geçerliliği kapalı hacim bazında sorgulanmaktadır. Kapalı hacimler için gerekli yangına direnç süreleri Eurocode’da kullanılan eşdeğer süre ile belirlenmektedir. Söz konusu süreler, BYKHY’de öngörülen standart yangına direnç süreleri ile karşılaştırılmaktadır. Yüksek yangın direnci gereken şiddetli yangın tehlikesine sahip kapalı hacimlerin özellikleri değiştirilerek yangın şiddetleri düşürülmekte ya da o kapalı hacim için öngörülen yangına direnç süreleri artırılmakta veya yangın şiddeti düşük olan kapalı hacimlerin yangına direnç süreleri azaltılmaktadır. Böylece, binaların Yönetmelikte öngörülen süre boyunca ayakta kalması sağlanmaktadır. Bu şekilde BYKHY’deki hükme dayalı yaklaşımın bir ölçüde performansa dayalı bir kimliğe sahip olması sağlanmaktadır.

Modelin hedef kitlesini, yangından korunmanın pasif önlemleri kapsamında yapısal yangın tasarımı yapan mimar ve mühendisler oluşturmaktadır. Tasarımcılar, önerilen modeli, yangın şiddetlerini dikkate alarak benzer kapalı hacimlerin bir araya getirilmesi ve kompartımanlaşma sağlanmasına yönelik bir araç olarak da kullanabilmektedir. Kapalı hacimler yerine kompartımanı çevreleyen yapı elemanlarının öngörülen standart yangına direnç süresine sahip olarak tasarlanması ile maliyet açısından uygun çözümler sağlanmaktadır. Ayrıca, kapalı hacimde çıkan yangın, belirlenen kompartıman sınırları içinde bırakılarak diğer kompartımanlara yayılması sınırlandırılmaktadır. Bu şekilde, bir yangında binanın BYKHY’de istenen süre boyunca stabil kalması sağlanmaktadır.

Geçerliliğini sınamak üzere model, bir hastanenin yapısal yangına direnç tasarımı uygulanmıştır. Modele göre yapılan yapısal yangın tasarımında, kapalı hacimlerin gerçek yangına direnç süreleri BYKHY'nin hükümsel kuralları ile karşılaştırıldığında, genel olarak modelin BYKHY'te verilen ve güvenli kaçış süresi olarak kabul edilen standart yangına direnç sürelerini karşıladığı ve binanın bir yangın durumunda öngörülen süre boyunca ayakta kaldığı ($RSET > ASET$) görülmüştür. Uygulama sonucunda model ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Model, 25 m^2 ve üstünde taban alanına sahip ve açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı 0,05'den büyük olan kapalı hacimlerde; yapısal yangına direnç tasarımı bağlamında, öngörülen gerekli standart yangına direnç sürelerinin belirlenmesi için geçerli sonuçlar vermektedir.
- Modelde kullanılan eşdeğer süre (t_e), 25 m^2 'den küçük taban alanına sahip kapalı hacimler ile açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı 0,05'den küçük olan kapalı hacimlerde; yangın şiddeti ve öngörülen standart yangına direnç sürelerinin belirlenmesi için geçerli sonuçlar vermemektedir. Bu tür kapalı hacimlerde, yapı elemanlarının gerçek yangın direnci, modele göre öngörülen standart yangın direncinden daha yüksek çıkmaktadır.
- Çalışmada, yapı elemanlarının gerçek yangın direncini belirlemek için kullanılan, Thomas ve Lloyd'un [3] ortaya koyduğu analitik yöntem (ASET), ön tasarım aşamasında tasarımcıya geçerli sonuçlar vermektedir. Ancak, açıklık alanının kapalı hacmin taban alanına oranı (A_v/A_f) 0,15 ve üstü değerlerde olan kapalı hacimlerde çıkan bir yangında, 90 dakika gibi standart yangın direnci yüksek yapı elemanlarında çöküş için gerekli kritik sıcaklığa ulaşılmamasından dolayı ASET yöntemi geçersiz kalmaktadır.
- Modelde kullanılan eşdeğer süre, kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğu ve yapı tipi ile de ilişkilidir. Buna göre kapalı hacmin yangın şiddetini düşürmek amacıyla yangın yükü yoğunluğu azaltılmaktadır. Ancak, kapalı hacmin yangın yükü yoğunluğunu azaltmak için hacmin kullanım amacını değiştirmek gerekmektedir. Bina ihtiyaç programlarını değiştirmek ise yapısal yangın tasarımı kapsamı dışındadır.

Modelde kullanılan yaklaşıma benzer yaklaşımların, Yeni Zelanda [42] ve Japonya [43] yönetmeliklerinde de kullanıldığı görülmektedir. Özellikle Yeni Zelanda da, kapalı hacimler için öngörülen yangına direnç süresi için Eurocode'da kullanılan eşdeğer sürenin de esas alındığı görülmektedir. Geliştirilen model, Yeni Zelanda yönetmeliğindeki yangına direnç sürelerine benzer sonuçlar vermektedir. Ancak, tasarımı aşamasında kapalı hacim özelliklerinin değiştirilerek yangın şiddetinin düşürülmesine ayrıca benzer yangın şiddetine sahip kapalı hacimlerin bir araya getirilerek kompartıman oluşturulmasına olanak sağlaması, modelin, Japon ve Yeni Zelanda yaklaşımında bulunmayan iki önemli üstünlüğüdür. Bu nedenle model, diğer yaklaşımlara göre mimari tasarım aşamasında kullanıma uygun olup tasarımcıya daha fazla serbestlik sağlamaktadır.

Yapısal yangına direnç tasarımında kullanılmak üzere bu çalışmada ortaya konulan modelin uygulama sonuçları doğrultusunda, tasarımcıya yangın direnci yüksek olması öngörülen kaçış yolları gibi hacimlere komşu kapalı hacimlerin, düşük yangın şiddetine sahip kullanım alanlarından belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, hafif yapı elemanlarının kullanıldığı bir yapıda yüksek yangın şiddetine sahip kapalı hacimlerin betonarme ve kâgir yapı elemanlarından yapılması da önerilmektedir.

İlgili otoritelerce büyük ve kapsamlı binaların yapısal yangına direnç tasarımının onayı ve kontrolü aşamasında, geliştirilen modelin bir doğrulama yöntemi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Geliştirilen modelin tam olarak uygulanması ve yapısal yangın tasarımı kapsamında gerekli altyapının sağlanması bağlamında ülkemiz için aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması önerilmektedir:

- Geliştirilen modelde, BYKHY'de ve yapısal yangına direnç tasarımında kullanılmak üzere, ülkemizdeki yapı sistemleri dikkate alınarak kapalı hacimlerin yangın yükü yoğunluklarının belirlenmesi gereklidir.
- Yangın gelişim modelleri ve yapı elemanlarının yangına direnç performansları ile ilgili yapılacak çalışmalarda, modelde ortaya konan performansa dayalı

yaklaşımından yararlanılacağı düşünülmektedir. Söz konusu çalışmaların sonuçlarından, BYKHY'nin yapısal yangına direnç hükümlerinin geliştirilmesinde yararlanılmalıdır.

- Ülkemizde yapısal yangına direnç tasarımı ile ilgili olarak üniversitelerin ilgili bölümlerinde dersler verilmeli, bu kapsamda yapılacak eğitim çalışmalarında ve uygulamalarda Avrupa Yapısal Tasarım Standartları (Eurocodes) esas alınmalıdır. Geliştirilen model, tasarım standartlarının kullanılması için yapılacak çalışmalara paralel olarak zenginleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. TSE ISO/TR 13387-1, “Yangın Güvenliği Mühendisliği – Bölüm 1: Yangına Karşı Performans Kavramlarının Tasarım Amaçlarına Yönelik Olarak Uygulanması”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2009).
2. Chu G.Q. et al., “Probabilistic risk assesment for evacuees in building fires”, *Building and Environment*, 42: 1283-1290 (2007).
3. Thomas G., Lloyd D., “Fire resistance of structural components protecting escape routes”, *Fire and Materials*, 28: 343–354 (2004).
4. “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” Resmî Gazete, 19 Aralık 2007, Sayı:26735, Ankara (2007).
5. Kruppa J. “Recent developments in fire design”, *Prog. Struct. Engng Mater.*, 2: 6–15 (2000).
6. Karlsson, B. and Quintiere, J.G., “Enclosure Fire Dynamics”, *CRC Press*, Florida, USA, 24-37 (2000),
7. Johannes A. S., “Building performance evaluation: an organization for documentation”, Y.lisans Tezi, *Worcester Polytechnic Institute*, (2002).
8. Gardner L., Ng K.T. “Temperature development in structural stainless steel sections exposed to fire”, *Fire Safety Journal*, 41 (3): 185-203 (2006).
9. Wang Z., Hai Tan K. “Sensitivity study of time delay coefficient of heat transfer formulations for insulated steel members exposed to fire”, *Fire Safety Journal*, 41 (1): 31-38 (2006).
10. Moss P. J., Buchanan A. H., Seputro J., Wastney C., Welsh R. “Effect of support conditions on the fire behaviour of steel and composite beams” *Fire and Materials*, 28: 159–175 (2004)
11. Wald F., Simões da Silva L., Moore D.B., Lennon T., Chladná M., A. Santiago, Beneš M., Borges L. “Experimental behaviour of a steel structure under natural fire”, *Fire Safety Journal*, 41 (7): 509-522 (2006)
12. Chang J., Buchanan A. H., Moss P. J., “Effect of insulation on the fire behaviour of steel floor trusses”, *Fire and Materials*, 29: 181–194 (2005).
13. Hakkarainen T., Oksanen T., “Fire Safety Assessment of Wooden Facades”, *Fire and Materials*, 26: 7–27 (2002).

14. Badaruzzaman W.H.W., Zain M.F.M., Shodiq H.M., Akhand A.M., Sahari J. "Fire resistance performance of profiled steel sheet dry board (PSSDB) flooring panel system", *Building and Environment*, 38: 907–912 (2003).
15. Manzello S. L., Gann R. G., Kukuck S. R., Prasad K., Jones W. W, "Real fire performance of partition assemblies", *Fire and Materials*, 29: 351–366 (2005)
16. Takeda H., "A model to predict fire resistance of non-load bearing wood-stud walls" *Fire and Materials*, 27: 19–39 (2003).
17. Collier P.C.R., "Fire Resistance of Lightweight Timber Framed Walls", *Fire Technology*, 38: 125–145 (2002).
18. Bentz D. P., Prasad K. R., Yang J. C. "Towards a methodology for the characterization of fire resistive materials with respect to thermal performance models", *Fire and Materials*, 30: 311–321 (2006).
19. Konig J., "Structural fire design according to Eurocode 5---design rules and their background", *Fire and Materials*, 29: 147–163 (2005).
20. Ingberg S.H., "Test of the severity of building fires", *NFPA Quarterly*, 22(1): 43-61 (1928).
21. Hakkarainen T., "Study on fire safety assesment of construction products", Doktora tezi, *Tampere University of Technology, VTT Publications*, Espo (2002).
22. Kawagoe K., "Fire behaviour in rooms", *Building Research Institue, (Report No.27)*, Tokyo, 73 (1958).
23. Kawagoe K., Sekine T., "Estimation of fire temperature-time curve in rooms", *Building Research Institue, (BRI Occasional Report No.11)*, Tokyo, 23 (1963).
24. Olenick S. M., Carpenter D.J., "An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke", *Journal of Fire Protection Engineering*, 13: 87-110 (2003).
25. Beceren, K., "Kapalı Hacım Yangınlarının Modellenmesi Ve Komşu Hacımlara Yangın Geçişinin Modellenmesi", Doktora tezi, *İ.T.Ü. FBE*, İstanbul, (1996).
26. Haksever, A., "Kapalı Hacımlardaki tabii yangınların analizinde yeni bir model, Doktora tezi, *İ.T.Ü. FBE*, İstanbul, (1989)

27. Hietaniemi J., Korhonen T., “Performance of load-bearing glulam beams in natural fire”, *VTT Building and Transport*, (Case Study), (2005).
28. Mikkola E., “Fire safety engineering, New possibilities for wood products” *VTT Building and Transport*, (sunum), Tallinn, (2005)
29. Pilzer D., “Performance based building regulations” *PeBBu Domain 7 Final Report, CIB(PeBBu) General Secretariat*, 6 (2005)
30. Wong M.B., “World trend for the development of performance-based fire codes for steel structures” *Advances in Steel Structures*, 2: 1071-1078 (2002).
31. Liew, J. Y. R., Yu, H. X., “Assessment of structures for fire safety – Insights on current methods and trends”, *Advances in Steel Structures*, 2: 1061-1069 (2002)
32. TS EN 13501-2 “Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2003).
33. “Approved Document B (Fire safety)”, *NBS, Communities and Local Government*, UK (2006).
34. Construction Product Directive CPD (89/106/EEC), *Official Journal of the European Union* L 40: 92 (1989).
35. Demirel, F., Altındaş, S., “Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması ve Konunun Türkiye – Avrupa Geneline İrdelenmesi” *Politeknik Dergisi*, 8 (4): 381-395 (2005).
36. Sunstöröm B., “European classification of building products” *Keynote paper, Proceedings of the 8th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam’99)*, Edinburgh (1999).
37. “Building Regulations BBR”, *Swedish Board of Housing, Building and Planning, Boverket*, Karlskrona, (2002).
38. “Fire safety of buildings regulations and guidelines 2002” E1 The National Building Code Of Finland, *Ministry of The Environment, Housing and Building Department*, Helsinki, (2002).
39. “Building Code of New York State”, *New York State Department of State*, (2007).

40. Buchanan A.H., "Implementation of performance-based fire codes" *Fire Safety Journal*, 32: 377-383 (1999)
41. Buchanan, A.H., Deam, B.L., Fragiacomio, M., Gibson, T., Morris, H., "Fifteen years of performance-based design in New Zealand" *9th World Conference on Timber Engineering WCTE 2006*, Portland, OR, USA, (2006).
42. "Compliance document for New Zealand Building Code Clauses C1, C2, C3, C4 Fire Safety", *Department of Building And Housing*, Wellington, (2005).
43. Harada K., Ohmiya Y., Natori A., Nakamichi A., "Technical basis on structural fire resistance design in building standards law of Japan" *Fire and Materials*, 28: 323-341 (2004).
44. Altındaş S., Demirel F., "Binalarda yapısal yangına direncin sağlanması bağlamında ülke mevzuatlarının incelenmesi", *TÜYAK 2009 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu*, İstanbul, 65-73 (2009)
45. Lord, J., Marrion, C. "Developments in Codes Around the World" *Fire Protection Engineering Magazine*, Summer (2003).
46. Demirel, F., Altındaş, S., "Yapı Malzemelerinin Avrupa Yangına Tepki Sınıfları, Konunun Türkiye - Avrupa Genelinde İrdelenmesi ve Ulusal Sınıfların Yeni Avrupa Sınıflarına Uyarlanması", *GÜMMF Dergisi*, 21(1): 39-54 (2006).
47. TS EN 1991-1-2 "Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-2: Genel Etkiler – Yangına Maruz Kalan Yapılar Üzerindeki Etkiler (EUROCODE 1)" *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 9-36, (2004).
48. "Interpretative Document Number 2: Safety in case of fire", *Official Journal of the European Union*, C 62, (1994).
49. Commission Decision 2000/367/EC, *Official Journal of the European Union*, L 133: 26-32 (2000).
50. TS EN 13501-3, "Yapı mamulleri ve yapı elemanları – Yangın sınıflandırması – Bölüm 3: Bina hizmet tesisatlarında kullanılan mamuller ve elemanlar üzerinde yapılan yangına dayanıklılık deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma: Yangına dayanıklı hava kanalları ve yangın damperleri", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2009).
51. Demirel, F., Altındaş, S., "Çatı Ve Çatı Kaplamalarının Dış Yangın Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması Ve Konunun Türkiye - Avrupa Genelinde İrdelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 13(1): 65-70 (2010).

52. Beyler C., Beitel J., Iwankiw N., Lattimer B “Fire Resistance Testing for Performance-based Fire Design of Buildings”, ***NIST GCR 07-910, Final Report” Hughes Associates***, Baltimore, (2007).
53. Wang Y.C., “Steel and composite structures: Behaviour and design for fire safety”, ***Spon Pres***, London, 29-33 (2002).
54. ASTM E -119 “Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials”,
55. Drysdale, D.,”An Introduction to Fire Dynamics, 2nd edn,”, ***John Wiley & Sons***. Chichester, (1999)
56. CIB W014 “Rational Fire Safety Engineering Approach To Fire Resistance In Buildings” ***CIB Report Publication 269, Fire Work Item 99-1***, (2001).
57. TS EN 1363-2, ”Yangına dayanıklılık deneyleri - Bölüm 2: Alternatif ve ilâve işlemler”, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara (2002).
58. Parkinson D. L. V., Kodur K. R., “Performance-Based Design of Structural Steel for Fire Conditions - A Calculation Methodology”, ***Steel Structures***, 7: 219-226, (2007).
59. “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edn.” ***Society of Fire Protection Engineers, National Fire Protection Association***,(1995).
60. Thomas, I.R. Bennetts, I.D., “Fires in Enclosures with Single Ventilation Openings – Comparison of Long and Wide Enclosures, ***IAFSS Draft Paper***, (2000).
61. TSE ISO/TR 13387-2, “Yangın Güvenliği Mühendisliği – Bölüm 2: Tasarım Yangın Senaryoları ve Yangınları”, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara (2009).
62. Parkinson, D., “Performance based design of structural steel for Fire conditions”, Y.Lisans tezi, ***Worcester Polytechnic Institute***, (2002).
63. Egan, M.D., “Concepts in building fire safety”, ***A Wiley-Interscience publication***, USA, (1978).
64. Purkiss J.A.,“Fire Safety Engineering Design of Structures, 2nd ed.”, ***Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier***, Oxford, 25-71 (2007).
65. Law, M. “Prediction of Fire Resistance”, in Symposium No 5 Fire Resistance Requirements for Buildings – A New Approach (London, 1971), ***HMSO***, 16–29 (1973).

66. Thomas, P.H. (ed.) "Design guide – structural fire safety" (CIB W14 Workshop). *Fire Safety Journal*, 10: 75–154 (1986)
67. Buchanan AH (ed.), "Fire Engineering Design Guide, 2nd ed." *Centre for Advanced Engineering*, Christchurch, (2000).
68. "Approved Document for New Zealand Building Code Fire Safety Clauses" *Building Industry Authority*, Wellington, (2000).
69. DIN 4102-4, "Fire Behaviour of build materials and elements", *DIN*, Berlin (1994).
70. Buchanan A.H., "Structural Design for Fire Safety", *John Wiley and Sons*: Chichester, (2001).
71. Cadorin J-F., Franssen J-M., "A tool to design steel elements submitted to compartment fires—OZone V2. Part 1: pre- and post-flashover compartment fire model", *Fire Safety Journal*, 38: 395–427 (2003).
72. Cadorin J-F., Pintea D., Dotreppe J-C., Franssen J-M., "A tool to design steel elements submitted to compartment fires—OZone V2. Part 2: Methodology and application", *Fire Safety Journal*, 38: 429–451 (2003).
73. Curtat M, Fromy P. "Prévision par le calcul des sollicitations thermiques dans un local en feu, Première partie: le modèle et le logiciel NAT", *Cahiers du CSTB*, livraison 327, cahier 2565, Mars (1992).
74. Arnault P, Ehm H, Kruppa J. "Rapport expérimental sur les essais avec des feux naturels exécutés dans la petite installation—Maizières-Les-Metz. Doc. C.E.C.M-3/73-11-F." *Centre Technique Industriel de la Construction Métallique*, Puteaux, France, Juin (1973).
75. Lerup L., Cronroth D. and Liu J.K.C., "Learning from Fire: A Fire Protection Primer For Architects", *University Press of the Pacific*, (2004).
76. TS EN ISO 13943 "Yangın Güvenliği-Terimler ve Tarifleri" *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2002).
77. Malholtra, H.L., "Design of fire-resisting structures", *Surrey University Press*, London, (1982).
78. Bernhart D., "The Effect of Support Conditions on the Fire Resistance of a Reinforced Concrete Beam", Y.Lisans tezi, *University of Canterbury*, (2004).
79. ISO 834 "Fire resistance tests—Elements of building construction" *International Organization for Standardization*, (1975).

EKLER

EK-1. Terminoloji

Gerçek yangına direnç (actual time to failure): Doğal bir yangın etkisinde yapı bileşeninin ayakta kalma süresi [3].

Gerekli güvenli boşaltım süresi (Required Safe Egress Time-RSET): Kullanıcıların güvenli bir şekilde binayı ya da bir bölümünü boşaltarak güvenli alana ulaşması için gereken süre [2].

Isı akışı (heat flux): Birim alan ve birim zamanda yayılan, iletilen veya elde edilen ısı enerjisinin miktarı [W/m^2][76].

Isının yayılım oranı (heat release rate): Belirtilmiş şartlar altında; bir maddenin yanması sonucu, birim zamanda açığa çıkan ısı enerjisi [76].

İçten yanma (smouldering): Bir malzemenin alev ve ışık görülmeksizin yanması (İçten yanma genellikle sıcaklık ve / veya yangın dumanı ve / veya yangın gazlarındaki artış ile kanıtlanır) [76].

Parametrik sıcaklık – zaman eğrileri (parametric temperature-time curve): Yangın modelleri ve yangın bölümündeki şartları tanımlayan belirli fiziksel parametreler bazında belirlenen, eleman yüzeylerinin etrafındaki gaz sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi [47].

Parlama (flash-over): Kapalı bir yerdeki yanabilir malzemenin tüm yüzeyi saran yangın haline geçişi [76].

EK-1. (Devam) Terminoloji

Parlama noktası (flash point): Belirtilmiş şartlar altında; kısa süreli alev varlığında tutuşturmak üzere yayılan buharların oluşumu için malzeme veya ürünün ısıtıldığı en düşük sıcaklık (Derece Celsius cinsinden ifade edilir) [76].

Piroliz (pyrolysis): Oksijensiz ortamda sadece sıcaklık artışı sonucu oluşan geri dönüşümsüz kimyasal ayrıştırmanın bir bölümü (Piroliz kimyasal parçalanma gibi diğer olaylara bağlı ayrışma ile birarada olabilir) [76].

Sıcaklık – zaman eğrisi (temperature-time curve): Eleman yüzeylerinin etrafındaki gaz sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi [47].

Standart Sıcaklık-zaman eğrisi (standardized temperature-time curve): Standard bir yangına direnç deneyi süresince belirli bir şekilde tarif edilen sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi [76]. Bunlar, ISO 834 [79], ASTM E 119 [54], dış yangın eğrisi, hidrokarbon yangın eğrisi gibi standart yangına direnç deneylerinde kullanılan klasik eğrilerdir.

Standart yangına direnç (standart fire resistance): Belirli bir süre içinde ve belirli bir yük bileşimi için standart yangın etkisinde kalan, bir yapının veya bir parçasının (genellikle sadece elemanlar) gerekli fonksiyonlarını (yük taşıma fonksiyonu ve / veya ayırma fonksiyonu) yerine getirme kabiliyeti [47].

Sayısal yangın modeli (numerical fire model): Yangın gelişmesini etkileyen bir veya daha fazla, birbirine bağlı farklı özelliklerin matematiksel olarak gösterimi [76].

Tam olarak gelişmiş yangın (fully developed fire): Yangının yanabilir malzemenin tamamını sarması hali [76].

EK-1. (Devam) Terminoloji

Tasarım yangını (design fire): Tasarım amaçları için geliştirilmiş, belirli bir yangın [47].

Tutuşma (ignition): Yanmanın başlaması [76].

Uygulanabilir güvenli boşaltım süresi (Available Safe Egress Time-ASET): Performansa dayalı yangından korunma tasarımında, binanın sağladığı güvenli kaçış süresi [2].

Yangına direnç (fire resistance): Bir yapı elemanının belirtilmiş bir zaman süreci içerisinde yangına karşı standart bir direnç deneyinde gerek duyulan stabiliteyi ve / veya bütünlüğü ve / veya ısı yalıtımını ve / veya kendisinden beklenen diğer görevleri karşılama yeteneği. “Yangına dirençli” sıfat sadece bu yeteneği ifade eder [76].

Yangın etkisinde kalma (fire exposure): Kişilerin, hayvanların veya eşyaların yangının oluşturduğu şartlarla karşı karşıya kalma derecesi [76].

Yangın etkisinde kalmanın eş değer süresi (equivalent time of fire exposure): Kapalı hacimdeki doğal bir yangın gibi, aynı ısıtma etkisine sahip olduğu kabul edilen standart sıcaklık – zaman eğrisine karşılık gelen etkisinde kalma süresi [47].

Yangın modeli (fire model): Bir veya daha fazla yangın safhasını veya yangın safhaları arasında geçişi temsil etme, öngörme veya üretme amacıyla tasarlanan işlem veya işlem dizisi [76].

EK-1. (Devam) Terminoloji

Yangın senaryosu (fire scenario): Gerçek ölçektekine benzeyen veya özel bir yerdeki gerçek bir yangında tutuşma öncesinden yanmanın tamamlanmasına kadar geçen bir veya daha fazla aşamanın çevre şartları da dahil tüm şartlarının ayrıntılı şekilde tanımı [76].

Yangın şiddeti (fire severity): Kapalı hacimde çıkan bir yangının yıkıcı potansiyelinin bir ölçüsü [56].

Yangın yükü (fire load): Sınırlandırılan tüm yüzeyler de dahil olmak üzere yanabilen malzemenin bir hacminin tam olarak yanması sonucunda ortaya çıkan ısı miktarı [MJ][76].

Yangın yükü yoğunluğu (fire load density): Yangın yükünün birim alanına oranı [MJ/m²] [76].

EK-2. Yangın yükü yoğunlukları

TS EN 1991-1-2 standardının sonunda yer alan yangın yükü yoğunlarının hesaplanması ile ilgili bölüm kısaca aşağıda anlatılmaktadır [47].

1.Genel

Hesaplamalarda kullanılan yangın yükü yoğunluğu, ölçümleri ya da özel durumlarda ulusal düzenlemelerdeki yangına direnç şartlarını esas alan bir tasarım değeri olmaktadır. Tasarım değeri; insanların bulunduğu yerlerle ilgili bir ulusal yangın yükü sınıflandırmasından ve/veya bir yangın yük incelemesi yapılarak bağımsız bir proje için elde edilen özel değerden belirlenebilmektedir.

Yangın yükü ($q_{f,d}$)'nün tasarım değeri, aşağıdaki gibi tarif edilmektedir:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad [MJ/m^2] \quad (2.1)$$

Burada;

m : Yanma faktörü (Yanma davranışı, insanların bulunduğu yerin ve yangın yükü tipinin fonksiyonuna göre dikkate alınmalıdır. Başlıca selülozik malzemeler için yanma faktörü (m), 0,8 olarak kabul edilebilir.),

δ_{q1} : Kapalı hacmin büyüklüğüne bağlı olarak yangın aktivite riskinin dikkate alındığı bir faktör (Çizelge 2.1),

δ_{q2} : İnsanların bulunduğu yerlerin tipine bağlı olarak yangın aktivite riskinin dikkate alındığı bir faktör (Çizelge 2.1),

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{n,i}$ Farklı aktif yangınla mücadele önlemleri i 'yi (yağmurlama sistemi, algılayıcı, otomatik alarm gönderme, itfaiye erleri...) dikkate alan bir faktör. Bu aktif tedbirler genellikle, ömür boyu güvenlik sebepleri için zorunludur (Çizelge 2.2).

$Q_{f,k}$: Birim döşeme alanı için yangın yükü yoğunluğu karakteristiği $[MJ/m^2]$ (Çizelge 2.4)'dir..

EK-2. (Devam) Yangın yükü yoğunlukları

Çizelge 2.1. δq_1 , δq_2 faktörleri

Kapalı hacim döşeme alanı Af [m ²]	Yangının faal hale gelme aktivite tehlikesi δq_1	Yangının faal hale gelme aktivite tehlikesi δq_2	İnsanların bulunduğu yer örnekleri
25	1,10	0,78	Sanat galerisi, müze, yüzme havuzu
250	1,50	1,00	Ofisler, ev, otel, kağıt endüstrisi
2500	1,90	1,22	Makine & motorların imalât yerleri
5000	2,00	1,44	Kimya laboratuvarı, boya atölyesi
10000	2,13	1,66	Yangınla ilgili malzeme veya boyaların üretim yerleri

Güvenli geçiş yolları, yangın mücadele cihazları ve bina merdivenlerinden duman tahliye sistemleri gibi, her zaman mevcut olan normal yangın mücadele cihazları için Çizelge 2.2'deki δn_i değerleri, 1,0 olarak alınmalıdır. Ancak, bu yangın mücadele önlemleri öngörülmemişse, karşılık gelen δn_i değeri 1,5 olarak alınmalıdır. Bina merdivenleri, yangın alarmı durumunda aşırı basınç altında kalırsa, Çizelge 2.2'deki δn_8 faktörü 0,9 olarak alınmalıdır.

Çizelge 2.2. δn_i faktörleri

Aktif yangınla mücadele tedbiri fonksiyonu δn_i									
Otomatik yangın söndürme		Otomatik yangın algılama			Elle yangın söndürme				
Otomatik suyla söndürme sistemi δn_1	Bağımsız su tedarikleri	Otomatik yangın algılama & Alarm		Yangın ekibine otomatik alarm gönderme δn_5	Mahalinde yangın ekibi δn_6	Mahal dışında yangın ekibi δn_7	Güvenli geçiş yolları δn_8	Yangınla mücadele cihazları δn_9	Duman tahliye sistemi δn_{10}
	0 1 2	Isıyla δn_3	Dumanla δn_4						
	δn_2								
0,61	1,0 0,87 0,7	0,87 veya 0,73		0,87	0,61 veya 0,78		0,9 veya 1 veya 1,5	1,0 veya 1,5	1,0 veya 1,5

EK-2. (Devam) Yangın yükü yoğunlukları

2. Yangın yükü yoğunluklarının belirlenmesi

2.1 Genel

Yangın yükü, ara tabakalar ve son işlemler de dahil, bütün yanabilir bina içeriği ve ilgili yanabilir yapı elemanlarından meydana gelmelidir. Yangın esnasında kömürleşme olmayan yanabilir kısımlar dikkate alınmamalıdır. Yangın yükü yoğunlukları aşağıdaki hükümler uygulanarak belirlenmektedir:

- İnsanların bulunduğu yerlerle ilgili mevcut olan bir yangın yük sınıflandırmasından (Bölüm 2.5) ve/veya
- Bağımsız bir projeden elde edilen özel değerden (Bölüm 2.6).

Yangın yükü yoğunlukları insanların bulunduğu yerlerle ilgili mevcut olan bir yangın yük sınıflandırmasından belirlendiğinde, yangın yükleri aşağıdaki şekilde ayırt edilmektedir:

- Sınıflandırmayla verilen insanların bulunduğu yerlerdeki mevcut yangın yükleri,
- Genellikle sınıflandırmada bulunmayan ve aşağıdaki ilgili bölümlere göre tayin edilen, binanın yangın yükleri (yapı elemanları, ara tabakalar ve son işlemler).

2.2. Tarifler

Karakteristik yangın yükü aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad [MJ] \quad (2.2)$$

Burada;

$M_{k,i}$:Kapalı hacimdeki yangın yüklerine ait yanabilir malzemenin miktarı [kg]

H_{ui} :Net ısı değeri [MJ/kg] (Bölüm 2.2.4)

$[\Psi_i]$:Korunan yangın yüklerinin değerlendirilmesi için tercih faktörü (Bölüm 2.2.3)dür.

EK-2. (Devam) Yangın yükü yoğunlukları

Birim alan başına düşen karakteristik yangın yükü yoğunluğu $q_{f,k}$, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$Q_{f,k} = Q_{fi,k} / A \quad [MJ/m^2] \quad (2.3)$$

Burada:

A : $q_{f,k}$ veya $q_{t,k}$ olarak verilen, kapalı hacminin veya referans alanın döşeme alanı (A_f) veya kapalı hacmin iç yüzey alanı (A_t) dir.

Bir yapının hizmet verme süresince değişmesi beklenmeyen kalıcı yangın yükleri, araştırma sonucunda elde edilen değerleriyle belirtilmiş olmalıdır. Yapının hizmet verme süresince değişebilen, değişken yangın yükleri, ömrünün % 80'lik kısmında aşmadığı varsayılan değerlerle temsil edilmelidir.

2.3 Korunmuş yangın yükleri

Yangına maruz kaldığında etkilenmeyecek şekilde, tasarımılanan içeriğin yangın yüklerini dikkate almaya gerek yoktur. Herhangi bir özel yangın tasarımına sahip olmayan fakat yangın etkisinde kalma süresince bozulmadan kalan, yanmayan içeriklerin yangın yükleri, aşağıdaki şekilde dikkate alınabilir.

En büyük yangın yükü, fakat korunmuş yangın yüklerinin en azından % 10'u, $\psi_i = 1,0$ ile ilişkilendirilir. Bu yangın yüküyle korunmayan yangın yüklerinin toplamı, geri kalan korunmuş yangın yüklerini tutuşma sıcaklığının üstünde ısıtmaya yeterli değilse, geri kalan korunmuş yangın yükleri $\psi_i = 0,0$ ile ilişkilendirilir. Aksi durumda, ψ_i değerlerini bağımsız olarak değerlendirmek gereklidir.

EK-2. (Devam) Yangın Yüğü Yoğunlukları

2.4 Net ısı değeri

Net ısı değeri, EN ISO 1716:2002'ye uygun olarak belirlenmelidir. Malzemelerin nem içeriği, aşağıdaki bağıntı kullanılarak dikkate alınabilir.

$$H_u = H_{uo} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad [MJ/kg] \quad (2.4)$$

Burada;

u :Kuru ağırlığın yüzdesi olarak ifade edilen nem içeriği,

H_{uo} :Kuru malzemelerin net ısı değeri.Bazı katıların, sıvıların ve gazların net ısı değeri, Çizelge 2.3'te verilmektedir.

Çizelge 2.3. Yanabilir malzemelerin net ısı değeri H_u [MJ/kg]

Katılar	
Odun	17,5
Diğer selülozik malzemeler (Kumaşlar, Yün, Pamuk, İpek, Mantar, Kağıt, Karton, Saman)	20
Karbon (Antrasit, Odun kömürü, Kömür)	50
Kimyasal maddeler	
Parafinler (Metan, Etan, Propan, Bütan)	50
Olefinler (Etilen, Propilen, Bütan, Büten)	45
Aromatikler (Benzen, Toluen)	40
Alkoller (Metanol, Etanol, Etil alkol)	30
Yakıtlar (Gazyağı, Benzin, Mazot)	45
Saf hidrokarbon plastikler (Polietilen, Polistiren, Polipropilen)	40
Diğer ürünler	
ABS (plastik)	35
Polyester (plastik)	30
Poliizosiyanürat ve poliüretan (plastikler)	25
Polivinilklorür, PVC (plastik)	20
Bitüm, asfalt	40
Deri	20
Muşamba	20
Kauçuk bandaj	30
Not - Bu çizelgede verilen değeri, yakıtların enerji muhtevasının hesaplanması için uygulanamaz	

EK-2. (Devam) Yangın yükü yoğunlukları

2.5. İnsanların bulunduğu yerlerin yangın yükü sınıflandırması

Yangın yükü yoğunlukları, döşeme alanıyla ilgili olan ve Çizelge 2. 4'te verilmiş karakteristik yangın yük yoğunlukları $q_{f,k}$ [MJ/m²] olarak kullanılan, insanların bulunduğu yere göre sınıflandırılmalıdır. Buradaki yangın yükü yoğunluğu değerleri, Çizelge 2.1.'de verilen $q_{f,k}$, δq_2 faktörü 1,0'a eşit olduğunda geçerlidir. Çizelge 2.4'deki yangın yükleri, insanların bulunduğu yerlerle irtibat içindeki normal kapalı hacimler için geçerlidir. Özel odalarda bölüm 2.2'ye göre dikkate alınır. Binadaki yangın yükleri (yapı elemanları, ara tabakalar, kaplamalar), bölüm 2.2'ye uygun olarak belirlenmeli ve gerektiğinde aşağıdaki yangın yükü yoğunluklarına eklenmelidir.

Çizelge 2.4. İnsanların bulunduğu yerler için yangın yükü yoğunlukları $q_{f,k}$ [MJ/m²]

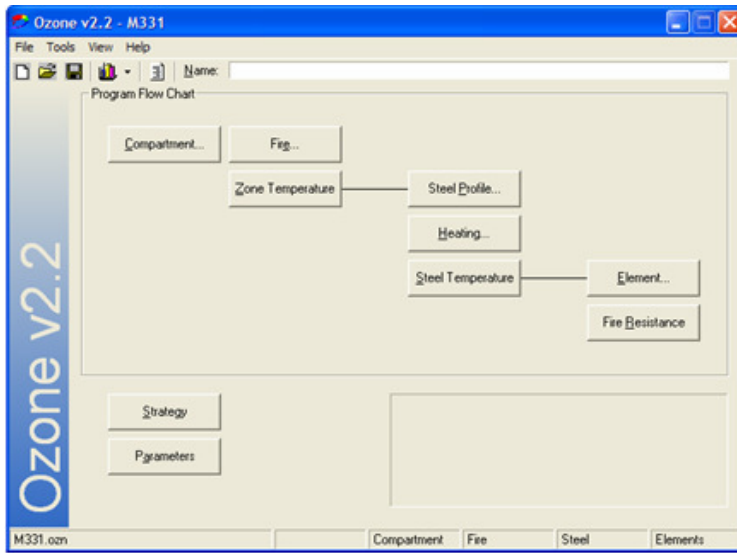
İnsanların bulunduğu yer	Ortalama	% 80 düzensizlik
Konut	780	948
Hastane (oda)	230	280
Otel (oda)	310	377
Kütüphane	1500	1824
Büro	420	511
Bir okul sınıfı	285	347
Alışveriş merkezi	600	730
Tiyatro (sinema)	300	365
Nakliye aracı (halkın bulunduğu alan meskun mahal)	100	122
Not - Gumbel ayrımı % 80 düzensizlik için kabul edilir.		

2.6. Yangın yükü yoğunluklarının bağımsız olarak değerlendirilmesi

İnsanların bulunduğu yer sınıflarının yokluğunda yangın yük yoğunlukları, ilgili yerlerin yangın yüklerinin incelenmesi sonucunda, tekil bir proje için özel olarak belirlenebilir. Yangın yükleri ve bunların bölgesel düzenlemesi, kullanım amacı, donanım ve tesisatlar, zamana göre değişimler, arzu edilmeyen eğilimler ve insanların bulunduğu yerlerdeki olası değişiklikler bakımından, tahmin edilmelidir. Bu konuda, varsa, karşılaştırılabilecek mevcut bir proje incelenmeli ve müşteri, sadece mevcut proje ve amaçlanan proje arasındaki olası farkları belirtmelidir.

EK-3. OZone Bilgisayar Modeli

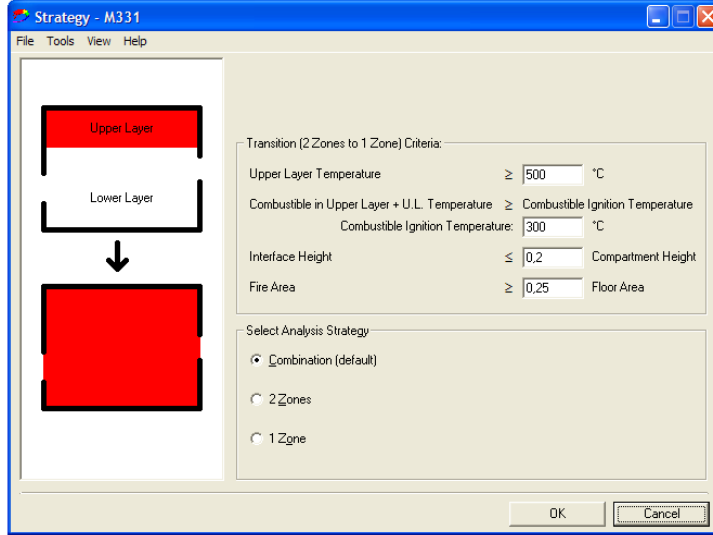
OZone V2.0, Avrupa Kömür Çelik Birliği (ECSC)'nin sponsorluğunda “Doğal Yangın Güvenliği Kavramı” ve “Doğal Yangın Güvenliği Kavramı, Tam Ölçekli Deney, Eurocodes'daki Uygulamalar ve Kullanıcı Dostu Tasarım Araçlarının Gelişimi” araştırması kapsamında geliştirilmiş bir bilgisayar programıdır. Amacı, kapalı hacimdeki yangın etkisinde kalan elemanlarının yapısal tasarımında mühendislere yardımcı olmaktır. Program, kapalı hacimdeki yangını modellemekte ve yapısal elemanlar üzerine bölgesel yangının etkilerini ortaya koymaktadır (Şekil 3.1) [70,71].



Şekil 3.1. OZone V2.0 programı çalışma prensibi

OZone V2.0, iki bölgeden tek bölge modeline geçiş becerisi ile birlikte iki bölge ve tek bölge modellerini içermektedir. Programda iki bölgeden tek bölge modeline geçiş koşulları açıklanmıştır. Bu şekilde, bölgesel ve tam gelişmiş yangınlar modellenebilmektedir (Şekil 3.2.) [71].

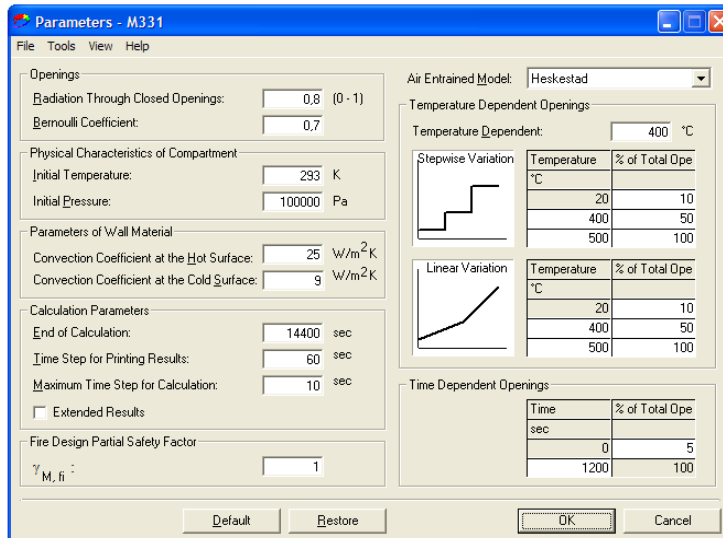
EK-3. (Devam) OZone Bilgisayar Modeli



Şekil 3.2. OZone V2.0 programı bölge modeli işleyiş stratejisi

OZone modelinde, bölge modeline bağlı alt modeller bulunmaktadır. Bunlar:

- Düşey, yatay ve cebri havalandırma aracılığıyla kapalı hacmin içinde ve dış çevre ortamı arasında ısı ve kütle transferi (havlandırma modeli) (Şekil 3.3.)
- Yangın tarafından üretilen ısı ve kütle (yanma modeli) (Şekil 3.4.)
- Alevler ile alttan üst tabakaya kütle transferi (hava taşıma modeli) (Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. OZone V2.0 kapalı hacim havalandırma modellerine ait parametreler

EK-3. (Devam) OZone Bilgisayar Modeli

Fire - M331

File Tools View Help

Fire Curve: ☒ NFSC Design Fire ☐ User Defined Fire

Max Fire Area: 44,7 m² Fire Elevation: 3,5 m Fuel Height: 1 m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRI	Fire Load q _{f,k}	Danger of Fire	
	[kW/m ²]		80% Fractile [MJ/m ²]	Activation	
User Defined	300		500	600	1
Description	Medium	Building use is retail			Medium

Design Fire Load

Fire Risk Area: 44,7 m² $\gamma_{q,1} = 1,22$

Danger of Fire Activation: $\gamma_{q,2} = 1$

Active Measures: $\prod \gamma_{n,i} = 1$

$q_{f,d} = \gamma_{q,1} \gamma_{q,2} \prod \gamma_{n,i} \cdot q_{f,k} = 585,6 \text{ MJ/m}^2$

Combustion

Combustion Heat of Fuel: 17,5 MJ/kg

Combustion Efficiency Factor: 0,8

Combustion Model: Extended fire duration

OK Cancel

Şekil 3.4. OZone V2.0 yanma modeline ait parametreler

OZone modelinde, kapalı hacim sınırları, hacmi çevreleyen bölmelerin katmanları ve bu katman üzerindeki açıklık belirlenmektedir (Şekil 3.5). Kapalı hacmi çevreleyen bölmelerin katmanları için farklı özelliklere sahip yapı malzemeleri eklenmektedir.

Compartement - M331

File Tools View Help

Form of Compartment

☒ Rectangular Floor ☐ Single Pitch Roof ☐ Double Pitch Roof ☐ Any Compartment

Height: 4 m Depth: 6,72 m Length: 6,65 m

Define Layers and Openings

Select Wall: Floor Define

Select Walls to Copy to: Ceiling Wall 1 Wall 2 Wall 3 Wall 4 Copy

☐ Copy Openings

Defined Walls:

Wall	Type	Openings
Floor	1	
Ceiling	2	
Wall 1	3	yes
Wall 2	4	
Wall 3	4	
Wall 4	4	

Forced Ventilation

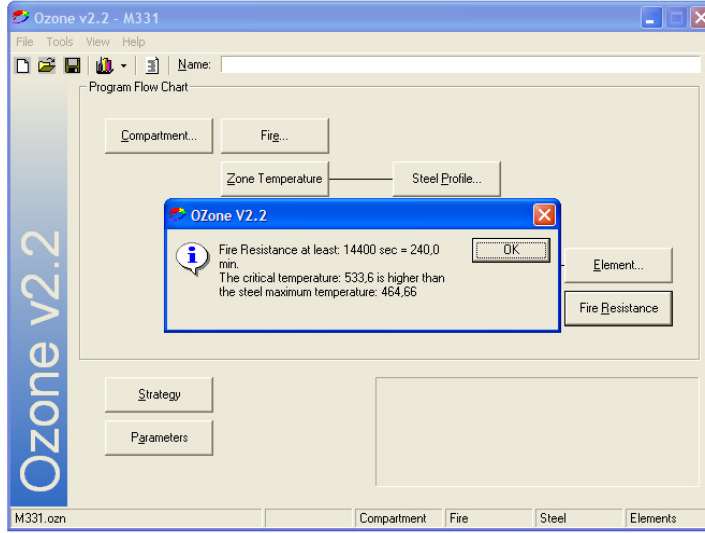
Smoke Extractors:

Height	Diameter	Volume	In/Out
m	m	m ³ /sec	
0			

OK Cancel

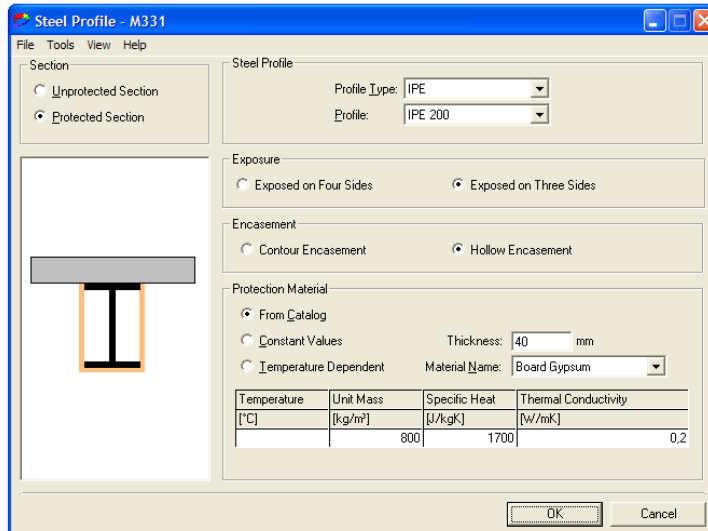
Şekil 3.5. OZone V2.0 kapalı hacim parametreleri

EK-3. (Devam) OZone Bilgisayar Modeli



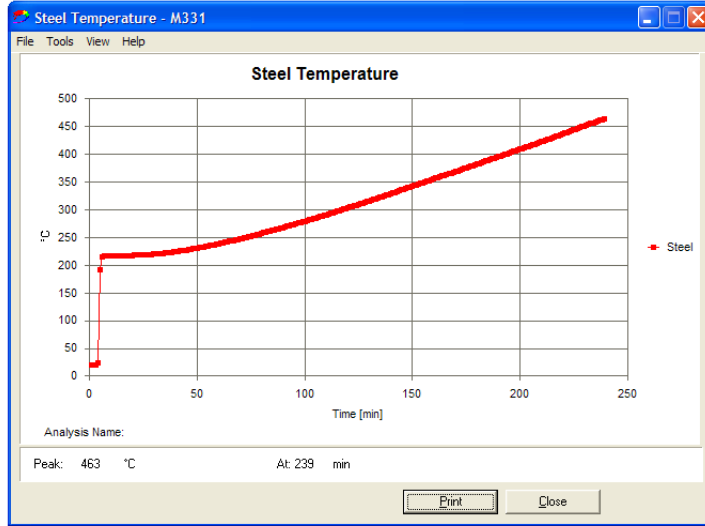
Şekil 3.6. OZone V2.0 çelik yapı elemanı yangına direnç süresi

Program, hacim tavanındaki çeşitli profildeki çelik kirişlerin gerçek yangın koşulları altındaki direnç süresini vermektedir (Şekil 3.6). Kirişin yalıtımlı ya da yalıtımsız olması, yalıtım özellikleri tasarımcı tarafından belirlenebilmektedir (Şekil 3.7).



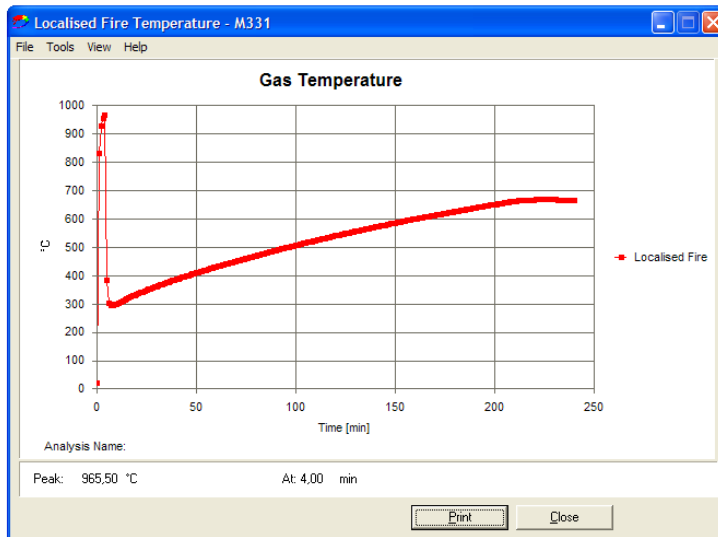
Şekil 3.7. OZone V2.0 çelik yapı elemanı tasarım parametreleri

EK-3. (Devam) OZone Bilgisayar Modeli



Şekil 3.8. OZone V2.0 çelik yapı elemanı sıcaklığı grafiği

Program ayrıca, gerçek yangın koşulları altında kapalı hacim ve çelik yapı elemanının zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi gibi çeşitli grafikler sunmaktadır (Şekil 3.8, Şekil 3.9).



Şekil 3.9. OZone V2.0 kapalı hacim gaz sıcaklığı grafiği

Ek-4. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğe göre öngörülen yangına direnç performans sınıfları ve süreleri

Çizelge 4.1. Yapı elemanlarının yangına direnç sınıfları (BYKHY EK-3/A)

R	Yük taşıma kapasitesi
E	Bütünlük
I	Yalıtım

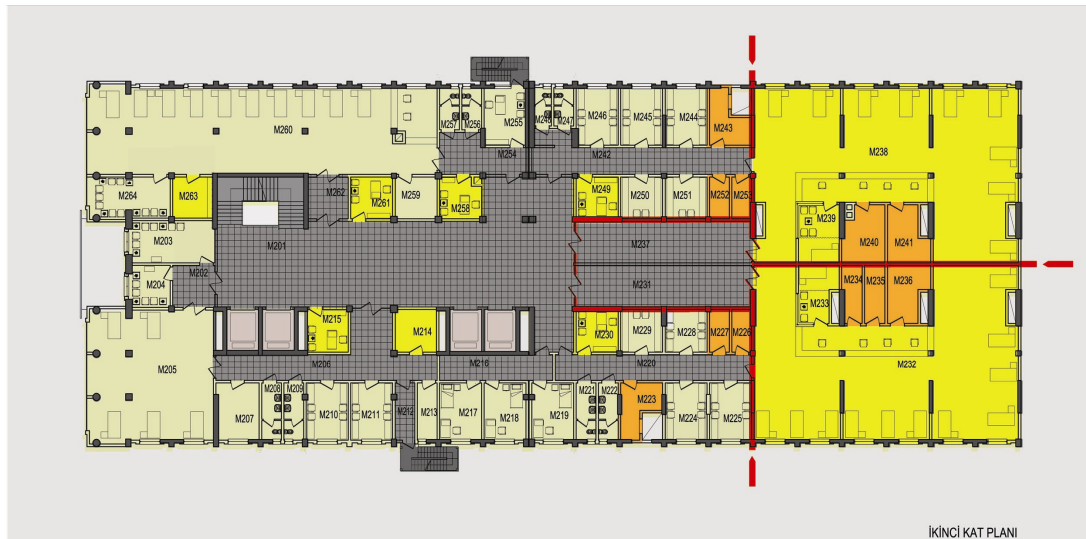
Çizelge 4.2. Yapı elemanlarının öngörülen yangına direnç süreleri (BYKHY EK-3/B)

	Yapı Elemanı	Yangın Dayanım Süresi (dak)	Etkilenen Yüzey
1.	Taşıyıcı Sistem (çerçeve, kiriş veya kolon)	R Bkz. EK-3c	Etkilenen yüzeyler
2.	Yük Taşıyıcı Duvar (aşağıdaki maddelerde de açıklanmayan duvar)	R Bkz. EK-3c	Ayrı ayrı her bir yüzey
3.	Döşemeler		
	a) İki katlı konutun ikinci katında (garaj veya bodrum kat üstü hariç)	REI 30	Alt yüzeyden
	b) Bir dükkân ve üstündeki kat arasında	REI 60 veya Bkz. EK-3c (hangisi daha büyükse)	
	c) Kompartıman döşemeleri dahil her türlü diğer döşemeler	REI Bkz. EK-3c	
	d) Bodrum kat ile zemin kat arası döşeme	REI 90 veya Bkz. EK-3c (hangisi daha büyükse)	
4.	Çatılar		
	a) Kaçış yolu teşkil eden her bölüm	REI 30	Alt yüzeyden
	b) Döşeme görevi yapan her türlü çatı	REI Bkz. EK-3c	
	c) Dıştan yangına maruz kalan çatılar (yük taşıyıcı değil)	EI Bkz. EK-3c	Dış yüzeyden
5.	Dış Duvarlar		
	a) Parsel sınırın herhangi bir noktasına 2 m.'den daha yakın her bölüm	REI Bkz. EK-3c	Ayrı ayrı her bir yüzey
	b) Parsel sınırdan 2 m. veya daha uzak olan her bölüm	REI Bkz. EK-3c	Binanın iç yüzeyden
6.	Yangın Kompartıman Duvarları (Bina içindeki farklı kullanım işlevlerini birbirinden ayıranlar)	REI 60 veya Bkz. EK-3c (hangisi daha büyükse)	Ayrı ayrı her bir yüzey
7.	Yangın Kompartıman Duvarları (6 numarada belirtilenler dışındakiler)	REI Bkz. EK-3c	Ayrı ayrı her bir yüzey
8.	Korunumlu Şaftlar (korunumlu yangın merdiveni yuvaları ve acil durum asansör kuyuları hariç)	REI 120	Ayrı ayrı her bir yüzey
9.	Korunumlu Yangın Merdiveni Yuvaları, Acil Durum Asansörü Kuyuları ve Yangın Güvenlik Holü		
	a) Binanın geri kalanından ayıran duvar	REI 120	Binaya bakan yüzey
	b) Yangın merdiveni yuvası, acil durum asansör kuyusu ve yangın güvenlik holünü birbirinden ayıran duvar	REI 60	Ayrı ayrı her bir yüzey
10.	Yangın Kesici	EI 30	Ayrı ayrı her bir yüzey
11.	Asma Tavan	EI 30	Alt taraftan

Ek-5. Model uygulanan örnek binaya ait kat planları



Şekil 5.1. Örnek bina, 3 kat planı



Şekil 5.2. Örnek bina, 2 kat planı



Ek-5. (Devam) Model uygulanan örnek binaya ait kat planları



Şekil 5.3 Örnek bina, 1. kat planı



Şekil 5.4 Örnek bina, zemin kat planı

	Yangın şiddeti yüksek kapalı hacimler		Yangın kompartıman duvarı
	Yangın şiddeti orta kapalı hacimler		Kuranglez (Önerilen)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ALTINDAŞ, Sedat
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.04.1976 Kıbrıscık
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 480 08 10 / 237
 Faks : 0 (312) 481 50 70
 E-posta : sedat.altindas@yigm.gov.tr, sedatdas@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	İ.T.Ü. / Mimarlık Bölümü	2001
Lisans	İ.T.Ü. / Mimarlık Bölümü	1997
Lise	Bolu Atatürk Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000 -	Bayındırlık ve İskan Bakanlığı	Mimar
1997 – 2000	Yıltur A.Ş. / ALP Yapı A.Ş.	Şantiye şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Demirel, F., Altındaş, S., “Çatı ve Çatı Kaplamalarının Dış Yangın Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması Ve Konunun Türkiye - Avrupa Geneline İrdelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 13(1): 65-70, (2010).
2. Altındaş S., Demirel F., “Binalarda Yapısal Yangına Direncin Sağlanması Bağlamında Ülke Mevzuatlarının İncelenmesi”, *TÜYAK 2009 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu*, İstanbul, 65-73 (2009)
3. Demirel, F., Altındaş, S., “Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması ve Konunun Türkiye – Avrupa Geneline İrdelenmesi” *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, (95): 142-149 (2006).
4. Demirel, F., Altındaş, S., “Yapı Malzemelerinin Avrupa Yangına Tepki Sınıfları, Konunun Türkiye - Avrupa Geneline İrdelenmesi ve Ulusal Sınıfların Yeni Avrupa Sınıflarına Uyarlanması” *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, (94): 138-146 (2006).
5. Demirel, F., Altındaş, S., “Yapı Malzemelerinin Avrupa Yangına Tepki Sınıfları, Konunun Türkiye - Avrupa Geneline İrdelenmesi ve Ulusal Sınıfların Yeni Avrupa Sınıflarına Uyarlanması”, *GÜMMF Dergisi*, 21(1): 39-54 (2006).
6. Demirel, F., Altındaş, S., “Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması ve Konunun Türkiye – Avrupa Geneline İrdelenmesi” *Politeknik Dergisi*, 8 (4): 381-395 (2005).
7. Altındaş, S. “Yapı Derzlerinin İncelenmesi ve Uygun Derz Seçimi” , Y.Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001)

Hobiler

Klasik Türk Müziği, Maket yapımı, Koleksiyonculuk