

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN YANGIN ETKİSİNDE
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

TANER ÖZER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. A.ZAFER ÖZTÜRK**

İSTANBUL, 2012

TC
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN YANGIN ETKİSİNDE
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

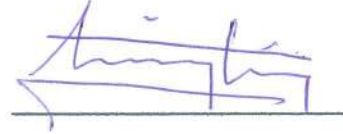
Taner ÖZER tarafından hazırlanan tez çalışması 30.01.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

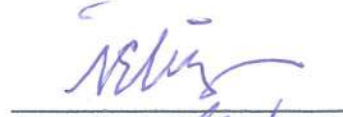
Prof. A.Zafer ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

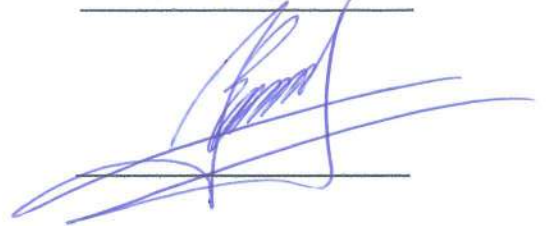
Prof. A.Zafer ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. İbrahim EKİZ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN
İstanbul Üniversitesi



ÖNSÖZ

Dünyada çelik üretiminde 2012 yılı verilerine göre 8 ci sırada olmamıza rağmen, Türkiye’deki “Çelik İnşaat” ın toplam inşaat sektöründeki payı, yaklaşık olarak %5 civarındadır. Çok katlı çelik yapı uygulamaları ise yok denecek kadar azdır. Çok katlı çelik yapıların tasarım aşamasında yangından koruma yöntemleri üzerinde durularak projelendirilmesinin önemini vurgulamak için bu tez çalışmasını yaptım. Çalışmamın her aşamasında değerli görüş, eleştiri ve tavsiyelerinden yararlandığım tez danışmanım Sayın Prof. A.Zafer ÖZTÜRK hocama teşekkür ederim. Beni teşvik ederek literatür konusunda yardımcı olan yeğenim Metalürji Mühendisi Arş. Gör. B.Nilgün ÇETİNER’e şükranlarımı sunarım. Ayrıca tercüme konusunda yardımcı olan oğlum M.Erhan ÖZER’e ve desteğini esirgemeyen değerli eşime teşekkür ederim.

Kasım, 2012

Taner ÖZER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
YAPI ÇELİKLERİNİN YÜKSEK SICAKLIKTA DAVRANIŞLARI.....	4
2.1 Yapılarda Kullanılan Çelik Türleri	4
2.2 Yangına Maruz Kalmış Çelik Yapıların Sayısal Modellemesinde Elastik ve Plastik Yöntemler	12
2.2.1 Elastik Yöntem.....	13
2.2.2 Plastik Yöntem.....	17
2.3 Yangında Çerçevelerin Plastik Yük Kapasitesi ve Kararlılığı.....	23
2.4 Yangına Dayanıklı Çelik Elemanların Yangın Dayanımı Üzerine Parametrik Çalışmalar	31
BÖLÜM 3	
ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMİN YANGIN ESNASINDA DAVRANIŞI.....	39
3.1 Gerçek Binaların Yangın Karşısında Gözlemlenen Davranışları.....	39

3.1.1	Broadgate 8. Faz Yangını, Londra	39
3.1.2	Churchill plaza Binası Basingstoke	41
3.2	Benzer Araştırmaların Özeti	42
3.2.1	BHP William Caddesi Yangın Testleri	42
3.2.2	BHP Collins Caddesi, Yangın Testleri	45
3.2.3	Stuttgart Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen Yangın Testi	46
3.3	Cardington'daki Çok Katlı Test Binası	48
3.3.1	Test 1; Sınırlı Kiriş	52
3.3.2	Test 2; Düz Çerçeve	56
3.3.3	Test 3, İlk Köşe.....	61
3.3.4	Test 4, İkinci Köşe.....	66
3.3.5	Test 5, Büyük Daire	73
3.3.6	Test 6, Taklit edilen Ofis.....	77
BÖLÜM 4		
4.1	Binada Yangın Güvenliği Kavramı	82
4.1.1	Yangın Güvenliğinde Çevresel Faktör: Bina	83
4.1.2	Rijit Çok Katlı Binalarda Yangına Dayanıklı Çelik Çerçevelerin Yapı Sürekliliğinin Etkisi.....	85
4.2	Çelik Yapılarda Yangından Koruyucu Uygulamalar.....	88
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		105
KAYNAKLAR.....		106
ÖZGEÇMİŞ.....		108

SİMGE LİSTESİ

A	Alan
c_s	Spesifik ısı
E	Elastiklik (Young) modülü
E_T'	T sıcaklığındaki elastik modül
E_{20}	Oda sıcaklığındaki elastik modül
$\bar{E}$	Tanjant modülü
f_{yT}	T sıcaklığında akma gerilmesi
f_{y20}	Oda sıcaklığında akma gerilmesi
G	Kayma Modülü
L	Uzunluk
ΔL	Uzama miktarı
ι	İletkenlik
$M^*(T)$	T sıcaklığında eğilme momenti
M_{20}	Oda sıcaklığında eğilme momenti
N	Yapının ağırlığından kaynaklanan yük
P	Yük
P_T	Isısal yük
T	Sıcaklık
T_c	Sınır Sıcaklık
v	"u" yer değiştirmesindeki bağımsız bileşenlerin sayısı
α	Isıl genleşme katsayısı
σ	Gerilme
δ	Kopma uzaması
λ	Çökme faktörü
θ	Plastik rotasyon
ν	Poisson oranı
Λ_p	Basit plastik teoriden elde edilen yük faktörü
Λ_{cr}	Elastik burkulma yük faktörü
ζ	Bütün yapıdaki kritik kesit alanlarının sayısı
φ_b	Kararlılık sabiti uzaklığı

KISALTMA LİSTESİ

ANSYS	3B katı model analizi
AKÇT	Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu
ASTM:	(American Society for Testing Materials) – Amerikan Malzeme Test Birliği
AIJ	(Architectural Institute of Japan) Japonya Mimarlık Enstitüsü
BAT	Bina Acil Cevap Takımı
BHP	Avustralya Çelik üreticisi
BRE	İngiltere Bina Araştırma Kuruluşu
BS	(British standart) İngiliz standartları
C	Karbon
Corus	(eski British Steel)
CTICM	Fransa ve Çelik Yapı Enstitüsü
DIN	(Deutsches Institut für Normung e.V.): <i>Alman Standart</i> Enstitüsü
EC	(Eurocodes) Avrupa Yapısal Tasarım Standartları
EN	(Europeane Norm), Avrupa Standartları
ISO	(International Organization for Standardization) Uluslar arası standardizasyon kuruluşu
Mn	Mangan
MPa	Megapaskal
P	Fosfor
PLANE55	Isıl katı modelleme
PMF CF70	Kompozit döşeme sistemi
S	Sülfür
SHELL 181	Sonlu gerilme kabulü modellemesi
Si	Silisyum
SURF55	Isıl yüzey etkisi
TNO	Hollanda Uygulamalı bilimsel araştırmalar enstitüsü
TS	Türk Standartları
YDÇ	Yangına Dayanıklı Çelik

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Gerilme şekil değiştirme grafiği	8
Şekil 2. 2 Kullanılan çelik mamullerinin şematik özeti	11
Şekil 2. 3 ϕT için eğri uydurma: İkinci dereceden	17
Şekil 2. 4 ϕT için eğri uydurma: İkili eğri uydurma	17
Şekil 2. 5 İki elemanlı çerçeve örneği	21
Şekil 2. 6 Analiz (a) ML^* için EMD (kNm) ve (b) Me^* için EMD (kNm) eğilme momenti diyagramları	21
Şekil 2. 7 Plastik yöntem.....	22
Şekil 2. 8 Çelik çerçevelerin hesaplaması için yapılan kabullerin grafikleri; a) Rijit birleşimler, b)Yük yolları, c) Çerçevenin yük azalım eğrileri	23
Şekil 2. 9 Ortam şartlarında yük kapasitesini tanımlayan etkileşim formüllerinin doğrulanması için yapılan araştırma çalışmalarının sonuçları	24
Şekil 2. 10 ASTM A36 çeliğinin sürünme gerilmeleri; a) 4 °C/ dakika hızla ısıtıldığında ve b) 50 °C/ dakika hızla ısıtıldığında.....	24
Şekil 2. 11 Binanın iskeleti ($\omega=6$). Temel mekanizmaların şekli (No.1'den No. 6'ya kadar) ve bileşik mekanizmaların şekli (No. 7'den No. 9'a kadar	25
Şekil 2. 12 Goldberg yöntemi ile kararlılık yaklaşık analizi için eşdeğer çerçeve şekli ..	25
Şekil 2. 13 "a"da gösterilen eş değer çerçevenin simetrik ve simetrik olmayan burulmasının analizi	26
Şekil 2. 14 Analiz edilen çerçeve için kritik yük hesaplamalarının sonuçları.....	26
Şekil 2. 15 Kirişin elemansal bölünmesi	33
Şekil 2. 16 Ortaki çelik sıcaklığı-dikey sapma	33
Şekil 2. 17 Farklı $f_y, 600^\circ C/f_y$ (MPa) değerlerinin eğrileri	33
Şekil 2. 18 Farklı f_{yt}/f_y-T eğrileri	34
Şekil 2. 19 Dört farklı yükleme	34
Şekil 3. 1 Kazara olan yangın sonrasında Broadgate'deki burulan kolon.....	41
Şekil 3. 2 Broadgate'deki yangın sonrasında burulan kiriş ve zemin levhası	41
Şekil 3. 3 Yangından sonra Churchill Plaza Binası, Basingstoke	42
Şekil 3. 4 BHP test binası	46
Şekil 3. 5 BHP yangın testi	46
Şekil 3. 6 Test binasının genel planı.....	48
Şekil 3. 7 Yapısal çerçevenin genel görünümü	49
Şekil 3. 8 PMF CF370 kompozit levha.....	50

Şekil 3. 9	Fin plakası (kiriş-kiriş) bağlantısı	51
Şekil 3. 10	Esnek uç plakası (kiriş-kolon) bağlantısı	51
Şekil 3. 11	Yangın testlerinin yerleşim planı ve mevkileri	52
Şekil 3. 12	Tasarlanan gaz fırını	53
Şekil 3. 13	Test süresince kirişte kaydedilen en yüksek dikey yer değiştirme ve sıcak. 54	
Şekil 3. 14	Fırının içindeki test kirişinin bölgesel burulması	54
Şekil 3. 15	Kırılmış bağlantı.....	55
Şekil 3. 16	Düz çerçeve testinin şematik gösterimi	56
Şekil 3. 17	21 m uzunluğundaki fırının bir kısmı.....	57
Şekil 3. 18	Merkezi 9.0 m'lik çelik kirişin en yüksek dikey yer değiştirmesi ve sıcaklığı 58	
Şekil 3. 19	Kolonun korunmasız kısmının ezilmesi. Not: Korumanın esas uzunluğu kolonun etrafındaki beyaz kalıntıdan tanımlanabilir	58
Şekil 3. 20	Merkezi 9,0 m'lik çelik kirişin en yüksek dikey yer değiştirmesi ve iç kolonun korumasız üst kısmının sıcaklığı	59
Şekil 3. 21	Sonraki test alanının genel görünümü	60
Şekil 3. 22	Kiriş-kiriş birleşimlerinde (fin plakaları) civata kayması	60
Şekil 3. 23	Test 3'ün şematik gösterimi	61
Şekil 3. 24	Bitmeye yakın dairenin iç kısmı	62
Şekil 3. 25	Yangının büyütülmesinin erken evresinde dairenin ön cephe görünüşü	62
Şekil 3. 26	Ön görülen, ölçülen ve hesaplanan atmosfer/zaman/sıcaklık cevabının karşılaştırması	63
Şekil 3. 27	9.0 m'lik ikincil kirişin en yüksek dikey yer değiştirmesi ve sıcaklığı.....	64
Şekil 3. 28	Testin ardından dairenin içten görünümü	64
Şekil 3. 29	Yangından sonraki yapısal deformasyon	65
Şekil 3. 30	Kiriş-kolon birleşiminin yakınında meydana gelen aşırı burkulma	65
Şekil 3. 31	Bölgesel burulma gösteren iç 9,0 m'lik ikincil kirişin fin plakası bağlantısı .	66
Şekil 3. 32	Dış kiriş dönmesi	66
Şekil 3. 33	Test 4'ün şematik gösterimi.....	67
Şekil 3. 34	3 aksındaki duvar bölmesinin düzenlenmesi	67
Şekil 3. 35	Yangın testi 4'ün başlangıcı.....	68
Şekil 3. 36	Sürmekte olan yangın testi	69
Şekil 3. 37	Sürmekte olan yangın testi	69
Şekil 3. 38	Yangın dairesi boyunca kaydedilen en yüksek ve ortalama atmosfer sıcaklıkları	70
Şekil 3. 39	Yangın dairesinin merkezindeki ikincil kirişin kaydedilen en yüksek dikey yer değiştirmesi ve sıcaklığı.....	70
Şekil 3. 40	Kenar kirişin kaydedilen en yüksek dikey yer değiştirmesi ve sıcaklığı	71
Şekil 3. 41	Testin ardından korunmamış kenar kirişin deformasyonu	72
Şekil 3. 42	Bina duvarının bütünlüğü test süresince korundu.....	72
Şekil 3. 43	Daire duvarının üstündeki kirişin çarpılma sonucu oluşan burulması(Duvarın kaldırılmasından)	73
Şekil 3. 44	Test 5'in şematik görünümü	73
Şekil 3. 45	Daire içindeki kereste yataklar.....	74
Şekil 3. 46	Yangın dairesinde kaydedilen en yüksek ve ortalama atmosfer sıcaklıkları	74
Şekil 3. 47	En yüksek beton levhası yer değiştirme ve 9,0 m'lik ikincil kirişin sıcaklığı .	75

Şekil 3. 48	Testin sonuna doğru yapısal davranış (ikinci iç ikincil kirişteki bölgesel burulmaya dikkat edilmeli)	76
Şekil 3. 49	Çelik-çelik birleşimlerinin yakınındaki bölgesel burkulma	76
Şekil 3. 50	Yangının koruma evresinde uç plakasından ayrılan kirişin bağlantı levhasının birleşimi	77
Şekil 3. 51	Test 6'nın şematik gösterimi	78
Şekil 3. 52	Dairenin içten görünümü	79
Şekil 3. 53	Çelik üst zeminin 1.2 m altında en yüksek ve ortalama atmosfer sıcaklığı..	79
Şekil 3. 54	Yangının görünümü Test 6	80
Şekil 3. 55	9.0 m'lik ikincil kirişin en yüksek yer değiştirmesi ve sıcaklığı	80
Şekil 3. 56	Test sonrasında dairenin içten görünümü	81
Şekil 3. 57	İç kolonun çevresinde kompozit döşemenin çatlaması	81
Şekil 4. 1	ağlantı türleri ve düzenleri; (a) ağ kelepçe bağlantı montajı; (b) fin plaka bağlantı montajı; (c) gömme uç plakası bağlantı montajı; (d) esnek uç plakası bağlantı montajı	91
Şekil 4. 2	Farklı yangından korunma şemalarının örnekleri; (a) korunmamış cıvata, (b) korunmuş cıvata	92
Şekil 4. 3	Bağlantı test numunesinin kurulumu; (a) fırının içinden görünüm; (b) fırının dışından görünüm	92
Şekil 4. 4	Fırın-kontrol ısı çiftleri kullanarak hesaplanan ortalama fırın sıcaklıkları ...	95
Şekil 4. 5	Test numunelerin etrafındaki ısı çiftleri kullanarak hesaplanan ortalama fırın sıcaklıkları	96
Şekil 4. 6	Bağlantı numunesi olmaksızın tamamlayıcı yangın testinin fırın içindeki sıcaklık dağılımı	96
Şekil 4. 7	Ağ kelepçesinde yangından önce ve 60 dakika yangına maruz kaldıktan sonra korunmamış cıvatalar (Test SP2)	96
Şekil 4. 8	60 dakika yangına maruz kaldıktan sonra korunmuş uç plakalarındaki korunmamış cıvatalar: (a) Yangın testinden sonra (Test SP8) karbon ile kaplanmış cıvatalar; (b) Yangın testinden sonra (Test SP10) karbon ile kaplanmamış cıvatalar	97
Şekil 4. 9	Beton ile kaplama	99
Şekil 4. 10	Taşıyıcı I profili beton ile doldurma	99
Şekil 4. 11	Plakalı sistem uygulama	100
Şekil 4. 12	Plakalı sistem uygulama	100
Şekil 4. 13	Püskürtme uygulaması	102
Şekil 4. 14	Püskürtme uygulaması	102
Şekil 4. 15	Püskürtme uygulaması	102
Şekil 4. 16	Püskürtme uygulaması	103
Şekil 4. 17	Yangına dayanıklı boya uygulama	104
Şekil 4. 18	Yangına dayanıklı boya uygulama	104

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Yapı çelikleri standartları..... 5
Çizelge 2. 2	Paslanmaz çelik ürün standartları 6
Çizelge 2. 3	Yapısal Çelik, Saç ve Lama Ürün Standartlar 6
Çizelge 2. 4	İnşaat sektöründe kullanılan çelik türlerinin bileşimleri 9
Çizelge 2. 5	Kaynak sarf malzemeleri ve ürün standartları 10
Çizelge 2. 6	Elastik yöntemde uygulanan denklemler 14
Çizelge 2. 7	Plastik yöntemde uygulanan denklemler..... 18
Çizelge 2. 8	Kritik sıcaklık analizinin sonuçları..... 22
Çizelge 2. 9	Analizlerde kullanılan denklemler ve açıklamaları 27
Çizelge 2. 10	Eksenel basınca maruz değişik f_y ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$). 34
Çizelge 2. 11	Değişik f_y ve R'lere sahip YD çelik kirişlerin kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$). 35
Çizelge 2. 12	Eksenel basınca maruz değişik f_y , $600^{\circ}\text{C}/f_y$ (MPa) ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$). 35
Çizelge 2. 13	Farklı f_y , $600^{\circ}\text{C}/f_y$ (MPa) ve R'lere sahip YD çelik kirişlerin kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$). 36
Çizelge 2. 14	Eksenel basınca maruz değişik f_{yt}/f_y -T eğrisi değerlerine ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıklarının değişimi, ($^{\circ}\text{C}$). 36
Çizelge 2. 15	Farklı f_{yt}/f_y -T eğrisi değerlerine ve R'lere sahip YD çelik kirişlerinin kritik sıcaklıklarının değişimi, ($^{\circ}\text{C}$). 37
Çizelge 2. 16	Eksenel basınca maruz değişik λ ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$). 37
Çizelge 2. 17	Farklı ϕ_b kararlılık sabitlerine ve R'lere sahip YD çelik kirişlerinin kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$). 38
Çizelge 2. 18	Eksantrik değişik β ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$). 38
Çizelge 3. 1	Test programının özeti 52
Çizelge 4. 1	Bağlantı bileşenlerinin detaylı boyutları 93
Çizelge 4. 2	Yangından korunma modellerinin özeti 94
Çizelge 4. 3	Farklı test numuneleri için ortalama kuru film kalınlığı 95

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN YANGIN ETKİSİNDE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Taner ÖZER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. A. Zafer ÖZTÜRK

Mühendislik malzemelerinin dayanımı artan sıcaklık ile azalmaktadır. Çelik için de durum aynı iken, çeliğin avantajı yanıcı olmamasıdır. Yangının ardından dayanımını tamamen geri kazanabilmektedir. Yangın esnasında, çelik önemli bir miktar ısı enerjisini emer. Yangının ardından, çelik ortam sıcaklığına soğuduğunda tekrar eski haline dönmektedir. Bu ısıtma ve soğutma çevrimleri esnasında, tekil olarak çelik elemanlar bükülebilir veya zarar görerek taşıyıcı özelliğini kaybeder. Mevcut yangınların incelenmesi sonucunda, korumasız çelik elemanların yangın dayanımını konu alan deneyler ve hesaplama yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Ayrıca, çelik yapılarda yangın güvenliği için belli özelliklerde çelik türleri geliştirilmiştir. Bu çelikler “Yangına Dirençli Çelikler” (YDÇ) diye adlandırılmaktadır. Bunlar temel olarak termomekanik olarak işlem görmüş, bu şekilde sıradan yapı çeliklerine göre daha iyi performans gösteren malzemelerdir. YD çelik türleri de, sıradan çeliklerin ferrit-perlit mikro yapısına sahip olmak ile birlikte yapılarındaki molibden ve krom mevcudiyeti mikro yapıyı 600 °C’de bile kararlı hale getirmektedir. Bu çelikler yaklaşık 600 °C sıcaklığa maruz kaldıklarında akma dayanımlarının en az üçte ikisine kadarını sergilerler. Bu açıdan bakıldığında, YD çeliklerinin yangına karşı tabii bir koruması vardır.

Yangından korunma esas olarak, yangında binen yük, yangının şiddeti ve kullanılan yapı elemanlarının türüne bağlı olarak; çelik kolon ve kirişlerin boya koruma, çelik kolon ve kirişlerin tabanca ile püskürtülerek uygulanan koruyucu malzeme ile kaplanması, çelik kolon ve kirişlerin beton içine alınması veya sıva ile kaplanması, çelik kolon ve kirişlerin yangına dayanıklı alçıpan plakalarla kaplanması çelik kolon ve kirişlerin yangına dayanıklı yalıtım plakaları ile kaplanması gibi yöntemlerle de yapısal direnç sağlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yangın ve çelik, yangına dirençli çelikler, yangın yükü, yangından koruma

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOUR OF THE MULTI STOREY STEEL BUILDINGS UNDER FIRE

Taner ÖZER

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. A. Zafer ÖZTÜRK

The strength of engineering materials decrease with increasing temperature. This deduction is also valid for steel, however the advantage of steel is its property of uncombustibility. It can recover its strength completely after fire. During fire, steel absorbs a considerable amount of heat energy and after fire when it was cooled to the ambient temperature, it recovers itself. During these cycles of heating and cooling, the steel elements, individually, can be bent or damaged and therefore lose its characteristic of bearing the whole structure of the building. Upon review of the current fires, fire resistance of unprotected steel members on the subject of the experiment and calculation methods have been studied.

Besides, the steels of particular specifications have been developed for the fire safety of steel structures. These types of steels are named as "Fire Resistant Steels (FRS)". These steels are thermomechanically treated, so it can perform better than the ordinary structure steels. The FR steels have the same structure of perlite-ferrite as the ordinary steels but the presence of molybdenum and chromium stabilizes the structure even at 600 °C. These steels exhibit at least the two thirds of their yield strength when exposed to heat. From this point of view the FR steels have a natural protection against fire.

The fire protection depend essentially on the fire load, the intensity of fire and the types of sthe structural elements. The structural resistance can be provided by dying of steel columns and beams, coating with protective substances of steel columns and beams, immersing of steel columns and beams in concrete, covering of steel columns and beams with plaster plates, covering and coating of steel columns and beams with isolating plates.

Keywords: Fire and steel, fire resistant steels, fire load, fire protection

GİRİŞ

Binalarda kullanılan enerji yangın riskini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle binalar sürekli yangın tehdidi altında olup, yangın çıkma olasılığı vardır. Gelişmiş ülkelerde, çok katlı çelik yapılar uzun zamandır kullanılmaktadır. Ülkemizde genellikle endüstri yapılarında rastlanmaktadır. Özellikle son yıllarda depreme dayanıklılığı ve inşaa hızı nedeniyle tercih edilmeye başlanmıştır. Çelik, yüksek sıcaklıklarda yaklaşık 600 °C’de yumuşamaya başlayarak mukavemetini kaybeder ve plastikleşir, bu da malzemenin olumsuz etkilenmesidir.

Çelik yapıların avantajlarının yanı sıra, yanmazlıktan çok ısıı şekil değiştirmeleri göz önünde tutmak ve yangın güvenliği için koruma yöntemlerinin önemini vurgulamak, bu araştırmanın içeriğini oluşturmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Devrim ÖZHENDEKÇİ, Ders notlarında çeliğin tarihçesi, çeliğin üretimi, hadde ürünleri, çelik yapı taşıyıcı uygulama alanları, çeliğin mekanik özellikleri, çelik yapılarda tasarım yöntemleri ve çelik yapılarda yükler hakkında bilgi vermiştir.

M.B. WONG, Yangına Maruz Kalmış Çelik Yapıların Sayısal Modellemesinde Elastik ve Plastik Yöntemler; Plastik hesaplama, Basit hesaplama ve Sonlu elemanlar yöntemleri üzerine çalışmalar yaparak, Yangına maruz kalmış çelik yapıların Elastik ve Plastik yöntemlerde uygulanacak denklemleri belirterek çözümlü örneklerle açıklamıştır.

Skowrofiski W., Yangında Çerçevelerin Plastik Yük Kapasite Kararlılığı; Çerçevelerin sıcaklık ve yük altında elastik-plastik deformasyon davranışları üzerinde durmuş ve

elik ereveli binaların yangın güvenliği tasarımılarında kullanılabilecek analitik bir yöntem sunarak, analizlerde kullanılacak denklemleri açıklamıştır.

Ding J., Li.G.O. ve Sukumoto Y., Yangına Dayanıklı elik Elemanların Yangın Dayanımı zerine Parametrik alışmalar; Yangına dayanıklı çeliklerin konvansiyonel çeliklerle karşılaştırılması, mekanik özellikleri ve YD elik elemanların kritik sıcaklıkları üzerine etkilerini incelemişler.

3. Bölümde, ok Katlı elik Yapılarda Taşıyıcı Sistemin Yangın Esnasında Davranışı; Kazara olan yangınlar incelenerek oluşan hasarlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca Cardington’da çok katlı test binası inşa edilerek, gerçek bir yapının yangın şartları altında davranışlarını araştırmak için bir dizi test yapılmıştır. Buradaki amaç yangın analizinde bilgisayar programlarına yardımcı veriler toplamaktır.

Kobes M.,Heislout I., de Vires B. ve Post J.G., Binalarda Yangın Güvenliği Kavramı; Güvenli kaçış için yapılan çalışmalar üzerinde durularak elde edilen sonuçlar hakkında bilgi vermişler.

Wang Y.C., Yangın Güvenliği evresel Faktör; Binaların fiziki özellikleri, insanların yangındaki davranışı, yangına cevap verme performanslarını etkilemektedir. Burada bina karakteristiklerini durumsal ve mühendislik özellikleri bakımından incelemiştir.

Wang Y.C., Rijit ok Katlı Binalarda Yangına Dayanıklı elik erevelerin Yapı Sürekliliğinin Etkisi; Parametrik çalışmalardan yola çıkarak ereve sürekliliğinin yangın şartları altında davranışlarının etkisini tanımlamak üzere bir dizi çalışma gerçekleştirmiştir.

Dai X.H., Wang Y.C. ve Bailey C.G., elik Yapılarda Yangından Koruyucu Uygulamalar; Yangın şartlarında elik çerçeveli yapılarda bağlantıların davranışları üzerine yapılan deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Kılıç Abdurrahman, elik Taşıyıcıların Yangın Yalıtımı; elik yapıların yangından korumaya yönelik yalıtım çeşitlerini anlatmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Ülkemizde son yıllarda yaşanan depremlerin ardından ve hızla metropolleşen, kentsel dönüşüme uğrayan şehirlerimizde çelik konstrüksiyonlu binalar daha çok önem taşıyacaktır. Deprem etkisi altında yapının enerji yutma, sünek davranış göstermesi, çeliğin kopmadan büyük deformasyonlar yapabilme özelliği ve inşa süresinin betonarme yapılara göre daha kısa olması nedeniyle deprem bölgelerinde inşaa edilecek yapılar için ideal bir malzemedir. Fakat bütün bu iyi yönleri yanında, yanıcı bir malzeme olmamakla birlikte çeliğin yüksek sıcaklıkta yaklaşık 600 °C'den sonra yumuşaması yüksek sıcaklık derecelerinde mukavemetinde hızlı bir düşüş olmasına ve taşıyıcı özelliğini yitirmesine neden olur. Bu nedenlerden dolayı çok katlı çelik yapıların yangın esnasındaki davranışları ve ilgili tasarımı hayati öneme sahiptir. Bu tezde çelik elemanların ve çok katlı çelik yapıların yüksek sıcaklık ve yangın etkisindeki davranışlarından yangının yıkıcı etkilerini en aza indirmenin yollarının araştırılması, incelenmesi ve irdelenmesi amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Çelik yanıcı bir malzeme olmamakla birlikte, sıcaklık arttıkça, mukavemetini yitirerek plastikleşir. Bu bağlamda çelik taşıyıcılara uygulanacak yalıtım sistemleri, yangına karşı dayanım süresini uzatır.

YAPI ÇELİKLERİNİN YÜKSEK SICAKLIKTA DAVRANIŞLARI

2.1 Yapılarda Kullanılan Çelik Türleri

Demir ve çelik 5000 yıldır kullanılmakta olup önceleri silah ve eşya olarak kullanılmıştır. 18. Yüzyılda İngiltere’de ham demir üretimi yapılarak inşaat malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Demir kullanılarak yapılan ilk inşaatlar köprülerdir. Abraham Darby 1778 yılında İngiltere’de, Severn nehri üzerindeki Coalbrookdale Köprüsünü fonttan inşa etmiştir. Abraham Darby taş kömüründen kok kömürü üreterek, kok kömürünüde kullanarak demir işlemeyi başarmıştır. Abraham Darby’nin kullandığı ilk malzeme fonttur. Fontun basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür. Henry Cort yaklaşık 1784 yılında “Puddler” adlı fırın ile iyi kalitede dövme çelik üretimini İngiltere’de başlatmış oldu. İngiltere dünyada çelik üretimde lider duruma gelmiştir. 1787 yılında İngilizler Almanya ve Fransa’da demir çelik üretimi için yüksek fırın kurarak bu ülkeler de üretime başlamış oldular. Böylece dövme çelik kullanılarak dolu gövdeli ana kirişli ve kafes ana kirişli köprülerin yapımına başlandı. Bunlardan birisi, 1846 yılında İngiltere’de inşa edilen 140 metre açıklıklı Britannia köprüsüdür.

Yerkabuğunun %4,5’i demir madenidir. Demir cevheri doğada Oksitler, Hidroksitler, Karbonatlar halinde bulunur.

Demir cevheri kok kömürü ile ergitilerek ham demir elde edilir. Elde edilen ham demirin karbon oranı yüksek (%3-5) olduğundan şekil değiştirmeye ve kaynaklanabilmeye elverişli değildir. Bu nedenlerle ham demir işlenerek, kullanılan

yöntem ve katkılara bağlı olarak çelik veya dökme demir üretilir. İçeriğinde yaklaşık olarak %2-4 oranında karbon vardır.

Çelik ise Siemens-Martin, Elektrik Arkı ve Oksijen Üfleme gibi yöntemlerle dökme çelik veya hadde ürünü çelik üretilir. Üretilen çelik, haddeleme adı verilen sistemle inşaatlarda kullanılan ürünler elde edilir. Genelde 800°-1200° C’de haddeleme işlemine tabi tutulan çelik istenilen ürünler elde edilir.

Çelik, mekanik dayanım anlamında yapılara özel kalite katması açısından önemli bir malzemedir. Bu durumda da yapı sektöründe en fazla kullanılan malzeme olarak, birim alanda basınç ve çekme dayanımlarının büyük önemi vardır. Çeliğin estetik ve teknik alanda sağladığı geniş ürün yelpazesi mühendis ve mimarlara çözümler için geniş bir imkân sunmaktadır. Çelikler paslanmaz çelik gibi içerikleri, ayrı gördükleri işlemlere göre sınıflandırılırlar. St 37, 44, 52 gibi çelik türleri inşaat sektöründe kullanılan çelik sınıflarına örnek iken, yüksek dayanımlı çelik de gittikçe artan oranda inşaat sektöründe kullanılmaktadır. [1]

Çelik yapılarda, TS EN 10025’in ilgili bölümlerinde sınıflandırılan aşağıdaki yapı çelikleri kullanılır.

Çizelge 2.1 Yapı çelikleri standartları

	Alaşımsız Yapı Çeliği	Kaynaklanabilir İnce Tanelli Yapı Çeliği	Atmosferik Korozyona Dayanımlı Yapı Çeliği
S 235	S 235 JR		
	S 235 JO		S 235 JOW
	S 235 J2		S 235 J2W
S 275	S 275 JR	S 275 M	
	S 275 JO		
	S 275 J2		
S 355	S 355 JR	S 355 M	
	S 355 JO	S 355 ML	S 355 JOWP, S 355 JOW
	S 355 J2		S 355 J2WP, S 355 J2W
	S 355 K2		S 355 K2W
S 450	S 450 JO		
S 460		S 460 M	
		S 460 ML	

Çizelge 2.2 Paslanmaz çelik ürün standartları

Ürünler	Teknik Özellikler	Toleranslar
Sac ve lamalar	TS EN 10088-2, EN 10028-7	TS 2163 EN 10029, TS EN 10048, TS 3736 EN 10051, TS EN ISO 9445
Dikişli borular	TS EN 10296-2, TS EN 10217-7	TS 6814 EN ISO 1127
Dikişsiz borular	TS EN 10216-5, TS EN 10297-2,	
Dolu çubuklar ve profiller	TS EN 10088-3, TS EN 10272	EU 17, EU 58, EU 59, EU 60, EU 61, EU 65
Not: Yukarıdaki Tablo 2 ve 3; prEN 1090-2 Tablo-1, 2 ve 3'den alınmıştır.		

Çizelge 2.3 Yapısal Çelik, Sac ve Lama Ürün Standartlar

Ürünler	Teknik Özellikler	Toleranslar
L profiller ve köşebentler	TS EN 10056-1, TS EN 10025	TS EN 10056-2
I ve H Profilleri	TS EN10034, TS 910, TS EN 10025	TS EN 10034
T- Profilleri	TS 911 EN 10055, TS EN 10025	TS 911 EN 10055
U- Profilleri (konik- paralel flanşlı)	TS 912, TS EN 10025	TS EN 10279
Z- Profilleri	TS 913, TS EN 10025	
Borular	TS 301, TS EN 10216, TS EN 10217, TS EN 10219	TS EN 10216, TS EN 10217.
Sıcak Çekme Kutu Profiller	TS EN 10210-1, TS EN 10210-2	TS EN 10210-2
Soğuk Şekillendirilmiş Kutu Profiller	TS EN 10219-1, TS EN 10219-2	TS EN 10219-2
Çelik Saclar	TS EN 10025	TS 2163 EN 10029, TS 3736 EN 10051
Galvanizli Düz Oluklu Saclar	TS 822	
Çelik Lamalar ve Şeritler	TS EN 10058, TS 3736 EN10051	TS EN 10048, TS EN 10140
Alaşımsız yapı çeliği	TS EN 10025-2	
İnce taneli, kaynak edilebilir yapı çeliği	TS EN 10025-3, TS EN 10025-4	
Soğuk şekillendirme için yüksek akma dayanımlı çelikler	TS EN 10149-1, TS EN 10149-2, TS EN 10149-3	
Soğuk haddelenmiş çelik levha	TS 3812 ISO 4997	TS EN 10131
Sürekli kaplanmış sıcak daldırma galvanizli çelik	TS EN 10326, TS EN 10327	TS EN 10143

ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Çeliğin mekanik özellikleri çekme deneyi ile belirlenir. Çubuk şeklindeki çelik numuneye giderek artan çekme kuvveti uygulanır. Artan kuvvet etkisiyle çubuğun boyu uzarken, enkesiti daralır ve numune kopuncaya dek kuvvet arttırılmaya devam edilir.

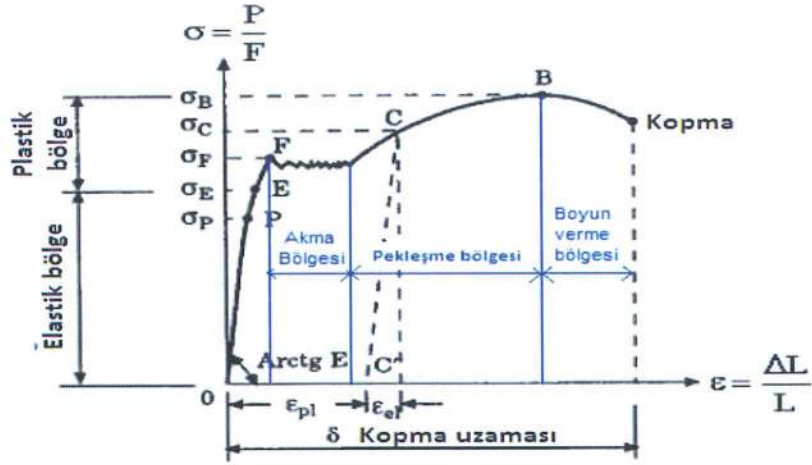
Deney boyunca çubukta meydana gelen boy değişimi ve gerilme değerleri ölçülerek gerilme şekil değiştirme grafiği hazırlanır. (**Şekil 2.1**) Çubuk elastiklik sınırına ulaşmaya kadar (**elastiklik sınır gerilmesi : σ_e**) meydana gelen şekil değiştirmeler elastiktir; diğer bir deyişle elastik bölgede tesir eden kuvvet kaldırılırsa çubuk başlangıç haline döner. Bu bölge içinde **orantılı sınır gerilmesi (σ_p)** diye adlandırılan değerden daha küçük gerilme değerlerinde, gerilmeler ve şekil değiştirmeler arasındaki ilişki lineer olup Hooke Kanunu geçerlidir: $E = \sigma / \epsilon$ Hooke Kanunu'nun geçerli olduğu orantılı bölge Hooke doğrusu, doğrunun eğimi ise elastiklik modülünü vermektedir.

Elastiklik sınır aşıldığında çubukta bazı kalıcı hasarlar yani plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Elastik olmayan bölgede kuvvet arttırılmaya devam edilirse malzeme **akma sınırına (σ_f)** ulaşır. Akma durumu, sabit gerilme etkisindeki bir elemanda şekil değiştirmede meydana gelen artış olarak tanımlanabilir. Akma durumunda meydana gelen deformasyondan sonra malzeme kendini toparlar ve gerilme yeniden artmaya başlayarak **maksimum gerilme (σ_b)** değerine ulaşır.

Maksimum gerilme değerine ulaştıktan sonra kesit alanı lokal olarak daralmaya başlar, buna malzemenin boyun vermesi denir. Boyun verme bölgesinde kesit alanı daraldığından kopma gerilmesine ulaşarak kontrolsüz bir şekilde kopar.

Çelik malzeme plastik bölgedeyken yük kaldırılıp gerilme sıfırlanırsa, gerilme deformasyon ilişkisi grafikte [OP] doğrusuna paralel [CC'] doğrusunu takip eder. Şekilde de görüldüğü gibi yük altında var olan gerilmenin elastik olan kısmı kaybolurken, plastik olan kısmı kalıcı olmaktadır. C noktasına kadar yüklenip, yükü boşaltılmış numune yeniden yüklenirse, bu kez bir önceki yüklemeden ötürü plastik deformasyon (kalıcı hasar) mevcut olduğundan gerilme şekil değiştirme ilişkisi [C'CB] yolunu izler. Bu durumda malzeme σ_c gerilme noktasına kadar lineer elastik karakter gösterir. Bu olaya pekleşme denir. Pekleşme olayı sonucunda metalin sertliği, akma sınır gerilmesi artar, sünekliği ise [OC'] (plastik deformasyon) kadar azalmış olur. [1]

Çekme deneyi aşamaları;



Şekil 2.1 Gerilme şekil değiştirme grafiği

Yapılarda kullanılacak çeliğin mekanik özellikleri aşağıdaki değerleri karşılamalıdır.

Elastiklik modülü $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Kayma Modülü $G = E/2(1+\nu) = 81000 \text{ N/mm}^2$

Poisson Oranı $\nu = 0,3$

Isıl genleşme katsayısı $(\alpha) = 0,000012$

Çizelge2.4 İnşaat sektöründe kullanılan çelik türlerinin bileşimleri

Avrupa Normu (EN10025)	Almanya Din 17100	ABD ASTM	%C	%Mn	%Si	%S	%P	Akma min N/mm ²	Çekme N/mm ²
S185	St33	A283B							
S235		A283C	0.22 max	1.60 max	0.50 max	0.050 max	0.050 max	185	310/540
S235JR	St37-2	A283C-A	0.17 max	1.40 max		0.045 max	0.045 max	235	360/510
S235JO	St37-3 U		0.17 max	1.40 max		0.040 max	0.040 max	235	360/510
S235J2G3	St37-3 N		0.17 max	1.40 max		0.035 max	0.035 max	235	360/510
S275			0.25 max	1.60 max	0.50 max	0.050 max	0.050 max	275	430/580
S275JR	St44-2	A283D-A	0.21 max	1.50 max		0.045 max	0.045 max	275	430/580
S275JO	St44-3 U	A578Gr70	0.18 max	1.50 max		0.040 max	0.040 max	275	430/580
S355		A572Gr50	0.23 max	1.60 max	0.50 max	0.050 max	0.050 max	355	490/630
S355JR			0.23 max	1.60 max	0.55 max	0.045 max	0.045 max	355	490/630
S355JO	St52-3 U	A441	0.22 max	1.60 max	0.60 max	0.040 max	0.040 max	355	490/630
S355J2G3	St 52-3 N		0.20 max	1.60 max	0.55 max	0.035 max	0.035 max	355	490/630
S355J2G4			0.20 max	1.60 max	0.55 max	0.035 max	0.035 max	355	490/630

Çelik yapı malzemelerine ilişkin kalınlık toleransları, yüzey şartları ve özellikleri EN 1090-2’de ve ilgili standartlarda olduğu gibidir.

Çelik yapılarda ve uzay kafes çatı sistemlerinde projesine bağlı olarak çelik döküm kullanılabilir. Çelik döküm için TS EN 10213-1 ve TS EN 10283 kullanılmakla birlikte yapısal kullanım için hazırlanan prEN 10340 esas alınır.

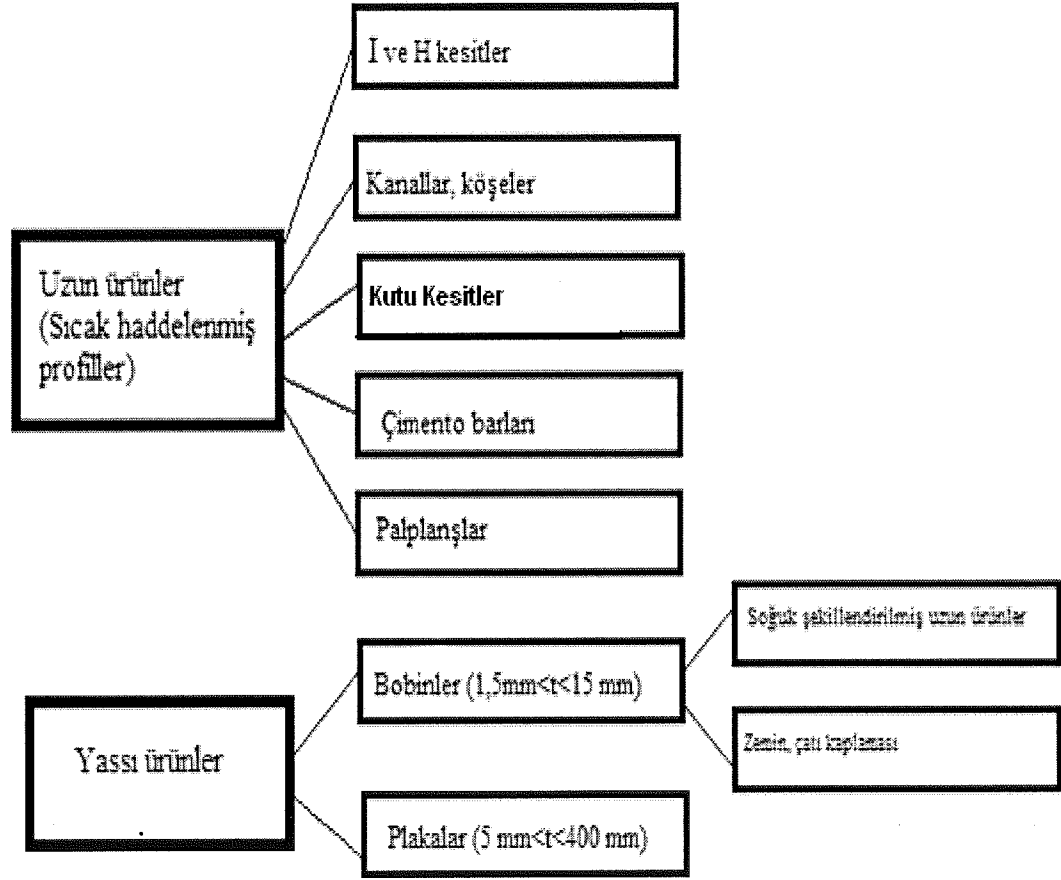
Bütün kaynak sarf malzemeleri pr13479’a ve aşağıdaki standartlara uygun olmalıdır.

Çizelge 2.5 Kaynak sarf malzemeleri ve ürün standartları

Ürünler	Standartlar
Alaşımsız ve İnce Daneli Çeliklerin Elle Metal Ark Kaynağı İçin Örtülü Elektrotlar	TS 563 EN 499
Yüksek Mukavemetli Çeliklerin- Elle Metal Ark Kaynağı İçin Örtülü Elektrotlar	TS EN 757
Alaşımsız ve İnce Taneli Çeliklerin Koruyucu Gaz Metal Ark Kaynağı İçin Tel Elektrotlar ve Yığılmış Kaynaklar	TS 5618 EN 440
Alaşımsız ve İnce Taneli Çeliklerin Gaz Korumalı veya Korumasız Metal Ark Kaynağı İçin Boru Şeklindeki Özlü Elektrotlar	TS EN 758
Ark Kaynağı ve Kesme İçin Koruyucu Gazlar	TS EN 439
Alaşımsız ve ince taneli çeliklerin tozaltı ark kaynağı için tel elektrotlar, tel elektrot-toz ve boru tipi özlü elektrot-toz kombinasyonları	TS EN 756
Tozaltı Ark Kaynağı İçin Tozlar	TS EN 760
Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Gaz Korumalı Metal Ark Kaynağı İçin Tel Elektrotlar ve Yığılan Kaynak Metali	TS EN 12534
Yüksek mukavemetli çeliklerin gaz korumalı metal ark kaynağı için boru şeklindeki özlü elektrotlar	TS EN ISO 18276
paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin elle metal ark kaynağı için örtülü elektrotlar	TS 2716 EN 1600
Paslanmaz ve Isıya Dirençli Çeliklerin Ark Kaynağı İçin Tel Elektrotlar, Teller ve Çubuklar	TS EN 12072
Paslanmaz ve Isıya Dayanıklı Çeliklerin Gaz Korumalı veya Korumasız Metal Ark Kaynağı İçin Boru Şeklinde Özlü Elektrotlar	TS EN ISO 17633
Not: Yukarıdaki Tablo prEN 1090-2 Tablo-4'den alınmıştır.	

Bu teknik şartname kapsamındaki kullanılacak çelik malzeme ve birleşim elemanları TS ENV 1090-1 Çizelge 2.3'de belirtildiği gibidir. Aşağıdaki hususlar için prEN 1090 madde 5.6 esas alınır. [2]

- Öngermesiz bulonlu birleşimler
- Öngermeli yüksek dayanımlı bulonlu birleşimler
- Altıgen uygun bulon ve somunlu birleşimler
- Yuvarlak ve gömme bal bulon ve somunlu birleşimler



Şekil 2.2 Kullanılan çelik mamullerinin şematik özeti

2.2 Yangına Maruz Kalmış Çelik Yapıların Sayısal Modellemesinde Elastik ve Plastik Yöntemler

Tam donanımlı testlerin yapılmasının ekonomik olarak yarattığı zorluklardan dolayı, yangına maruz kalan çelik çerçeveli yapıların tasarımında uygulamalı testleri tamamlayan bilgisayar destekli hesaplama aletlerinin kullanımı son yıllarda büyük bir hız kazanmıştır. Bu değişim, çalışmalarda rasyonel performans tabanlı tasarım yaklaşımının genel olarak mühendisler tarafından kabul edildiği yangın mühendisliği tasarım kavramına geçilmesini sağlamıştır. Ayrıca yapının yangın dayanımının incelenmesi öngörülen yangın şartları ve yangındaki performansına bağlıdır. Yangın mühendisliğinde performans yaklaşımı yangın yükleri, havalandırma, ısı transferi ve sıcaklık artışına bütün yapının cevabı gibi geniş bir aralıkta gerçek tasarım parametrelerini kapsamaktadır. Bu parametrelerle yangın şartları altındaki çok sayıda yapısal çelik tasarımı önerilmektedir. Günümüzde, bu analiz aletleri ile kullanılan yöntemler, “**basit hesaplama yöntemi**” ve “**sonlu eleman yöntemi**” olarak iki temel kategoride sınıflanmaktadır. [3]

Basit hesaplama yöntemi;

Yapısal elemanların sınır sıcaklığının hesaplanmasındaki basitliği nedeniyle çok geniş olarak kullanılan ve sıcaklıkta malzemenin bozunumunun incelenmesini ampirik formüllerin kullanımı ile birleştiren bir yöntemdir. Bu yöntem genellikle yükleme oranının, oda sıcaklığında uygulanan eğilme momentleri ve sınır sıcaklığında moment kapasitesi bağlamında sıcaklığın fonksiyonu olarak ifade edildiği izole elemanların hesaplanması şeklinde sınırlamalar ile koruyucu bir yaklaşım benimser. Bu yaklaşımın avantajı, yapısal modelin istatistiksel olarak uygulanan eğilme momentinin sıcaklık artışının etkilerinden etkilenmediği durumda istatistiksel olarak belirlenebiliyor olmasıdır. Bununla birlikte, bu model gerçek ve sınırlı şartlar ile hem ısısal hem statik yükleme uygulamalarının bir sonucu olarak yapısal etkileşimde olan yapısal elemanların sürekliliğini yeteri kadar doğru yansıtmayabilir. Bu analitik yöntemde, elemanın limit sıcaklığa ulaşması yapının kesin olarak yıkılacağı anlamına gelmez. [3]

Sonlu eleman yöntemi;

Yapısal tasarım için mühendisler tarafından çok geniş alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda sonlu elemanlar yönteminin yangın mühendisliğine uygulamalarında kullanılmaya başlamıştır. Sonlu eleman yöntemi hem malzeme hem de geometrik olarak analizin içerisine eklenebilecek lineer olmayan özelliklerde de başarılıdır. Bununla birlikte, Morris ve Kirby, yangın mühendisliği gibi belirli bir uzmanın uygulamasını gerektirdiği ve ticari olmaları gibi nedenlerinin yanında problemi çözecek etkin kullanıcı gerektirdiğinin altını çizmektedir. [3]

Analiz edilecek yangına maruz kalmış bir yapı için, bu yapıda hangi analiz türünün daha uygun olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu karar, bu yapı için en son sınır hali tasarım modeli ile ilişkilendirilebilir. Genellikle, en son sınır hali için elastik yaklaşım kullanılarak tasarlanmış bir yapı, yangın sınır hali için plastik olarak analiz edilmemelidir. Bu durumun nedeni ise, plastik olarak analiz edildiğinde elastik olarak tasarlanan bir yapı plastik mafsallarda plastik momentleri destekleyemeyecek ve tamamen plastik momentler ile gelişen mekanizma ile alakalı çökme yükü temin edilemeyecektir. [3]

2.2.1 Elastik Yöntem

Uygulanan elastik yöntemin amacı, yangın şartlarında yapıda, sınır sıcaklığına ulaşan kritik elemanı bulmaktır. Kritik elemanın sınır sıcaklığı bütün elemanların arasında en düşük olandır ve lineer elastik analiz kullanılarak hesaplanabilir. Bu yöntem, tasarım yükünün, elemanların plastik hali hesaba katılmadan, bu elemanların her hangi birinin en fazla kapasitesinin aşılmasına neden olmayacak uygulamasının elastik tasarım yönteminin benzeridir. Bu yöntemde, yapıdaki bütün elemanların aynı malzemeden yapıldığı ve aynı sıcaklık artışına maruz kaldığı kabul edilmektedir. Bu kabul, az katlı binalarda veya çok katlı binaların alt katlarında mantıklıdır. Lineer olmayan geometrik ve malzeme etkileri yok sayılmaktadır. Yapıdaki sıcaklık artışı hem malzeme bozunumuna hem de yapısal elemanlar ile ısısal etkileşimlere neden olacaktır. Bu analitik prosedür, analiz süresince sabit kalan dış yüklerin artan sıcaklık sonucunda değişen ısısal yüklemeler ile etkileştiği durumlarda daha da karmaşılaşmaktadır. [3]

Çizelge 2.6 Elastik yöntemde uygulanan denklemler

Denklem		Açıklaması
$\frac{M^*(T)}{M_{20}} \leq \frac{f_{yT}}{f_{y20}} = \varphi_T \quad (2.1)$	Çerçeveadaki her bir elemanın limit sıcaklığının hesaplanması için uygulanan orantı	$M^*(T)$; T sıcaklığında eğilme momenti M_{20}; oda sıcaklığında moment kapasitesi f_{yT}; T sıcaklığında akma gerilmesi f_{y20}; oda sıcaklığında akma gerilmesi
$M^*(T) = M_L^* + M_T^* \quad (2.2)$	İstatistiksel olarak belirlenemeyen bir çerçevenin elemanı $M^*(T)$ hem statik hem de ısısal yüklenmeden kaynaklanır.	M_L^*; her hangi bir T sıcaklığında yapıdaki bütün elemanlar için, üniform E_T Young Modülü için statik yüklemekten elde edilir ve E_T'nin anlık değerinden bağımsızdır. Bundan dolayı M_L^* bütün elemanlar için E_{20} olarak E_T konularak elde edilir. M_T^*; her bir eleman için ısısal genleşme katsayısı α, A kesit alanı için, bütün elemanlara uygulanan ısısal yük P_T değerinden meydana gelen $\underline{P_T}$ vektöründe bulunan ısısal yüklenme ile belirlenir.

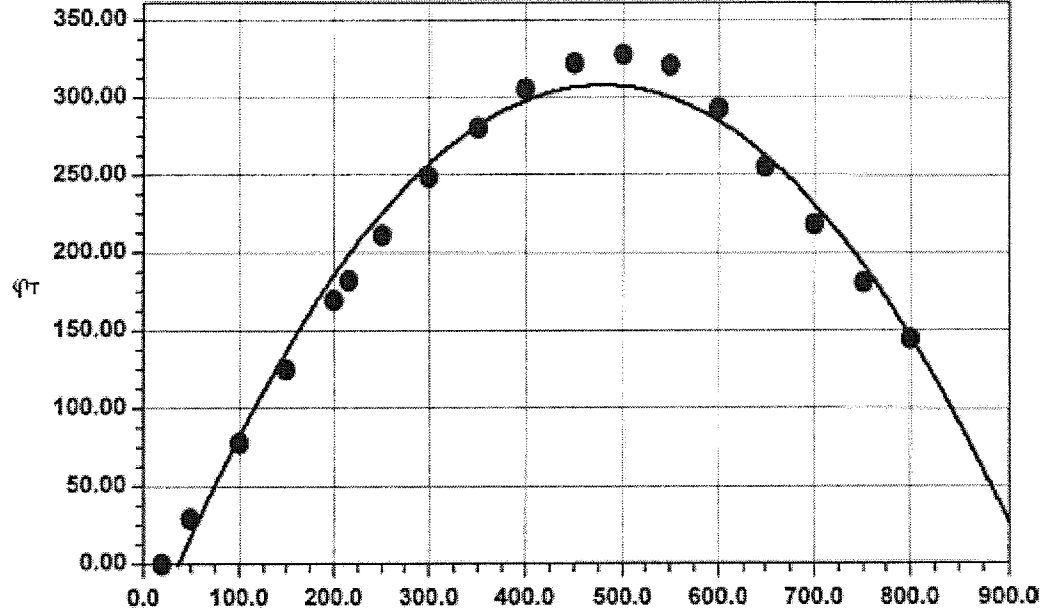
Çizelge 2.6'nın devamı

$P_T = E_{20} A \alpha \varphi_T \quad (2.3)$	Bütün elemanlara uygulanan ısısal yük P_T; $\varphi_T = \varphi_{ET}(T - 20)$ ve $\varphi_{ET} = \frac{E_T}{E_{20}}$	E_{20}; oda sıcaklığında elastik modül A; her bir eleman için kesit alanı α; her bir eleman için ısısal genleşme katsayısı
$M_T^* = \varphi_T M_e^* \quad (2.4)$	Her bir yapı elemanında aynı sıcaklık artışı olursa, elemanların kuvvetleri φ_T terimi ile orantılıdır.	M_e^*, bütün elemanlardaki $E_{20} A \alpha$ ısısal yüklemesinden elde edilir.
$\varphi_T M_e^* + M_L^* - \varphi_{yT} M_{20} = 0 \quad (2.5)$	T sıcaklığı için sınır şart.	Isısal genleşme sonucu oluşan aksenal kuvvetlerin etkileri ve elemanlarda oluşan sınır şartları burada hesaba katılmamaktadır.

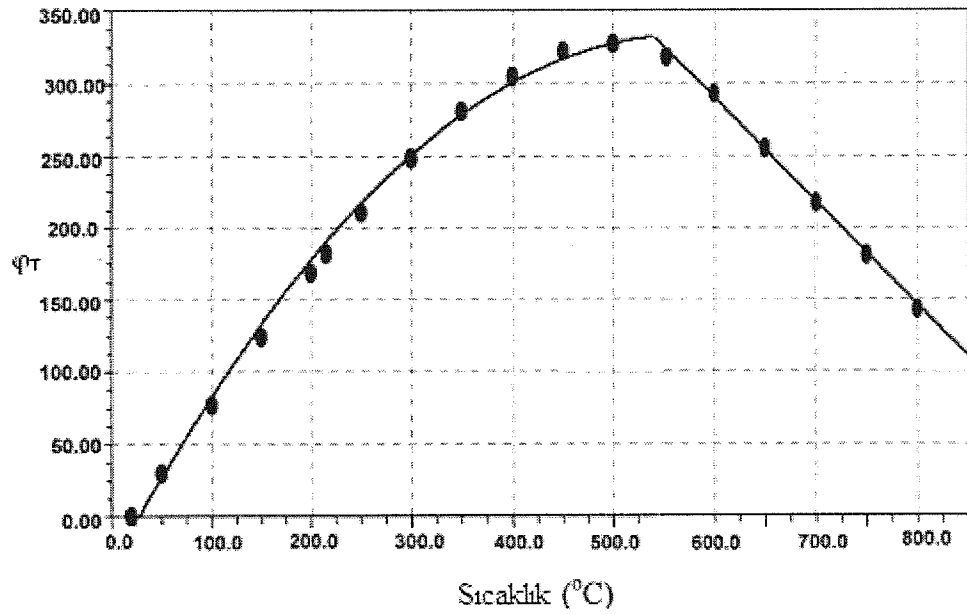
Çizelge 2.6 'nın devamı

$\varphi_T = -52.6 + 1.507T - 0.00158T^2 \quad (2.6)$	$\varphi_T M_e^* + M_L^* - \varphi_{yT} M_{20} = 0$ Denkleminin basitleştirilmiş hali	Şekil 2.3'te görüldüğü üzere, 500 °C'de meydana gelen akma gerilmesi, uç noktalardaki eksenel uzama sonucu, sığa maruz kalmış ucu sınırlanmış elemanda eksenel basınçdaki artışın olduğu gözlemini doğrulayan bir denklemdir. Burada ikinci dereceden denklem eğri uydurma ile elde edilir.
$\begin{aligned} \varphi_T &= -32.4 + 1.252T - 0.00107T^2, T < 550 \text{ °C} \\ &= 718.5 - 0.716T, T \geq 550 \text{ °C} \end{aligned} \quad (2.7)$	Şekil 2.4'de görülen eğrinin denklemi	Şekil 2.4'de görülen eğrinin denklemidir. 2 eğri yer almaktadır; biri ikinci dereceden, diğeri lineer. Bu 2 eğrinin yakınlığı $\varphi_T = -52.6 + 1.507T - 0.00158T^2$ Denklemine göre daha iyi korelasyona sahiptir. Fakat bu denklem kadar basit değildir.

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilen denklemler bir önceki denklemde yerine konulduğunda, T_c için çözümü vermektedir.



Şekil 2.3 φ_T için eğri uydurma: İkinci dereceden



Şekil 2.4 φ_T için eğri uydurma: İkili eğri uydurma

2.2.2 Plastik Yöntem

Sıcaklık artışına bağlı olarak yapıda kendinden dengeleyici bir dizi kuvveti tetiklendiği bilinmektedir. Plastik analiz teorisinden, bu kendinden dengeleyici kuvvetlerin yıkılım anında yapının yükü üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Bundan dolayı, yapının kritik

sıcaklığını elde edecek bir strateji, ısısal yüklenme olmadan uygun sıcaklıklarda malzeme özelliklerini kullanarak yapıdaki plastik analizin gerçekleştirilmesi ile kazanılabilir. Bu strateji için en uygun olan üst sınır plastik analiz kullanılmasıdır. [3]

Çizelge 2.7 Plastik yöntemde uygulanan denklemler

Denklem		Açıklaması
$\lambda \sum (P_i \delta_i) = \sum (M_{jT_j} \theta_j)$ (2.8)	Yüklere üniform olarak uygulanan çökme faktörü λ 'nın hesaplanması için virtüel iş denklemi	T_j sıcaklığında, θ_j plastik rotasyonu geçiren her bir j elemanındaki δ_i sapması ile bir dizi P_i yükleri için, yüklere üniform olarak uygulanan çökme faktörü λ hesaplanması için kullanılır.
$\frac{M_{jT_j}}{M_{j20}} = \frac{f_{jyT_j}}{f_{jy20}} = \varphi_{jyT_j}$ (2.9)	Virtüel iş denkleminin kullanılabilme durumu	M_{jT_j} ; ısısal yüklenme etkisi olmadan T_j sıcaklığındaki plastik moment. Burada kullanılan T_j momenti yapıdaki diğer elemanlarda farklı olabilir. Burada vurgulanmalıdır ki; oda sıcaklığında yapıların plastik analizinden farklı olarak, kritik sıcaklık analizinde statik yükler sabit kalmalıdır. Kritik sıcaklık analizinin amacı, ortak bir sıcaklık çarpanı olan ve çökmede β_c olarak verilen β 'nın kritik değerini bulmaktır.
$\lambda \sum (P_i \delta_i) = \sum (M_{j\beta T_j} \theta_j)$ (2.10)	Virtüel iş denkleminin değiştirilmiş hali	Eğer β ile yapının sıcaklığı orantılı olarak artıyor ise denklem değişime uğrar.

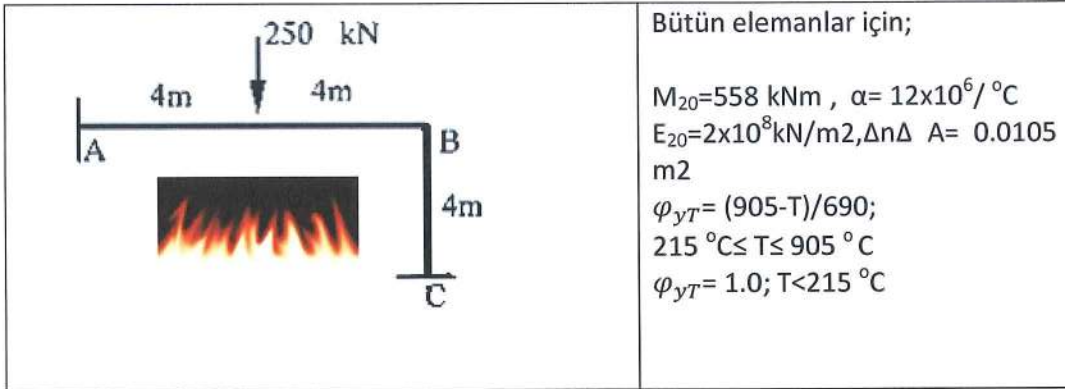
Çizelge 2.7'nin devamı

$\varphi_{jyTj} = a + bT_j$ (2.11)	φ_{jyTj} değerinin T_j 'nin lineer fonksiyonu olarak ifadesi	a ve b burada sabitlerdir.
$\lambda_1 = K_1 + \beta_1 K_2$ (2.12)	λ (çökme faktörünün) yapılan değişiklik ile ifadesi	Bütün elemanların sıcaklığında, β_1 ortak çarpanı ile oluşan sıcaklık artışı için çökme faktörünün ifadesi. K_1 ve K_2 sabitlerdir.
$\lambda_2 = K_1 + \beta_2 K_2$ (2.13)	λ (çökme faktörünün) yapılan değişiklik ile ifadesi	Benzer şekilde, bütün elemanların sıcaklığında, β_2 ortak çarpanı ile oluşan sıcaklık artışı için çökme faktörünün ifadesi. K_1 ve K_2 sabitlerdir.
$K_2 = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\beta_2 - \beta_1}$ (2.14)	Sabitlerin çıkarımı	

Çizelge 2.7'nin devamı

$\beta_c = \beta_1 + \frac{1 - \lambda_1}{K_2} \quad (2.15)$	β_c değerinin hesaplanması	Statik yükler sabit kaldığından dolayı, $\beta = \beta_c$ $\lambda = 1$ verileri için, çökmedeki β_c değerinin hesaplanması. Kritik çökme mekanizması değişen sıcaklıkla kritik olmayan duruma gelebilir. Kritik çökme mekanizmasının gözlemlenmesi bu denklem kullanıldığında gerekli olabilir. Bu durum, kritik çökme mekanizmasının kritik olmayan hale geldiği durumda bir β_d sınır sıcaklığının sunulması ile hal edilir.
$\frac{K_{1B} - K_{1A}}{K_{2A} - K_{2B}} = \beta_d \quad (2.16)$	Sınır sıcaklığı çarpanının hesaplanması	$\lambda_A = K_{1A} + \beta K_{2A}$ $\lambda_B = K_{1B} + \beta K_{2B}$;A ve B çökme mekanizmaları için virtüel iş denklemleri, B; kritik çökme mekanizması ve $\lambda_A \geq \lambda_B$ veya $\beta \geq \frac{K_{1B} - K_{1A}}{K_{2A} - K_{2B}}$ Üstteki denklemdaki eşitsizlik ancak pay ve payda pozitif olduğunda geçerlidir. Böylelikle sınır sıcaklık çarpanı elde edilir.

Örnek



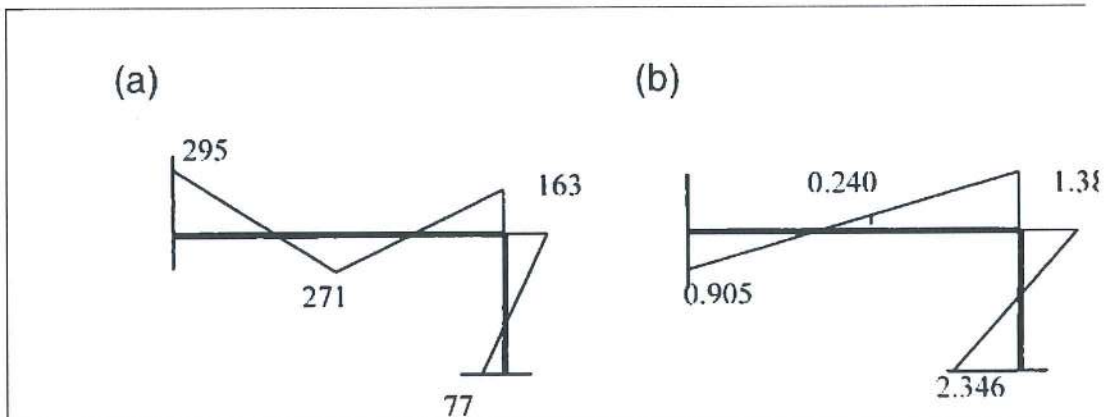
Şekil 2.5 İki elemanlı çerçeve örneği

Elastik yöntem ile çözüm;

Şekil 2.5'te gösterilen ABC iki elemanlı çerçeve, AB kirişinin orta noktasından 250 kN'luk tekil yüke maruz kalıyor. Çerçeve ateşe tutuluyor, böylelikle sıcaklık hem AB hem de BC' de artıyor. Bu analizde hem elastik hem de plastik yöntem uygulanmıştır.

İki elastik analiz, oda sıcaklığında tek başına statik yük ve her bir elemana $E_{20}A\alpha$ ısısal yükü ile, oluşan eğilme momenti diyagramı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Diyagramlarda görüldüğü üzere 4 noktada sıcaklık arttığında moment maksimuma ulaşmıştır

" $\varphi_T M_e^* + M_L^* - \varphi_{yT} M_{20} = 0$ " denkleminde bu dört nokta için hesaplanan sınır sıcaklıklar Çizelge 2,8'de özetlenmiştir.



Şekil 2.6 Analiz (a) M_L^* için EMD (kNm) ve (b) M_e^* için EMD (kNm) eğilme momenti diyagramları

Çizelge 2.8 Kritik sıcaklık analizinin sonuçları

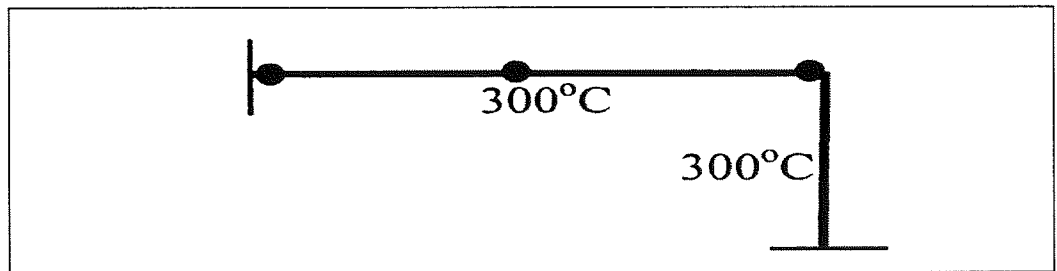
		A'daki Kesit	Kiriş ortası	B'deki Kesit	C'deki Kesit
M_L^* (kNm)		295	-271	163	-77
M_e^* (kNm)		-0.905	0.240	1.385	-2.346
Sınır Sıcaklık (°C)	İkili eğri modeli	746	645	291	231
	Tek eğri modeli				221

İkili eğri uydurma yöntemlerinin C'deki kritik kesit için sonuçları da ayrıca kıyaslanmıştır. Çizelge 2.8, 231 °C'de C'nin maksimum moment kapasitesine ulaştığını göstermektedir. Bu durum, C'deki eğilme momentinin hem statik yükleme uygulamasının hem de AB elemanının artan sıcaklık ile uzamasının bir sonucu olarak artması mantıklıdır. Tersine, statik yükleme hem A'da hem de AB kirişinin ortasında sıcaklık artışı ile onlara ters yönde artan eğilme momentleri oluşturmaktadır. Bu örnekte, kritik kesit C'de oluşmakta ve bundan dolayı yapının kritik sıcaklığı 231 °C olmaktadır.

Plastik yöntem ile çözüm;

Şekil 2.7de plastik mafsallarda yapının sadece tek kiriş mekanizmasına sahip olduğu açıktır. Sıcaklığın üniform olarak, $\beta_1=1$ için 300 °C'den itibaren artırılarak, " $\lambda_1 = K_1 + \beta_1 K_2$ " denkleminde çökme faktörü $\lambda_1=1.956$ olarak, benzer şekilde; $\beta_2=1.5$ ve $\lambda_2=1.472$ olarak alınmıştır. Böylelikle; $K_2=-0.968$ ve $\beta_c=1.988$ olarak, kritik sıcaklıkta; $T_c=1.988 \times 300=596$ °C şeklinde hesaplanmıştır.

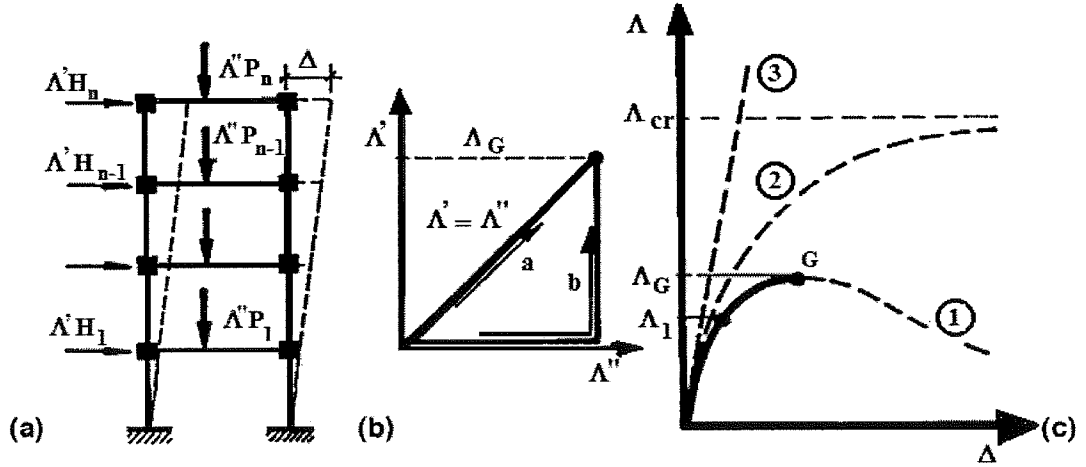
Bu örnekteki elastik ve plastik yöntemler kıyaslanırsa, plastik yöntem çok daha yüksek bozulma sıcaklığı vermektedir.



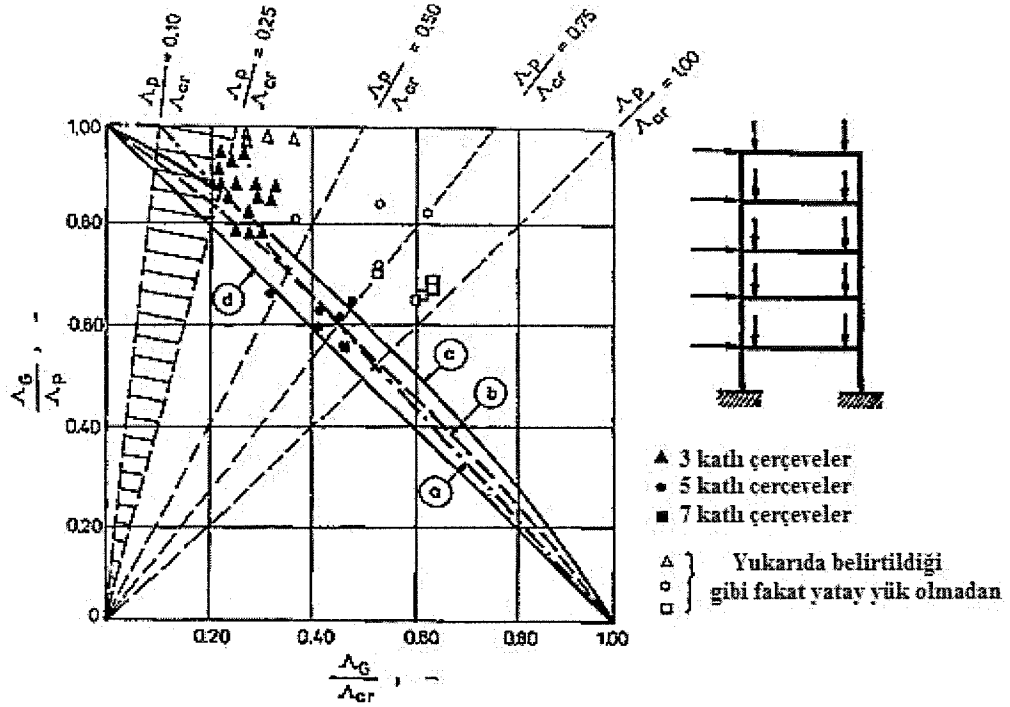
Şekil 2.7 Plastik yöntem.

2.3 Yangında Çerçevelerin Plastik Yük Kapasitesi ve Kararlılığı

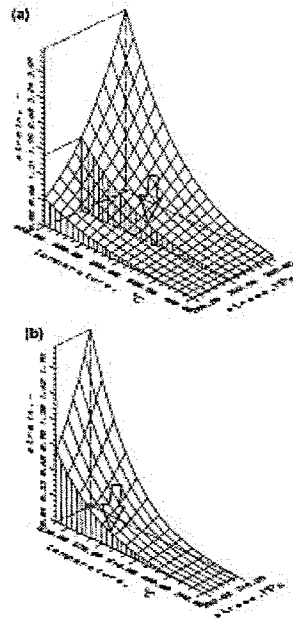
Gerçek yapı malzemelerinin farklı şartlardaki davranışı o kadar karmaşıktır ki matematiksel denklemler ile tanımlamak zordur. Bundan dolayı malzemelerin matematik modellemesinin sorunu; malzeme türü, inşaa yöntemi, yük değeri ve dış etkenler (sıcaklık gibi) hesaba katılarak çözülmesi gerekliliğidir. Ortam şartlarında, çelik yapının çökmesinde elastik ve plastik formların etkileşimi söz konusudur. Bu etkileşim Merchant-Rankine formülü ile açıklanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda da benzer bir etkileşim beklenmelidir. Bu bölümde özellikle çerçevelerin sıcaklık ve yük altında elastik-plastik deformasyon davranışları üzerinde durulmuş ve çelik çerçeveli binaların yangın güvenliği tasarımlarında kullanılabilecek analitik bir yöntem sunulmuştur. [4]



Şekil 2.8 Çelik çerçevelerin hesaplaması için yapılan kabullerin grafikleri; a) Rijit birleşimler, b)yük yolları, c) çerçevenin yük azalım eğrileri

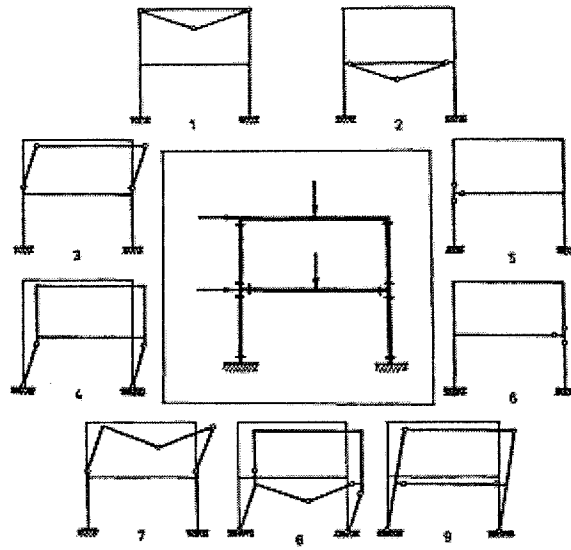


Şekil 2.9 Ortam şartlarında yük kapasitesini tanımlayan etkileşim formüllerinin doğrulanması için yapılan araştırma çalışmalarının sonuçları

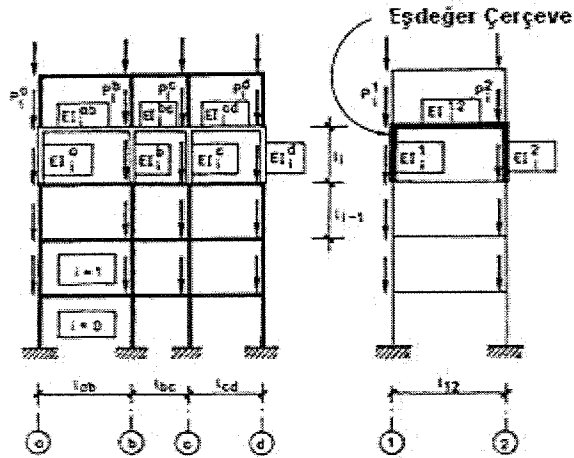


Şekil 2.10 ASTM A36 çeliğinin sürünme gerilmeleri; a) 4 °C/ dakika hızla ısıtıldığında ve b) 50 °C/ dakika hızla ısıtıldığında

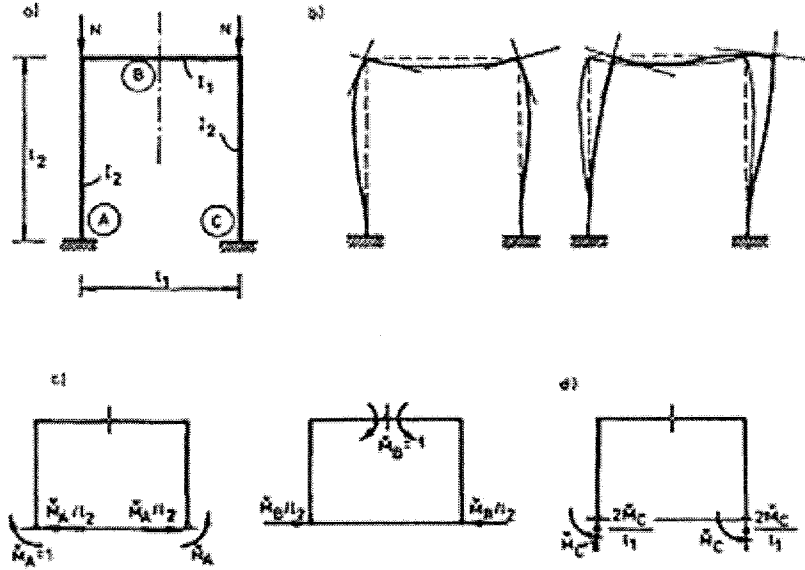
(Sabit yük ve sabit sıcaklık altında meydana gelen deformasyon sürünme olarak adlandırılır.)



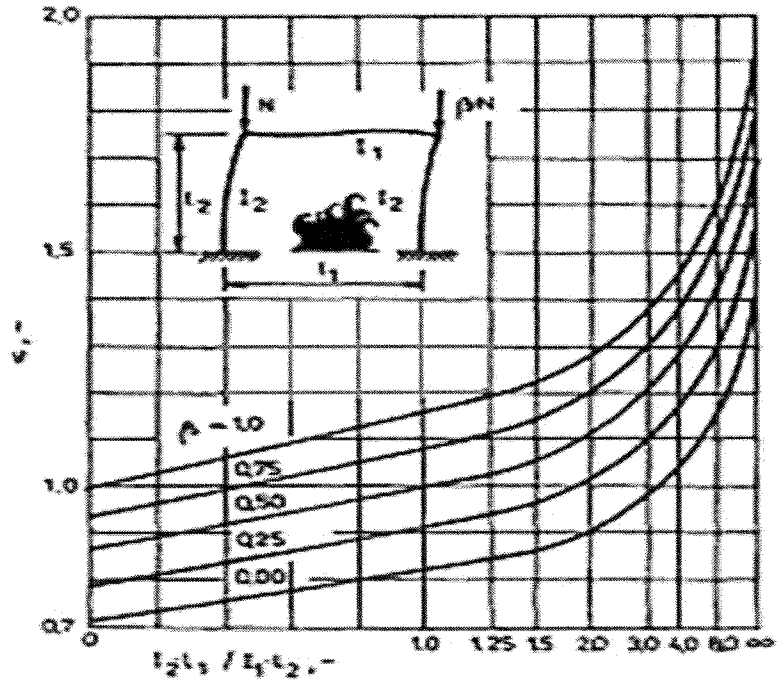
Şekil 2.11 Bina'nın iskeleti ($\omega=6$). Temel mekanizmaların şekli (No.1'den No. 6'ya kadar) ve bileşik mekanizmaların şekli (No. 7'den No. 9'a kadar)



Şekil 2.12 Goldberg yöntemi ile kararlılık yaklaşık analizi için eşdeğer çerçevenin şekli



Şekil 2.13 "a" da gösterilen eşdeğer çerçevenin simetrik ve simetrik olmayan burkulma analizi



Şekil 2.14 Analiz edilen çerçeve için kritik yük hesaplamalarının sonuçları

Çizelge 2.9 Analizlerde kullanılan denklemler ve açıklamaları

No	Denklem	Açıklama
1a	$\frac{\Lambda_G}{\Lambda_P} = 1; \frac{\Lambda_P}{\Lambda_{cr}} \leq 0.10$ için (2.17a)	Elastik-plastik çerçevelerin yük kapasitesi kriterini açıklamak için Wood tarafından sunulan bileer formül
1b	$\frac{0.9\Lambda_G}{\Lambda_P} + \frac{\Lambda_G}{\Lambda_{cr}} = 1; 0.10 < \frac{\Lambda_P}{\Lambda_{cr}} \leq 0.25$ için (2.17b)	
2a	$\left(\frac{\Lambda_G}{\Lambda_P}\right)^n + \left(\frac{\Lambda_G}{\Lambda_{cr}}\right)^n = 1$ (2.18a)	Çerçevelerin yük kapasitesi kriterini açıklamak için Merchant-Rankine tarafından sunulan formül; Λ_G =Çökmede anlık yük ($N_G=\Lambda_G N$) ; N= Yapının yükü Λ_P = Basit plastik teoriden elde edilen yük faktörü ($N_P=\Lambda_P N$); Λ_{cr} =Elastik burkulma yük faktörü ($N_{cr}=\Lambda_{cr} N$)
2b	$\left(\frac{N_G}{N_P}\right)^n + \left(\frac{N_G}{N_{cr}}\right)^n = 1$ (2.18b)	Merchant-Rankine tarafından sunulan formülün Murzewski tarafından genelleştirilmiş hali
3	$\epsilon = \psi(\sigma)$ $= \epsilon_T + \sigma \psi_1(T) + \sigma \sigma ^{\mu(T)-1} \psi_2(T)$ $+ \sigma \sigma ^{m-1} \psi_3 \left[\exp \left(-\frac{\Delta H}{RT'} \right) t \right]$ (2.19)	Yüksek sıcaklıklarda toplam çelik gerilmesi; Burada $\psi_3 \left[\exp \left(-\frac{\Delta H}{RT'} \right) t \right]$ $= B \left[\int_0^t \exp \left(-\frac{\Delta H}{RT'} \right) dt \right]^{1/3}$ Şeklindedir.
4	$\omega = \zeta - \nu$ (2.20)	Bütün yapıdaki kritik kesit alanlarının sayısı= ζ ve “u” yer değiştirmesindeki bağımsız bileşenlerin sayısı= ν
5	$[P]_b = \sum_{a=1}^{\zeta} \mathbb{B}_{ab} [M_P(T)]_a ; b = 1, \dots, \nu$ (2.21)	Eğilme momenti ile yükü bir araya getiren statik uyumluluk denklemi
6	$[\varphi]_a = \sum_{b=1}^{\nu} \mathbb{B}_{ab} [u]_b ; a = 1, \dots, \zeta$ (2.22)	Plastik rotasyonlar ile yer değiştirmenin birbiri ile bağımlılığının geometrik denklemleri

Çizelge 2.9'un devamı

7	$\sum_{b=1}^v [P]_b [u]_b = \sum_{a=1}^{\zeta} [M_p(T)]_a [\varphi]_a$ (2.23)	Burada; $M \rightarrow M_p$; $N \rightarrow N_p = A_p N$ şeklindedir; eğilme momenti M , yük N 'ye bağlıdır.
8	$\bar{\delta}_{ij} = \sum_1^k \int_s \frac{\bar{M}_i M_j}{E(T)l} ds = \sum_1^k \int_s \frac{M_i \bar{M}_j}{E(T)I} ds$ (2.24)	Sorgulanan çerçevenin "k" (kolon) ve "q" (kiriş) elemanlarında meydana geliyorsa; bu şekilde formülasyon yapılır.
9	$\bar{\delta}_{ij} = \sum_1^q \int_s \frac{M_i M_j}{E(T)I} ds$ (2.25)	
10	$d_{ij} = \bar{\delta}_{ij} + \delta_{ij}$ (2.26)	" $\mathbb{D}$ " ile ifade edilen yapının yer değiştirme matrisinin, her bir d_{ij} elemanı için "j" noktasında yüklenme ile "i" noktasında meydana gelen yer değiştirmenin; eksenel kuvvetler ile yüklenen kolonlar $-\bar{\delta}_{ij}$ - ve yüklenmemiş olanlar (kirişler) $-\delta_{ij}$ - ile gösterimi
11	$\det(\mathbb{D}) = \mathbb{D} = 0$ (2.27)	Elastik seviyede hesaplanan yapının kararlılık sorununun formüller çözümü
12	$\bar{R}(\bar{\sigma} T t) = \frac{A h^2 \bar{E} (\bar{\sigma} T t)}{4}$ $= I \{ \psi_1(T) + m B \bar{\sigma}^{m-1} \left[\int_0^t \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT'}\right) dt \right]^{1/3} \}^{-1}$ (2.28)	Denk 23'te belirtilen yapısal ilişkideki çeliğin yangında çelik kolonların rijitlik davranışının analiz formülü. $\bar{E}$; $\sigma = \bar{\sigma} = \bar{N}/A$ noktasına tekabül eden gerilmesinin tanjant modülü; kesit alanının eylemsizlik momenti $I = I_t$ ($m=1$); $I \left(\frac{1}{m} + 1 \right) = I_t = \iint_A y^{\frac{1}{m}+1} dA$
13	$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_t$ $= \sigma \psi_1(T) + \sigma \sigma ^{m-1} \psi_3 \left[\exp\left(-\frac{\Delta H}{RT'}\right) t \right]$ (2.29)	Yapısal ilişkisi tanımlanan bir çeliğin formülü

Çizelge 2.9'un devamı

14	$\delta_{ij} = \sum_1^q \left[\int_s \frac{M_j M_i}{[\psi_1(T)]^{-1} I} ds + \int_s \frac{M_j^m M_i}{\{\psi_3 [\exp(-\frac{\Delta H}{RT'}) t]\}^{-1} I_t^m} ds \right] \quad (2.30)$	Yangın esnasında; çelik yapısının elastik etkisini dikkate alarak hesaplanacak $\mathbb{D}$ matrisinin (N=0 durumunda) δ_{ij} elemanlarının formülü.
15	$\bar{\delta}_{ij} = \sum_1^k \int_s \frac{\bar{M}_i M_j}{\bar{R} (\bar{\sigma} T t)} ds = \sum_1^k \int_s \frac{M_i M_j}{\bar{R} (\bar{\sigma} T t)} ds \quad (2.31)$	Tanjant modülü $\bar{E}$; dikkate alarak hesaplanacak $\mathbb{D}$ matrisinin (N>0 durumunda) δ_{ij} elemanlarının formülü.
16	$\det(\mathbb{D}) = d_{11} =0 \quad (2.32)$	Şekil 2.13'te gösterilen yüklerden meydana gelen çerçeve yapının lineer elastik alandaki antisimetrik burkulma kriteri. Burada $d_{11} = \frac{2l_2 tgr}{E(T)I_2 r} + \frac{l_1}{3E(T)I_1}$ ve $(r/l)^2 = N_{cr}/[E(T)I]$ durumundadır.
17	$\frac{\bar{r}l_2}{tg\bar{r}l_2} = -\frac{6l_2}{l_1} \frac{E(T_{cr})I_1}{\bar{R}(\bar{\sigma}T_{cr}t)} \quad (2.33)$	Burada $\bar{r}^2 = \frac{N_{cr}}{\bar{R}} = N\lambda_{cr}/\bar{R}$ olmalıdır. Sorgulanan çerçevelerdeki kolonları tanımlayan lineer olmayan çelik modellerinin denklemleri hesaba katıldığında daha doğru bir çözüm elde edilir. Kirişin elastik özelliklerini herhangi bir dış kuvvetin etkisinde kalmadan kaybettiği kabul edilirse, bu formül kullanılır ve yangın esnasında çerçevenin kritik yükünü tanımlar.

Çizelge 2.9'un devamı

18	$\frac{1}{\bar{N}(T\dot{T})} = \frac{1}{N_E(T)} + \frac{1}{N_P(T)} + \frac{1}{N_r(T\dot{T})} \quad (2.34)$	Ortam sıcaklığında çelik yapının plastik form ve elastik formda yıkılması arasında bir etkileşim vardır. Bu etkileşim Merchant-Rankine formülü ile tanımlanır. Benzer etkileşim yüksek sıcaklıklarda da beklenir. Denklem 34 ve 35 n=1 olduğu durumda aynıdır. Önceden de tahmin edileceği gibi kusurluluk indeksi yüksek sıcaklıkta değişir. Bu durumun nedeni, yüksek sıcaklıklarda kalıntı gerilmesinin kendi kendilerini azaltması durumudur.
19	$\frac{\tilde{N}(T\dot{T})}{N_P(T)} = \left[\frac{1}{1 + \bar{\lambda}^{2n}} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2.35)$	Burada $\bar{\lambda}^2 = \bar{\lambda}_E^2 + \bar{\lambda}_t^2$ ve $\bar{\lambda}_E(T) = \sqrt{\frac{N_P(T)}{N_E(T)}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y(T)}{E(T)}}$ ve $\bar{\lambda}_t(T\dot{T}) = \sqrt{\frac{N_P(T)}{N_t(T\dot{T})}}$ şeklindedir. Kolonlar için formüllenen Denklem 35, çok katlı çerçevelerin analizinde de önerilebilir. Bu çelik yapı tasarımının standardlaştırılmasının günümüz eğilimleri ile de tutarlı bir yaklaşımdır. Bu tür standardlaştırma, inşaatın veya çerçevesel yapının özelliği olan zayıflığın azaltılması evrensel kavramına tekabül etmektedir.
20	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\Lambda_p}{\Lambda_{cr}}} \quad (2.36)$	Λ_p; yük faktörü Λ_{cr}; burkulma için yük faktörü

2.4 Yangına Dayanıklı Çelik Elemanların Yangın Dayanımı Üzerine Parametrik Çalışmalar

Çelik yapılar, yüksek dayanım, iyi süneklik ve şekillendirilebilme, hızlı üretim gibi avantajlar nedeniyle kullanılmaktadır. Bununla birlikte yangın koruması olmadan, çelik yapılar ciddi zarar ve hatta yangın felaketinde yıkılma ile karşılaşabilirler. Çeliğin mekanik özelliklerinde yangın esnasında önemli ölçüde azalmalar olmakta ve konvansiyonel çeliklerin akma dayanımı 600 °C'den daha düşük sıcaklıklarda oda sıcaklığındaki akma dayanımının üçte birine kadar düşebilmektedir. Bundan dolayı, konvansiyonel çeliklere yangına dayanıklı kaplamanın uygulanması gerekmektedir.

Son yıllarda, inşaat maliyetlerindeki azalmaya duyulan ihtiyaç ve artan talepler, çalışma zamanlarındaki azalma ve alanın verimli kullanılmasına duyulan ihtiyaç yangına dayanıklı kaplamanın artarak önem kazanmasına neden olmaktadır. Buna karşılık, çok katlı yapılar için yangına dayanıklı çelikler ilk olarak Japonya'da geliştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda, yangına dayanıklı çeliklerin (YDÇ) akma dayanımı, konvansiyonel çeliklerden daha yüksektir, bu durum YD çeliklerin yapılarda artarak kullanılmasına sebep olmuştur.

YD çeliğin aşağıdaki özellikleri vardır;

- 1- Yüksek sıcaklıkta akma dayanımı konvansiyonel çelikten çok daha fazladır. Yaklaşık 350 °C'de konvansiyonel çeliğin akma dayanımı oda sıcaklığında belirlenen değerlerinin üçte ikisine düşer (AIJ (Architectural Institute of Japan)) bina inşa standardına göre uzun müddet yükleme için izin verilebilir gerilim değeridir. Fakat YD çelik bu değeri 600 °C'ye kadar garanti eder. Bu durum çekme dayanımı için de geçerlidir ve benzer şekilde 600 °C'de konvansiyonel çeliklerin yaklaşık iki katı dayanımı vardır.
- 2- Oda sıcaklığında mekanik özellikleri konvansiyonel çeliklerinkine eşittir.
- 3- Sünekliği ve şekillendirilebilirliği yüksektir.
- 4- İşlenebilirliği ve kaynaklanabilirliği konvansiyonel çeliklerinki ile aynıdır.

Yüksek Sıcaklıkta Yangına Dayanıklı Çeliğin Mekanik Özellikleri

Nippon Çelik Kurumu tarafından YD çeliklerin yüksek sıcaklıkta dayanım özelliklerine ilişkin deneysel çalışmalar yapılmıştır. SM490-FR'nin test verileri YD çelik yapıların

tasarımı ve yangın dayanımı hesaplamaları için çok önemli olan YD çelikleri için matematik modellerinin kurulması için kullanılmaktadır. Aşağıda gösterilen 2.37'den, 2.41'e kadar olan denklemler en az kare uydurma yöntemi ile elde edilmiştir. [5]

Isıl genleşme sabiti:
$$\alpha_s = (0.0062T_s + 11.48) \times 10^{-6} m/(m^{\circ}C) \quad (2.37)$$

Spesifik ısı:
$$c_s = 1,95 \times 10^{-6}T_s^3 - 1.58 \times 10^{-3}T_s^2 + 0.689T_s + 473.1 J/kg^{\circ}C \quad (2.38)$$

İletkenlik:
$$\lambda_s = -0.0256T_s + 54 W/(m^{\circ}C) \quad (2.39)$$

Akma dayanımı:
$$\frac{f_{yT}}{f_y} = 1 - (0.001724 \times T_s - 0.034482)^{3.2}/3 \quad (2.40)$$

Elastiklik modülü:
$$\frac{E_T}{E} = -2.22 \times 10^{-7}T_s^2 - 2.097 \times 10^{-4}T_s + 1.005 \quad (2.41)$$

T_s ; çeliğin sıcaklığı ($^{\circ}C$); f_y ve f_{yT} , sırayla normal ve yüksek sıcaklıklarda çeliğin akma dayanımı; E ve E_T , sırayla normal ve yüksek sıcaklıklarda çeliğin elastik modülü.

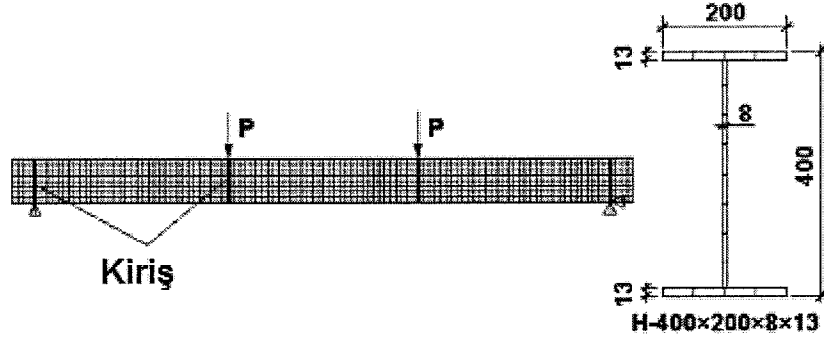
Aşağıdaki kabuller, YD çelik elemanların yüksek sıcaklık performansının analizinde benimsenmektedir;

- 1- Çelik elemanların sıcaklığı uzunluk boyunca eşit olarak dağılmaktadır. Bununla beraber, eleman kesitindeki sıcaklık değişimleri dikkate alınmaktadır.
- 2- Yangın koruyucu malzemeler çelik elemanların üzerine uniform olarak yapıştırılmaktadır.
- 3- Çelik elemanlardaki sıcaklık dağılımı gerilim dağılımından bağımsızdır.

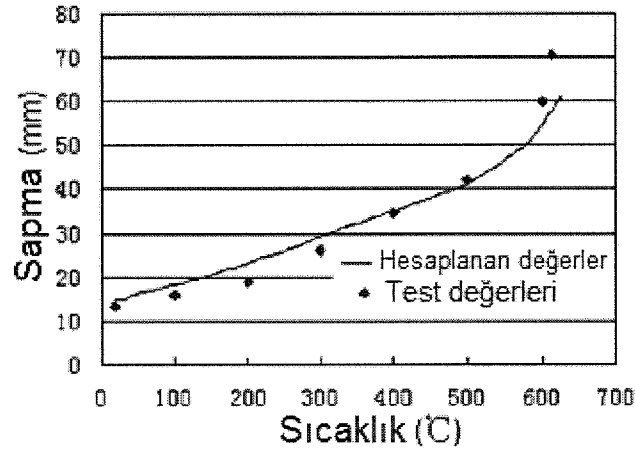
ANSYS (3B katı model analizi), SHELL 181 (Sonlu gerilme kabulü modellemesi), PLANE55 (Isıl katı modelleme), SURF55 (Isıl yüzey etkisi) programları en çok kullanılan katı modelleme yöntemleridir. Bu yöntemler ile yapılan çalışmalar modelleme sonrasında deneysel çalışmalar ile beraber doğrulanır.

Bu bölümde Şekil 2.15'te elemansal bölünmesi gözüken kirişin, kabulleri belirtilen sonlu eleman yöntemleri ile değişik parametrelerin YD çelik elemanların kritik sıcaklıkları üzerine etkileri incelenmiştir. Kolonun kesit alanı ve seçilen kiriş; I-300X300X10X15 ve I-400X200X8X13 şeklindedir. Kiriş ayrıca basitçe desteklenmekte ve uzunluğu 5100 mm'dir. Kirişin üçte bir noktasında ve üçte iki noktasında yanal

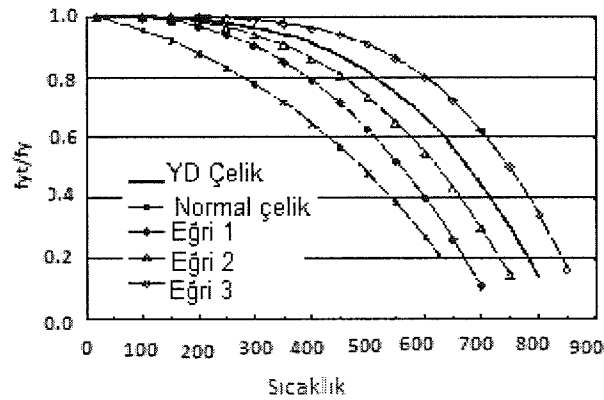
destekler mevcuttur. Çizelge 2.10 - 2.18 arasında gösterilmiş ve Şekil 2.16 - 2.18 arasında grafiğe dökülmüştür.



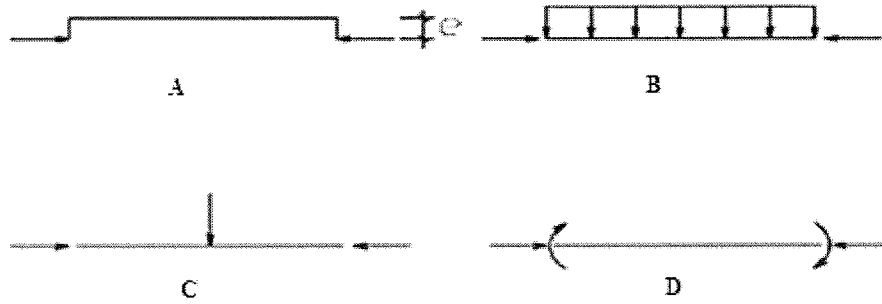
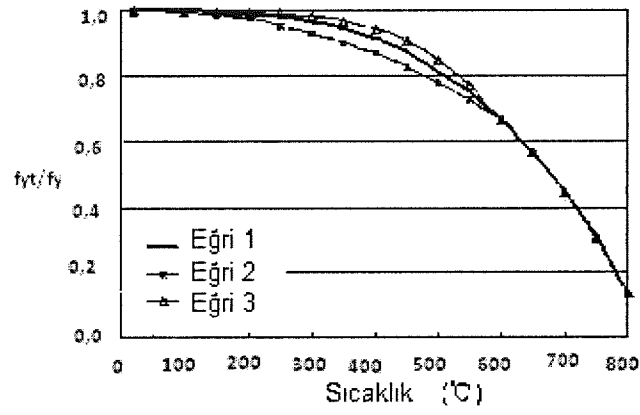
Şekil 2.15 Kirişin elemanal bölünmesi



Şekil 2.16 Ortaki çelik sıcaklığı-dikey sapma



Şekil 2.17 Farklı $f_{y,600}^{\circ C}/f_y$ (MPa) değerlerinin eğrileri



Çizelge 2.10 Eksenel basınca maruz değişik f_y ve R 'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)

f_y (MPa) \ R	225	275	325	375
R 0.3	757	757	758	759
0.4	724	724	726	727
0.5	688	689	691	691
0.6	646	647	650	650
0.7	596	598	600	598
0.8	531	532	536	533
0.9	436	438	439	436

Çizelge 2.11 Değişik f_y ve R'lere sahip YD çelik kirişlerin kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)

f_y (MPa) R	225	275	325	375
R 0.3	754	754	754	753
0.4	719	719	717	720
0.5	681	681	683	683
0.6	639	639	641	640
0.7	588	589	589	589
0.8	522	514	524	519
0.9	420	420	413	421

Çizelge2.12 Eksenel basınca maruz değişik f_y , $600^{\circ}\text{C}/f_y$ (MPa) ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)

$f_y, 600^{\circ}\text{C}/f_y$ (MPa) R	0.27	0.4	0.55	0.67	0.8
R 0.3	588	644	706	758	819
0.4	548	609	672	726	792
0.5	502	570	634	691	760
0.6	445	527	592	650	722
0.7	381	475	538	600	676
0.8	300	411	473	536	619
0.9	193	320	374	439	529

Çizelge213 Farklı $f_y, 600^\circ\text{C}/f_y$ (MPa) ve R'lere sahip YD çelik kirişlerin kritik sıcaklıkları ($^\circ\text{C}$)

$f_y, 600^\circ\text{C}/f_y$ (MPa) R	0.27	0.4	0.55	0.67	0.8
R 0.3	588	639	702	754	815
0.4	544	604	660	717	786
0.5	494	564	627	683	754
0.6	436	518	582	641	714
0.7	362	465	529	589	669
0.8	282	402	463	524	602
0.9	184	300	358	413	506

Çizelge2.14 Eksenel basınca maruz değişik f_{yt}/f_y -T eğrisi değerlerine ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıklarının değişimi, ($^\circ\text{C}$)

f_{yt}/f_y -T eğrisi R	Eğri 1	Eğri 2	Eğri 3
R 0.3	758	758	758
0.4	726	726	726
0.5	691	691	691
0.6	650	650	650
0.7	599	600	600
0.8	505	536	549
0.9	389	439	471

Çizelge2.15 Farklı f_{yt}/f_y -T eğrisi değerlerine ve R'lere sahip YD çelik kirişlerinin kritik sıcaklıklarının değişimi

f_{yt}/f_y -T eğrisi R	Eğri 1	Eğri 2	Eğri 3
R 0.3	754	754	754
0.4	717	717	717
0.5	683	683	683
0.6	641	641	641
0.7	583	589	591
0.8	483	524	533
0.9	360	413	453

Çizelge2.16 Eksenel basınca maruz değişik λ ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)

λ (yetersizlik) R	10	20	30	50	70	100	150
R 0.3	757	757	757	759	767	790	812
0.4	724	724	723	727	738	768	799
0.5	690	689	689	691	704	742	781
0.6	650	649	648	650	661	705	753
0.7	604	602	600	600	608	650	699
0.8	530	544	539	534	538	559	588
0.9	464	460	453	438	420	400	392

Çizelge 2.17 Farklı ϕ_b kararlılık sabitlerine ve R'lere sahip YD çelik kirişlerinin kritik sıcaklıkları (°C)

ϕ_b kararlılık sabitleri R	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
R 0.3	754	762	770	778	786	795	803
0.4	717	730	739	749	764	777	790
0.5	683	692	703	717	734	753	774
0.6	641	647	659	675	695	724	747
0.7	589	593	603	619	642	681	718
0.8	524	521	527	536	553	599	599
0.9	413	413	407	397	364	364	364

Çizelge 2.18 Eksantrik değişik β ve R'lere sahip YD çelik kolonların kritik sıcaklıkları (°C)

β eksantriklik oranı R	0	0.5	1.0	2.0	5.0	10
R 0.3	758	761	760	761	760	758
0.4	726	729	728	729	728	725
0.5	691	694	692	694	693	690
0.6	650	652	651	652	651	646
0.7	600	601	599	602	602	597
0.8	536	536	533	538	538	532
0.9	439	441	438	443	441	437

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMİN YANGIN ESNASINDA DAVRANIŞI

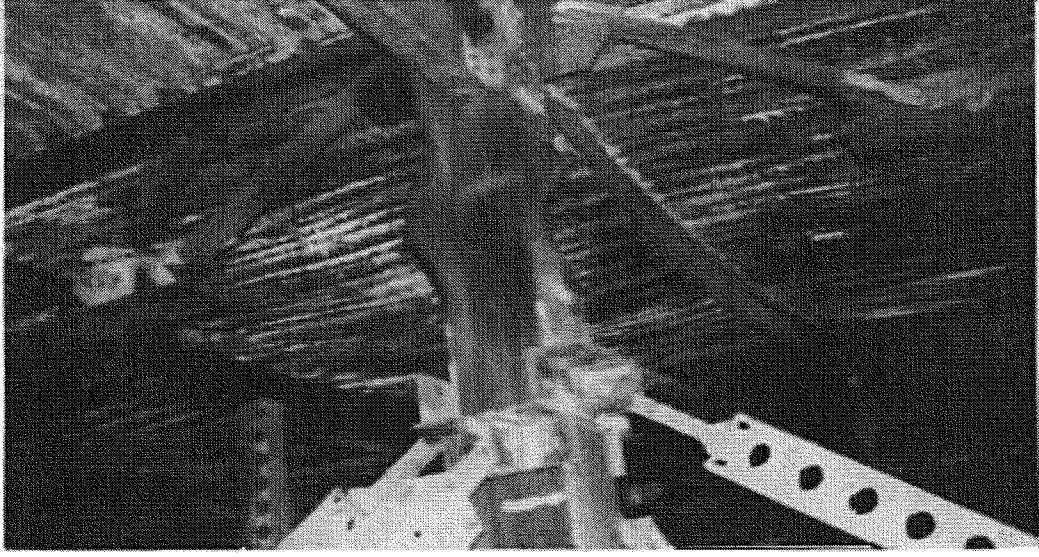
3.1 Gerçek Binaların Yangın Karşısında Gözlemlenen Davranışları

İngiltere'deki iki bina yangını, modern çelik çerçevelerin yangın performansını gözlemleme fırsatı vermiştir. Bu yangınlardan elde edilen deneyim, günümüzde binaların yangın dayanımı tasarlanması ve Cardington yangın deneyleri üzerinde etkili olmuştur. [6]

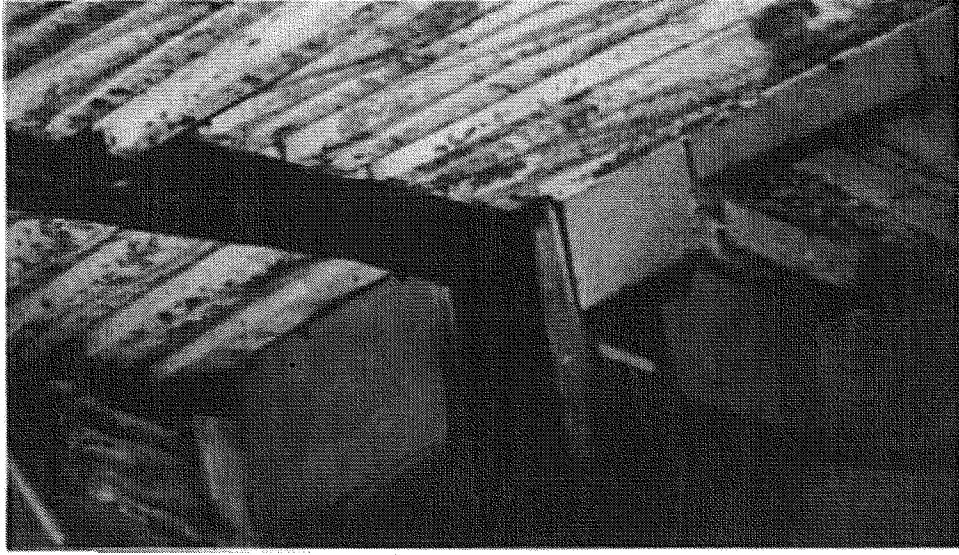
3.1.1 Broadgate 8. Faz Yangını, Londra

1990'da, Londra'da Broadgate bölgesindeki kısmen tamamlanmış 14 katlı ofis bloğunda bir yangın meydana gelmiştir. Yangın binanın ilk katındaki geniş bir yerleşim alanında başlamıştır. Yangın sıcaklığının 1000 °C'nin üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Yangında zarar görmüş yaklaşık 40 x 20 m'lik bir alanı kaplayan yapısal elemanlar değiştirilmiştir. Her hangi bir yapısal çökme meydana gelmemiş ve yangın süresince yer döşemesinin bütünlüğü korunmuştur. Yangından kaynaklanan kayıp 25 milyon £ civarında olup, bunun 2 milyon £'dan azı yapısal çerçeve ve yer hasarına giderken, diğer maliyetler ise dumanandan kaynaklanan hasara gitmiştir. Zemin, kompozit zemin plakasını destekleyen uzun kompozit kirişten yapılmış ve 90 dakika yangın dayanımı olacak şekilde tasarlanmıştır. Yangın esnasında bina henüz inşaa halinde olduğundan pasif yangın koruması yapılmamış, yangın söndürücü sistemi ve diğer etkin çözümler henüz işlevsel olmadığından korumaya bir katkı sağlamamıştır. Yangın sonrasında

metalurjik inceleme sonucunda, çelik sıcaklığının 600 °C'yi geçmediği ortaya çıkmıştır. Yine çelik-çelik birleşimlerinde yapılan incelemelerde ölçülen maksimum sıcaklığın 540 °C olduğu gözlemlenmiştir. Yangını takiben, çelik kirişlerde en fazla 270 mm ve en az 82 mm'lik bir eğilme olmuştur. Daha yüksek kalıcı şekil değiştirme yaşayan kirişler, desteklerin yakınındaki flanş ve bağlantı levhalarında bölgesel burulmalar görülmüştür. Buradan çıkarılan sonuç, ısısal genleşmeden etkilenen kirişlerin davranışının büyük ölçüde sınırlamıştır. Bu sınırlama, yangından etkilenen bölgede sıcaklığın oldukça düşük olması çevresel kapıdan kaynaklanmaktadır. Zemin levhalarını tutan 13,5 m boyundaki çelik desteklerin, maksimum kalıcı düşey yer değiştirmesi 552 mm ölçülmüştür. Diğer destek elemanlarından kaynaklanan ısısal genleşmeye sınırlama, differansiyel ısıtma elemanları ile beraber burulma ile sonuçlanan ilave eksenel basınç kuvvetlerine neden olmuştur. Yuvarlanmış kesitli standart çelik kolonların korunmadığı durumda yaklaşık 100 mm kısalmış ve deforme olmuştur. Bu kolonlar, herhangi kalıcı bir deformasyon göstermeyen daha ağır kolonlara komşu olmakla birlikte, kısalmanın sınırlanmış ısısal uzamadan kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu sınırlama binanın üst tarafındaki güçlü transfer kirişi ile yangından etkilenen bölgedeki kolonlardan kaynaklanmıştır. Bazı kolonlar deforme olsa da, yapı olası bir çökme işareti göstermemiştir. Bunun nedeninin, yapının daha az etkilenen kısımlarının zayıflamış bölgeden uzağa dağılmış ek yükleri taşıyabildiği düşünülmüştür. Alt kısım standart profil metal üst kısım ise beton ve kompozit ağdan oluşan döşeme, yangın sonrasında en fazla kalıcı dikey yer değiştirme olarak 600 mm'lik büyük bir deformasyon geçirmiştir. Takviyede bazı bozulmalar gözlemlenmiş ayrıca bazı bölgelerde, çelik profil üst kısım betondan ayrılmıştır. Bu durumun, betondan çıkan buhar ve genleşmeden kaynaklandığı kabul edilmiştir. Mesnet takozu ve uç plaka tipi birleşimler kullanılmıştır. Yangın sonrasında, deformasyon mutlak olsa bile herhangi bir birleşimde kopma olmamıştır. Mesnet takozu birleşimlerindeki civata deliklerinde deformasyon varken, uç plakasında iki civata ve başka bir plakada ise kiriş alttan kırılmış olmasına rağmen gerilmeyi aktarabilmişlerdir. Bu deformasyonların temel nedeninin soğumadan kaynaklanan çekme kuvvetleri olduğu düşünülmektedir. [6]



Şekil 3.1. Kazara olan yangın sonrasında Broadgate'deki burulan kolon



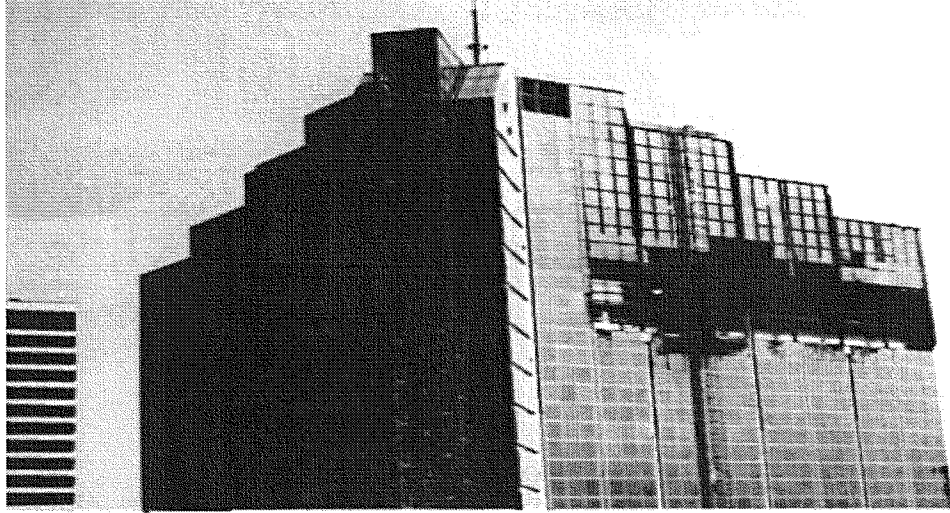
Şekil 3.2 Broadgate'deki yangın sonrasında burulan kiriş ve zemin levhası

3.1.2. Churchill Plaza Binası, Basingstoke

1991'de Mercantile Credit Insurance Building, 12 katlı Churchill Plaza, Basingstoke'ta bir yangın meydana gelmiştir. Kolonlar da pasif koruma ve kompozit zeminde ise sprej uygulanması ile korunma sağlanmış olup, kompozit döşemenin alt tarafı korunmamış ve yapının yangın direnci 90 dakika olarak tasarlanmıştır. Yangın 8. katta başlamış ve camların hızla kırılması ile beraber 10. kata sıçramıştır. Yangından koruyucu

malzemeler iyi bir performans göstererek çelik çerçevede herhangi bir kalıcı hasar meydana gelmemiştir. Kırılan camlar nedeniyle havalandırmayı arttıran rüzgar nispeten soğuk olduğundan yangını zayıflatmıştır. Korunmuş birleşimlerde herhangi bir deformasyon görülmemiştir.

Broadgate yangınına benzer şekilde, ısınan betondan çıkan buharın, çelik üst kısmı betondan bağlarını koparmaya zorladığı düşünülmüştür. En kötü etkilenen yerde yapılan bir yük testi sonucunda zemin levhasının yeterli yük taşıma kapasitesine sahip olduğu ve bu şekilde onarılmadan kullanılabileceği belirlenmiştir. Binanın ortalama onarım masrafı 5 milyon £ tahmin edilmiştir. Hasarın büyük çoğunluğu dumandan kaynaklanmaktadır. Görsel olarak hasarsız görüle bile yangın koruması yenilenmiştir. Korunmuş olan çelik için her hangi bir yapısal onarıma gerek duyulmamıştır. [6]



Şekil 3.3 Yangından sonra Churchill Plaza Binası, Basingstoke

3.2 Benzer Araştırmaların Özeti

Cardington'dakine benzer türdeki büyük ölçekli testler nadirdir. Bununla birlikte birkaç kayda değer test gerçekleştirilmiş ve burada incelenmiştir. [6]

3.2.1 BHP William Caddesi Yangın Testleri

BHP Avustralya'nın en büyük çelik üreticisidir ve uzun yıllardır çelik çerçeveli binalar için etkin olarak yangın mühendisliği çözümlerini araştırmaktadır. Çok sayıda test

gerçekleştirmişlerdir. Belirli binaların performansını göstermek üzere iki temel test programı tasarlanmıştır ve burada irdelenecektir.

Melbourne'un 140 William Caddesi'ndeki 41 katlı bina 1971'de yılında Avustralya'nın en yüksek binası olarak inşa edilmiştir. Kirişler ve kompozit çelik yer döşemelerinin üstü asbest esaslı malzeme ile korunmuş ve 1990'da tadilat esnasında bu tehlikeli kaplamaların kaldırılması için bir karar alınmıştı. Bina, iç merkezi bir kare şeklinde planlanmıştır. İç merkezdeki çelik işçilik ve dış çelik kolonlar tadilattan sonra değişmeden kalan beton ile korunmuştur.

Zemin yapısı, dayanım gerekliliklerinden ziyade kullanılabilirlik temel alınarak tasarlanmıştır. Bu durum çerçeve sınır dayanımına ulaşmadan daha yüksek sıcaklıklara dayanılabileceğini göstermiştir.

Tadilat zamanında, gerekli yangın dayanımı 120 dakika tasarlanmıştır. Normal olarak, bu duruma göre çelik kirişlerin ve çok az takviyeli levhaların üst kısmına yangın koruma uygulaması yapılması sonucuna varılmıştır. Ayrıca, yönetmelik hafif tehlikeler için yangın söndürme yağmurlama sisteminin yükseltilmesi gerektiğini belirtmektedir.

1990 yılında, binaların yangın dayanımı ulusal tartışma konusuydu ve binaların çelik işçiliğinin yangın korunması ve yağmurlama sistemlerinin hesaplanması için risk değerlendirmesinin yapılmasını gündeme getirmiştir. İki değerlendirme gerçekleştirilmiş, ilki, binanın hiçbir ilave güvenlik önlemi olmaksızın uyduğu güncel düzenlemeler temel alınarak yapılırken, ikincisinde kirişlere ve levhaların üst kısmına her hangi bir koruma olmadığı farz edilmiş ve her ikisinde de mevcut yağmurlama sistemi kullanmıştır. Ayrıca, ikinci hesaplamada, algılama sisteminin ve bina kontrol sisteminin etkisi de dâhil edilmiştir. İkinci risk değerlendirmesinin sonuçları, en az ilk değerlendirmeninki kadar olumluysada mevcut yağmurlama sistemi ve korunmamış çelik kirişlerin ve kompozit levhaların kullanımı kabul edilebilir görünecektir. Daha sonra, ikinci risk değerlendirmesi için verileri elde etmek için dört yangın testi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme, yangının doğası gereği, mevcut yağmurlama sisteminin performansı, korunmamış kompozit döşemenin davranışı, gerçek yangına maruz kalmış kirişlerin, duman ve zehirleyici maddelerin nasıl oluştuğu gibi konuları kapsamıştır. [6]

BHP Melbourne Araştırma Laboratuvarlarında inşa edilen binada bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Güncel binanın 12 m x 12 m boyutlarında benzeri yapılmış ve bu test binasının yanına 4mx4m boyutlarında küçük bir bina inşa edilerek, ofis mobilyaları ile döşenmiştir. Bu ofisin pencere, kapı ve test binasının bir cephesi alçı plakası ile kapatılmış ve hareketli yük, su tankları ile sağlanmıştır.

Dört yangın testinin tamamı gerçekleştirilmiştir. 52 kg/m² 'lik yangın yükü ile ilk ikisi hafif hasarlı yağmurlama sisteminin performansının test edilmesi için yangın küçük ofiste başlatılmış ve yağmurlama sistemi otomatik olarak etkinleştiği görülmüştür. Yağmurlama sistemi kontrol edildiğinde yangını söndürmeden önce atmosfer sıcaklıkları 60  C'ye ulaşmıştır. Test 2'de dört yağmurlama sistemi arasındaki açık alanın ortasında yangın başlatılmış ve bu bölgenin yangın yükü 53,5 kg/m² olarak ayarlanmıştır. Yağmurlama sistemi kontrol edildiğinde yangını söndürmeden önce atmosfer sıcaklıkları 118  C ölçülmüştür. Bu iki testte de, hafif hasar oluşmuş, buda yağmurlama sisteminin yeterli olduğunu göstermiştir.

Kompozit döşeme test 3'te değerlendirilmiş, destekleyici kirişler kısmi olarak korunmuştur. Yangın başlatılmış ve yağmurlama sistemi kapatılarak yangının büyümesine izin verilmiştir. En yüksek atmosfer sıcaklığı 1254  C olarak ölçülmüştür. Yangın, atmosfer sıcaklıklarının tepe noktasını aştığı anlaşıldığından sndrlmş ve döşeme levhası yüzeyinde kaydedilen en yüksek sıcaklık 72  C ölçülmüştür. Levhanın alt tarafı yangın esnasında tavan sistemi ile kısmi olarak korunmuştur.

Test 4'te elik kirişler korunmasız bırakılarak yangın küçük bir ofiste başlatılmıştır. Havalandırmayı arttıran pencerelerin camları elle kırılmasına karşılık yangın yayılmamış ve en yüksek atmosfer sıcaklığı 1228  C'ye, en yüksek elik sıcaklığı ise 632  C'ye ulaşmıştır. Yangın, atmosfer sıcaklıklarının tepe noktasını aştığı anlaşıldığında söndürülmüştür. Bununla birlikte elik sıcaklıkları tipik olarak atmosfer sıcaklığının altında kaldığından dolayı en yüksek elik sıcaklığına test esnasında ulaşılıp ulaşılmadığı kesin değildir. Yine elik kirişler ve zemin i kaplama ile mantolanmıştır. Kirişin merkezi kayması 120 mm olmasına karşın bu sapmanın büyük kısmı testin ardından düzelmiştir.

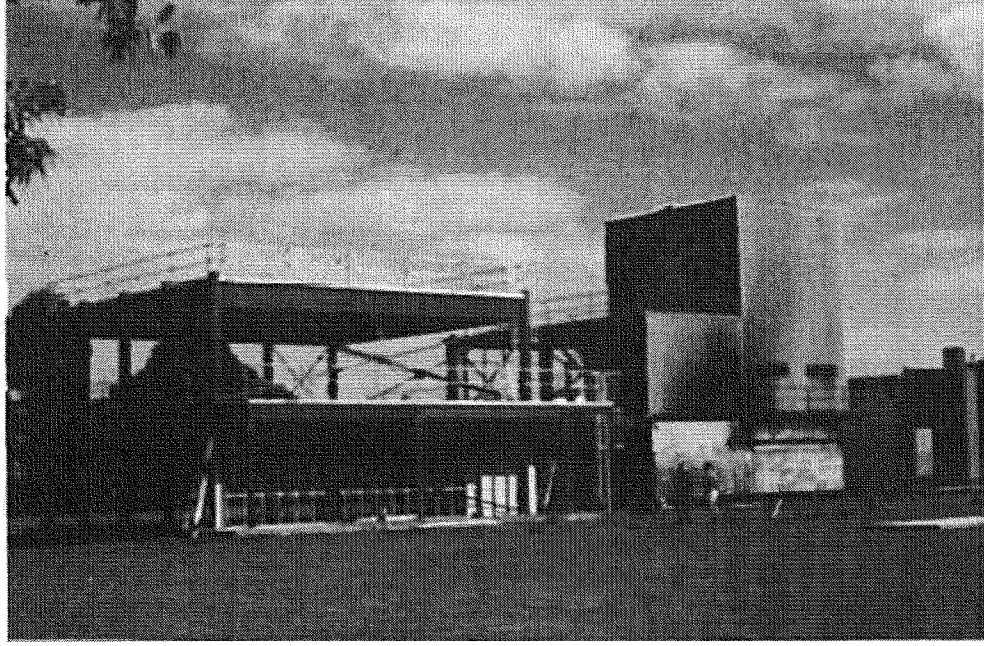
Bu dört test sonucunda mevcut hafif hasarlı yangın söndürme sisteminin yeterli olduğu, elik kirişler veya kompozit st levha için herhangi bir yangın korumasına gerek

olmadığı görülmüştür. Bununla beraber, testlerde kaydedilen değerler William Caddesi'ndeki binalardaki değerlere yakın çıkmıştır. Bununda nedeni, yangın esnasında bozulmadan kalan koruyucu iç kaplama sistemi olarak düşünülmektedir. [6]

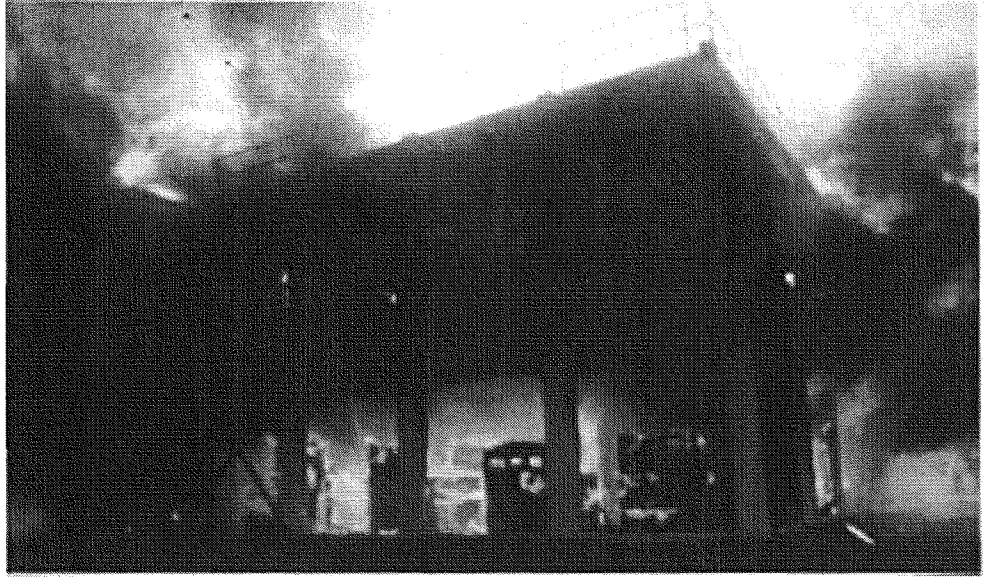
3.2.2 BHP Collins Caddesi, Yangın Testleri

Bu testin amacı, ofis dairesinde mobilyaların yanmasından meydana gelen yangın üzerine veri toplamak için, 8.4 m x 3.6 m boyutlarındaki daire tipik ofis mobilyaları ile doldurulmuştur. Bu durumda yangın yükü 44-49 kg/m² olarak sağlanmıştır. Yangın amaçlı olmayan fiberglas astarlı alçıdan oluşan asma bir çatı sistemi kurulmuştur. Yük bindirilmemiş kompozit döşeme dairenin üst tarafını oluşturmuş ve test süresince, kompozit döşeme ile asma tavan arasındaki çelik kirişlerin sıcaklıkları ile kolonların sıcaklıkları da kaydedilmiştir.

Bu kolonların ikisi alüminyum folyo ve çelik saç ile korunurken diğer ikisi korunmasız bırakılmıştır. Yük bindirilmemiş dış kolonlar dairenin etrafındaki pencerelerden 300 mm uzağa yerleştirilmiştir. Testi takiben, yangın koruma amaçlı olmayan çatı sisteminin, çelik kirişlerin sıcaklığının düşük kalmasına neden olarak etkin bir yangın bariyeri olduğu görülmüş ve test süresince asma çatı sistemi büyük oranda yerinde kalmıştır. Çatının altındaki gaz sıcaklığı 831 ile 1163 °C arasında değişiklik göstererek en düşük sıcaklık değeri kırık camın yanında okunmuştur. Çatının üzerinde sıcaklıklar 344 ile 724 °C arasında değişmiş ve yüksek sıcaklıklar çatının bozulduğu yerlerde tespit edilmiştir. En yüksek çelik kolon sıcaklığı 430 °C ölçülmüş ve iç kolonların sıcaklığı, korunmamış durumda 730 °C pik sıcaklığına ulaşırken, korunmuş durumlarda 400 °C'nin altına inmiştir. Dış kolonlarda tespit edilen pik sıcaklığı yangına en yakın flanşta 480 °C olarak tesbit edilmiştir. Bu yangın testi, William Caddesi'nde korunmamış çelik kullanımını doğrulayacak kadar kiriş ve dış kolon sıcaklıklarının düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca yangından korunma amaçlı olmayan bir asma çatı sistemi korunmada yararlı olduğu görülmüştür. [6]



Şekil 3.4 BHP test binası



Şekil 3.5 BHP yangın testi

3.2.3 Stuttgart Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen Yangın Testi

1985'te Almanya Stuttgart Üniversitesi'nde inşa edilen dört katlı çelik çerçeveli bir araştırma binasında yangın testi gerçekleştirilmiştir. Yangın testinin ardından bina ofis ve laboratuvar olarak kullanılmıştır. Bina çok farklı şekillerde çelik ve beton kompozit

elemanlar kullanılarak inşa edilmiştir. Bu malzemelere su dolu kolonlar, kısmi örtülü kolonlar, beton dolgulu kolonlar, kompozit kirişler ve çeşitli türlerde kompozit döşeme dâhildir.

Temel yangın testi, binanın yaklaşık üçte birini kaplayan üçüncü katta gerçekleştirildi. Tahta yataklar yangın yükünü ve su ile dolu yağ bidonlar hareketli yükü oluşturdu. Test esnasında, atmosfer sıcaklığı 1000 °C'yi geçti ve döşeme kirişleri 650 °C'ye kadar ulaştı. Testin ardından, kirişlerin incelenmesinde beton dolu bağlantı levhalarının bazı bölgelerde takviyeyi dışarı atarak parçalandığını görülmüştür. Bununla beraber kirişlerde test esnasında yangının ardından hiçbir kalıcı deformasyon kalmayacak şekilde çok iyi bir davranış göstermiştir. Dış kolonlarda hiçbir kalıcı deformasyon izi görülmezken, kompozit zemin yangın esnasında en fazla 60mm bir kayma yaşamış fakat bütünlüğünü testin ardından geri kazanmıştır.

Yangını takiben, tadilatla yangından hasar görmüş dış duvar panelleri tamamen yenilenmiştir. Beton zemin levhasının üzerindeki çeliğin hasarlı kısımları ve kirişlerin dolguları değiştirilmiştir. Levhaların üst kısmına bazı eklemeler yapıp beton püskürtülerek zemin güçlendirilmiş ve yapının tadilatı en az maliyet ve en az işçilik ile tamamlanmıştır.

Cardington testlerinin tasarımı, en çok Broadgate yangınından etkilenmiştir. Bu yangının ardından, herhangi bir çökme emaresi olmadan yapı elemanlarından bazılarının yük taşıma kapasitelerini kaybettiği görülmüştür. Yapının bütünsel kararlılığı açısından, zayıflayan elemanlardan gelen rahatsız edici yüklere karşı diyafram ya da zar gibi davranan kompozit döşeme ve destekleyici çelik yapının büyük etkisinin olmuştur.

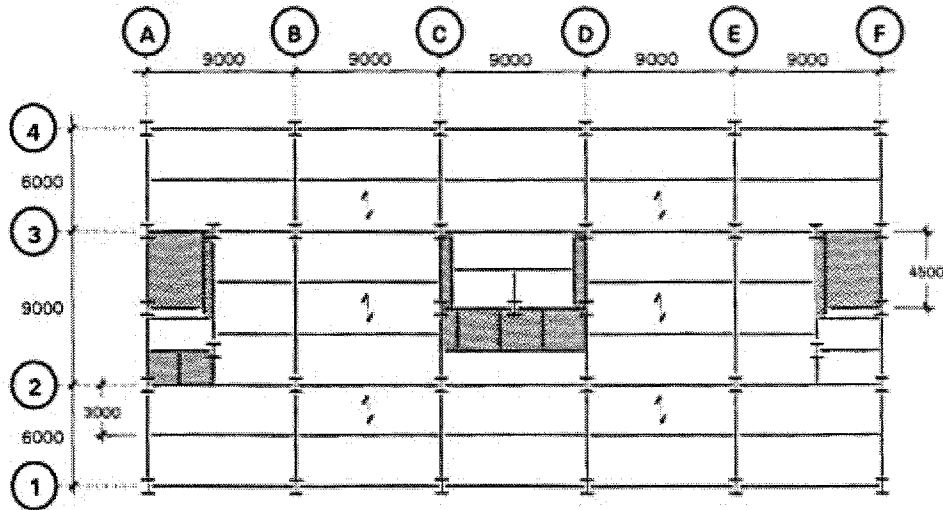
Basingstoke yangını tam olarak korunmuş binanın ne kadar iyi performans gösterebileceğini ve günümüz düzenlemelerinin doğrulaması olarak düşünülebilir. Bununla birlikte, tamamen korunmuş çelik işçilik ile alakalı geleneksel yaklaşımın ne kadar güvenli olduğuna dair bir bilgi vermemiştir.

Almanya'daki test çok başarılı olmuş ve EC4 Kısım 1,2 içerisinde yer alan inşaatta kullanılan ve gerçek yangınlarda çok iyi performans sergileyen sistem İngiltere'deki çok katlı olarak büyük oranda çelikten inşa edilen binalarda bu sistemlerin çoğunun kullanılmasının ekonomik olmayacağını göstermiştir. Bunun temel nedeni, İngiltere'de

ve Avrupa'daki diğer ülkelerde yangın korunma maliyetinin daha düşük olmasıdır. Bununla beraber, Alman testinde kompozit inşaatların yangın performansı mükemmel olmasına karşın, Cardington temel yangın testlerinin tasarımında etki sahibi olmamıştır. [6]

3.3 Cardington'daki Çok Katlı Test Binası

Eylül 1996 Tarihinde, Birleşik Krallık Bina Araştırma Kurumu Bedford yakınlarındaki Cardington Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen bir program içerisinde bir dizi yangın deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden birinde, çok katlı bir ofis binası tasarlanarak sekiz katlı kompozit çelik çerçevesi yapı inşa edilmiştir. Testlerin amacı, gerçek yangın şartları altında gerçek bir yapının davranışını araştırmak ve yangın analizinde bilgisayar programlarına yardımcı veriler toplamaktır. Planda test binası 21m x 45m'lik taban alanına ve 33 m. yüksekliğinde inşa edilmiş. Bina boyuna 5 eşit, enine 3 açıklıklıdır. Ortada 9m x 2,5m ebatlarında asansör boşluğu ve heriki kenarda 4m x 4,5m ebatlarında merdiven boşluğu bulunmaktadır. Girişteki merkezi resepsiyonu açabilmek için ilk iki kattaki iki kolonun kaldırılması gerekmiştir. Bu seviyenin üzerindeki kolonlar transfer kirişleri ile desteklenmektedir. Bina'nın planı Şekil 3.6'da gösterilmektedir. [6]



Temel kiriş ölçüleri:

9.0 m ikincil kiriş: 305x165x40 UB (Sınıf S275)

9.0 m birincil kiriş: 610x229x101 UB (Sınıf S275)

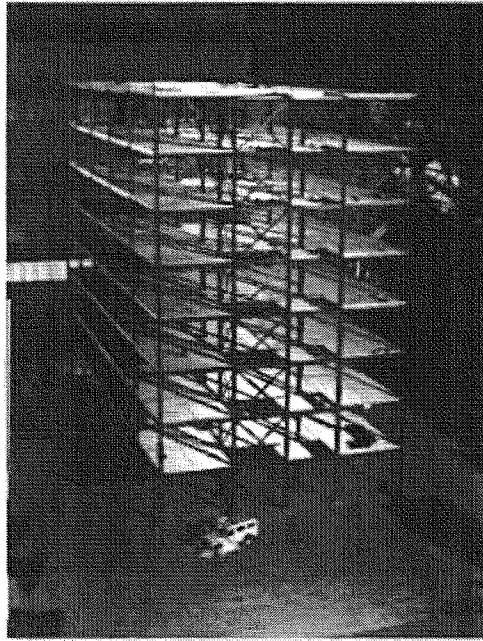
6.0 m birincil kiriş: 356x171x51 UB (Sınıf S355)

9.0 m çevre kiriş: 356x171x51 UB (Sınıf S355)

Şekil 3.6 Test binasının genel planı

Yapısal tasarım İngiliz standardı BS5950'ye göre gerçekleştirilmiştir. Tasarım aynı zamanda Eurocodes, EC3 ve EC4 ile uyumlu ve çelik elemanlar sıcak çekilmiş ve boyamadan bırakılmıştı. Elemanların haddelenmesinde 3 farklı İngiliz çeliği Lackenby, Shelton ve Scunthorpe ile kullanılmıştır.

Mil salınım testleri, Sınıf S275 (St44) malzemesinin akma dayanımını $291-318 \text{ N/mm}^2$ ve Sınıf S355 (St52) malzemesinin akma dayanımını $371-413 \text{ N/mm}^2$ olduğunu göstermiştir.



Şekil 3.7 Yapısal çerçevenin genel görünümü

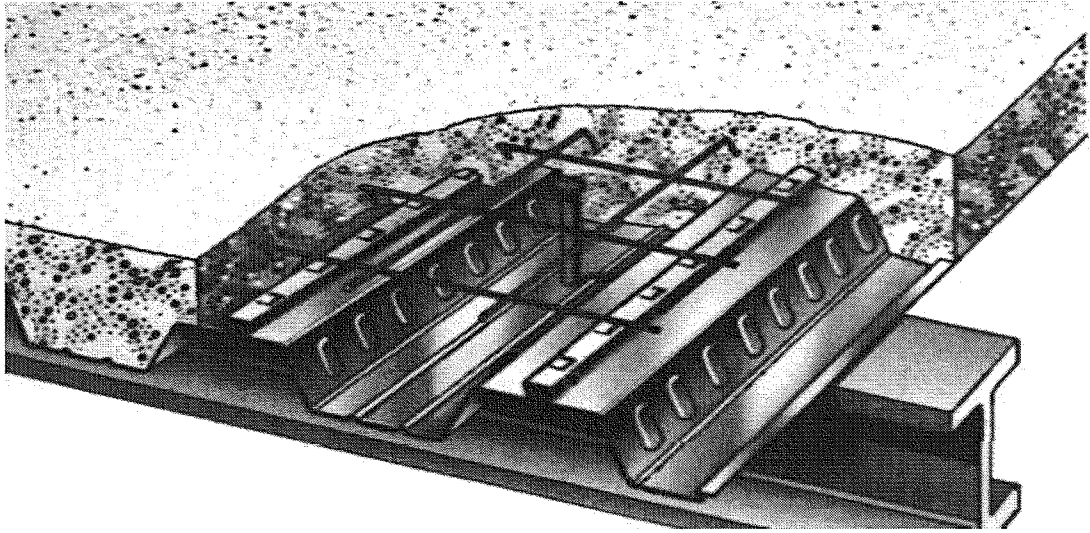
Normalde İngiliz Bina Düzenlemeleri'ne uyabilmesi için binanın 90 dakika yangın dayanımı olması gerekir.

Araştırma programında iki proje yer almakta olup Corus (eski British Steel), Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (AKÇT), Bina Araştırma Kuruluşu (BRE) ile Birleşik Krallık Hükümeti tarafından finanse edilmiştir. Sheffield Üniversitesi, Uygulamalı bilimsel araştırmalar enstitüsü TNO (Hollanda), CTICM (Fransa) ve Çelik Yapı Enstitüsü araştırma programında yer alan diğer kuruluşlardır.

Yapı üç dikey giriş şaftı etrafındaki S355 yassı çeliğinin çapraz desteklenmesinden kaynaklanan yanal sınırlamalı destek çerçevesi olarak tasarlanmıştır. Bütün çerçeve

kazara olacak hasarı bölgeselleştirmek üzere destek kolonları ile beraber ikinci kat seviyesindeki transfer kirişleri ve ilgili sınırlanma elemanları anahtar elemanlar olarak BS5950'ye göre tasarlanmıştır. Bu durum, birinci ve ikinci kat seviyelerinde kolonların yatay birleşme elemanlarına ihtiyaçlarının bir sonucu olarak, bu elemanların 34 kN/m^2 patlama yüküne dayanmasının temin edilmesini gerektirmektedir. S275 haddelenmiş çelik yerden dördüncü kata ve bu seviyeden 2.25 m merkezdeki uç kirişleri boyunca 3.0 m merkezde konumlanmıştır. Tahmini akma gerilmesi 280 N/mm^2 'dir.

Yangın testindeki uygulanan yüklere benzetebilmek için 11 kN'luk kum torbaları kullanılmış. PMF CF70 tipi kompozit levha kullanılarak döşeme meydana gelmiştir (Şekil 3.8). Döşeme betonu C35, hasır çelik olarakta A142 tipi hasır çelik kullanılmıştır. Kompozit Levhanın toplam derinliği 130 mm idi. Kiriş-kiriş birleşimlerinde fin plakası (Şekil 3.9), kiriş-kolon birleşimlerinde; esnek uç plakaları (Şekil 3.9) ile kolon geçmelerinde, baş ve alt plakaları kullanılmıştır. [6]



Şekil 3.8 PMF CF70 kompozit levha



Şekil 3.9 Fin plakası (kiriş-kiriş) bağlantısı



Şekil 3.10 Esnek uç plakası (kiriş-kolon) bağlantısı

Test programının amacı;

- Yangında çelik çerçevenin davranışını bilgisayar modellerini doğrulamak için gerekli verileri sağlamak,
- Yangında büyük ölçekli yapıların davranışlarını göstermek,

Yangın şartları altında çelik çerçeveli binalar için daha mantıklı tasarım metodolojisinin hazırlanması için temeli sağlamak.

Testler iki program olarak (BS/ECSC ve BRE) Ocak 1995 ve Temmuz 1996'da yapılmıştır. Her iki testde, 6 temel yangın testi gerçekleştirilmiş. Aşağıdaki çizelgede (çizelge 3.1) bu testler özetlenmiş, yerleri ise Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Test programının özeti

Test	Sponsor	Tanım	Zemin Alanı m ²	Mevki
1	BS/ECSC	Sınırlanmış kiriş	24	Kat 7
2	BS/ECSC	Düz çerçeve	53	Kat 4
3	BS/ECSC	1. Köşe	76	Kat 2
4	BRE	2. Köşe	54	Kat 3
5	BRE	Geniş daire	340	Kat 3
6	BS/ECSC	Geniş daire(ofis)	136	Kat 2



Şekil 3.11 Yangın testlerinin yerleşim planı ve mevkileri

3.3.1 Test 1; Sınırlı Kiriş

Sınırlı kiriş testi binanın yedinci katında gerçekleştirilmiş. 8.0 m uzunluğunda ve 3.0 m genişliğindeki gaz ateşlemeli fırın tasarlanmış (Şekil 3.12) ve iki kolon arasında uzanan çevre yapının bir kısmını ısıtmak üzere inşa edilmiştir. 9.0 m'lik kiriş 8.0 m'lik kısmının ortasından ısıtılmış, böylelikle birleşimlerin ortam sıcaklığına mümkün olduğunca yakın tutulmaya çalışılmıştır.

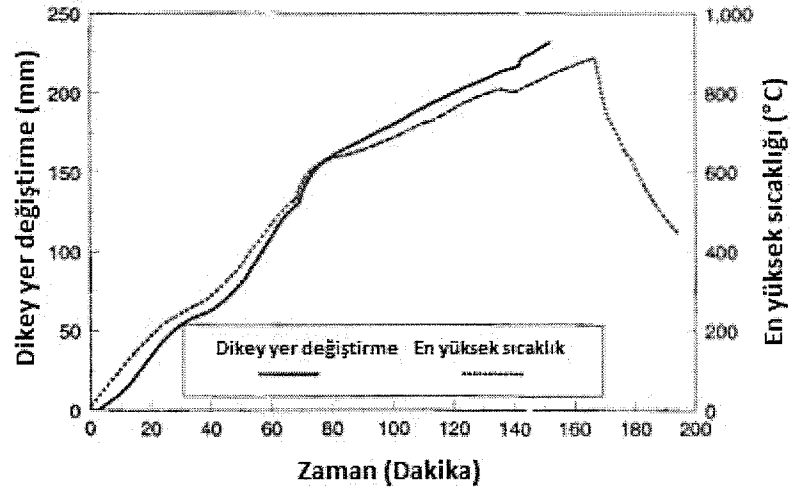


Şekil 3.12 Tasarlanan gaz fırını

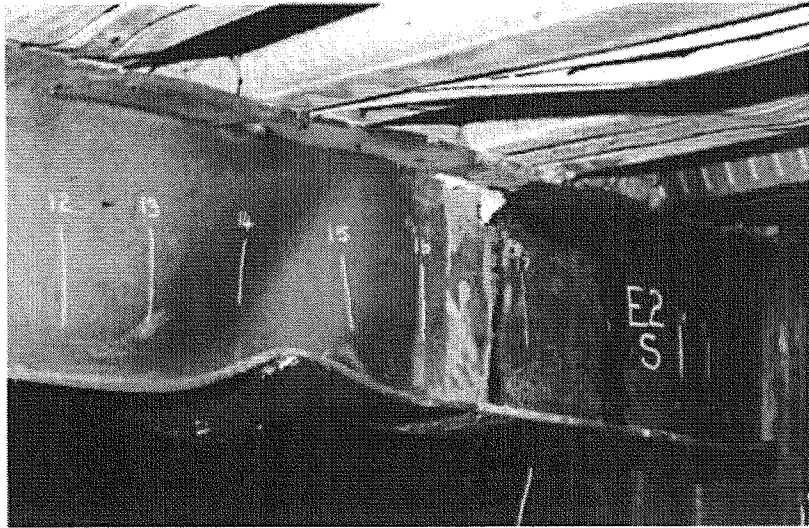
Esnek seramik fiber perdeler levhanın alt tarafına ve döşeme üstünde yapılan fırın, zeminin hareket etmesine izin verecek şekilde yerleştirilmiştir. Kirişler fırın duvarlarından geçerken, seramik fiber dolgulu paslanmaz çelik saçlardan oluşan sisteme oturtulmuştur. Bu durum kirişlerin serbest şekilde hareket etmesine izin vermesini ve ayrıca kiriş boyunca sızıntının en aza indirilmesini sağlamıştır. Isıtılan kirişin üst flanşı ile üstü çelik zeminin alt kısmı arasındaki boşluklar taş yünü ile doldurulmuş. Bununla birlikte, boşlukların doldurulduğu durumda, ısıtılmış kiriş boyunca ısı değişimi azaltılmış ve böylelikle bilgisayardaki simülasyonu basitleştirilmiş olur. Diğer bütün testlerde boşluklar doldurulmadan bırakılmıştır. Isıtılmış çelik kiriş ve çevreleyen çelik yapı; gerilim ayarı, pozisyon sensörleri, inklinometreler ve ısı çiftleri kullanılarak cihazlarla donatılmıştır. Kompozit zeminde levha ve bağlantı levhası boyunca sıcaklık dağılımını elde etmek üzere cihazlarla izlenmiştir. Toplamda 300 parça cihaz yerleştirilmiştir.

Kesitin profili boyunca sıcaklık 800-900 °C civarında kaydedilene kadar dakikada 3-10 °C arasında olacak şekilde kiriş ısıtılmış ve bu noktada, kiriş ortasındaki sapma 232 mm olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, bu sıcaklıklarda yapısal çeliğin dayanımı ortam sıcaklığında akma dayanımının %10'u kadardır. Şekil 3.13'te test bitse bile, kaçak yer değiştirmeye (kararsızlığa) ulaşılmamıştır. Standart testteki korunmamış çelikte elde edilen deneysel verilere kıyasla kabul edilen sıcaklık oranı çok daha yavaş ve 1-2 saatlik

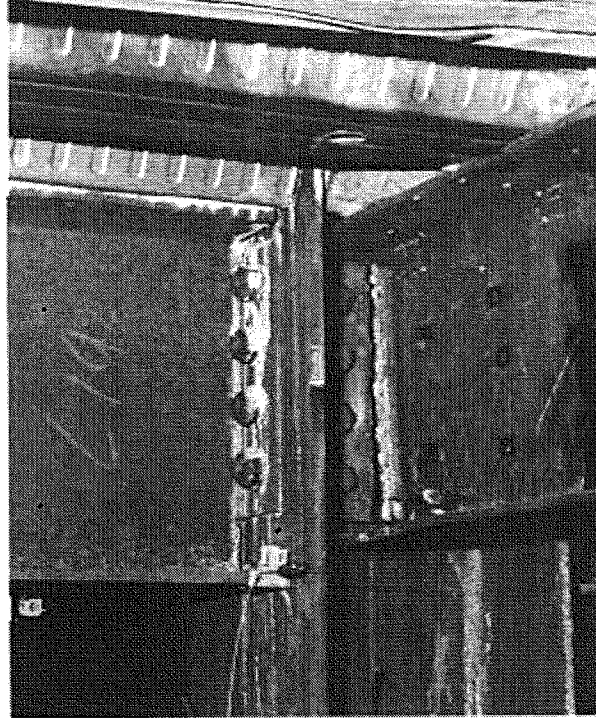
süreçte korunmuş çelik elemanla test etmek daha uygun olacaktır. Bununla birlikte, testin temel amacı zemin ve kiriş arasındaki kompozit etkiyi incelemektir. Düşük ısıtma hızı betona daha fazla ısı ileteneğinden kirişin en yüksek sıcaklığı alt flanşta 887 °C, çökme değeri ise 232 mm olarak kiriş ortasında ölçülmüştür. Kiriş soğutulduğunda, kiriş ortasındaki sapma 113 mm'ye gerilemiştir.



Şekil 3.13 Test süresince kirişte kaydedilen en yüksek dikey yer değiştirme ve sıcaklık



Şekil 3.14 Fırının içindeki test kirişinin bölgesel burulması



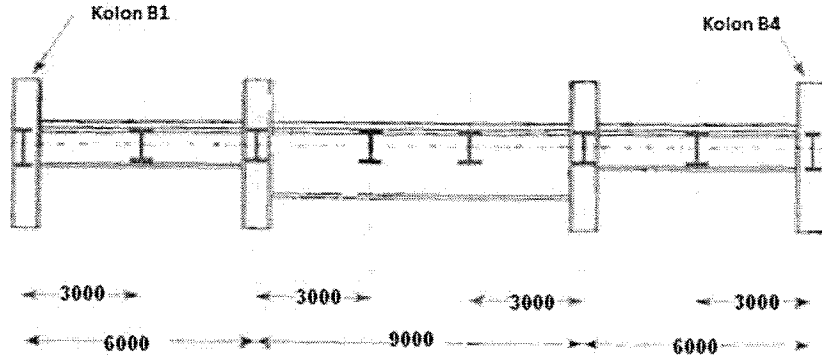
Şekil 3.15 Kırılmış bağlantı

Test süresince test kirişinin iki ucunda fırın duvarlarının içinde bölgesel burulma meydana gelmiştir. (Şekil 3.14) Ayrıca, kirişin uçlarının yakın kısımların incelenmesi kolon kesitinin bağlantı elemanına karşı alt flanşın uzayacak şekilde yamulduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu etkilerin meydana geldiği zaman cihazlardaki okumalardan saptanarak, testin yaklaşık 70. dakikasında bölgesel burulmanın meydana geldiği anlaşılmıştır. Bu noktada alt flanş, bağlantı levhası ve üst flanşın sıcaklıkları sırası ile 554, 507 ve 390 °C ölçülmüştür.

Test bitiminde kirişin görsel incelenmesi sonucunda uç plaka bileşiminin kırıldığı görülmüştür. (Şekil 3.15) Bu durum, çok yüksek çekme kuvvetleri üreten soğuma esnasında kirişin ısısal çekmesinden kaynaklanmıştır. Plaka bir yandan kesilse bile, bu mekanizmada oluşan çekme gerilmesi rahatlatmış ve plakanın diğer yanı kesme gerilmesi kapasitesini sağlayarak kirişin bütünlüğü korunmuştur. Plakanın kırılması gerilme aracı okumalarından tespit edilebilmiştir.

3.3.2 Test 2; Düz Çerçeve

Bu test, üçüncü katta, B1 ve B4 aksları arasında bulunan, dört kolon ve üç ana kirişten oluşan toplam 21m uzunluğundaki sürekli çerçevede gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.16)



Şekil 3.16 Düz çerçeve testinin şematik gösterimi

Bu testin amacı, sistemin ile birleşimlerin davranışını incelemektir.

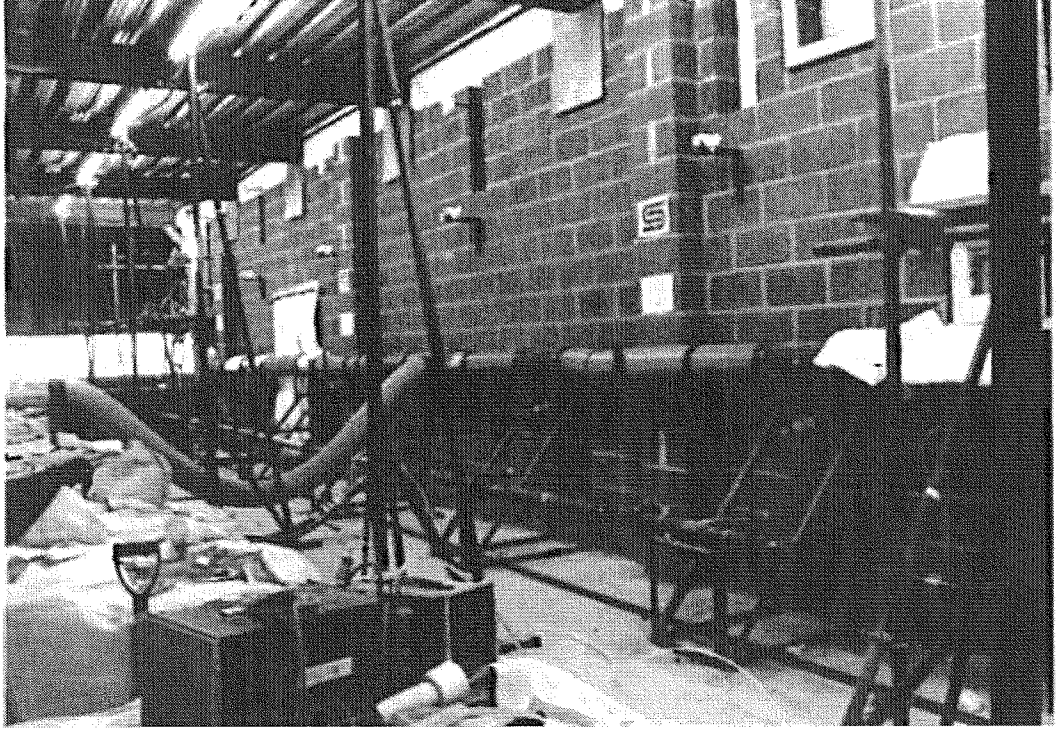
Çimento esaslı blok kullanılarak gaz ısıtmalı, içten izolasyonlu 21 m uzunluğunda 2.5 m genişliğinde bir fırın binanın bütün eni boyunca inşa edilmiştir. (Şekil 3.17) Fırının duvarı ile tavan arasına, kompozit zemin levhası ve birincil kirişlerin serbest olarak hareket etmesine izin verecek şekilde 400 mm yüksekliğinde seramik fiber örtü yerleştirilmiştir. Ayrıca ikincil kirişlerin serbest hareketine izin vermeyecek şekilde değişiklikler yapılmıştır. Isıtma, üçüncü kat seviyesinin yakınındaki fırının bir tarafına oturtulan sekiz bağımsız sanayi tipi yakıcı ile sağlanmıştır.

Birincil ve ikincil kirişler, kompozit zeminin alt tarafı ile birlikte korunmasız bırakılmıştır. Asma tavanın yerleştirilebileceği yüksekliğe kadar mineral yünü yalıtım panoları ile kolonlar korunmuştur. Bu durum, kolonların üstten 800 mm'lik kısmında birleşimler dâhil korunmamış halde kalması ile sonuçlanmıştır. Bu korumadan kolonların sıcaklığının 500 °C'yi geçmediği açıkça görülmüştür.

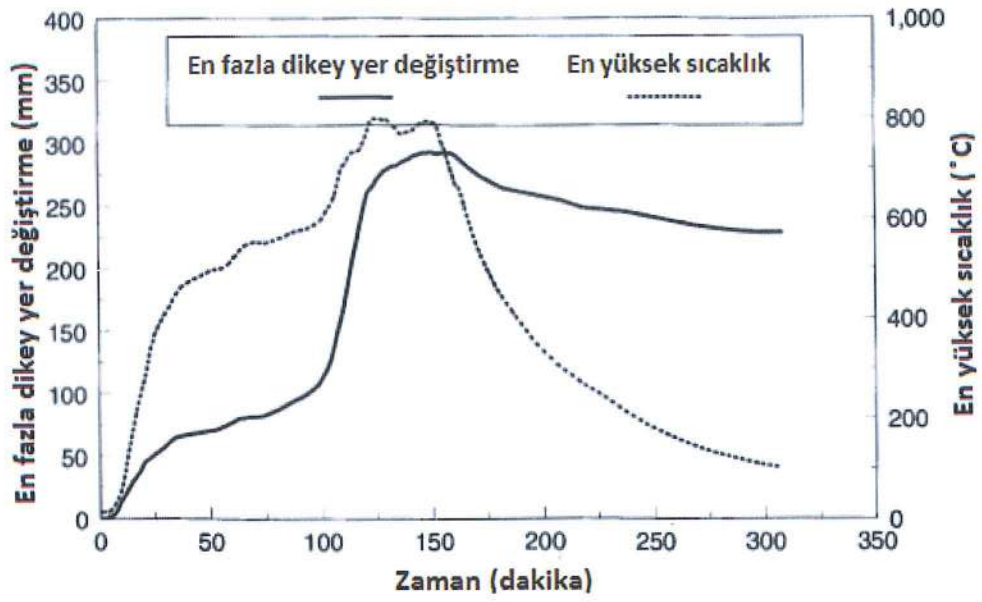
Aşağıdaki bileşenleri ölçmek üzere 600 parça cihaz yerleştirilmiş;

- Çelik kirişler boyunca belirli noktadaki sıcaklıklar,
- Kompozit zemin, birincil kirişlerin üstü ve fırın duvarı arasındaki arasındaki profillerin sıcaklıkları,

- Birleşimlerin etrafındaki sıcaklıklar,
- Kolonların korunmuş ve korunmamış kısımları arasındaki sıcaklıklar,
- Birincil kirişlerin dikey ve yanal yer değiştirmeleri,
- Kolonların yanal yer değiştirmeleri,
- Temel kiriş-kolon birleşimlerindeki dönmeler,
- Isıtılan kolonlar ile çevre yapıdaki gerilmeler



Şekil 3.17 21 m uzunluğundaki fırının bir kısmı



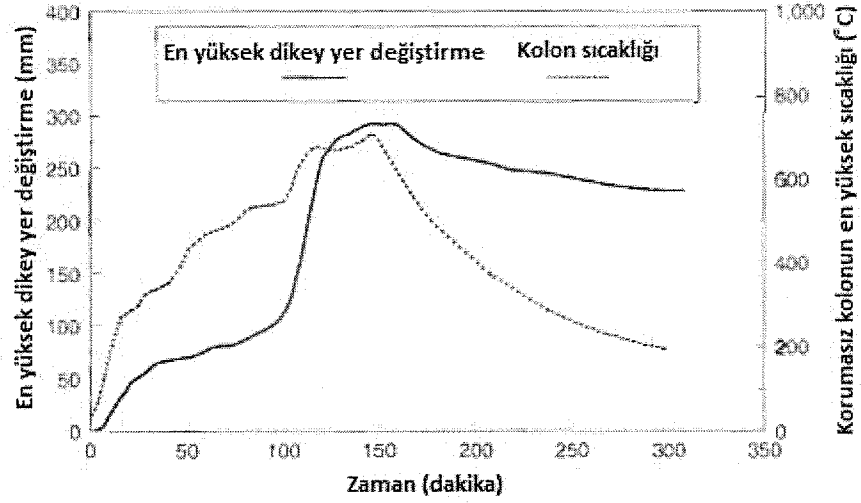
Şekil 3.18 Merkezi 9.0 m'lik çelik kirişin en yüksek dikey yer değiştirmesi ve sıcaklığı

Yaklaşık olarak 110 ile 125 dakika arasında merkezi 9.0 m çelik kirişin dikey yer değiştirmesi hızla artmış. Bu durum yaklaşık olarak 180 mm iç kolonları ezilmesi ile oluşan korumasız bölgelerinden kaynaklanmıştır. Ölçülen en yüksek yer değiştirme ve sıcaklık şekil 3.18'de kolonunun ezilmesi ise Şekil 3.19'da gösterilmektedir. [6]

Şekil 3.20 kolonun korunmasız kısmının sıcaklığı, ezilme başladığında yaklaşık 670 °C olduğunu ölçülmüştür.



Şekil 3.19 Kolonun korunmasız kısmının ezilmesi (Not: Korumanın esas uzunluğu kolonun etrafındaki beyaz kalıntıdan tanımlanabilir.)



Şekil 3.20 Merkezi 9,0 m'lik çelik kirişin en yüksek dikey yer değişimi ve iç kolonun korumasız üst kısmının sıcaklığı

Yangını takiben çerçevenin genel görünümü ve kolonların bölgesel ezilmesi Şekil 3.21'de gösterilmektedir. Bu davranış, yangın dairesinin üzerindeki bütün katların yaklaşık 180 mm düşmesi ile sonuçlanmıştır. Bu durum gerçek bir binada olsaydı, yangın dairesinin üzerindeki bütün katların tekrar inşasına kadar kullanılamayacaktır. Yine bu durum, elbette belirgin bir bozulma ve binanın sakinleri için maddi kayıplar oluşacağı sonucuna varılmıştır. Böylelikle, amaç, sadece daire bölgesindeki zararı belirlemek olduğundan, bu test kolonların korunması gerektiğine işaret etmektedir. Bu durum sonraki bütün testlerde gerçekleştirilmiştir.

İkincil kirişler ve birincil kirişlerin her iki tarafında yaklaşık 1 m'lik kısım ısıtıldığında testten sonraki araştırmada fin plakası birleşimlerindeki civataların çoğunun kaydığı görülmüştür. (Şekil 3.22) Test 1'dekine benzer şekilde soğuma esnasında kiriş kesitindeki ısısal çekilmeden dolayı birincil kirişin fin plakasındaki civataları kaydığından yüksek çekme kuvveti üretmiştir.



Şekil 3.21 Sonraki testin çerçevesinin genel görünümü

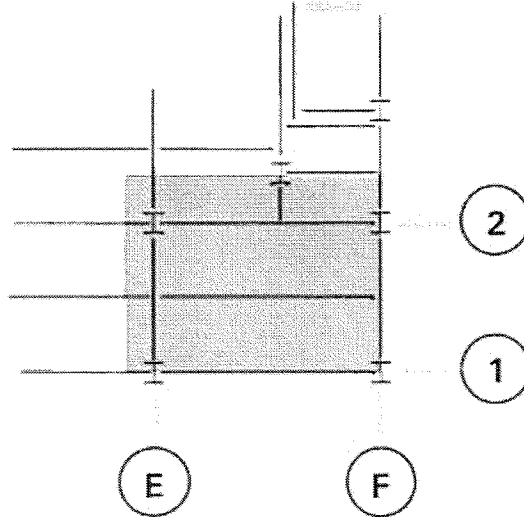


Şekil 3.22 Kiriş-kiriş birleşimlerinde (fin plakaları) civata kayması

3.3.3 Test 3, İlk Köşe

Bu testin amacı bütün döşeme sisteminin davranışını araştırmaktır. Özellikle, destekleyici çelik çerçeve yüksek sıcaklıklara çıkarken, alternatif olarak yük yollarını sağlaması açısından zeminin köprü/zar etkisi görtermesindeki rolü önemliydi.

Şekil 3.23'te gösterildiği üzere binanın ilk katındaki köşede 10 m eninde 7.6 m derinliğinde bir daire beton blok kullanılarak inşa edilmiştir. Kompozit döşemenin serbest dikey yer değiştirmesine izin vermek için fırın duvarı ile tavan arasında 400 mm yüksekliğinde seramik fiber perde yerleştirmiş ve bütün kirişlerin serbestçe hareket edebilmesi için yivler açılmıştır. Fırının etrafında kalan boşluklar gevşek bir şekilde seramik fiber ile doldurulmuştur.

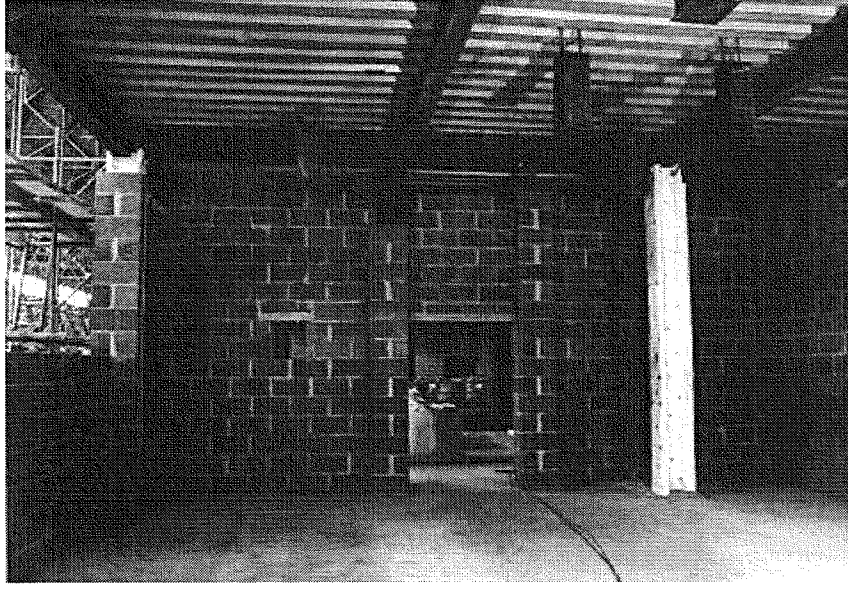


Şekil 3.23 Test 3'ün şematik gösterimi

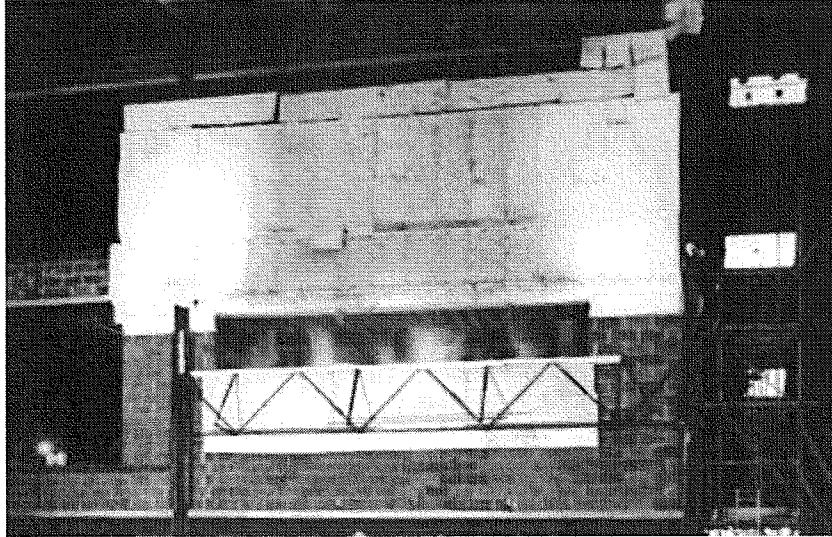
Daire duvarlarına uygulanan yükleri destekleyici etkisinin olmadığından emin olmak için, bloğun üst kısmı ve çatı makasının duvarlarındaki bütün sınırlar ve bağlantılar uzatma mafsallarındaki mineral fiber tabaka ile birlikte kaldırılmıştır. Kolon kesitinin flanşına doğru daire duvarı bindirildiğinde veya kolon kesitinin bağlantı levhasında inşa edildiğinde, çelik ile duvar arasında 10 mm boşluk bırakılmıştır. Yangını tutmak için yeni yapılan duvarlar ve mevcut duvarlar binanın yapısal performansına katkı sağlamamıştır.

Yapısal analizi karmaşıktırmadan kaçınmak için, yangın dairesinde ilk ve ikinci katlar arasındaki 1 aksındaki rüzgar noktaları kaldırılmış, ikinci ve üçüncü kat arasındaki rüzgar noktaları uç kirişinden ayrılmış ve kolon E2'ye yanal sınırlama sağlayan dairesel boş kesit de kaldırılmıştır.

Kolon E2 ve E1, F1 ve F2 çevre kolonlarının iç yüzeyleri kolon-kiriş birleşimleri ile beraber 25 mm seramik fiber örtü kullanılarak korunmuştur. Dış çevre kirişi de benzer şekilde korunmuştur. Kiriş-kiriş birleşimleri dâhil bütün iç birincil ve ikincil kirişler korumasız bırakılmış ve çelik üst kısmın alt tarafı ile çelik kirişlerin üst kısmı arasındaki boşluklar doldurulmamıştır. Şekil 3.24'te bitmeye yakın dairenin içini, Şekil 3.25'te ise yangının erken evresinde dairenin ön cephesi gösterilmektedir.

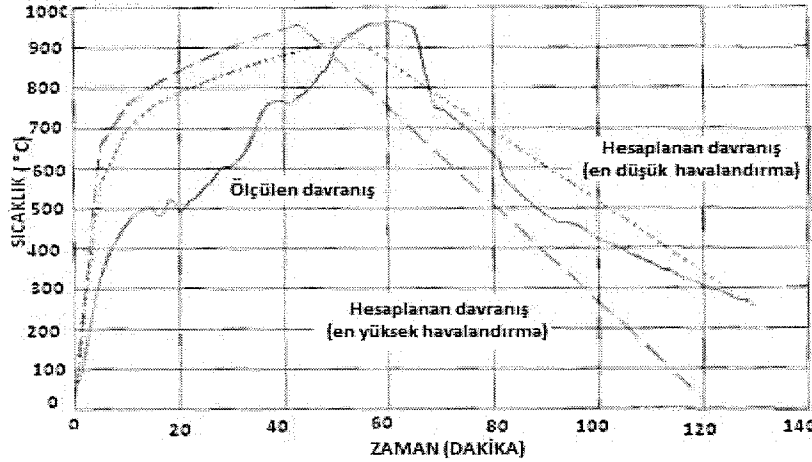


Şekil 3.24 Bitmeye yakın dairenin iç kısmı



Şekil 3.25'te yangın geliştirilmesinin erken evresinde dairenin ön cephe görünüşü

Geçmiş testlerden elde edilen gözlemlerden, çelik sıcaklığının 1000 °C'yi geçtiği durumlar için testin tasarlanması gerektiğine karar verilmiştir. EC1 Kısım 2.2 temelli hesaplamalar ilk havalandırma şartlarında ufak değişiklikler ile zemin bölgesinde 45 kg /m²'lik ahşap parçaları yakılması ile yüksek sıcaklığa ulaşması sağlanmaktadır. Yangın boyunca, ısı salınımı 19 MW ölçülmüştür. [6]



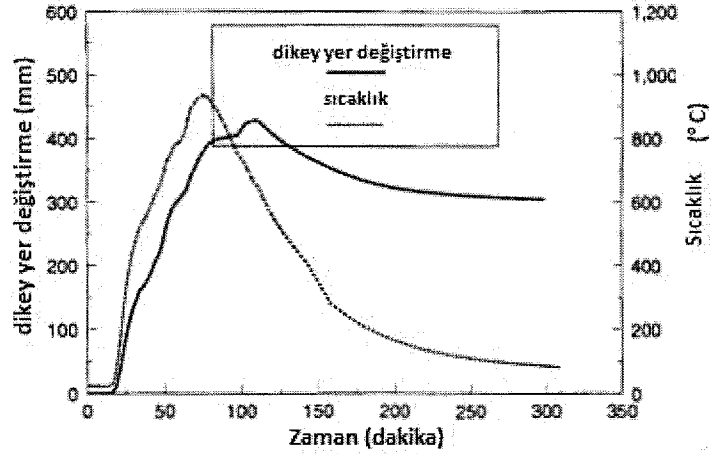
Şekil 3.26 Ön görülen , ölçülen ve hesaplanan atmosfer/zaman/sıcaklık karşılaştırması

ISO 834 yangın dayanım testindeki ısıtma periyodu ile ilişkili yangının şiddetini ölçmek için test dairesindeki belirleyici çelik kesitleri dâhil edilmiştir. Bu durumun EC1 tasarım yöntemi kullanılarak hesaplanan 94,5 dakika ve Petterson formülü kullanılarak hesaplanan 89 dakika ile kıyaslandığında 86 dakikaya denk geldiği bulunmuştur. Her iki hesaplamada daire sınırlarının ısı özellikleri hesaba katılmıştır.

600 parça cihaz

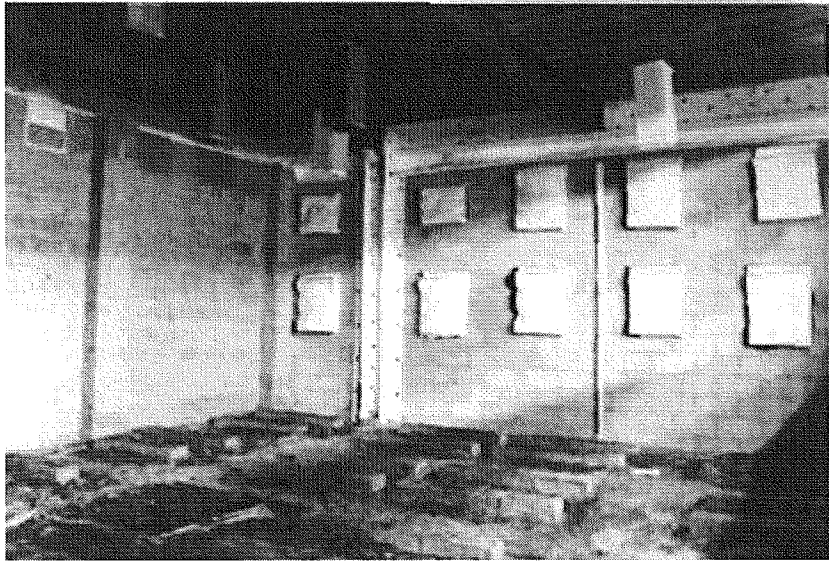
- Birincil, ikincil ve uç kirişleri boyunca çelik sıcaklıklarını,
- Kompozit zemin boyunca sıcaklıklarını,
- Kolon boyunca belli bölgelerdeki çelik sıcaklıklarını,
- Birleşimlerin etrafındaki çelik sıcaklıklarını,
- Dikey ve yanal sapmaları ve kiriş, kolon ve zemin levhasının yer değiştirmesini,
- Birleşimlerdeki kiriş ve kolon dönüşlerini,
- Test dairesi ve çevre yapıdaki kolonlar boyunca gerilimi,
- Kompozit zemin boyunca gerilimi,
- Daire atmosfer sıcaklıklarını, hesaplamak üzere yerleştirilmiştir.

1 ve 2 aksları arasında yer alan E ve F aksları arasındaki ikincil kiriş kanat genişliğinin merkezinde 428 mm en yüksek dikey yer değiştirme ölçülmüş ve soğuma sonucu kalıcı yer değiştirme 296 mm'ye gerilemiştir. İkincil kirişte kaydedilen en yüksek sıcaklık 935 °C 'dir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 9.0 m'lik ikincil kirişin en yüksek dikey yer değiştirmesi ve sıcaklığı

Dairenin içindeki bütün yanıcı malzeme, Şekil 3.28'de gösterildiği üzere yangında tükenmiş olup, yapı herhangi bir çökme emaresi göstermeden son derece iyi davranmıştır. Şekil 3.29'da fırın kaldırıldığında yapının deformasyonunu göstermektedir.



Şekil 3.28 Testin ardından dairenin içten görünümü



Şekil 3.29 Yangından sonraki yapısal deformasyon

Kiriş-kolon birleşimlerinin yakınlarında yoğun burulma meydana geldiği (Şekil 3.30), ayrıca E aksındaki birincil kirişe birleşen kirişin ucunda bölgesel burulma oluşmuştur. (Şekil 3.31) Bu durumun nedeni kompozit levha ve birleşen çelik elemanların aksel sınırlamasıdır. Dış kirişe bağlanan kirişin diğer ucunda bölgesel hiçbir burulma gözlemlenmemiştir. (Şekil 3.32) Bu durumun nedeni ise bölgesel burulma için sınırlamanın yetersiz kalmasına yol açan dış kirişin dönmesini sağlayan ikincil kirişin ısısal genişlemesidir. Her iki kiriş birleşiminde soğumadan kaynaklanan çekme kuvvetleri yüksek olmadığından cıvatalarda kayma olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.30 Kiriş-kolon birleşiminin yakınında meydana gelen aşırı burulma



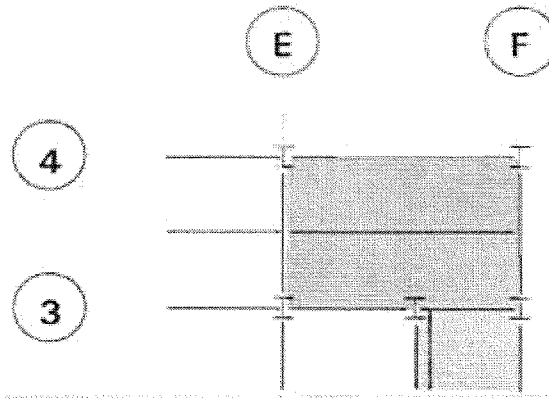
Şekil 3.31 Bölgesel burulma gösteren iç 9,0 m'lik ikincil kirişin fin plakası bağlantısı



Şekil 3.32 Dış kiriş dönmesi

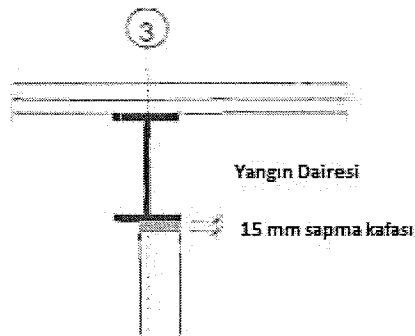
3.3.4 Test 4, İkinci Köşe

Bu test, Şekil 3.33'de görüldüğü gibi E-F aksları ile 3-4 aksları arasında binanın ikinci katında,



Şekil 3.33 Test 4'ün şematik gösterimi

54 m²'lik alanda gerçekleştirilmiştir. Testin yapılacağı dairenin iç sınırları, yangına dayanıklı çelik dikmeli duvar panoları kullanılarak inşa edilmiştir. Şekil 3.34'te gösterildiği üzere duvar E aksının merkezine ve 3 no'lu akstan hafifçe içeri çekilerek yerleştirilmiştir. Duvar bölmesi, 15 mm sapma kafası ile 2 saat yangın direncine sahip olacak şekilde inşa edilerek (Şekil 3.35), mevcut tam boy blok duvar, F aksının sınırını oluşturmuştur. 4 aksındaki ve 1 m yüksekliğindeki mevcut blok duvar yerinde kalmış, dairenin bütün pencere ve kapıları tamamen kapatılmış. E3 aksındaki iç kolon zemin levhasının alt tarafındaki bütün birleşimler dâhil edilerek tamamen korunmuştur. Ayrıca E4 ve F4 akslarındaki iki dış kolona da koruma yapılmıştır. Dairenin dışında şaft duvarının arkasındaki iki kolon merdiven boşluğunu korumak için kullanılmıştır. 54 m²'lik daire alanında 2160 kg yangın yüküne karşılık gelecek şekilde, 12 adet 40 kg/m² ahşap yatak kullanılmıştır.



Şekil 3.34 3 aksındaki duvar bölmesinin düzenlenmesi

Dairedeki, kolon ve kirişlerin sıcaklıklarını, çimento levhasının ve atmosfer sıcaklığını izlemek için 273 adet ısı çift (termoçift, ısı ölçer) kullanılmıştır. Ayrıca, dairenin tavanından sarkan belirleyici çelik kısımları dâhil olmak üzere daire alanının dışındaki

değişik bölgelerde sıcaklıklar doğrudan ölçülerek, çatı makasının duvarındaki iç ve dış sıcaklıklar da gözlemlenmektedir.

Yapının yangına cevabını ölçmek için 300 adet gerilim ölçer yerleştirilmiştir. Yangın katındaki yedi kolona, üst ve alt katlar ile yedinci katla birlikte, yangın dairesinin dışındaki dört kirişe ilave olarak cihazlar ile donatılmış, ayrıca ilave gerilim ölçerler üçüncü kattaki beton yüzeye yerleştirilmiştir.



Şekil 3.35 Yangın testi 4'ün başlangıcı

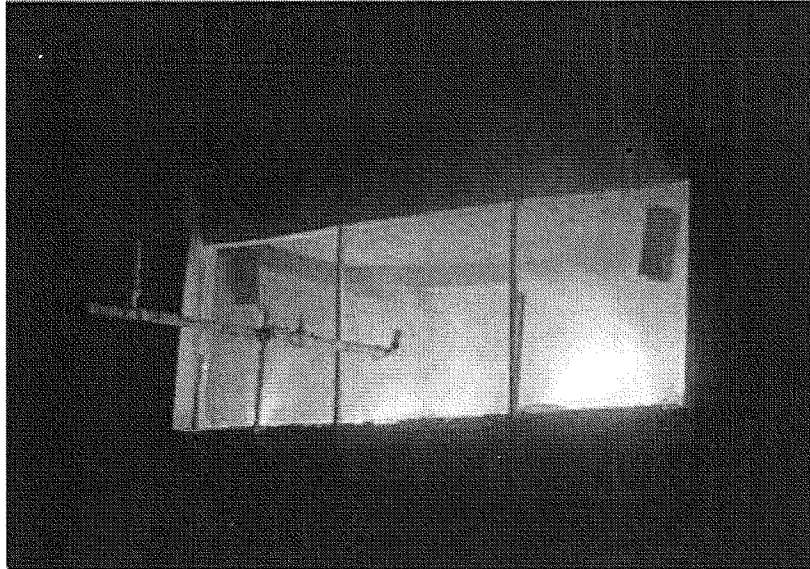
Üçüncü kattaki beton levhanın deformasyonunu ve E3 ve E4 akslarındaki kolonların eksenel ve yanal hareketini ölçmek için 47 gezici yer değiştirme dönüştürücüsü ile 12 klinometre dairedeki birleşimlerin temel eksen dönüşlerini ölçmek için kullanılmıştır. Yenilikçi bir lazer sistemi ile yangın testi esnasında çatı makasının hareketi izlenmiştir.

Yangının gelişimi büyük ölçüde dairedeki oksijen azlığından etkilenecek, yangındaki ilk sıcaklık artışının ardından yangın sonlanmış ve sızanmıştır. Dairenin tek penceresinin kaldırılması ile havalandırılma sağlanarak, yangın takımı müdahale edene kadar dumansız yanmıştır. Bu durum, yangın geliştikçe devam eden sıcaklıkta keskin bir artış başlatmıştır. Yangının gelişimi Şekil 3.36'da görülmektedir. Binanın merkezinde 102. dakikanın ardından en yüksek atmosfer sıcaklığı 1051 °C (Şekil 3.38) ve merkezi kirişin alt flanşında 114. dakikanın ardından 903 °C'lik en yüksek çelik sıcaklığı kaydedilmiştir. Dairenin merkezinde 130. dakikanın ardından 269 mm'lik en yüksek levha yer

değiştirmesi kaydedilsede (şekil 3.39), ölçümün yapıldığı günü takip eden gün levha 160 mm kalıcı yer değiştirmeye inerek kendini toplamıştır.



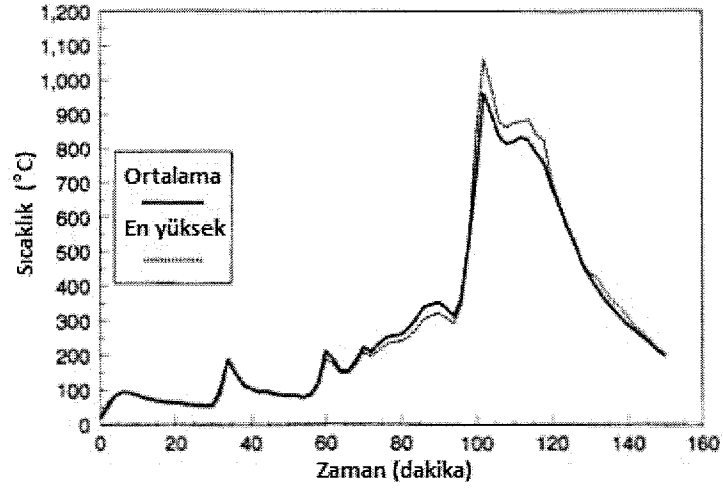
şekil 3.36. Sürmekte olan yangın testi



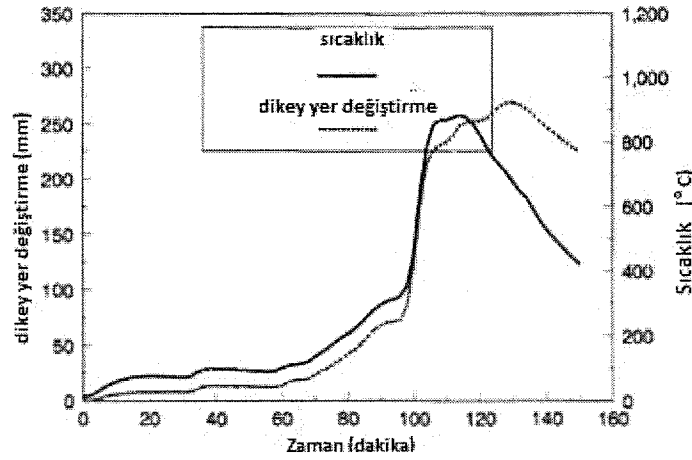
şekil 3.37 Sürmekte olan yangın testi

Korunmasız kenar kirişi, yangına tamamen maruz kaldığından emin olunması için test süresince gözlemlenmiştir. (şekil 3.37) Bununla beraber, bu kirişte 114. dakikanın ardından kaydedilen en yüksek 52 mm'lik yer değiştirme ve 680 °C en yüksek sıcaklık ölçülmüştür. (şekil 3.40) Daha düşük sıcaklıklarda iç kirişlerle kıyaslandığında kenar

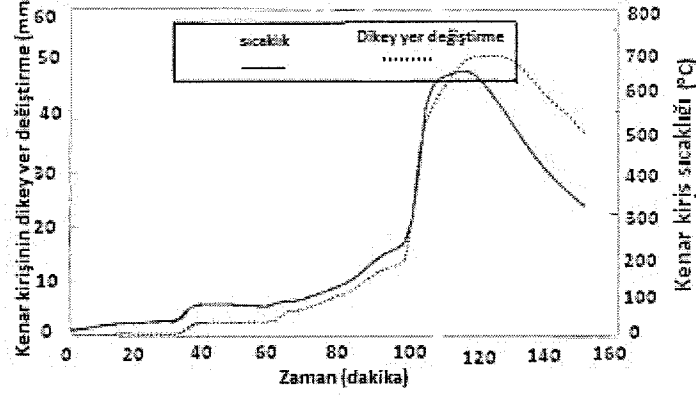
kirişin yer değiştirmesinin yüksek olması, ısınan kiriş test esnasında gerilerek destek sağlayan dairenin üstündeki rüzgâr noktalarına atfedilebilir.



Şekil 3.38 Yangın daresi boyunca kaydedilen en yüksek ve ortalama atmosfer sıcaklıkları



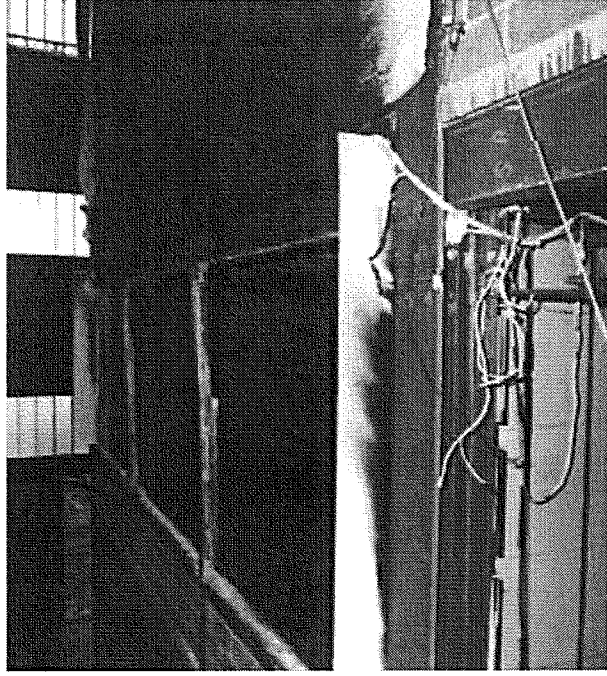
Şekil 3.39 Yangın daresinin merkezindeki ikincil kirişin kaydedilen en yüksek dikey yer değişimi ve sıcaklığı



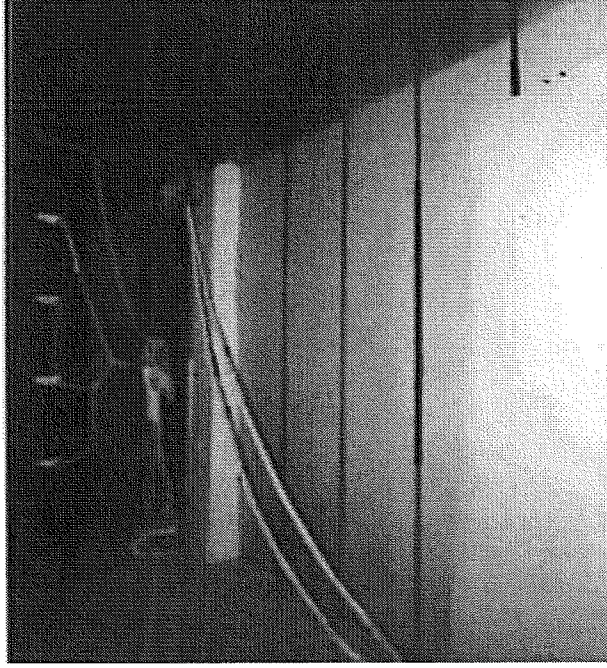
Şekil 3.40 Kenar kirişin kaydedilen en yüksek dikey yer değişimi ve sıcaklığı

Bu rüzgâr noktalarının üst kısımları, 80 mm uzunluğundaki yivli delikler boyunca civatalar ile tutturulmuştur. Böylelikle 52 mm yer değiştirmenin büyük kısmı civataların kayış mesafesinden kaynaklanmaktadır. Ne yazık ki, testten önceki civata yerleşimleri kaydedilmemiştir. Şekil 3.41 testin ardından kenar kirişinin kalıcı deformasyonunu göstermektedir. Burada, kenar kirişinin yer değiştirmesi çok ufak olduğundan, dairenin üst kısmındaki bina cephesinde herhangi bir hasarın meydana gelmediği görülmüştür.

İç bina duvarları korunmamış kirişlerin altındaki kılavuz çizgileri üzerine inşa edilerek, uygulamada bu kirişlerin ISO 834 yangına dayanıklılık testine göre korunması gerekliliği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, test süresince bütünlüğünü koruyarak bina duvarını ne kadar iyi performans gösterdiğini fark etmekde ilginç bir veridir. (Şekil 3.42) Duvarın kaldırılması ile, kirişin büyük kısmı çarpılarak burulduğu görülebilmektedir. (Şekil 3.43) Bu durumun nedeni, kirişin çapraz kesiti boyunca ısı genleşmenin sınırlandırılmasıdır. Kirişlerin her hangi birinde bölgesel burulma meydana gelmemiş ve önceki testlerde soğumada rastlanan yüksek çekme kuvvetlerinin karakteristik işaretlerini birleşimler göstermemiştir.



Şekil 3.41 Testin ardından korunmamış kenar kirişin deformasyonu



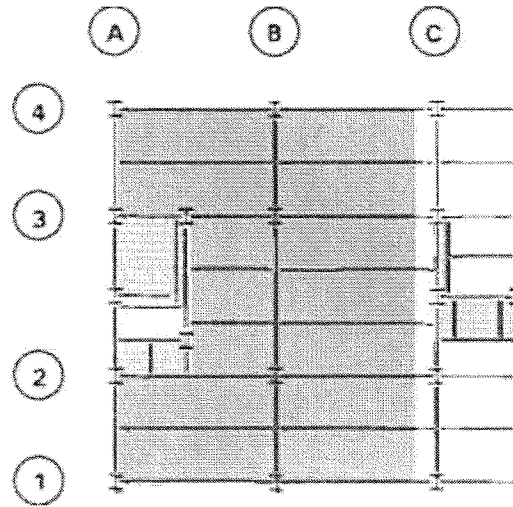
Şekil 3.42 Bina duvarının bütünlüğü test süresince korundu



Şekil 3.43 Daire duvarının üstündeki kirişin deformasyonu sonucu oluşan burulması
(Duvarın kaldırılmasının ardından)

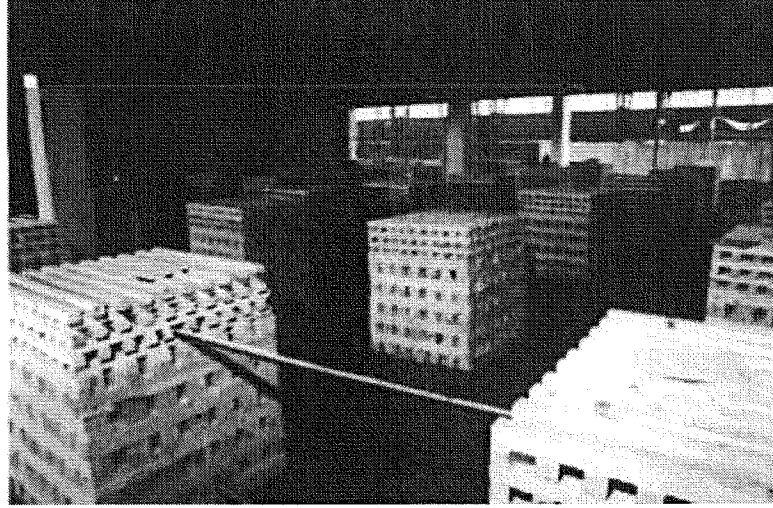
3.3.5 Test 5, Büyük Daire

Bu test, 340 m²'lik alanı kaplayarak, C aksından 0.5 m uzakta ve A aksı arasında binanın bütün eni boyunca uzanan ikinci ve üçüncü katlar arasında gerçekleşmiştir. (Şekil 3.44)



Şekil 3.44 Test 5'in şematik görünümü

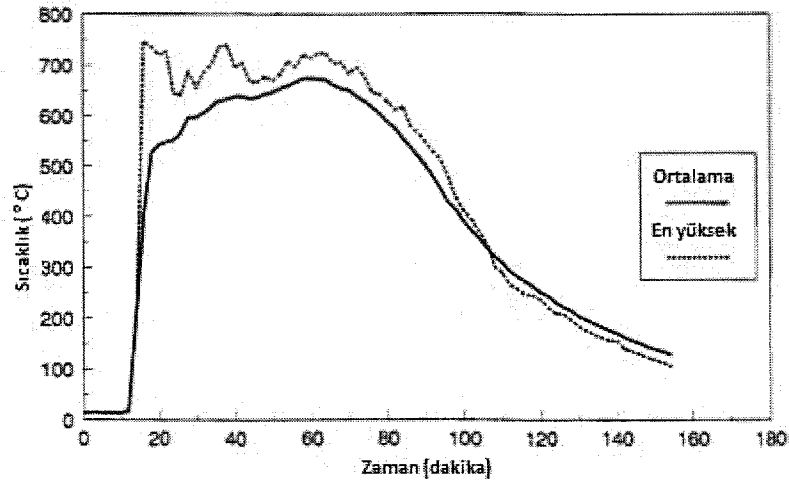
Zemin alanı boyunca tekdüze olarak düzenlenen kereste yataklar tarafından 40 kg/m²'lik yangın yükü sağlanmaktadır. (Şekil 3.45)



Şekil 3.45 Daire içindeki kereste yataklar

Binanın tüm eni boyunca yangına dayanıklı duvar kaldırılarak ve asansör shaftına ilave koruma inşa edilerek daire yapılmıştır. 1 ve 4 aksları arasına, binanın her iki tarafına yerleştirilen pencereler yeterli havalandırma sağlanabilmesi için açık bırakılmıştır. Çevre kirişler dâhil bütün kirişlere yangın koruması yapılmamıştır.

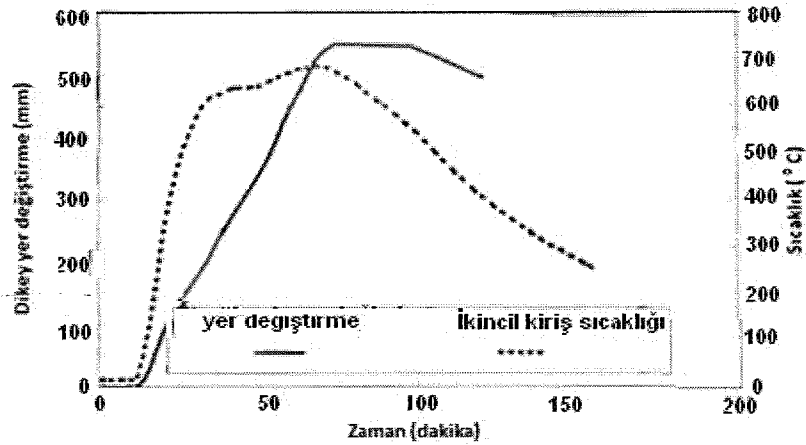
Test 4'e benzer şekilde, yangının ciddiyetini havalandırma şartları yönetmiş. Binanın her iki tarafında geniş açıklıklar oluşturan camların kırılması ile başlangıçta sıcaklıkta hızlı bir artış sebep olsa bile dairenin her iki tarafındaki geniş havalandırma bölgesi, uzun süren fakat beklenenden daha düşük sıcaklıkta yangının oluşmasına neden olmuştur. En yüksek atmosfer sıcaklığı, dairenin merkezinde 691 °C, en yüksek çelik sıcaklığı ise 746 °C kaydedilmiştir. (Şekil 3.46)



Şekil 3.46 Yangın dairesi boyunca kaydedilen en yüksek ve ortalama atmosfer sıcaklıkları

Dairedeki, kolon ve kirişlerin sıcaklıkları ile atmosfer sıcaklığını izlemek için 179 adet ısı çift ve daire duvarının dışında C aksının yakınında askı çeliğindeki sıcaklıkların doğrudan ölçülmesi için ısı çiftler kullanılmıştır. Daire alanındaki çelik kirişlerin bazıları, sınırlı mevcut kaynaklar nedeni ile cihazla donatılamadığından buralarda sıcaklık kaydedilmemiştir.

Kolonların, beton yüzey gerilmelerini ölçmek üzere 204 gerilim ölçer yerleştirilmiştir. 50 yer değiştirme dönüştürücüsü, kirişlerin ve dairedeki beton levhanın dikey yer değiştirmesini ölçmek için kullanılmış ve C aksının yanındaki yangına dayanıklı duvar 6 yer değiştirme dönüştürücüsü ile izlenmiştir. Bir lazer sistemi yangın testi esnasında çatı üçgeninin duvarlarının herhangi hareketini ölçmek için kullanılmıştır.



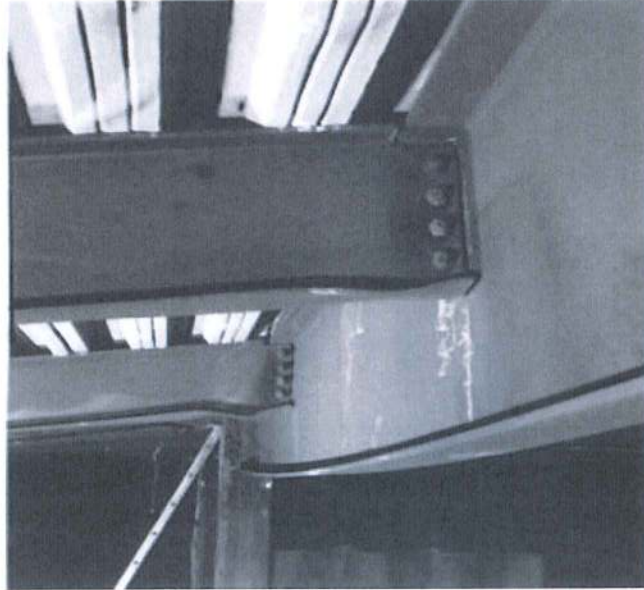
Şekil 3.47 En yüksek beton levhası yer değiştirmesi ve 9,0 m'lik ikincil kirişin sıcaklığı. Beton levhasının en yüksek yer değiştirmesi 2-3 aksları ve B-C aksları arasında 557 mm olarak kaydedilmiştir. (Şekil 3.47) Bu değer yapı soğuduğunda 481 mm'lik değere gerilemiştir.

Şekil 3.48 yangının ilerleyen seviyelerindeki yapıyı göstermektedir. Yangının ısınma seviyesi esnasında dairenin bütünlüğü ve kararlılığının çok iyi koruduğu böylelikle yapının iyi bir performans gösterdiği görülebilmektedir. Bununla birlikte, yangın çok etkili olmadığından en yüksek çelik sıcaklığı 691 °C ölçülmüştür.

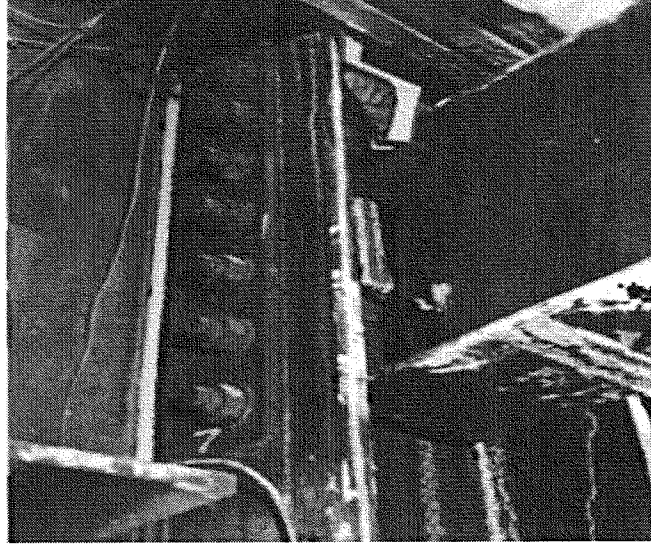


Şekil 3.48 Testin sonuna doğru yapısal davranış (ikinci iç ikincil kirişteki bölgesel burulmaya dikkat edilmeli)

Kiriş-kiriş birleşimlerinin yakınlığında ileri bölgesel burulma oluşmuş (Şekil 3.49) ve soğumada, uç plakalarının birleşimleri bir tarafı kırıldığından, bağlantı levhasının kendisi uç plakasından ayrılmıştır. (Şekil 3.50)



Şekil 3.49 Çelik-çelik birleşimlerinin yakınındaki bölgesel burulma

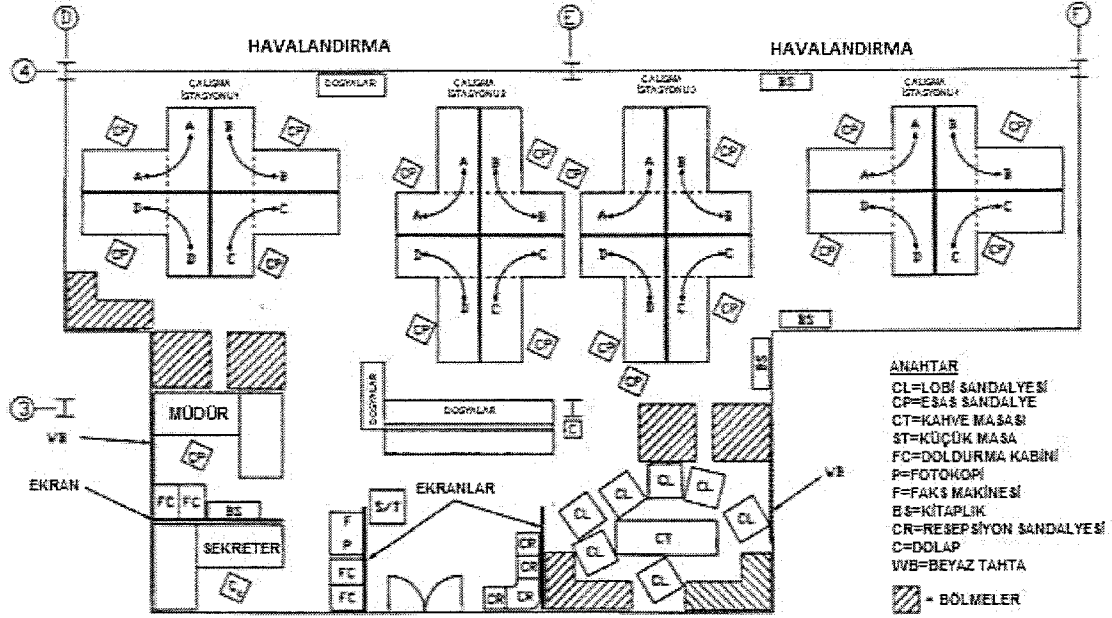


Şekil 3.50 Yangının koruma evresinde uç plakasından ayrılan kirişin bağlantı levhasının birleşimi

3.3.6 Test 6, Taklit edilen Ofis

Bu testin amacı, yapı gerçek bir yangın senaryosuna maruz kaldığında önceki testlerde gözlemlenen yapısal davranışını türünün burada da meydana geleceğini göstermek, ayrıca aynı zamanda yapısal davranışın önceden belirtilmeyen yönlerinin incelenmesidir.

Beton blok kullanılarak birinci ve ikinci katlar arasında 135 m^2 zemin alanı ile 18 m genişliğinde ve 10 m derinliğinde bir daire inşa edilmiştir. Duvar üst kısmı ile kirişlerin etrafında ısıtılan yapının serbestçe şekil değiştirmesine izin vermesi için yaklaşık 250 mm'lik bir boşluk bırakılarak, bu boşluklar seramik fiber örtü ile doldurulmuştur. Dairenin tasarımı Şekil 3.51'de gösterildiği gibidir. Bir dizi modern zaman mobilyaları, bilgisayarlar ve çalışma bölümlerini içermektedir.



Şekil 3.51 Test 6'nın şematik gösterimi

Yangın yükü, havalandırma, tutuşturma yöntemleri, yangının büyümesi ve yayılmasına bağlı olarak çok sayıda senaryo tanımlamak mümkün olsa da, test şartları olası en ciddi yangını yaratmak üzere tasarlanmış ve hesaplanmıştır.

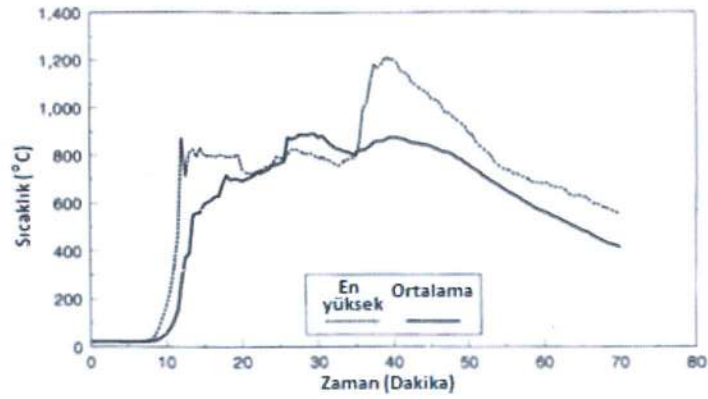
- Toplam pencere alanının toplam zemin alanının % 20'sine karşılık geldiği tek duvar boyunca alüminyum kompozit cam panel kullanılarak pencereler yapılmıştır. Çerçevelerin boyutları test boyunca bütün pencerelerin yok olduğu en yüksek daire sıcaklıklarına yakın değerlere erişecek en yıkıcı açıklık faktörünü sağlama temeli ile belirlenmiştir.
- Testin erken aşamalarında dairenin oksijensiz kalmadığından emin olmak için pencerelerin bazıları ihmal edilmiştir. İlk açıklığın uzantısı arkın dolanması için gerekli 500-600 °C'lik sıcak gaz tabakası üretmek için gerekli ısı ile ayarlanmıştır.
- Pencerelerin hemen üstünde ve uç kirişinin altında 450 mm yüksekliğinde seramik fiber perde yerleştirilmiştir.
- Kalorifik değer olarak 46 kg/m² zemin alanına eşdeğer toplam yangın yükü vardır. Tipik ofislerdeki yükleme türleri temel alınarak, %20 plastik, %11 kağıt ve %69 tahtadan ibaret yangın yükü sağlanmıştır. Yanıcı malzemenin miktarı ofis yangın yükleri için % 95'i aşmaktadır. Bu oran, hem Avrupa yangın tasarım

önerileri hem de İngiltere yangın tasarım önerileri için %80 olan orandan fazladır.

- Yangın kaynağının yeri, %81 tahta ve %19 polipropilenden yapılan yatakların tutuşturulduğu yer dairenin arkasıdır. Bu durum, küçük bir yangının başlatıldığı ve daha sonra kendi kendine büyüdüğü şartları taklit etmektedir.



Şekil 3.52 Dairenin içten görünümü



Şekil 3.53 Çelik üst zeminin 1.2 m altında en yüksek ve ortalama atmosfer sıcaklığı



Şekil 3.54 Yangının görünümü

Dairenin içinde kolonlarla birlikte kiriş-kolon bağlantıları 25mm seramik fiber battaniye ile korunarak, hem birincil hem ikincil kirişler, bütün kiriş-kiriş bağlantıları dahil tamamen yangına maruz bırakılmıştır.

10 dakika içinde, yerel atmosfer sıcaklıkları 900 °C'yi geçmiş ve kaydedilen en yüksek atmosfer sıcaklığı, korunmamış çelik sıcaklıkları sırasıyla, 1213 °C ve 1150 °C ölçülmüştür. (Şekil 3.53) Yangın boyunca hesaplanan sıcaklık salınım hızı 58 MW'dir. 640 mm'lik en yüksek dikey yer değiştirme 62 dakika sonra kaydedilmiştir. (Şekil 3.55)



Şekil 3.55 9.0 m'lik ikincil kirişin en yüksek yer değiştirmesi ve sıcaklığı

Dairedeki bütün yanıcı malzemeler tüketilmiştir. (Şekil 3.56) Zemin levhasından açılan korunmuş numunelerde ölçülen sıcaklıklar, yangının standart yangın dayanımı testindeki 74 dakikaya eş değer olduğu görülmüştür.



Şekil 3.56 Test sonrasında dairenin içten görünümü

Yapı hiçbir çökme işareti göstermemiş, bununla beraber iç kolonda çatlak meydana gelmiştir. (Şekil 3.57) Kanıtlar bu durumun soğuma fazının son evrelerinde meydana geldiğini göstermektedir. [6]



Şekil 3.57 İç kolonun çevresinde kompozit döşemenin çatlaması

4.1 Binada Yangın Güvenliği Kavramı

Yangında bina güvenliği kavramında en önemli kısım güvenli kaçışın sağlanmasıdır. Yangın güvenliği kavramı; yangının engellenmesi, yangın ya da dumanın yayılmasının sınırlandırılması, yangının söndürülmesiyle beraber hızlı ve güvenli bir çıkışın sağlanması olarak binanın tasarımı aşamasında göz önünde bulundurulması gereken etmenlerdir.

Binalardaki yangın güvenliği ile ilgili çalışmalar ilk olarak 20. yüzyılın başında başlamıştır. Yangın anında binada bulunanların yoğunluğu ve tahliye hızı göz önünde bulundurulmuş, bu verilerden yola çıkarak yangın tahliye merdivenlerinin minimum genişliği, yangın çıkışlarındaki maksimum akış hızı kapasitesi, gerekli olan yangın çıkış sayısı gibi belli mimari çözümler önerilmiştir. Sonuç olarak, binalardaki yangın güvenliğinin sağlanması için alınması gereken tedbirler güncel olarak ve öncelikle teknoloji temellidir. Ender olarak binanın normalde nasıl kullanıldığına dair pratiği kullanırlar. 20. Yüzyılın sonlarında, bina güvenliği kavramı teknolojik açıya kaydıgında, insan davranışı ve binada yangın güvenliği tasarımı birlikte ele alan bina sakinlerinin kaçış süresinin modellenmesi çalışmaları sunulmaya başlanmıştır.

Hareket hızı ve hareket zamanı kavramları yine 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkan dünyanın her yerindeki araştırmacıların ele aldığı bir konudur. Özellikle hareket için gereken süre üzerine çok sayıda çalışma vardır. Farklı bina türleri ve nüfusları açısından gerekli kaçış zamanının hesaplanması mümkündür. Böylelikle farklı hesaplamalar için alet ve yöntemler geliştirilmiştir.

1970'lerden itibaren özellikle çok katlı yapıların tahliyesinde çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Özellikle; yangın tahliyesinde asansörlerin güvenli kullanımı ve bu alanda savunma stratejisinden yararlanılmıştır. Asansörlerin tahliyeye uygun bir şekilde yapılması fikri 1980'lerden itibaren gelişmiştir. Bu çalışmalar için en iyi örnek, Dünya Ticaret Merkezi'ne yapılan 11 Eylül saldırılarında yaklaşık 3000 kişinin kişisel kaçış ve Güney Kulesi'ndeki asansörleri kullanarak kurtarılmasıdır.

Ön hareket zamanı kavramı, bina sakinlerinin güvenli bir yere nakli için hayati bir etmendir. Kaza analizlerine bakıldığında geciken tahliye zamanı ile yüksek ölü ya da yaralı sayısında özellikle çok katlı binalar ve otellerde bir bağlantı olduğu bulunmuştur.

Diğer taraftan yangında hayatta kalmak için üç önemli etmen tarafından etkilenmektedir;

- Yangın karakteristiği
- İnsan karakteristiği
- Bina karakteristiği

Bina karakteristiği kavramı; binada kullanılan malzeme türü çelik, kompozit, kagir, betonarme veya ahşap, ayrıca asansör halatlarından dekorasyonda kullanılan malzemelere kadar yerleşimler ve tasarımları, daireler ve tasarımları bina büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenmektedir.[7]

4.1.1 Yangın Güvenliğinde Çevresel Faktör: Bina

Binanın fiziki özellikleri insanların yangın anındaki davranışları, yangına cevap verme performanslarını etkilemektedir. Burada bina karakteristiklerini durumsal ve mühendislik özellikleri bakımından inceleyebiliriz.

Durumsal özellikler, bina sakinlerinin sayısı ve yoğunluğu, yol bulma kolaylığı, odak bir noktanın varlığı, bina tahliyesi için bir takımın mevcudiyeti ve katılım seviyesi ve yangın güvenliği yaptırımlarının uygulanması olarak açıklanabilir. Eğer bina sakinlerinin sayısı fazlaysa yangın durumunda ölümler artmaktadır. Yol bulma kolaylığı, yangın esnasında insanların çıkışı bulmadaki kolaylığı olarak tanımlanıp bireylerin alansal bilgisi ve kabiliyetleri ile başarı sağlasa bile binanın içindeki sinyal ve yer işaretlemeleri, katlardaki mimari farklılıklar insanlara kolaylık sağlayabilmektedir. Yapılan inceleme ve

araştırmalarda, tahliye esnasında insanların tavan seviyesindeki yol işaretlerinden nadiren haberdar olduklarını göstermektedir. Deneyler fotol minesant düşük seviye çıkış yolu işaretlemelerinin tahliye esnasında daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Odak noktası kavramı binanın i erisindekilerin dikkatinin odaklandığı merkezi bir özelliktir. Güvenli olarak yangından ka ışta, yapı içerisindeki birimlerin iyi bir düzene oturtulmuş olmasıdır. Bununla beraber pratikte, mesela yangın çıkışlarının konumlarının düzenlenmesinde zayıflıklar vardır. Bina Acil Cevap Takımı (BAT), bina içerisinde acil durumlarda etkinleşecek sivil savunma grubudur. BAT  yeleri binada düzenli olarak bulunan, yangın söndürme ve yangında tahliye koordinasyonu üzerine eğitilmiş kimselerdir. İyi eğitilmiş ve antrenman yapmış bir BAT kaçışın hızı ve acil çıkışların kullanımı üzerinde olumlu etkiye sahiptir.

Binanın mühendislik özellikleri, binada kullanılan malzeme türü  elik, kompozit, kagir, betonarme veya ahşap, ayrıca asansör halatlarından dekorasyonda kullanılan malzemelere kadar kullanılan malzemeler, yerleşimler ve tasarımları, daireler ve tasarımları, bina büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenmektedir. Kaçış yolu sinyallerinin bulunması, kaçış yolları ve tasarımı, acil çıkışların ve merdivenlerin yerleri binanın mimari tasarımı esnasında dikkat edilmesi gereken özelliklerdir. Birçok araştırmacı maksimum akış hızı kapasitesinin dakikada 60 kişi olduğu sonucuna varmıştır. Son değerlendirmeler normal durumlarda kullanılmayan acil çıkışların acil durumlarda da kullanılmayacağını açığa çıkarmıştır. Bu özellikle normal durumlarda “uygunsuz” kullanım nedeniyle kilitli tutulan ya da alarm bağlanan yangın  ıkışları için doğrudur. Yine yapılan deneylerde yangın  ıkışları ancak kapısı açıksa ve ana çıkışa olan mesafe yangın çıkışına olan mesafenin iki katı ise yangın çıkışının kullanıldığı sonucu bulunmuştur. Yine bir deneyde, yaşlılar evinde yapılan bir tatbikatta yaşlıların % 95’i ana girişlerden tahliye edilmiş ve diğer üç müsait acil durum merdiveni hiç kullanılmamıştır. Sonuç olarak toplam tahliye zamanı mimar tarafından hesaplanandan daha uzundur. Yangın ve duman kompartımanları gibi fiziksel bariyerler, maksimum yürüme mesafesi, yangın güvenlik donanımları hayati güvenlik sistemlerindendir. Donanımlar, asansörler ve binalar, yangın ve tahliye alarmları, yangın aydınlatma sistemleri arasında dağıtılabilir. Bunlar birçok bina türünde kullanılabilen araçlardır. Duman, ısı, egzost havalandırma ve merdiven aşırı yük sistemleri belli yangın güvenliği

sorunlarına çözüm olabilirler. Yangın sirenleri çok fazla ciddiye alınmazken, eğer alarmlar yazılı bir mesaj veya iletişim sistemi direktifleri şeklinde ise daha fazla dikkate alınmaktadır. Belli malzemelerden yapılmış özel kabin ve halat sistemleri ile teknolojik asansörlerin özellikle çok katlı binalarda hayat kurtardığı bilinmektedir. Malzeme ile alakalı durumlar, bina inşasında kullanılan malzemeler çelik veya ahşap gibi, yangına dayanıklılık ve yangın davranışları, yapılardaki yüzeyler, boya katmanları ve boyaların kimyasal özellikleri ile yangına dayanımı, yanıcılık özellikleri gibi ve binanın dekorasyonu yine yangındaki çevresel faktör olarak önemlidir. Daireler diğer taraftan yangın ve dumanın yayılmasında fiziksel bariyer görevindedir. Binanın büyüklüğünün yangına cevap performansına ilişkin bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Bununla birlikte binanın yüksekliği ile güvenli kaçış üzerine bir ilişkilendirme mevcuttur. Binalardaki ölümcül yangınlar üzerine yapılan deneyde çok katlı binaların merdivenlerinde yangın veya dumanın bulunma olasılığı daha fazladır. Ayrıca Dünya Ticaret Merkezi örneği göstermiştir ki, yüksek binalarda veya iş merkezlerinde yaşayan kişilerin merdivenleri pek tercih etmediklerinden ortama daha az aşınadırlar, eğer bina tamamen dolu ise hareket hızı düşüktür, merdivenlerde bulunan insanlar genellikle kendilerini öncelikli hissederler ve diğer tahliye olan insanların aşağıya akışını zorlaştırırlar. Bu nedenler merdivenlerin büyüklüğü, mevcut kişi sayısı, diğer katlardaki eş zamanlı tahliyelerin ve itfaiyecilerin merdivene girişleri de önem taşımaktadır.[8]

4.1.2 Rijit Çok Katlı Binalarda Yangına Dayanıklı Çelik Çerçevelerin Yapı

Sürekliliğinin Etkisi

Bölüm 2’de anlatılanlara benzer parametrik çalışmalardan yola çıkarak çerçeve sürekliliğinin çelik yangın şartları altındaki davranışına etkisini tanımlamak üzerine bir dizi parametrik çalışma Wang tarafından gerçekleştirilmiştir. Yine bu çalışmalarda sonlu eleman analizi bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen en temel sonuç, farklı elemanlar arasındaki yapısal etkileşimin karmaşıklığıdır.

Kolon davranışı ve sınır sıcaklığı üzerinde çerçeve sürekliliğinin etkileri Wang’ın makalesinde incelenmiştir. Burada, kolonun sınır sıcaklığı için bu etkileri hesaplamalarda birleştiren basit bir yöntem ortaya konmuştur. Bu çalışmadan;

- 1- Çelik çerçevedeki bir kolonun sınır şartı sabitlenmiş uçların sınır şartına yaklaşmaktadır.
- 2- Kolonun ısısal genişlemesinin sınırlandırılması, basınç kuvvetlerinin artırılması ve sınır sıcaklığının azaltılması ile mümkündür.
- 3- Eğer bir çelik kirişin ısısal genişmesi, komşu kolon tarafından kısıtlandıysa, kolonun eğilme momenti ile kirişin eksenel yükünün değişimi çok karmaşıktır. Bununla birlikte, kolon yüksek sıcaklıkta kopmaya yaklaşırken, eğilme momenti ilk değerine geri döner. Eğer tasarımda temel ilgi kolonun sınır sıcaklığı ise, kirişin ısısal genişmesini kısıtlayan kolon etkisi azdır.

Sonuçları çıkarılmıştır.

Başka bir çalışmada Wang, çok katlı yapılarda yapısal sürekliliğin, yapıların yangın tasarımı üzerine etkisini incelenmiştir. Bu etkilerden biri yapıcı biri yıkıcı olmaktadır. Yapıcı etki, kolonun rotasyonel kısıtlamasını arttırmakta, böylelikle etkin uzunluğu azaltıp, yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Yıkıcı etki ise, ısısal genişlemeye karşı eksenel sınırlamadan kaynaklanan kolonun taşıma yükünü arttırmaktadır. Bu çalışmada Wang bu iki etkinin bağdaşmaları üzerine çalışmaktadır. Kolonun sınır sıcaklığı ve yangın koruma kalınlığı üzerine etkilerini inceleyen parametrik çalışmada, kolonlarda eksenel sınırlamanın belirli bir aralıkta olduğu, bu iki etki hemen hemen birbirlerine denk gelip, etkilerini sıfırlamaktadır. Kolonun sınır sıcaklığı için kolondaki ilave basınç kuvveti, kolon yetersizliğinin yüksek sıcaklıklarda kullanıldığı durumlarda hesaplamalardan çıkarılabilir. Kolonun yangın korumadaki profil et kalınlığı, üst sınır sıcaklığını kullanarak yapılan hesaplamalarda %20 arttırılarak elde edilebilir. [9]

Sınır sıcaklığı ve yangın koruma kalınlığı hesaplanacak kolonun rotasyonel ve eksenel sınırlamalarının etkilerini hesaba katarak 3 yöntem kullanılabilir.

1. “Karmaşık” yöntem: Bu yaklaşımda, yüksek sıcaklıklardaki rotasyonel sınırlamalarına özgü kolonun etkin uzunluğu kolonun yük taşıma kapasitesinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Kolonun etkin uzunluk oranının soğuk şartlardakinden daha düşük değeri, yangın şartlarında sabit uçlarınkine yaklaşan kopmaya yakın kolonun rotasyonel sınırlamasını yansıtacak şekilde kullanılabilir. Bu makalede, kullanılan değer 0.60’dır. Kolondaki eksenel

kuvvet, hem başlangıçta uygulanan yükü hem de sınırlandırılmış ısısal genleşmeye bağlı ilave basınç kuvvetini kapsamaktadır.

2. Geliştirilmiş rotasyonel kuvvetin sadece işin içine girmesi: (1)'de olduğu gibi etkin kolon boyunun oranının aynı değeri alınmaktadır. Bu yöntemle birlikte, $R=0$ ile (1)'de kullanılan yöntemin özel bir durumudur. Bu yaklaşım Euroceod 3, Kısım 1,2'den alınmış ve orada önerilen etkin uzunluk oranı 0,50'tir.
3. Hiçbir yapısal sürekliliğin olmadığı durum: Bu yaklaşımda ne arttırılmış kolon rotasyonel sınırlaması ne de kolondaki arttırılmış eksenel basınç hesaba katılmaz. Bu yöntem İngiliz Standardı BS 5950, Kısım 8.14'den alınmıştır. Burada bu standardın seçilmesinin nedeni tekil kolonların standart yangın direnci sonuçları geliştirilmiş olmasıdır.

En yaygın kullanılan açıkça görüldüğü üzerine 1. Yöntem'dir. Bununla birlikte çok fazla zaman alıcı ve karmaşıktır. Tasarımcı ilk olarak kolona gelen eksenel sınırlamanın rijitliğini de hesaplamalıdır. Sonra, kolonun sınır sıcaklığını bulmak için farklı sıcaklıklarda yük taşıma kapasitesine karşı değişik kolon eksenel yükünün tekrarlayan bir sürecin gerçekleştirilmesidir. İkinci yöntem, daha ince yangın korumasını sağlayan kolonun en yüksek sınır sıcaklığını vermektedir. Bununla birlikte, güvenli olmayabilir. Üçüncü yöntemde ise, bu yöntemi kullanarak hesaplanan kolonun sınır sıcaklığı mantıklıdır. Çünkü arttırılmış kolonun eksenel sınırlaması ve artan kolon basınç kuvvetinin etkileri birbirine zıt olduğundan, birbirilerini götürmektedir. Bu yöntem, soğuk şartlardaki kolonun etkin uzunluğunu kullandığından tasarımcılar için de ilgi çekicidir.

Temel sonuçlar şunlardır:

- 1- Eğer sadece kolon rotasyonel kısıtlaması dahil edilmiş ve kolonun etkin uzunluk oranı 0,60 kullanılmış ise, EUROCODE 3, Kısım 1.2'deki benzer öneri ile, kolonun sınır sıcaklığı, zayıf kolonlar için, yaklaşık 200 °C bulunulabilir.
- 2- Yapısal sürekliliğinin iki etkisinin de dâhil olmadığı durum, BS 5950 Kısım 8'de belirtildiği üzere, hafif eksenel kısıtlamalı ($R < \%2$) bir kolonun sınır sıcaklığı için daha az tahminde bulunulabilir. Daha gerçekçi eksenel sınırlamalı kolonlar ($\%2 < R < \%5$) için,

sınır sıcaklığı çok yaklaşık olarak ön görülmektedir. Çoğu durumda fark 50 °C'den daha azdır.

Sonuç olarak, aşağıdaki öneriler çelik kolonların yangında dayanıklı tasarımı için kullanılır.

- 3- Çoğu durumda kolonun sınır sıcaklığı 650 °C'den azdır. Bu durum çelik kolonların her zaman kararsızlığı önlemek için korunması gerektiği sonucunu verir.
- 4- Kolon sınır sıcaklığı etkin uzunluk oranı ve soğuk şartta eksenel yükü kullanarak, hesaplanabilmektedir.
- 5- Bazı durumlarda kolonun sınır sıcaklığının dengelemek için, Madde 4'te belirtilen sınır sıcaklığını kullanarak hesaplanan yangın koruma kalınlığının %20'si oranında arttırarak belirlenebilir. Bu yaklaşım çok zayıf kolonlar dışında, yapının geneli için doğru olacaktır. [9]

4.2 Çelik Yapılarda Yangından Koruyucu Uygulamalar

Sıcaklık arttıkça çeliklerin çekme mukavemeti ve akma sınırı gibi mekanik özellik değerlerinin hızla azaldığı ve 500~600 °C gibi yüksek sıcaklıklarda bütün çelik türlerinin hemen hemen aynı derecede düşük mekanik özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Bu nedenledir ki, yangın dayanımı; bir yapı bölümünün belirli bir yangın yükü altında, kendisinden beklenen görevleri hâlâ yerine getirmeye devam ettiği süredir. Bu sürede taşıyıcı kolonların yangına en az 120 dakika dayanıklı ve yüksek yapılarda bu sürenin 240 dakika kadar yükseltilmesi gerekir. Döşemelerin de yüksek yapılarda 120 dakika yangına dayanıklı olması istenmektedir. Taşıyıcı elemanlardaki sehimlerin artma hızının belirli sınırları aşmaması gerekir.

Yüksek sıcaklıklar çelik yapılarda yanmazlıktan çok ısıl şekil değiştirmelerine yani çelik yapı malzemelerinde önemli genleşmelere yol açar. Deneyler, sıcaklık arttıkça karbon çeliğinde akma sınırının düştüğünü ve belirli bir sıcaklıktan sonra artık akma sınırı oluşmadığını göstermiştir.

- Gerçek yapı malzemelerinin farklı öngörülebilir şartlardaki davranışı o kadar karmaşıktır ki matematik denklemler ile tanımlamak zordur. Malzemelerin matematik modellemesinin sorunu, bundan dolayı, malzeme türü, inşaa

yöntemi, yük değeri ve dış etkenler (sıcaklık gibi) hesaba katılarak rasyonel olarak çözülmesi gerekliliğidir. Ortam şartlarında, çelik yapının çökmesinde elastik ve plastik formların etkileşimi söz konusudur. Bu etkileşim Merchant-Rankine formülü ile açıklanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda da analog bir etkileşim beklenmelidir [2].

Yüksek sıcaklıklarda bağ kuvvetlerinin azalması, çeliğin elastisite modülünün azalmasına neden olur. Elastisite modülünün değeri 20 °C sıcaklığa kıyasla, 400 °C 'de %15 ve 600 °C'de ise %40 kadar azalır. Çelik yaklaşık 1500 °C sıcaklıkta erir.

Yapısal yangın güvenliği mekanik ve ısısal etkileşimlerinin etkisinin tasarım değerinin her bir yapısal elemanın yangın direncinin tasarım değerinden daha az olduğu durumda sağlanır. Başka bir deyişle, yapısal güvenlik yangın esnasında çelik sıcaklığının yapının kritik sıcaklığından daha az olduğu durumda yapı güvenliği sağlanır. Kritik sıcaklık yangın durumunda yapısal çökmeye neden olan sıcaklıktır. Yapısal elemanların sıcaklığı deneysel veya analitik olarak belirlenir. Deneysel olarak adlandırılan yöntemler, basitleştirilmiş kabuller üzerine kurulmaktadır. (Farazi olduğu bilinen yangındaki sıcak gazın zaman-sıcaklık eğrisini kullanabilir). Analitik olarak adlandırılan yöntemler ise, hesaba katılacak parametrelerin deneysel olarak kontrol edilmesine bağlıdır. Isısal olarak korunmuş bir malzeme ile kaplanmış yapıda bu yöntemler koruyucu malzemenin kalınlığını belirlemek için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların birinde, yangında ısısal korunan yapısal çelik elemanlardaki sıcaklıklarının hesaplamaları için bir ifade geliştirilmiştir.

Gerçek kritik sıcaklık her bir yapısal eleman için testler ile belirlenebilmektedir. Fakat ekonomik olarak uygulanabilir değildir. Genel olarak, kabul edilmiş bir kritik sıcaklık belirlenir.

Çelik taşıyıcıların yangından korunma sistemi seçimi, görünüm, dayanıklılık, çevre ile uyum, korozyona dayanıklılık, yer gereksinimi, inşaat programı ve maliyet olmak üzere birçok unsurlara bağlıdır. Yangından korunma yöntemlerini tasarım aşamasında mimar ve inşaat mühendisi bilinçli bir şekilde göz önünde bulundurmalıdır.

Yapılan çalışmalardan birinde 4 tür çelik-beton kompozit birleşim elemanının farklı yangından koruyucu şemalarında yangındaki sıcaklık dağılımının deneysel sonuçları

gösterilmektedir. Test numuneleri yüklenilmemiş ve her bir birleşim elemanının montajının çelik işi fırında standart yangın şartına (ISO 834, 1975; Yangın Direnç Testleri, Bina Yapı Elemanları, Standardizasyon için Uluslararası Organizasyon, Geneva) maruz bırakılmıştır. Toplamda, 4 tanesi herhangi bir yangın korumasının uygulanmadığı, 10 tanesinde bir şemaya uyarak toplam 14 yangın testi uygulanmıştır. Burada yangından korunmada,

- Kirişleri boylu boyunca korumaktansa bir segmenti korumak,
- Korunmamış cıvatalar kullanmak,
- Sadece kolonları korumak

şeklinde 3 alternatif yöntemle başvurulmuştur.

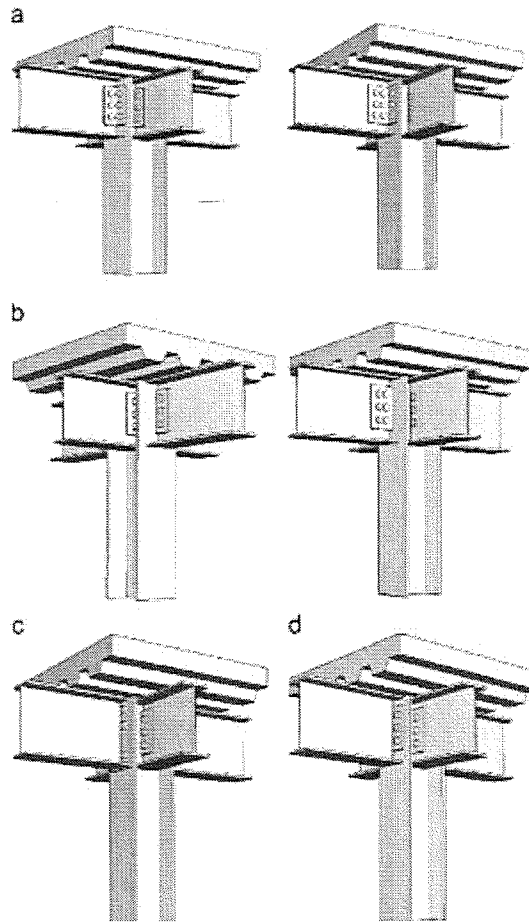
Bu testlerin temel sonuçları;

- Cıvatalar korunmuş olsun veya olmasın, korunmuş çelik elemanlarının sıcaklıkları üzerindeki etkisi çok azdır. Cıvata sıcaklıkları korunmamış durumda korundukları durumdan daha yüksektir. Korunmuş çelik bağlantı elemanlarının cıvatalarının sıcaklıkları korunmamış durumdaki elemanların cıvatalarının sıcaklıklarından daha düşüktür.
- Bağlantı sıcaklıkları mevzu bahis olduğunda, tam koruma sağlamak için 400 mm'lik bir kiriş segmentini korumak yeterli olacaktır.
- Eğer korunmamış çelik kirişlerden kaynaklanan ısı iletiminden dolayı bu sıcaklık değerleri korunduğu durumdan çok daha yüksektir. Bundan dolayı, bağlantı bölgesindeki kolon sıcaklıkları korunan kolonun sıcaklığından çok daha yüksektir.

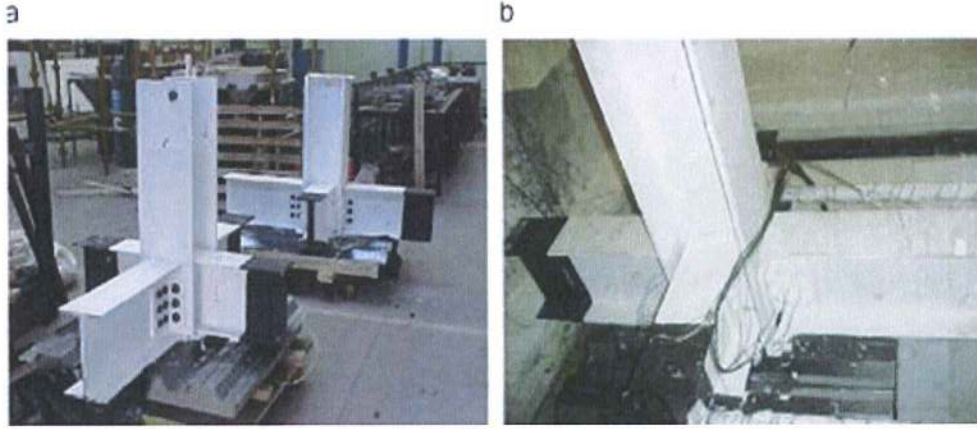
Çelik çerçeveli yapılarda bağlantılar kritik elemanlardır. Özellikle, çelik çerçeveli bir yapıda bağlantıların nasıl davrandığının Dünya Ticaret Merkezi'nde olduğu gibi saldırı sonucu meydana gelen yangınlardaki yapı çökmesinin kontrol edilmesi üzerinde kritik etkisi vardır. Çelik yapılar üzerine, çelik yapıların tasarımına uydurulmuş yangın mühendisliği tasarımının gelişimi ile sonuçlanan geniş ölçekli çalışmalar olduğu halde, hâlâ yangında bağlantıların davranışı üzerine büyük boşluklar bulunmaktadır. Dünya Ticaret Merkezi felaketini takiben, çok sayıda otorite konumundaki organizasyon, bağlantı bütünlüğünün yangında yapının bütünlüğü için anahtar konumunda olduğunu

bildirmiş ve yangın şartlarında bağlantıların davranışı üzerine geniş çaplı araştırma için çağrıda bulunmuştur.

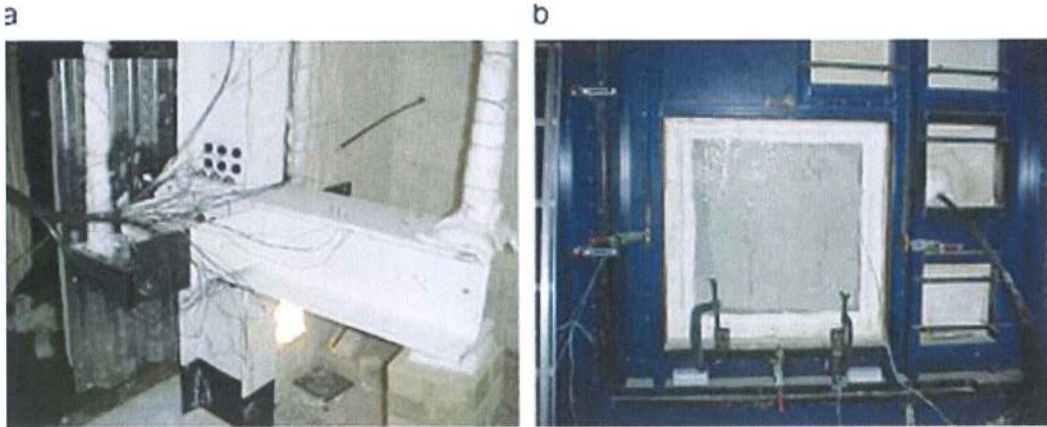
Bağlantıların yeterli yangın dayanımına sahip olması için güncel uygulama basittir; birleşmiş elemanlar yangın korumasının en yüksek seviyesinde bağlantıları korumak. Bu durum, birleşen elemanlar ile kıyaslandığında bağlantı bileşenlerin daha düşük kesit faktörleri olduğu (yangına maruz kalan yüzey alanının ısıtılan çeliğin hacmine oranı) ve bağlantı bileşenlerindeki ısı artışının birleşen elemanlardan düşük olduğu kabullenmesine dayanmaktadır. Yangındaki yapısal davranışın anlaşılması 3 genel adımı kapsar: Yangın davranışını tanımlamak, yapıdaki yangın gelişim sıcaklığının hesaplanması ve yüksek sıcaklıklardaki yapısal davranışın anlaşılmasıdır. [10]



Şekil 4.1 Bağlantı türleri ve düzenleri; (a) ağ kelepçe bağlantı montajı; (b) fin plaka bağlantı montajı; (c) gömme uç plakası bağlantı montajı; (d) esnek uç plakası bağlantı montajı



Şekil 4.2 Farklı yangından korunma şemalarının örnekleri; (a) korunmamış cıvata, (b) korunmuş cıvata



Şekil 4.3 Bağlantı test numunesinin kurulumu; (a) fırının içinden görünüm; (b) fırının dışından görünüm

Çizelge 4.1 Bağlantı bileşenlerinin detaylı boyutları

Numunenin Kodu	Kolon flanşındaki bağlantı türü	Tek bir kolon flanşına bağlantı bileşeni	Diğer kolon flanşına bağlantı bileşeni	Kolon ağına kaynaklanmış fin plaka
USP1	Gömme uç plakası	324x200x10		
USP2	Esnek uç plakası	200x150x8		
USP3	Fin plakası	200x100x10	200x150x10	
USP4	Ağ kelepçesi	150x90x100 (Derinlik 200)	90x90x100 (Derinlik 200)	
SP1	Ağ kelepçesi			
SP2	Ağ kelepçesi			
SP3	Ağ kelepçesi			
SP4	Fin plakası	200x150x10	200x100x10	200x100x10
SP5	Fin plakası			
SP6	Fin plakası			
SP7	Gömme uç plakası	324x200x10		
SP8	Gömme uç plakası			
SP9	Esnek uç plakası	200x150x8		
SP10	Esnek uç plakası			

Çizelge 4.2 Yangından korunma modellerinin özeti

Numunenin Kodu	Kolon flanşındaki bağlantı türü	Kolon	Kiriş 1	Kiriş 2	Kiriş 3	Kiriş 4
USP1	Gömme uç plakası			Korunmamış		
USP2	Esnek uç plakası					
USP3	Fin plakası					
USP4	Ağ kelepçesi					
SP1	Ağ kelepçesi	FP+B ¹	FP+B	P400+B ³	P300+B ³	P300+B
SP2	Ağ kelepçesi	FP_B ²	FP_B	P400_B ⁴	P300_B ⁴	P300_B
SP3	Ağ kelepçesi	FP_NB	Yok	Yok	Yok	Yok
SP4	Fin plakası	FP+B	FP+B	P400+B	FP+B	FP+B
SP5	Fin plakası	FP_B	FP_B	P400_B	FP_B	FP_B
SP6	Fin plakası	FP_NB	Yok	Yok	Yok	Yok
SP7	Gömme uç plakası	FP+B	FP+B	P400+B	FP+B	P300+B
SP8	Gömme uç plakası	FP_B	FP_B	FP_B	FP_B	FP_B
SP9	Esnek uç plakası	FP+B	FP+B	P400+B	FP+B	P300+B
SP10	Esnek uç plakası	FP_B	FP_B	P400_B	FP_B	P300_B

¹ Civatalar dahil tam koruma; bütün kiriş boyu (kirişlerin birleşmemiş uç çapraz kesitleri dahil) ve civatalar dahil kiriş.

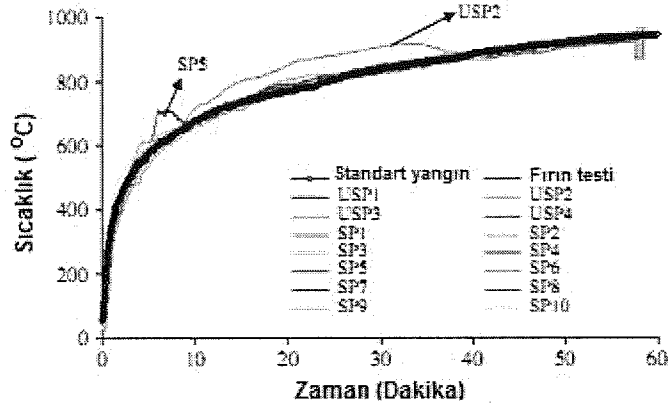
² Civatalar korunmadan tam koruma; (1)'deki gibidir ama bu durumda civatalar dahil değildir.

³ Civatalar dışında tam koruma fakat burada civatalar korunmamıştır. Civatalar dahil kısmi koruma (P300+B veya P400+B ifade edilmektedir); karşılıklı birleşim uçlarından 300 mm (kolon ağı ile birleşen kirişler için) veya 400 mm'lik (kolon flanşı ile birleşen kirişler için) kirişlerin, bütün kiriş birleştiricileri ve civatalar dahil, bir segmenti korunmuştur.

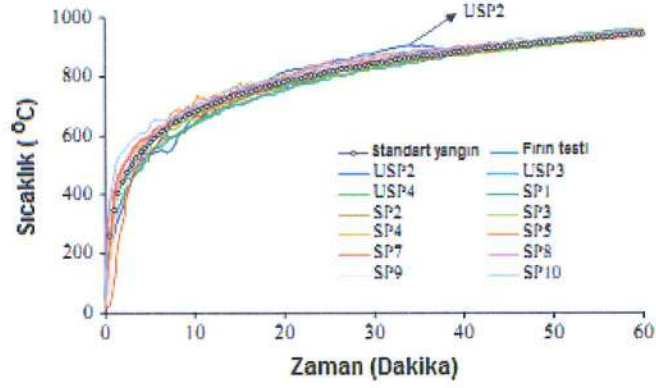
⁴ Civatalar dahil olmadan kısmi koruma; (3) ile aynıdır ama civatalar dahil değildir.

Çizelge 4.3 Farklı test numuneleri için ortalama kuru film kalınlığı

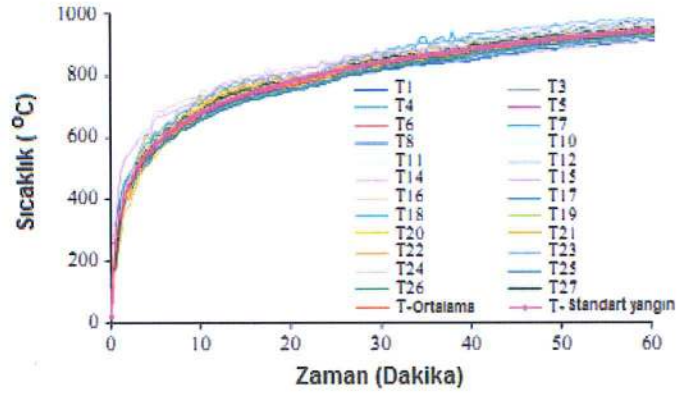
Numunenin Kodu	Kolon flanşındaki bağlantı türü	Ortalama kaplama kalınlığı (mm)				
		Kolon	Kiriş 1	Kiriş 2	Kiriş 3	Kiriş 4
SP1	Ağ kelepçesi	0.67	1.02	1.18	1.12	1.15
SP2	Ağ kelepçesi	0.73	1.02	1.29	1.05	1.09
SP3	Ağ kelepçesi	0.60	/	/	/	/
SP4	Fin plakası	0.75	1.36	1.35	1.24	1.16
6	Fin plakası	0.77	1.08	1.16	1.3	1.19
SP6	Fin plakası	0.62	/	/	/	/
SP7	Gömme uç plakası	0.95	1.29	1.25	1.19	1.15
SP8	Gömme uç plakası	0.84	1.14	1.19	1.43	1.35
SP9	Esnek uç plakası	0.78	1.21	1.19	1.25	1.33
SP10	Esnek uç plakası	0.86	1.22	1.16	1.21	1.31



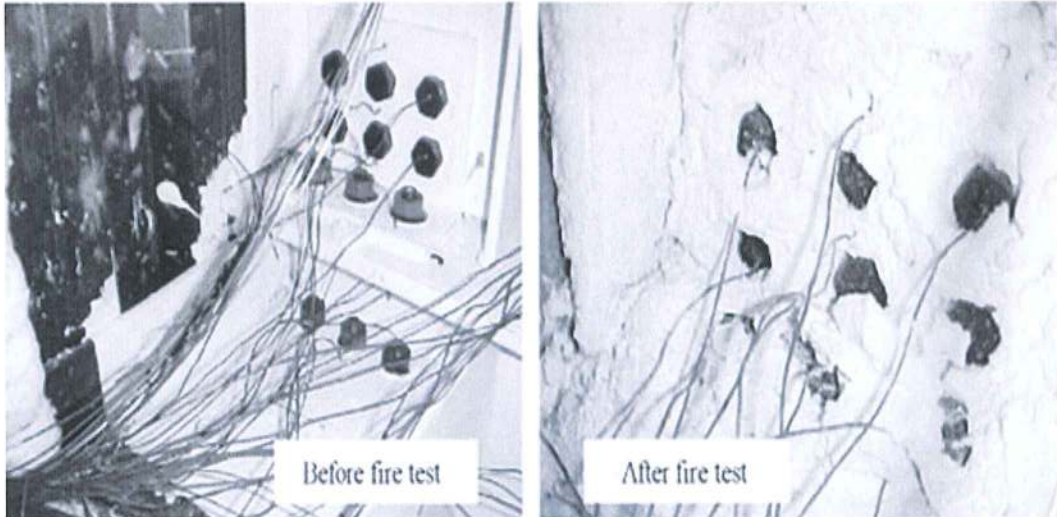
Şekil 4.4 Fırın-kontrol ısı çiftleri kullanarak hesaplanan ortalama fırın sıcaklıkları



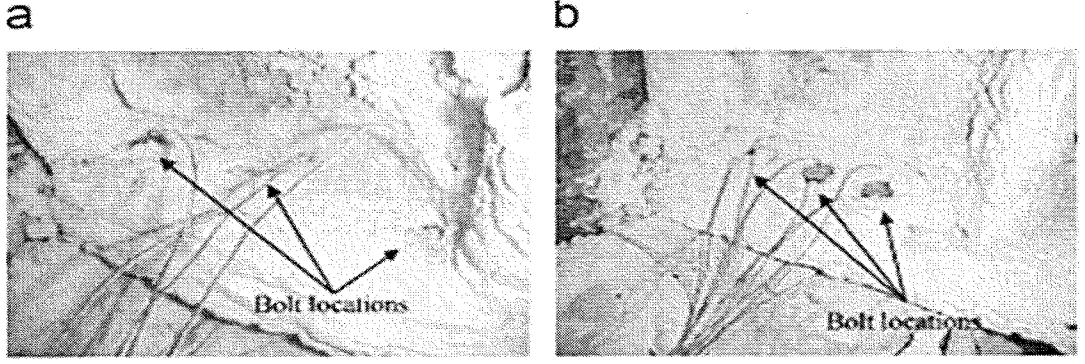
Şekil 4.5 Test numunelerin etrafındaki ısı çiftleri kullanarak hesaplanan ortalama fırın sıcaklıkları



Şekil 4.6 Bağlantı numunesi olmaksızın tamamlayıcı yangın testinin fırın içindeki sıcaklık dağılımı. [10]



Şekil 4.7 Ağ kelepçesinde yangından önce ve 60 dakika yangına maruz kaldıktan sonra korunmamış cıvatalar (Test SP2)



Şekil 4.8 60 dakika yangına maruz kaldıktan sonra korunmuş uç plakalarındaki korunmamış cıvatalar: (a) Yangın testinden sonra (Test SP8) karbon ile kaplanmış cıvatalar; (b) Yangın testinden sonra (Test SP10) karbon ile kaplanmamış cıvatalar

Bu çalışmada dört tür birleşim için yüklenmemiş çelik-beton kompozit bileşenleri üzerine yangın deneylerini anlatılmıştır. Bu bileşenler; ağ kelepçe, fin plakası, gömme uç plakası ve esnek uç plakasıdır. Bu korumalar; birleşen kirişlerin sadece küçük bir segmentinin korunması, cıvataların korunan bağlantıda korunmaması ve sadece kolonların korunmasıdır. Değişik birleşim bileşenlerindeki sıcaklık dağılımlarının analizi ve karşılaştırılması üzerine dayalı bu araştırmada aşağıdaki temel sonuçlar çıkartılabilmektedir:

a) Bağlantıda tam korunma elde etmek için bağlantıdan yaklaşık 400 mm kadar birleşen kirişlerin korunması da yeterli olacaktır. Bağlantı söz konusu olduğunda, 400 mm uzunluğundaki çelik ile bağlantının korunmasının etkisi benzer olacaktır. Bundan dolayı, bu çıkarım, 400 mm çelik korumanın ısısal direncinin (kalınlık bölü ısıl iletkenlik) intümesant kaplama uygulamalarinkine yakın olduğunu ortaya koyar. Ayrıca sayısal araştırmalar farklı kaplama kalınlığı gibi diğer şartlar altında “400 mm kuralı”nın uygulanabilir olup olmadığını hesaplamak için gerçekleştirilmiştir.

(b) Korunmasız cıvatalı korunan bir bağlantıda, korunmasız cıvata sıcaklıkları tam cıvata korumalı olanlarından daha yüksektir, fakat cıvata sıcaklıkları tamamen korunmasız bağlantıdakilerden hala daha düşüktür.

(c) Korunmuş bağlantıda, cıvataları korunmasız bırakmanın diğer birleşim bileşenlerindeki, yani uç plakalar/fin plakalar/ağ kelepçeleri/kiriş/kolon, sıcaklık üzerinde küçük bir etkisi vardır.

(d) Korunmasız bağlantılara kıyasla, sadece kolonun korunmasının, kolondaki kaynaklar dışında birleşim bileşimlerindeki sıcaklıkların azalması üzerinde küçük bir yararı vardır.

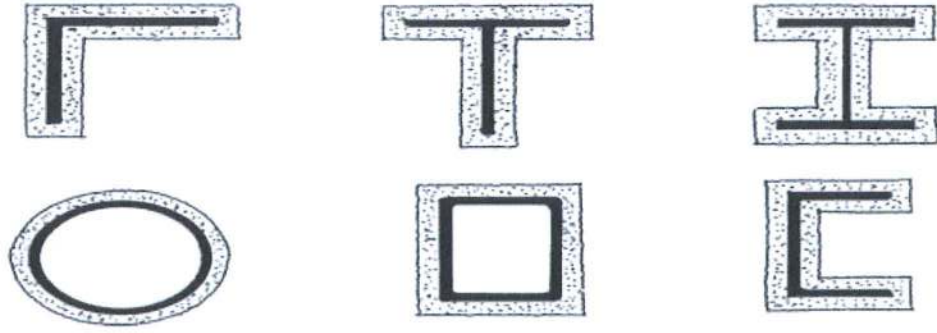
(e) Sadece kolonun korunması tamamen korunmasız bağlantıya kıyasla bağlantı bölgesindeki kolon sıcaklıklarını düşürse bile, bağlantı bölgesindeki kolon sıcaklıkları korunmamış birleşim bileşenleri ve kirişlerden kaynaklanan iletilen ısı nedeniyle tamamen korunan bağlantı montajında daha yüksektir.

Bağlanma bölgesindeki kolon sıcaklıklarını hesaplarken kolonun korunmadığını farz etmek daha ihtiyatlı bir durum olacaktır. Kaynak ve zamandaki sınırlamalar, bu araştırmada sadece örnek birleşimler test edilmiştir. Bununla beraber, yukarıdaki sonuçların diğer pratik boyutlardaki birleşimlerle tutarlı olacağı beklenmektedir. İleri araştırma çalışmaları yangın korunma şemaları ile farklı tür bağlantılardaki sıcaklıkların hesaplanması ve farklı yangından korunma şemaları kullanılarak yapısal davranışlarının anlaşılması için bir yöntemin geliştirilmesine devam edilmektedir. [10]

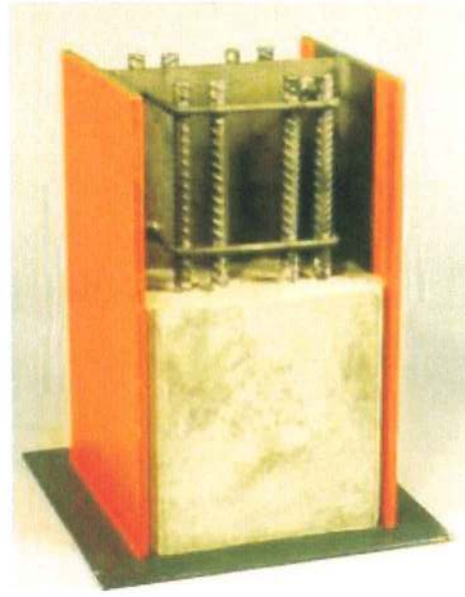
Bütün bu araştırmaların yanında çelik taşıyıcıları yangına karşı korumaya yönelik yalıtım çeşitleri aşağıda gibidir.[11]

1-Beton ile kaplamak ve doldurmak

Çelik bir kolonun yangına karşı dayanımı 5cm kalınlığında betonla kaplanmasıyla yaklaşık iki saat kadar arttırılabilir. Beton örtü, çelik kolonları yangına karşı korumanın yanında darbe ve dış tesirlere karşı da dayanıklı duruma getirir. Kirişlerde kullanımı ise pratik değildir. Tel kafes ve etriye kullanılması betonun mukavemetini arttırır. Ancak yapıya ilave ölü yük getirir. Beton örtü genellikle, tek katlı ve çok gözlü çerçeveler şeklinde inşa edilecek olan endüstriyel yapılarda uygulaması daha uygundur. Ayrıca yük taşıma kapasitesini yükseltmek amacı içi boş taşıyıcıların beton ile doldurulması işlemi, yangına dayanımını arttırmaktadır. Aşağıda betonla kaplanmış çelik profiller görülmektedir. [11]



Şekil 4.9. Beton ile kaplama



Şekil 4.10. Taşıyıcı I profili beton ile doldurma

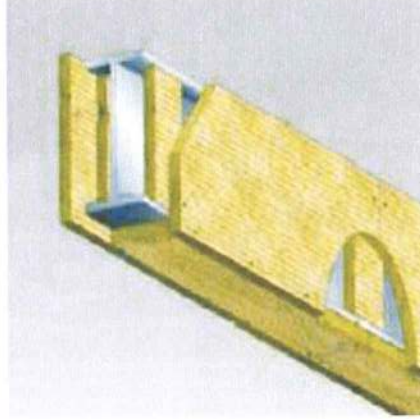
2- Tuğla ve beton briket uygulamalar

Beton korumada anlatılan prensipler Tuğla ve beton briket uygulamaları için de geçerlidir, ancak bu tarz kaplamaların forklift, kamyon ya da diğer gezici araçların darbe etkilerine karşı koruma sağlaması beklenmemelidir. Hafiflikleri nedeniyle betona göre avantajlı gibi gözükseler de, yangın dayanım süreleri tuğlanın boşluklu olup olmaması ya da beton blokların agrega özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu malzemelerle oluşturulan bölme duvarlar içerisine gömülen dış ve iç kolonların yangına karşı korumada özel bir uygulama gerektirmediğinden oldukça ekonomiktir. [11]

3 - Plakalı Sistemler

Yapısal çeliği yarım saat ila 4 saat arasında bir süre için yangından koruyabilmek için yangına dayanıklı plaka çeşitleri mevcuttur. Bunlar Alçıtaşı levha, Fiberle güçlendirilmiş kalsiyum silikat levha, Vermikülit – sodyum silikat levha, Mineral fiber levha gibi malzemeler kullanılarak çelik üzerine vida, yapıştırma veya pimle tespit edilebilir. Kalınlıkları türüne göre değişiklik gösterse de, 6 mm ila 80 mm arasındadır. Özellikle daha sonraki dekorasyon aşaması için yüzeylerinin pürüzsüz olması gereken kolonların korunması için uygundur. Bu malzemeler, inşaat yöntemi olarak hazır birimler kullanılması gereken durumlar için de en uygun çözümdür. [11]

Plakalı sistem uygulamalarına ait örnek aşağıda görülmektedir.



4.11 Plakalı sistem uygulama



Şekil 4.12 Plakalı sistem uygulama

4- Prefabrike Sistemler

Prefabrike yangından korunma sistemleri 4 saate varan sürelerde yangına dayanıklılık sağlayabilmek amacı ile çelik sac mahfaza veya vermikülit esaslı tarzları mevcuttur. Çelik sac mahfazaların yüzeyleri, herhangi bir çelik elemanın korunması veya yangına dayanıklılık süresinin sadece plakanın kendi performansı ile belirlendiği geleneksel yangından korunma plaka malzemeleri ile kaplanır. Çelik sac plakaların yapının yangına dayanıklılığı konusunda ilave katkıları yapılan hesaba dâhil edilmez.

Bu sistemler oldukça çekici bir dekoratif görünüm arz ederler ve her ne kadar kiriş mahfazaları da imal edilmekte olsa da, kullanımları çoğunlukla kolon uygulamalarından ibaret olmaktadır. Diğer ana avantajları da dayanıklılıkları ve süratli bir şekilde uygulanabilir olmalarıdır. Mahfazaların ebatlarının doğru olmasını temin etmek amacı ile gerekli özen gösterilmelidir. Kolon mahfazasının baş kısmı ile kiriş yangından korunma sistemlerinin bağlantı noktaları özel itina gerektirir. [11]

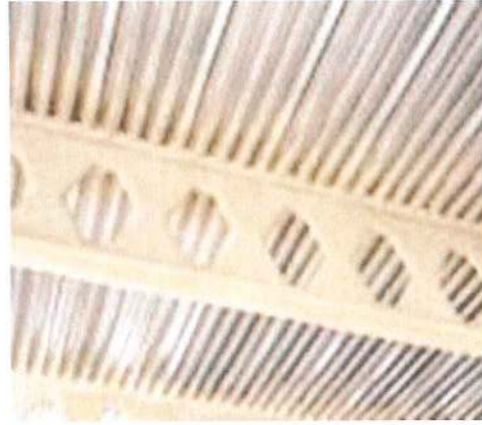
5-Püskürtülerek Uygulanan Sistemler

Püskürtülerek uygulanan yangından korunma malzemelerinin birçok çeşidi ve uygulama şekilleri vardır. Malzemeler, çimentolu plasterler, mineral fiberler vb. Püskürtme işleminde üst yüzeyi pürüzlü olacağından başka bir malzemeyle de kaplanmalıdır. Püskürtülen malzeme, sıcakta şişerek hava kesecikleri oluşmasıyla yangın yalıtımı sağlarlar. Çeliğin korozyon korumasını sağlamak için birkaç ürün birden kullanılabilir. Malzemelerin çoğu 4 saate kadar yangına dayanıklılık sağlayabilir. Bu malzemeler, genellikle asma tavanların üzerinde görünmeyen kısımlardaki kirişlerin korunması konusunda özellikle uygulanmakta olup ucuz ve süratli koruma yöntemlerinden biridir. Kolonlarda uygulanması durumunda üzeri alçıpan veya benzeri malzemelerle kaplanarak düzgün görünüm sağlanabilir. [11]

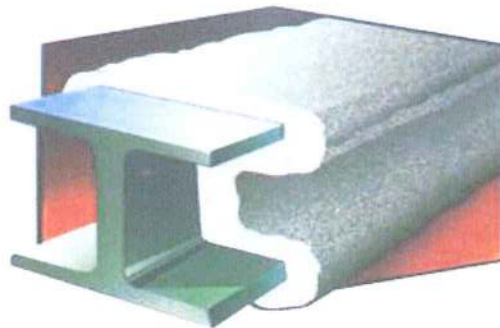
Püskürtme uygulamalarına ait örnek aşağıda görülmektedir.



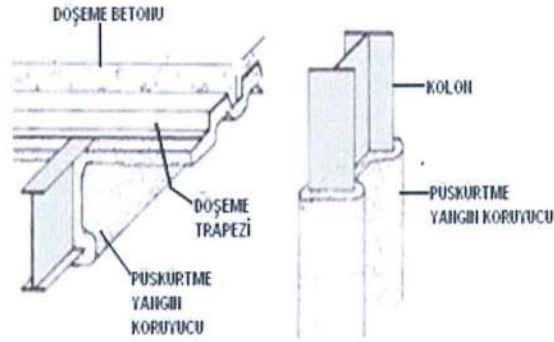
Şekil 4.13 Püskürtme uygulaması



Şekil 4.14 Püskürtme uygulaması



Şekil 4.15



Şekil 4.16

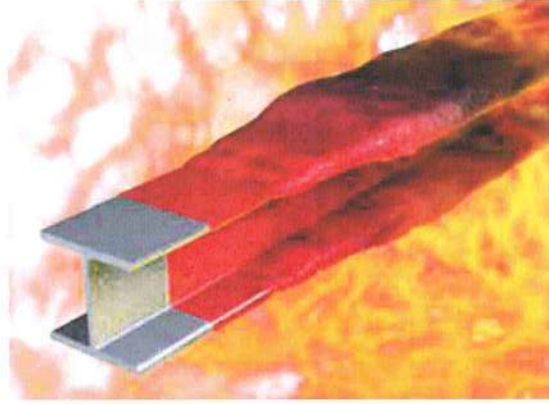
6-Su ile Doldurmak

Yangına maruz kalan yapısal bir elemanın içerisindeki su, ısıyı emerek çeliğin sıcaklığını kritik düzeylerin altında tutacaktır. Bu ısı, taşınım yolu ile sistemin yangına maruz kalmayan alanlarına ve suyun havalandırma yöntemi ile atılan buharlaşması ile dağıtılır. Gereken su miktarı yangına maruz kalan çeliğin yüzey alanına, yangının süresine ve şiddetine bağlıdır. İçi boş elemanların içinde bulunan su miktarı muhtemelen yeterli gelmeyeceğinden dolayı, normalde buharlaşma yolu ile kaybolan suyu tazelemek için bir su deposu gereklidir. İçi boş kısımlar devrenin tamamlanması için borular ile birbirlerine bağlanır. Yatay elemanlar münferit buhar konsantrasyonlarının oluşmasından dolayı etkilenebileceği için su doldurma işleminin kolonlar ve eğimli elemanlar ile sınırlandırılmalıdır. Su hem büyük ısı özgül katsayısı, hem de buharlaşırken yuttuğu büyük ısı nedeniyle çok iyi bir soğutucudur. Yalnız kolonların korunması durumunda, su genelde sürekli dolu olduğundan, içine potasyum karbonat ya da benzeri bir antijel katılarak donmaya karşı önlem alınırken, çelik elemanların hesabında da hidrostatik iç su basıncı dikkate alınmalıdır. [11]

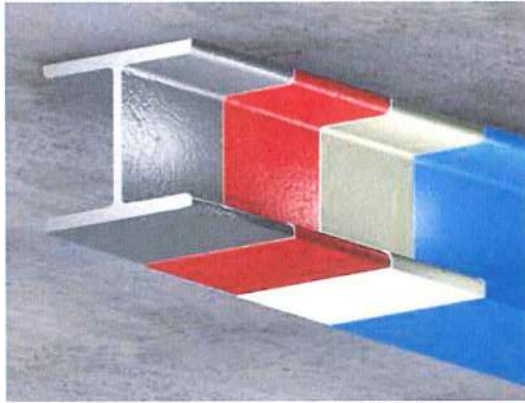
7- Yangına karşı dayanıklı boya uygulamaları

Yangına karşı dayanıklı boya ile boyanmış çelikte sıcaklık 200 °C' ye ulaştığında, ince bir tabaka halindeki boya bileşiminde bulunan gaz ısıda açığa çıkarak kabarmak sureti ile bazen özgün kalınlıklarının 50 katına ulaşan boyutlarda kömürleşmiş bir yalıtım katmanı yangına karşı koruma sağlar. Koruma süresi, ürünün kalınlığına bağlı olarak 30,60,90,120 dakika ve daha fazladır. Bu ürünler, fırça, püskürtme veya mala ile

uygulanabilir. Nemli ortamlarda sadece kısıtlı sayıda boya çeşitleri uygulanabilir olup, özellikli uygulamalar konusunda imalatçıların fikirlerine başvurulmalıdır. Intumesan tabakalar, maliyeti düşürmek ve yangından korunma malzemelerini inşaatın dışında şantiye haricinde de uygulanabilir. Yapısal içi boş elemanların beton ile doldurulması işlemi ile birleştirildiği zaman bu metot ciddi anlamda kaplama ağırlığı tasarrufu sağlamaktadır. [11]



Şekil 4.17 Yangına dayanıklı boya uygulama



Şekil 4.18 Yangına dayanıklı boya uygulama

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapısal çelik üretimi sürekli denetim altında olduğundan güvenli bir malzemedir. Ayrıca taşıyıcı sistem parçaları fabrika ortamında, standartlara ve yönetmeliklere uygun olarak üretilir. Elastisite modülü diğer malzemelere göre daha yüksek olup, sünek bir malzeme olduğundan çürük zeminlerde ve deprem bölgelerinde kullanılmalıdır. Çelik inşaat montaj aşamasında hava koşullarından etkilenmediğinden yapım süresi kısadır. Taşıdığı yüke göre kesitleri küçük olduğundan yapının ağırlığı azdır. Tam olarak geri dönüşümlüdür. Atık malzeme bırakmadığı için çevreyi kirletmez. Yapım süresi kısa olduğundan maliyete kazanç sağladığı gibi yapı tamamlandığında hemen işletmeye açılır.

Dünyada çelik üretiminde 2012 yılı verilerine göre 8. sırada olmamıza rağmen, Türkiye'deki "Çelik İnşaat" ın toplam inşaat sektöründeki payı, yaklaşık olarak %5 civarındadır. Bu oranın büyük bölümünü endüstri yapıları, büyük açıklıklı çatılar ve köprüler oluşturmaktadır. Çok katlı çelik yapı uygulamalar ise yok denecek kadar azdır.

Çelik çerçeveli yapılarda uygulanacak yangın korunma sistemi seçimi, başta görünüm, dayanıklılık, çevre ile uyum, korozyona dayanıklılık, yer gereksinimi, inşaat programı, uygulama fiyatı ve maliyet olmak üzere birçok unsurlara bağlıdır. Yangından korunma sistemi, hem mimar hem de inşaat mühendisi tarafından kavramsal ve ön tasarım aşamalarında dikkatli bir şekilde göz önünde bulundurulmalıdır.

Deprem ülkesi olmamız nedeniyle çelik çerçeveli yapıların yeterince değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Özhendekçi D., YTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Çelik Yapılar 1 Ders Notları.
- [2] Türk Yapısal Çelik Derneği, (2007) Yapı Çeliği İşleri Teknik Şartnamesi, Teknik Yayınlar Serisi-3, ISBN 978-975-92461-1-2.
- [3] Wong M.B., (2001) "Elastic and plastic methods for numerical modelling of steel structures subject to fire", Journal of Constructional Steel Research 57: 1–14.
- [4] Skowrofiski W., (1997) "Plastic load of frames in capacity and fire stability", Engineering Structures, 19 (9): 764-771
- [5] Ding J., Li G.-Q. ve Sakumoto Y., (1997) "Parametric studies on fire resistance of fire-resistant steel members", Journal of Constructional Steel Research 60: 1007–1027.
- [6] "The Behaviour of Multi - Storey Steel Framed Buildings in Fire"; (1999) A European Joint Research Programme, British Steel plc, Swinden Technology Centre, ISBN 0 900206 50 0.
- [7] Kobes M., Helsloot I., de Vries B. ve Post J. G., (2010) "Building safety and human behaviour in fire: A literature review", Fire Safety Journal 45: 1–11.
- [8] Wang Y. C., (1997) "The Effects of Frame Continuity on the Behaviour of Steel Columns Under Fire Conditions and Fire Resistant Design Proposals", J. Construct. Steel Res. 41(1) :93-111
- [9] Wang Y. C. , (1997) "Effects of Structural Continuity on Fire Resistant Design of Steel Columns in Non-sway Multi-storey Frames", Fire Safety Journal 28 :101-116.

- [10] Dai X.H. , Wang Y.C. ve Bailey C.G., (2009) “Effects of partial fire protection on temperature developments in steel joints protected by intumescent coating”, Fire Safety Journal 44:376–386.
- [11] Kılıç A., “İTÜ Makine Fakültesi, Çelik Taşıyıcılarının Yangın Yalıtımı”, http://www.yangin.org/dosyalar/celik_tasiyicilarin_yalitimi.pdf. 15.02.2012

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :TANER ÖZER
Doğum Tarihi ve Yeri :1956-İSTANBUL
Yabancı Dili :
E-posta :taner_ozer-2005@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İNŞAAT	İ.D.M.M.A YILDIZ	1982
Lise	FEN	FENERBAHÇE LİSESİ	1975

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
1982-1995	ARCA İNŞAAT (LİBYA ŞANTİYESİ)	PROJE MÜDÜRÜ
1995-2000	SİNAN YAPI (TEPEKENT ŞANTİYESİ)	ŞANTİYE SORUMLUSU
2000-	SİNAN YAPI	KOORDİNATÖR