

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

79167

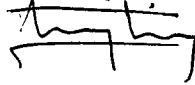
ÇELİK YAPI ELEMANLARININ YANGINA KARŞI
MUKAVEMETLERİNİN VE ALINACAK ÖNLEMLERİN
ARAŞTIRILMASI

İnş.Müh.Bekir KAYABUNAR

F.B.E.İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Tez Danışmanı: Prof.A.Zafer ÖZTÜRK



79167

İSTANBUL, 1998

Prof. Zekeriya Polat


Prof. Dr. Tunca Çelbi


İÇİNDEKİLER	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
1. GİRİŞ	1
1.1. Yangın	2
1.2. Yangın Yüğü	3
1.3. Yangında Sıcaklığın Gelişimi	4
2. MALZEMELERİN YANGINA İLİŞKİN NİTELİKLERİ ve YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ ÖZELLİKLERİ	6
2.1. Malzemelerin Yangına İlişkin Nitelikleri	6
2.2. Malzemelerin Yüksek Sıcaklıklardaki Özellikleri	7
2.3. Çeliğin Yüksek Sıcaklıklardaki Özellikleri	10
2.3.1. Yoğunluk	10
2.3.2. Isısal Özellikler	10
2.3.3. Mekanik Özellikler	11
3. YANGINDA ÇELİKTEKİ SICAKLIĞIN ARTIŞI	14
3.1. Çelik Elemana Isı Akımı	15
3.1.1. Yalıtımsız Elemanlara Isı Akımı	15
3.1.2. Yalıtılmış Elemanlara Isı Akımı	15
3.2. Çelik Elemanda Sıcaklığın Artışı	16
3.2.1. Yalıtımsız Elemanlarda Sıcaklık Artışı	16
3.2.2. Ağırılıkça Hafif Yalıtımlı Elemanlarda Sıcaklık Artışı	18
3.2.3. Ağır Yalıtımlı Elemanlarda Sıcaklık Artışı	22
3.3. Yalıtım Kalınlıklarının Abaklar Yardımıyla Önbelirlenmesi	25
3.4. Betonla Çevrili Çelik Sütunların Beton Kalınlıklarının Başka Bir Yolla Bulunması	26

4.	TAŞIYICI SİSTEMİN YÜKSEK SICAKLIKTA DAVRANIŞI ve KRİTİK SICAKLIKLAR	28
4.1.	Yüksek Sıcaklıkta Burkulma	28
4.2.	Birleşimler	34
4.3.	Sınır Durumlar	34
4.4.	Kritik Sıcaklık	35
4.4.1.	Kirişlerin Kritik Sıcaklığı	35
4.4.2.	Kolonların Kritik Sıcaklığı	38
4.4.3.	Bileşik Eğilme Etkisindeki Elemanlarda Kritik Sıcaklık	40
4.4.4.	Çekme Çubuklarının Kritik Sıcaklığı	42
4.5.	Taşıyıcı Elemanlarda Kontrol	43
4.6.	Taşıyıcı Sistemde Kontrol	43
5.	SAYISAL UYGULAMA	45
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	50
6.1.	Kirişlerin Yalıtılması	50
6.2.	Kolonların Yalıtılması	52
6.3.	Çelik Elemanların Su Dolaşımı İle Soğutulması	55
	KAYNAKLAR	60
	ÖZGEÇMİŞ	61

YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
KURUMSAL YATIRIM MENKUL DEĞERLER
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

SİMGE LİSTESİ

a	Isı yayılma katsayısı
(a)	Yapısal çelik indisi
Aa	Çelik kolon enkesiti
Au	Birim uzunluktaki elemanın yangına açık yüzey alanı
c	Isı özgül katsayısı
di	Yalıtım malzemesi kalınlığı
Ea	Yapısal çeliğin olağan 20 °C sıcaklıktaki elastiklik modülü
$\bar{Ea\theta}$	Yapısal çeliğin θ °C sıcaklıktaki elastiklik modülü
fak	Kritik burkulma gerilmesi
fap, θ	Yapısal çeliğin θ °C sıcaklıktaki orantılılık sınırı
fay	Yapısal çeliğin olağan 20 °C sıcaklıktaki akma sınırı
fay, θ	Yapısal çeliğin θ °C sıcaklıktaki %2 şekil değiştirmeye ilişkin itibari akma sınırı(Max.gerilme sınırı)
fau, θ	Yapısal çeliğin θ °C sıcaklıktaki 1.25 ile kısıtlanmış minimal kopma sınırı
g	Sabit yük
i	Yalıtım malzemesi indisi
k	Kirişin yüklenme mertebesi ile ilgili bir katsayı
K	Isı iletkenlik katsayısı
Ki	Yalıtım malzemesi iletkenlik katsayısı
K'	Toplam ısı iletim katsayısı
N*	Yangında kolona etkiyen normal yük
p	Hareketli yük
p	Ağırlıkça yüzde nem
qe	Olağan sıcaklıkta elastik olarak taşınabilen en büyük yük
qp	Olağan sıcaklıkta plastik taşıma yükü
\dot{Q}	Isı akışı
Rf	Dakika olarak istenilen yangın mukavemeti
tw	Nemli yalıtım malzemesinin çelikteki sıcaklık geciktirme süresi

U	Çelik elemanın birim çevre alanı
Va	Yapısal çeliğin birim boy hacmi
We	Kesitin elastik mukavemet momenti
X	Azaltma oranları
α_c	Konveksiyona bağlı ısı iletim katsayısı
α_r	Işınlamaya bağlı ısı iletim katsayısı
γ	Kütlesel yoğunluk
γ_p	Eurocode'a uyum için 1.174 alınabilecek bir güvenlik katsayısı
θ_a	Çelik elemanın sıcaklığı
θ_t	t zamanındaki çevredeki gaz sıcaklığı
λ	Narinlik derecesi
$\bar{\lambda}$	Geliştirilmiş narinlik derecesi
ψ	Momentlerin plastikleşmede kirişte yeniden dağılımından doğan ek taşıma sığasını simgeleyen ≥ 1 bir katsayı

ÖZET

Çelik yapılarda yangın mukavemet hesaplarını yaparken, yangının etkin yanış safhası esas alınır. Bu safhada çelik yapı taşıyıcı elemanları, hassas bir biçimde etkilenirler. Hesaplarda yangın yükü, deprem yükü gibi işin içine katılır. Yangında mukavemet, her şeyden önce bir süredir. Bu nedenle ölçümü de zamana bağılı olarak yapılır. Yangına çeyrek saat, yarım saat, bir saat, iki saat mukavim elemanlar gibi. Bir taşıyıcı sistemin yada elemanın yangın süresindeki mukavemeti ve şekil değıştirmeleri malzemenin ısısal ve mekanik özelliklerine bağılıdır. Herhangi bir şekilde sıcaktan korunmamış bir çelik taşıyıcı elemanın dayanım süresi genelde 30 dakikaya pek ulaşmadığından koruma çoğu zaman gereklidir. Yalıtımla koruma, çevreyi sarma, kutuya alma ve betona gömme metodlarıyla yapılabildiğı gibi çelik yapı elemanlarını dünyada henüz yaygınlaşmamış su soğutmalı sistemle de etkin bir şekilde korumak mümkündür. Bir taşıyıcı elemanın hem şekil değıştirmelerinin belirli sınırlar içinde kalması hem de verilmiş bir yükü taşıyabilmesi gerekir. Bu sebeple gerekli, kritik sıcaklık ve burkulma kontrolleri çeşitli formül, çizelge ve tablolar yardımıyla bulunur.

Bu çalışmada gerekli mukavemet hesapları sayısal örneklerle anlatılmaya çalışılmış, çelik yapı elemanlarına uygulanabilecek koruma tedbirleri 6. Bölümdeki sonuçlar ve öneriler kısmında geniş bir biçimde bugünkü mevcut uygulamalarına da yer verilerek izah edilmiştir

ABSTRACT

In steel structures, when performing fire resistance calculations effective burning phase is to be taken into account. In takes phase, transporting elements of steel structure are effectively. In calculations, load resulting from fire are taken into consideration as earthquake loads. Resistance to fire a time dependent process. So the measurement is made depending on time. For example fire resisting elements fire for a quarter of an hour, half an hour, an hour, and two hours. Resistance of a structural system or an element during the fire and their deformation depend on mechanical and thermal properties. As the period of resistance (endurance) of a steel structure element, that is not protected from heat in anyway, doesn't reach within 30 minutes, protection such as isolation, rolling uprim, encasement, and burying in concrete can be applied. It is also possible to protect the elements of steel structure by water cooling system in an efficient way. Deformations of a structural element should be kept within a certain limit in order to carry a given load. The necessary critical temperature and twist control can be found by means of tables and equations.

In this study, required resistance calculations are given with numerical examples. Applicable protection preventions are given in chapter 6. with examples of worldwide applications.

1. GİRİŞ

Çelik malzemenin betona karşı bir çok avantajları yanında, dezavantajları da vardır. Yangına karşı mukavemetinin olmaması da bunlardan biridir. Çelik bir yapıda ele alınan hesaplarda kuşkusuz yangın mukavemet hesapları gözardı edilemez.

Ülkemizde, özellikle çok katlı yapı olarak ^{çelik} taşıyıcı sistemlerin kullanılmaması, bu konudaki geniş araştırma ve bilgi ihtiyacımızı, ABD ve Avrupa ülkeleri gibi çelik yapı uygulamasının çokça yapıldığı ülkelerin, standartlarına ve yönetmeliklerine bağımlı kılmaktadır. Bu çalışmadaki sayısal hesaplamalar, Avrupa Birliği standartlarına (Eurocodes) dayanmaktadır.

Yapılacak hesaplar sonucunda, çelik yapı elemanını, göçme sınır durumuna götüren, kritik sıcaklığa ulaşma süresi olan, yangın mukavemetini buluruz. Yangın mukavemetini artırmak ise çelik bir yapının yangına karşı korunumu demektir. Yangın korunumu için yapılacak ilk iş yapıya ait itfaiye birliği ve /veya otomatik yangın alarmı ve söndürücüleri oluşturmaktır. Eğer bunlar varsa yangın mukavemet kıstasları hafifletilebilir.

Yangına mukavim çelik kullanmak, yapı elemanlarını çeşitli usullerle yalıtım ve henüz dünyada 40 kadar binanın kullandığı su soğutmalı sistemin tercih edilmesiyle, çelik yapı yangına karşı etkin bir biçimde korunmuş olur.

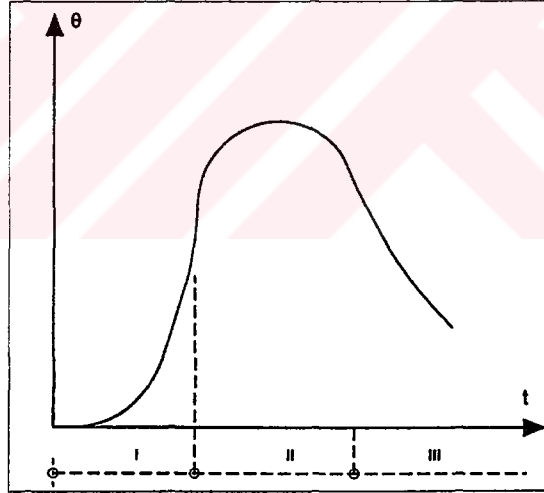
Konunun iyi anlaşılabilmesi için sayısal uygulamalara yer verilmiş, yalıtım için bolca şekil ve su soğutmalı sistemin dünyadaki örneklerinden ikisi şematik olarak izah edilmeye çalışılmıştır.

1.1. Yangın

Bir yangının çıkması ve gelişmesi için üç elemanın birlikte bulunması gerekir: Yanıcı bir malzeme, oksijen ve bir ısı kaynağı. Tutuşmanın asgari sıcaklığı, yanıcı malzemenin cinsine, şekline, yüzeyine ve porozitesine bağlıdır. Yanış hızı ise, yanma yerinde oksijenin yenilenme olanaklarıyla orantılıdır.

Bir yangında θ sıcaklığının t zamanına bağlı değişim diyagramının (Şekil 1.1) incelenmesi yangın olayını üç aşamaya ayırır: Çıkış ve gelişme, etkin yanış ve sönme. Çıkış ve gelişme, aşamasından etkin yanışa geçiş genelde kısa bir zaman aralığında gerçekleşir ve "genel tutuşma" olarak adlandırılır.

Etkin uyarı ve söndürme önlemleri bulunması durumunda, ikinci aşama ortaya çıkmaz ve doğrudan üçüncü sönme evresine geçilir



Şekil 1.1. Yangının safhaları

I- Çıkış ve gelişme

II- Etkin yanış

III- Sönme

Süresi 5 ila 30 dakika arasında değişen birinci çıkış ve gelişme aşamasında, sıcaklık göresel olarak düşük kalır. Bu aşamada, yapı taşıyıcı elemanları ısısal olarak etkilenmezler. Dolayısıyla yangın mukavemet hesaplarında bu safha gözönüne alınmaz.

İkinci etkin yanış döneminde, ısı üretimi ve sıcaklık artar ve yapı taşıyıcı elemanları bundan etkilenirler. Bu aşama yangın mukavemet hesaplarında hassas bir biçimde gözönüne alınır.

Üçüncü sönme safhasında, sıcaklık azalır. Ancak yeterince yüksek kalması sürdüğünden, yapı elemanları üzerindeki tahripkâr etkisi devam eder.

Genel tutuşmanın itfaiyenin veya otomatik söndürücülerin zamanında ve etkin biçimde devreye girmesi ile önlenmesi durumunda, taşıyıcı sistem göçmez ve hasar görmez, bina muhtevası az hasar görür, işletme durmaz, basit onarımlar yeterli olur. Binaların, anında çalışacak kendi itfaiye birliği ve/veya otomatik yangın alarmı ve söndürücülerini varsa, yangın mukavemet kıstasları hafifletilebilir.

1.2. Yangın Yüğü

Tanım olarak yangın yüğü veya ısı yüğü, ele alınan yapıda taban yüzeyinin birim alanına indirgenmiş olarak, taşıyıcı elemanlarındaki dahil, bütün yanıcı malzemenin tamamen yanmasından açığa çıkan ısı enerjisidir. Tarihî nedenlerle bu yük, kg/m² biriminde belirtilen "eşdeğer ahşap yüğü" şeklinde ele alınır ve aynı ısı enerjisini verecek ahşap miktarını belirtir. Ahşabın ısı yüğü, yaklaşık 4000 kcal/kg'dır.

Gerçekte bir mahalde bulunan bütün yanıcı malzemelerin bir yangında tamamen yanmaları beklenmemelidir. Yapılan incelemeler,

yukarıda tanımlanan ısı yükünün bir yangında %50 ilâ 90 arasında değişen bir oranda işe katıldığını göstermiştir.

Aşağıda, çeşitli ülkelerde kabul edilen yangın yükü değerleri ön bilgi olarak verilmiştir:

a) Idari binalar	50 ilâ 90 kg/m ²
b) Meskenler	15 ilâ 35 kg/m ²
c) Okullar	15 ilâ 50 kg/m ²
d) Endüstri yapılar (istisnalar dışında) en çok	120 kg/m ²
e) Konaklama yapıları	20 ilâ 50 kg/m ²

1.3. Yangında Sıcaklığın Gelişimi

Yangının ikinci safhasında neşredilen ısı miktarı yaklaşık olarak sabittir ve yangın yükü ile doğrudan bağlantılıdır. Buna karşılık süre ve erişilen sıcaklık derecesi, hava alma olanaklarına ve yanıcı malzemenin özellikle cins, yüzey alanı ve özelliklerine göre değişirler. İki değişik yanma türünden söz edilebilir.

a) Büyük bir yangın yükünün etkisi, yetersiz bir havalanmada, yangına taze hava gelişi ile sınırlanır. Hava gelişinin artışı, hacimde sıcaklığın yükselmesine, yangın hızının artmasına ve yanma süresinin azalmasına yol açar.

b) Yangın yükü düşük, ancak bol hava olanağı olan bir yangında, yanıcı maddenin yüzeyi etkilidir. Aşırı havalanma sıcaklığı düşürür, yangın hızı ve süresi üzerinde ise etkisizdir.

En yüksek sıcaklıklara ise bu iki tür yangının kesişme bölgesinde, büyük yangın yükü ve hava ile yeterli beslenmede ulaşılır. Bütün bu irdelemelerden, sıcaklığın gelişiminin bir yangından bir diğerine farklar gösterebileceği açıkça anlaşılabilir.

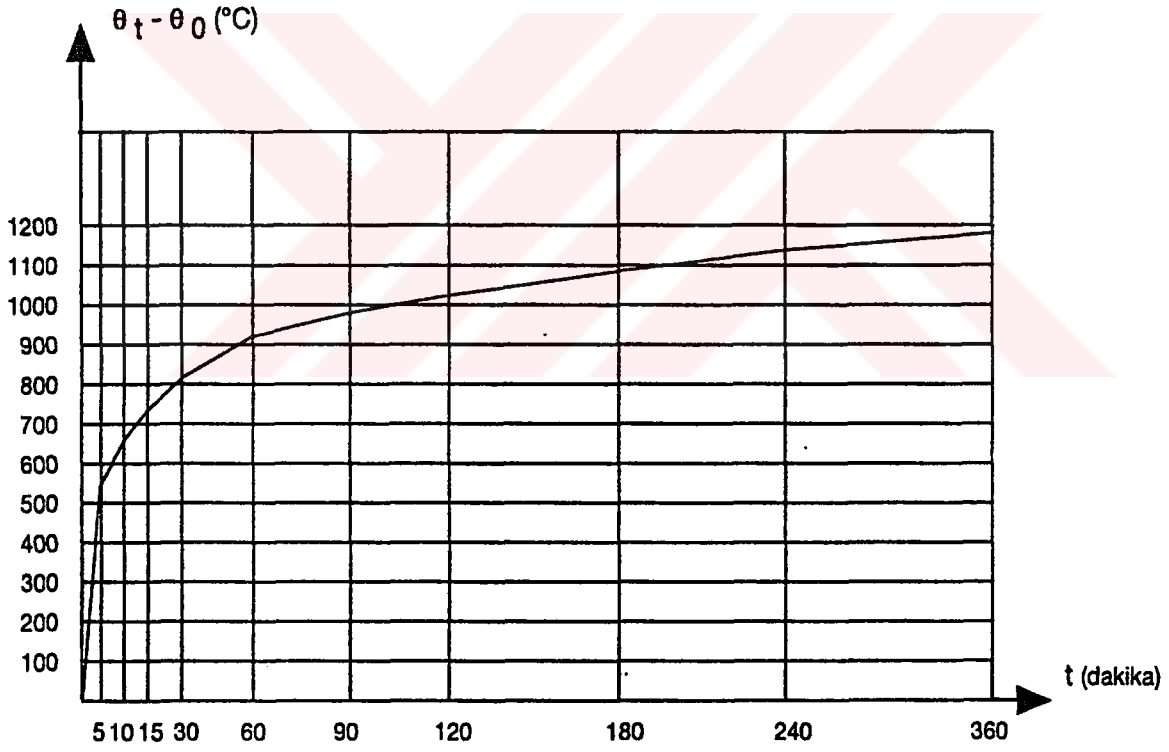
Birçok ülkede yapılan deneysel ve kuramsal araştırmalar sonunda, ISO tarafından standardize edilen sıcaklık- zaman bağıntısı (ISO-834)

$$\theta_t - \theta_0 = 345 \log_{10} (8 t + 1) \quad (1.1)$$

olup burada, t dakika olarak yangın süresini (2. aşama), θ_t °C olarak yangında erişilen sıcaklığı, θ_0 ise genel olarak 20°C kabul edilen başlangıç sıcaklığını göstermektedirler (Şekil 1.2). Bağıntı bazan

$$\theta_t = 20 + 345 \log_{10} (8 t + 1) \quad (1.2)$$

biçiminde de verilebilmektedir.



Şekil 1.2. Standart sıcaklık-zaman eğrisi (ISO - 834)

(θ_t için 20°C eklenmelidir)

2. MALZEMELERİN YANGINA İLİŞKİN NİTELİKLERİ VE YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ ÖZELLİKLERİ

2.1. Malzemelerin Yangına İlişkin Nitelikleri

İnşaatta kullanılan malzemelerin yangına ilişkin nitelikleri iki ayrı açıdan incelenebilir:

a) Yangının yayılmasını besleyebilecek bir madde olup olmadıkları (malzemenin yanabilirliği).

b) Yapıda, yangın sırasında, üzerlerine düşen görevi (taşıyıcı eleman, bölme elemanı vb.) tam güvenle yerine getirebilme süreleri (malzemenin yangın mukavemeti).

Bu iki inceleme açısı birbirlerine çok aykırı sonuçlara götürebilir. Yanmaz bir malzeme yangında sıfır mukavemet gösterebileceği gibi (metal levha örneği), yanıcı hata tutuşucu bir başka malzeme yangında yüksek bir mukavemete sahip olabilir (masif ahşap eleman örneği).

Bir malzeme yanıcı veya yanmaz olabilir. Yanıcı malzemeler ise tutuşucu ve tutuşmaz olabilirler. Tutuşucu olmaları durumunda: zor, vasat, kolay, çok kolay tutuşan olarak sıralanmaları mümkündür.

Yangında mukavemet kavramı, malzemenin yapıda kullanılma amacının bir fonksiyonu olarak belirlenir ve sıcakta mekanik mukavemet, ısı yalıtkanlığı gibi özelliklerini kapsar. Bu kavram yapının: döşemeler, kirişler, çatılar, duvarlar, dikmeler ve benzerleri gibi taşıyıcı elemanlarında birinci derecede önem kazanır. Dolgu, bölme, kaplama, koruyucu, yalıtıcı ve dekoratif elemanlarda da önemini korur.

Yangında mukavemet her şeyden önce bir süredir; yanan bir yapıdaki insanların en kıymetli eşyalarıyla birlikte güvenli bir yere sığınıp itfaiyenin yetişerek etkili olmasına yeterli bir süre Bu nedenle ölçümü de zamana bağlı olarak yapılır: Yangına çeyrek saat, yarım saat ,1 saat, 2

saat, 3 saat, 4 saat, 6 saat mukavim elemanlar gibi. Bu süreler, (Şekil 1.2)de belirtilen birer sıcaklık derecesi de ifade ederler.

İnşaat malzemeleri, yangın mukavemetleri açısından aşağıdaki kıstaslara göre sınıflandırılırlar:

a) Stabilité: Yapı elemanları çökmemeli, burkulmamalı ya da görevlerini yerine getiremeyecek mertebede şekil değiştirmemelidirler.

b)Alev geçirmezlik: Yapının iki bölümünü birbirinden ayırma görevini yüklenen, duvar, bölme, döşeme gibi elemanlarda alevlerin geçebileceği çatlak ve aralıklar oluşmamalıdır

c) Isı yalıtımı: Ateşin diğer tarafındaki yüzde, ortalama sıcaklık, başlangıç sıcaklığına göre 140 °C'dan az yükselmeli ve bu yüzde en çok ısınan noktanın sıcaklığı ≤ 180 °C olmalıdır

d) Yanıcı gaz çıkarma: Ateşle temasta olmayan yüzde yanıcı gaz intişarı olmamalıdır. Eğer bu yüze bir alev tutulduğunda çıkan gazlar tutuşur ve alev geri çekildikten sonra 20 saniyeden daha uzun bir sürede kendiliklerinden sönmezlerse bu koşulun sağlanmadığı saptanır.

2.2. Malzemelerin Yüksek Sıcaklıklardaki Özellikleri

Bir taşıyıcı sistemin ya da elemanın yangın süresindeki mukavemeti ve şekil değiştirmeleri malzemenin ısısız ve mekanik özelliklerine bağlıdır Genelde, bu özellikler de sıcaklığa bağlı olarak değişirler.

Yangında ısı, yanmakta olan bölgeden çevresine konveksiyon ve ışınlama ile iletilir. Bu ısının bir bölümü malzeme tarafından yansıtılırken bir bölümü de emilir Emilen ısı malzemenin içine ulaşır ve sıcaklık yükselmesine neden olur. Bu konunun analizinde iki özellik etkin rol oynar: (K) ısı iletkenlik sayısı ve (Y) kütleli yoğunluğu ile (c) ısı özgül katsayısının çarpımı olan (Yc) ısısız sığa. Isı iletişimine ilişkin sorunlarda bu iki özellik ayrı ayrı etkin olabildikleri gibi birlikte de etkili olabilirler ve bu durumda ($a = K/Yc$) bağıntısıyla tanımlanan ısı yayılma katsayısı

olarak adlandırılırlar. Isı problemlerinde malzemenin ısı emme oranları da etkin olmakla birlikte, pratikte güvenlik tarafında kalan yaklaşımla, bu özellik ihmal edilebilir

Malzemenin şekil değiştirme durumunu etkileyen bir diğer ısıya ilişkin özelliği de, α ısısızal genleşme katsayısıdır.

a) Isı İletkenlik Katsayısı (K)

Bir malzemenin (K) ısı iletkenlik katsayısı, (d) kalınlıklı ve (A) alanlı bir hacminin, (θ_1) sıcaklığındaki yüzünden (θ_0) sıcaklığındaki diğer yüzüne, birim zamanda iletilen (Q) ısı miktarı olarak tanımlanabilir.

$$\frac{Q}{t} = KA \frac{\theta_1 - \theta_0}{d} \quad (2.1)$$

$$K = \frac{Q}{t} \cdot \frac{d}{A(\theta_1 - \theta_0)} \quad (2.2)$$

Katsayıda birim olarak (kcal/mh⁰C) veya (W/m⁰C) genellikle kullanılır*. Isı iletkenlik katsayısı, gerçekte sabit olmayıp sıcaklığa bağılı olarak değişir. Bazı yalıtım malzemeleri için, yoğunluklarına da bağılı olan ısı iletkenlik katsayılarının ortalama değerleri bir tabloda verilmiştir.

b) Isısızal Sığa (Yc)

Bir malzemenin ısısızal sığası, birim kütesinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli ısı miktarı olarak tanımlanır. Katı malzemelerde

* 1 W=1.165 kcal/h

sabit hacim veya sabit basınç altında ölçülen ısısal sığalar pek fark göstermezler.

Bileşenlerinden (γ) yoğunluğunun birimi (kg/m^3), (c) ısı özgül katsayısının genellikle ($\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$) veya ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$) alınan ısısal sığanın birimi olarak ($\text{kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$) veya ($\text{J/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$) verilebilir.

c) Isı Yayılma Katsayısı (a)

Isı yayılma veya nüfuz katsayısı, ısı iletkenlik katsayısının ısısal sığaya oranı olarak tanımlanır.

$$a = \frac{K}{\gamma c} \quad (2.3)$$

Yüzey sıcaklığının malzemenin içine ısı iletişimini belirler Birimi genelde (mm^2/s) alınır.

Malzeme	γ Yoğunluk	K Isı iletkenlik katsayısı	c Isı özgül katsayısı	Nem muhtevası (ağırlıkça)	
	kg/m^3	$\text{W/m}^\circ\text{C}$	$\text{J/kg } ^\circ\text{C}$	%	
Püskürtülmüş asbest vb.	250-350	0,10		1	
Perlit veya Vermikülit levha	300-800	0,15	1100	1,5	
Asbest silikat tabaka	800	0,15	1100	5	
Lifli silikat tabaka	450-900	0,15	1100	4	
Alçı levha	800	0,20	1700	20	
Mineral yün tabaka (bağlaçlı)	120-150	0,25	1100	2	
Boşluklu beton	600	0,30	1200	2,5	
(gaz beton dahil)	1000	0,45	1200	2,5	
	1300	0,65	1200	2,5	
Hafif beton	1600	0,80	1200	2,5	
Tuğla, briket	2000	1,20	1200	2,5	
Olağan beton	amorf agregata	2200	1,30	1200	1,5
	kristal agregata (kuartz vb)	2200	1,70	1200	1,5
Siva (çeşitli)	1300-1900	0,50-0,90	1100	10-20	

Tablo 2.1. Bazı Yalıtım Malzemelerinin Isıya İlişkin Özelliklerinin Yaklaşık Ortalama Değerleri [1]

2.3. Çeliğin Yüksek Sıcaklıklardaki Özellikleri

Bu bölümde sözü edilecek özellikler, üzerinde yeterince deney yapılmış bulunan Ç.32; Ç.37; Ç.44;Ç.52 çeliklerinde güvenle kullanılabilir. Diğer çeliklere eksterpolasyon uygulanabilir.

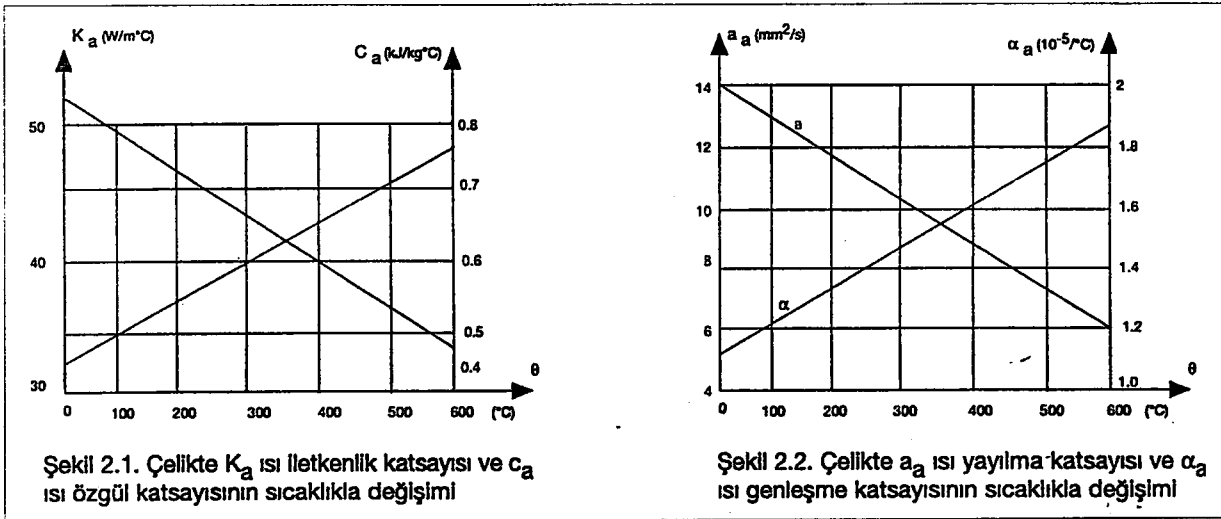
Yapısal çelik için, "a" indisi, kompozit (karma) yapılardaki donatı için ise "s" indisi kullanılmaktadır. Fakat kompozit yapılardaki donatı konusuna girilmeyecektir.

2.3.1. Yoğunluk

Çeliğin γ_a yoğunluğunun sıcaklıkla değişmediği ve 7850 kg/m^3 değerinde sabit kaldığı kabul edilir.

2.3.2. Isısal Özellikler

Çeliğin ısıyla ilişkin fiziksel özellikleri bir çelik cinsinden bir diğerine önemli farklar göstermemektedir. Bu nedenle, bu özellikler için tek bir başvurma diyagramı benimsenebilir (Şekil 2.1), (Şekil 2.2).



Ancak pratik amaçlarla, hesaplarda sabit değerlerin kullanılması da mümkündür.

$$\begin{aligned} K_a &\cong 45 \text{ W/m}^\circ\text{C} \\ \alpha_a &\cong 1,4 \times 10^{-5} \\ c_a &\cong 600 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (2.4)$$

kullanılabilir. Daha kesin bir hesap için ise

$$\begin{aligned} K_a &= 54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a & 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 800^\circ\text{C} \\ K_a &= 27,3 & 800^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \alpha_a &= -2,416 \times 10^{-4} + 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 & 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 750^\circ\text{C} \\ \alpha_a &= 11 \times 10^{-3} & 750^\circ\text{C} < \theta_a \leq 860^\circ\text{C} \\ \alpha_a &= -6,2 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-5} \theta_a & 860^\circ\text{C} < \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \\ c_a &= 425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3 & 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600^\circ\text{C} \\ c_a &= 666 - [13002 / (\theta_a - 738)] & 600^\circ\text{C} < \theta_a \leq 735^\circ\text{C} \\ c_a &= 545 + [17820 / (\theta_a - 731)] & 735^\circ\text{C} < \theta_a \leq 900^\circ\text{C} \\ c_a &= 650 & 900^\circ\text{C} < \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (2.6)$$

bağıntıları verilmektedir

2.3.3. Mekanik Özellikler

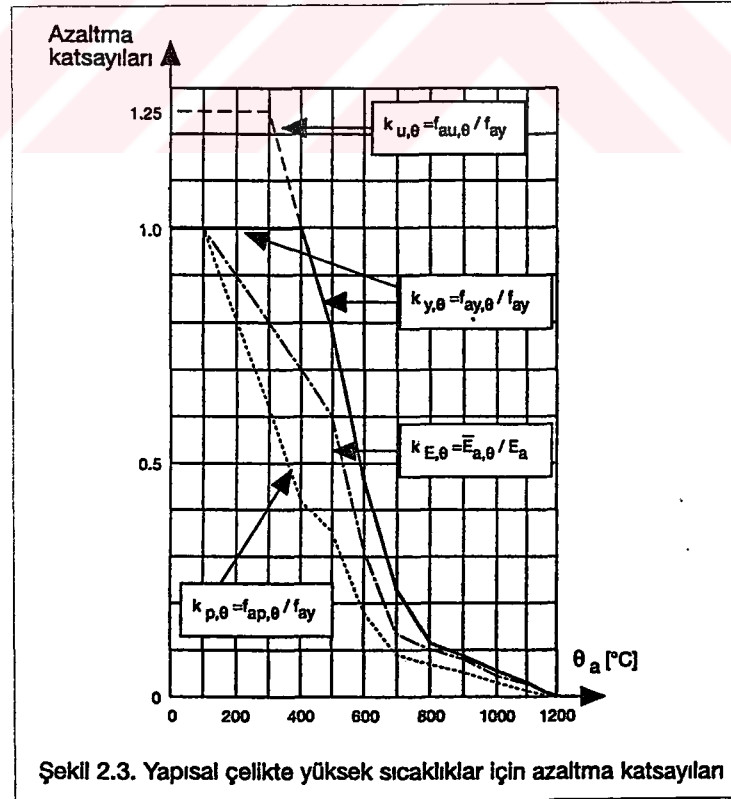
Sıcaklığın çeliğın akma sınırı ve elastiklik modülü gibi, mukavemetine birinci derecede etkili mekanik özelliklerine etkisi, yaklaşık 100°C sıcaklıktan itibaren göze çarpar. Çeliğın gerilme-şekil değiştirme diyagramının sıcaklıkla değişimi ise %2 uzamaya kadar bir diğer şekil

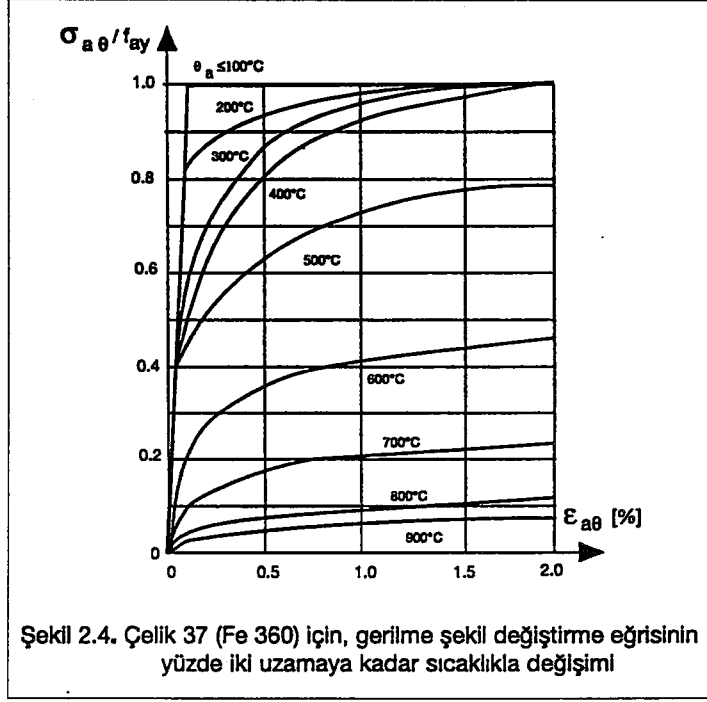
(Şekil 2.4) üzerinde izlenebilir. Bu son şekil çeliğin yangındaki davranışlarının nedenlerini açıkca ortaya koymaktadır.

Tablo 2.2. Yapısal çelik için yüksek sıcaklıklarda azaltma katsayıları[1]

Çelik Sıcaklığı θ_a [°C]	$k_{E,\theta} = \frac{\bar{E}_{a,\theta}}{E_a}$	$k_{p,\theta} = \frac{f_{ap,\theta}}{f_{ay}}$	$k_{y,\theta} = \frac{f_{ay,\theta}}{f_{ay}}$	$k_{u,\theta} = \frac{f_{au,\theta}}{f_{ay}}$
20	1,00	1,00	1,00	1,25
100	1,00	1,00	1,00	1,25
200	0,90	0,807	1,00	1,25
300	0,80	0,613	1,00	1,25
400	0,70	0,42		1,00
500	0,60	0,36		0,78
600	0,31	0,18		0,47
700	0,13	0,075		0,23
800	0,09	0,05		0,11
900	0,0675	0,0375		0,06
1000	0,045	0,025		0,04
1100	0,0225	0,0125		0,02
1200	0,00	0,00		0,00

(Tablo 2.2)'nin bir şekilde de gösterilmesi mümkündür.(Şekil 2.3).

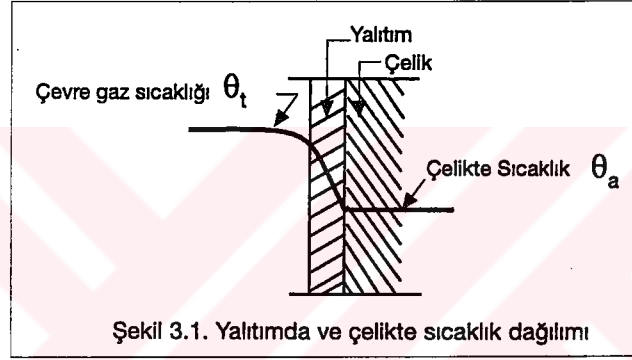




3. YANGINDA ÇELİKTEKİ SICAKLIĞIN ARTIŞI

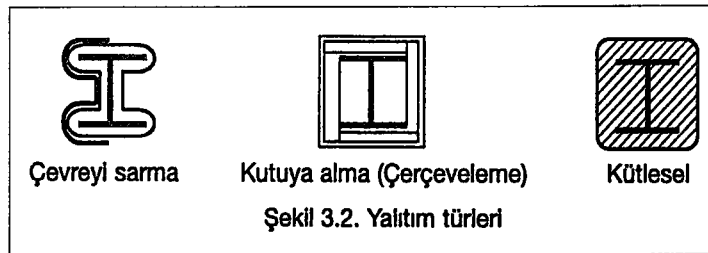
Yangın ortamında, çelik elemanı çevreleyen kızgın gazların sıcaklığının arttığı kabul edilecektir.

Çeliğin ısı iletimine direnç göstermediği, dolayısıyla çelik elemanın her noktasında sıcaklığın aynı olduğu, güvenlik tarafında kalan bir yaklaşımla kabul edilir. Aynı şekilde, çelik elemanın üstündeki ısı yalıtım malzemesinin ısısal sığasının da ihmal edilebilir mertebede olduğu ve yangına açık yüzü ile çelikle temastaki iç yüzü arasındaki sıcaklık değişiminin doğrusal olduğu da, ağır yalıtımlar dışı kabul edilir (Şekil 3.1).



Herhangi bir şekilde sıcaktan korunmamış bir çelik taşıyıcı elemanın yangına dayanım süresi, genelde 30 dakikaya pek ulaşmadığından, koruma çoğu zaman gereklidir Burada, en etkin yangın koruma önleminin erken uyarı sistemleri ve etkin itfaiye birlikleri ve otomatik söndürücüler olduğu söyleyebiliriz. Bu durum sağlanırsa yalıtımın büyük ölçüde azaltılması mümkündür.

Çeliğin sıcaktan korunması genellikle yalıtılmasıyla sağlanır. Yalıtım üç şekilde gerçekleştirilebilir: Çevreyi sarma, kutuya alma (çerçeveleme), kütleli (Şekil 3.2).



3.1. Çelik Elemana Isı Akımı

Yangın ortamından çelik elemanın birim uzunluğuna ısı akımı,

$$\dot{Q} = K' A_U (\theta_t - \theta_a) \quad (3.1)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c + \alpha_r} + \frac{d_i}{K_i}} \quad (3.2)$$

3.1.1. Yalıtımsız elemanlara ısı akımı

Yalıtılmamış çelik elemanlara ısı akımı, (3.1) bağıntısının bir özel hali olarak, (3.2) de $d_i = 0$ alınarak;

$$\dot{Q} = (\alpha_c + \alpha_r) A_U (\theta_t - \theta_a) \quad (3.3)$$

yazılabilir. Deneysel verilerden hareketle

$$\alpha_c = 25 \text{ [W / m}^2 \text{ °C]}$$

ve Stefan-Boltzmann ışınlama yasasına göre

$$\alpha_r = \frac{5,77 \varepsilon_r}{\theta_t - \theta_a} \left[\left(\frac{\theta_t + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_a + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ [W / m}^2 \text{ °C]} \quad (3.4)$$

alınabilir. ε_r , alevler yanma gazları ve yüzeyin yayın bileşkesi olup hesaplarda, güvenli bir biçimde

$$\varepsilon_r = 0.5$$

ortalama değeri kullanılabilir.

3.1.2. Yalıtılmış elemanlara ısı akımı

$1 / (\alpha_c + \alpha_r)$ değeri d_i / K_i oranına kıyasla küçük olduğundan, yalıtılmış elemanlarda,

$$K' = \frac{K_i}{d_i} \quad (3.5)$$

alınabilir. Ancak çok ince yalıtımlarda (3.2) ile verilen gerçek değerin kullanılması tavsiye edilir.

Buna göre, ısı akımı için;

$$\dot{Q} = \frac{K_i}{d_i} A_u (\theta_t - \theta_a) \quad (3.6)$$

basit bağıntısı kullanılabilir.

K_i deneysel olarak belirlenmelidir. Bazı yalıtım malzemelerinin yaklaşık ortalama K ısı iletkenlik katsayıları (Tablo 2.1)'de verilmiştir.

3.2. Çelik Elemanda Sıcaklığın Artışı

Yangın ortamındaki çelik elemanlardaki sıcaklık artışı, ısı akımına bağlı olarak belirlenebilir. Bağıntılar tek boyutlu ısı iletimi kabulüne göre çıkarılmış olup çelik eleman kesitinin A_u / V_a oranıyla karakterize edilen geometrisine de bağlıdırlar.

3.2.1. Yalıtımsız elemanlarda sıcaklık artışı

Yalıtılmamış bir çelik elemanda, Δt zaman aralığı süresince $\Delta\theta_a$ sıcaklık artışı, (3.3) bağıntısından hareketle ve

$$\Delta Q = K' A_u (\theta_t - \theta_a) \Delta t \quad (3.7)$$

ile

$$\Delta Q = c_a \gamma_a V_a \Delta\theta_a \quad (3.8)$$

bağıntılarının eşitlenmesi yoluyla

$$\Delta\theta_a = \frac{\alpha_c + \alpha_r}{\gamma_a c_a} \cdot \frac{A_u}{V_a} (\theta_t - \theta_a) \Delta t \quad (3.9)$$

bağıntısından bulunur. α_c ve α_r , $[W / m^2 \text{ } ^\circ C]$, c_a çelik ısı özgül katsayısı $[J / kg \text{ } ^\circ C]$, γ_a , çelik yoğunluğu $[kg / m^3]$, A_u $[m^2 / m]$, V_a birim boy hacmi $[m^3 / m]$, θ_t , θ_a ve $\Delta\theta_a$ $[^\circ C]$, Δt $[s = \text{saniye}]$ boyutundadır.

A_u yangına maruz yüzey olduğundan, çelik elemanın döşeme veya duvara yapışık yüzleri bu yüzeyden sayılmaz. Aynı şekilde, içi boşluklu çelik elemanlarda, iç yüzeyler A_u hesabına girmezler V_a birim boy hacmi, birim farkı ile A_a çelik enkesit alanına eşittir.

$$V_a = 1 \text{ m} \cdot A_a \quad (3.10)$$

(3.9) bağıntısının sonuç vermesi için Δt zaman artımlarının üst sınırı

$$\Delta t \leq \frac{25000}{\frac{A_u}{V_a}} \quad [s = \text{saniye}] \quad (3.11)$$

seçilmelidir.

$\Delta t=15$ saniye, $\epsilon_r = 0.5$ ve alınarak değişik A_u / V_a kesit oranları için bir tablo hazırlanmıştır. Tabloda bulunmayan A_u / V_a oranları için :

$A_u / V_a < 10 \text{ m}^{-1}$ ise, çelik kesitte eşit sıcaklık yayılımı kabulü gerçeğe çok aykırıdır.

$A_u / V_a > 300 \text{ m}^{-1}$ ise, çelik sıcaklığı gaz sıcaklığına eşit alınabilir.

Tablo 3.1. Yalıtımsız elemanlarda sıcaklık artışı [1]

$\epsilon_r = 0,5$		$A_u / V_a \quad [m^{-1}]$								
t [dak]	θ_t [$^\circ C$]	10	20	30	50	100	150	200	250	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	99	168	230	336	516	610	659	685	699
30	842	218	369	486	635	741	790	818	629	833
45	902	345	554	677	756	880	893	896	898	899
60	945	470	693	758	895	936	940	941	942	943
75	979	580	752	885	960	972	975	976	976	977
90	1006	674	860	966	994	1001	1003	1004	1004	1005
105	1029	732	952	1007	1020	1025	1026	1027	1028	1028
120	1049	771	1007	1034	1041	1046	1047	1048	1048	1048

3.2.2 Ağırlıkça hafif yalıtımlı elemanlarda sıcaklık artışı

Bir yalıtımın ağırlıkça hafif oluşu

$$c_a \gamma_a V_a \geq 2 c_i \gamma_i d_i A_{ui} \quad (3.12)$$

koşulunun sağlanması durumunda söz konusudur. Bu durumda yalıtımın ısısal sığası ısı akımını etkilemez. Bağlantıda A_{ui} , yalıtım malzemesinin çelik elemanın birim boyuna isabet eden iç yüzeyini [m^2 / m] göstermektedir. Bu durumda üç tür yalıtımdan söz edilebilir:


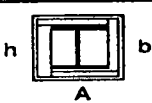
a) Kuru Malzemeler

Bu durumda ısı akımı (3.6) uyarınca olup izleyen yöntemle göre hesap yapılır.

Kuru olarak ağırlıkça hafif yalıtkanla çevrili bir çelik elemanda, Δt zaman aralığı süresince $\Delta \theta_a$ sıcaklık artışı, bağlantısından hareketle;

$$\Delta \theta_a = \frac{K_i}{d_i \gamma_a c_a} \cdot \frac{A_{ui}}{V_a} (\theta_t - \theta_a) \Delta t \quad (3.13)$$

bağlantısından hesaplanır i indisi yalıtkanı, a indisi yapısal çeliği göstermektedir. Birimler (3.9) gibidir. A_{ui} yalıtım iç yüzeyinin ele alınışı bir tabloda örneklenmiştir (Tablo 3.2). V_a , (3.10) uyarınca alınmalıdır.

Sabit kalınlıklı yalıtım		A_{ui} / V_a
	Çevreyi saran	$\frac{\text{Çevre}}{A_a}$
	Boşluklu kutu	$\frac{2(b+h)}{A_a}$
	Çevreyi saran üstün korunmuş	$\frac{\text{Yangına açık çevre}}{A_a}$

Tablo 3.2. Yalıtılmış çelik elemanlarda A_{ui}/V_a kesit faktörüne örnekler [1]

Tablo 3.3. Ağrılıkca hafif kuru yalıtımlı elemanlarda θ_a sıcaklık artışı [1]

(a)

$d_i / K_i = 0,01$		A_{ui} / V_a										
t dak	θ_t °C	10	20	30	50	100	150	200	250	300	350	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	71	117	159	233	375	473	540	586	619	643	660
30	842	142	241	324	453	633	711	735	747	767	785	799
45	902	217	361	470	613	738	805	854	875	884	889	891
60	945	291	469	587	717	842	909	926	932	935	937	938
75	979	361	560	677	759	929	959	966	969	971	972	973
90	1006	427	635	731	848	977	992	996	998	1000	1001	1001
105	1029	488	697	761	926	1009	1017	1021	1022	1024	1025	1025
120	1049	544	732	829	980	1033	1039	1042	1043	1044	1045	1046

(b)

$d_i / K_i = 0,05$		A_{ui} / V_a										
t dak	θ_t °C	10	20	30	50	100	150	200	250	300	350	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	42	62	81	117	196	261	317	364	405	440	470
30	842	71	116	157	229	369	469	540	593	633	664	688
45	902	101	170	230	331	506	611	678	718	735	744	763
60	945	132	223	300	422	609	706	738	769	813	849	874
75	979	163	274	365	501	688	743	806	867	905	928	941
90	1006	194	323	424	568	732	808	892	938	962	974	981
105	1029	224	369	479	626	759	884	953	984	998	1006	1010
120	1049	253	413	528	675	818	945	995	1016	1025	1030	1033

(c)

$d_i / K_i = 0,10$		A_{ui} / V_a										
t dak	θ_t °C	10	20	30	50	100	150	200	250	300	350	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	33	45	56	79	130	175	215	252	285	315	342
30	842	49	77	102	149	249	329	394	449	494	532	564
45	902	67	110	149	218	355	455	530	587	631	666	694
60	945	86	143	194	283	447	555	630	684	719	734	744
75	979	105	176	238	343	525	634	704	734	752	787	824
90	1006	123	208	281	399	590	697	737	773	827	872	906
105	1029	142	239	321	451	646	732	775	846	901	938	962
120	1049	160	270	360	498	693	752	839	912	957	984	1001

(d)

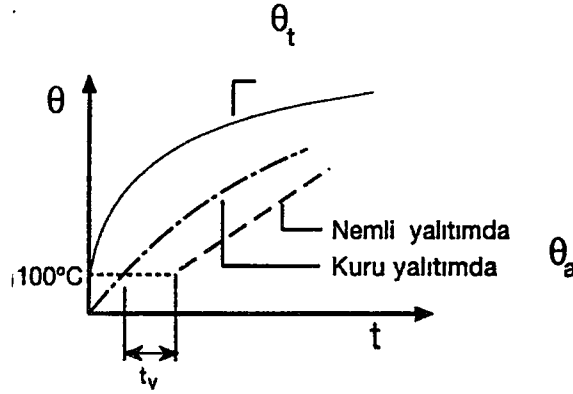
$d_i / K_i = 0,2$		A_{ui} / V_a										
t dak	θ_t °C	10	20	30	50	100	150	200	250	300	350	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	27	36	40	53	83	111	137	162	184	206	227
30	842	36	51	66	94	157	211	260	303	342	377	408
45	902	46	70	93	136	227	304	368	422	469	508	543
60	945	56	90	121	177	294	386	460	519	568	608	641
75	979	67	109	148	217	355	459	537	597	645	683	711
90	1006	78	128	174	255	411	522	602	662	705	730	739
105	1029	88	147	200	292	463	577	657	711	735	752	784
120	1049	99	166	226	328	510	625	702	735	759	804	850

(e)

$d_i / K_i = 0,3$		A_{ui} / V_a										
t dak	θ_t °C	10	20	30	50	100	150	200	250	300	350	400
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	25	29	34	43	65	85	104	122	140	157	173
30	842	31	42	52	72	118	160	197	232	264	293	321
45	902	38	55	71	102	171	231	284	330	372	410	443
60	945	45	69	91	132	222	298	362	417	464	505	541
75	979	52	82	111	162	271	359	432	491	541	583	618
90	1006	60	96	130	191	317	416	493	555	606	647	681
105	1029	67	110	149	220	361	467	548	611	660	699	724
120	1049	75	124	169	247	402	514	596	658	704	731	741

b) Nemli malzemeler

Yalıtım malzemeleri çoğunlukla su ihtiva ederler ve nemli malzeme olarak adlandırılırlar. Gözeneklerdeki serbest su 100°C yöresinde buharlaşır. Suyun buharlaşması ısıyı büyük ölçüde harcadığından bu sıcaklıkta çelik elemana ısı akımı yavaşlar (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Nemli malzemede t_v ek zamanı [1]

Kristalleşme suyu içeren sıva ve benzeri malzemelerde durum daha karmaşıktır ve 100°C'den daha yüksek sıcaklık derecelerinde de nemin etkisine benzer durumlarla karşılaşılabilir.

Nemli malzemede sıcaklık artışı hesabı, nemin getirdiği t_v gecikmesi gözönüne alınarak (3.13) uyarınca yapılabilir. p ağırlıkça yüzde nem (Tablo 2.1), $\gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ alınacak su yoğunluğu olmak üzere gecikme hesabında

$$t_v \cong 200 \frac{p \cdot \gamma_i \cdot d_i^2}{K_i \cdot \gamma_w} = \frac{p \cdot \gamma_i \cdot d_i^2}{5 K_i} \quad (3.14)$$

bağıntısı kullanılabilir. Bağıntı t_v gecikmesini dakika biriminde vermekte olup buharlaşma için gerekli ısı miktarına dayanmaktadır.

Örnek verecek olursak ağırlıkça %10 nem ihtiva eden $K_i=0.20 \text{ W/m}^0\text{C}$ iletkenlik katsayılı ve $\gamma_i=500 \text{ kg/m}^3$ yoğunluklu bir yalıtım malzemesinin $d_i= 0.02$ ve 0.06 m. kalınlıkla ne kadar bir gecikme sağlayabileceğini belirleyelim.

$d_i = 0,02 \text{ m}$ için:

$$(3.14) \quad t_v = \frac{10 \times 500 \times (0.02)^2}{5 \times 0,2} = 2 \text{ dakika}$$

$d_i = 0,06 \text{ m}$ için:

$$(3.14) \quad t_v = \frac{10 \times 500 \times (0.06)^2}{5 \times 0,2} = 18 \text{ dakika}$$

bulunur

c) Sıcakta şişen yalıtkanlar

Bu tür yalıtkanlar, bir boya gibi sürülür veya püskürtülürler Sıcakta şişerek hava kesecikleri oluşturur ve yalıtımı bu şekilde sağlarlar $0,25$ ila $2,5 \text{ mm}$ kalınlığında solventli ,ince tipleri ve 4 ila 16mm kalınlığında epoksi reçinesi esaslı kalın tipleri mevcuttur

3.2.3. Ağır yalıtımlı elemanlarda sıcaklık artışı

(3.12) koşulunun sağlanmaması durumunda ağır yalıtım söz konusudur. Bu durumda, yalıtımın ısı sığası ihmal edilip hesap yapılırsa, aşırı güvenli ve ekonomiden uzaklaşan bir çözüm elde edilir.

Ağır yalıtımlı durumda, Δt zaman aralığı süresince $\Delta\theta_a$ sıcaklık artışı,

$$\xi = \frac{c_i \cdot d_i \cdot p_i}{2 c_a p_a} \cdot \frac{A_{ui}}{V_a} \quad (3.15)$$

bulmak üzere

$$\Delta\theta_a = \frac{K_i}{d_i c_a \gamma_a} \cdot \frac{A_{ui}}{V_a} \cdot \frac{1}{1 + \xi} \cdot (\theta_t - \theta_a) \Delta t - \frac{\Delta\theta_t}{1 + \frac{1}{\xi}} \quad (3.16)$$

bağıntısıyla hesap edilir. Burada yeni olarak $\Delta\theta_t = \Delta t$ aralığında kızgın gaz sıcaklığındaki artışı göstermektedir.

(3.15) ve (3.16) bağıntılarıyla hesap bir hayli karmaşık işlemlere götürdüğünden, alternatif olarak yaklaşık bir yöntemden söz edilebilir. Yaklaşık yöntemde (3.13) bağıntısı kullanılır; ancak çeliğin $\gamma_a c_a V_a$ terimine $(\gamma_i c_i d_i A_{ui}) / 2$ değeri eklenir.

$$\Delta\theta_a = \frac{K_i}{d_i \left(\gamma_a c_a V_a + \frac{\gamma_i c_i d_i A_{ui}}{2} \right)} \cdot A_{ui} (\theta_t + \theta_a) \Delta t \quad (3.17)$$

veya

$$\Delta\theta_a = \frac{K_i}{d_i \gamma_a c_a} \cdot \left[\frac{\gamma_a c_a}{\gamma_a c_a + \frac{\gamma_i c_i d_i A_{ui}}{2V_a}} \right] \cdot \frac{A_{ui}}{V_a} (\theta_t + \theta_a) \Delta t \quad (3.18)$$

yazılabilir Bu son durumda A_{ui} / V_a terimi köşeli parantezin değeri ile çarpılarak ele alınırsa ağırlıkça hafif yalıtım durumuna dönüşülmüş olur.

50 mm. kalınlıklı ($d_i=0.05m.$) beton yalıtımın bütün yüzeylerden 1 saat yangına maruz kalması sonunda çelik sıcaklığını bulmak istersek;

$$c_i = 1200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$c_a = 520 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \text{ (ortalama değer)}$$

$$\gamma_j = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$K_i = 1,7 \text{ W/m}^\circ\text{C} \text{ (agrega kristal yapılı)}$$

$$A_{ui} / V_a = 100 \text{ 1/m}$$

$$(3.12) \quad c_a \gamma_a = 520 \times 7850 = 4,082 \times 10^6 < 2 c_i \gamma_j d_i \frac{A_{ui}}{V_a} = 2 \times 1200 \times 2200 \times 0,05 \times 100 = 26,4 \times 10^6$$

(ağır yalıtımlı durum)

$$\frac{\gamma_a c_a}{\gamma_a c_a + \frac{\gamma_j c_i d_i A_{ui}}{2V_a}} = \frac{4,082 \times 10^6}{(4,082 + \frac{26,4}{4}) 10^6} = 0,38$$

$$\left(\frac{A_{ui}}{V_a} \right)^* = 0,38 \times 100 = 38$$

$$\frac{d_i}{K_i} = \frac{0,05}{1,7} = 0,03$$

Tablo 3.3 a) $d_i / K_i = 0,01$ için :

A_{ui} / V_a		
30	38	50
$t = 60'$ 587	639	717
494		

Tablo 3.3 b) $d_i / K_i = 0,05$ için : $t = 60'$ | 300 → 349 ← 422 |

$d_i / K_i = 0,03$ için bu iki değer arasında enterpolasyon ile $\theta_a = 494$ °C bulunmaktadır.

Ağır yalıtım etkisi ihmal edilseydi:

$$A_{ui} / V_a = 100 \text{ ile}$$

(Tablo 3.3 - a) $d_i / K_i = 0,01$ için, $t = 60$ dakikada $\theta_a = 842$ °C

$d_i / K_i = 0,03$ için, arada enterpolasyonla : 725,5 °C

(Tablo 3.3 - b) $d_i / K_i = 0,05$ için, $t = 60$ dakikada $\theta_a = 609$ °C

$\theta_a = 725,5$ °C elde edilirdi.

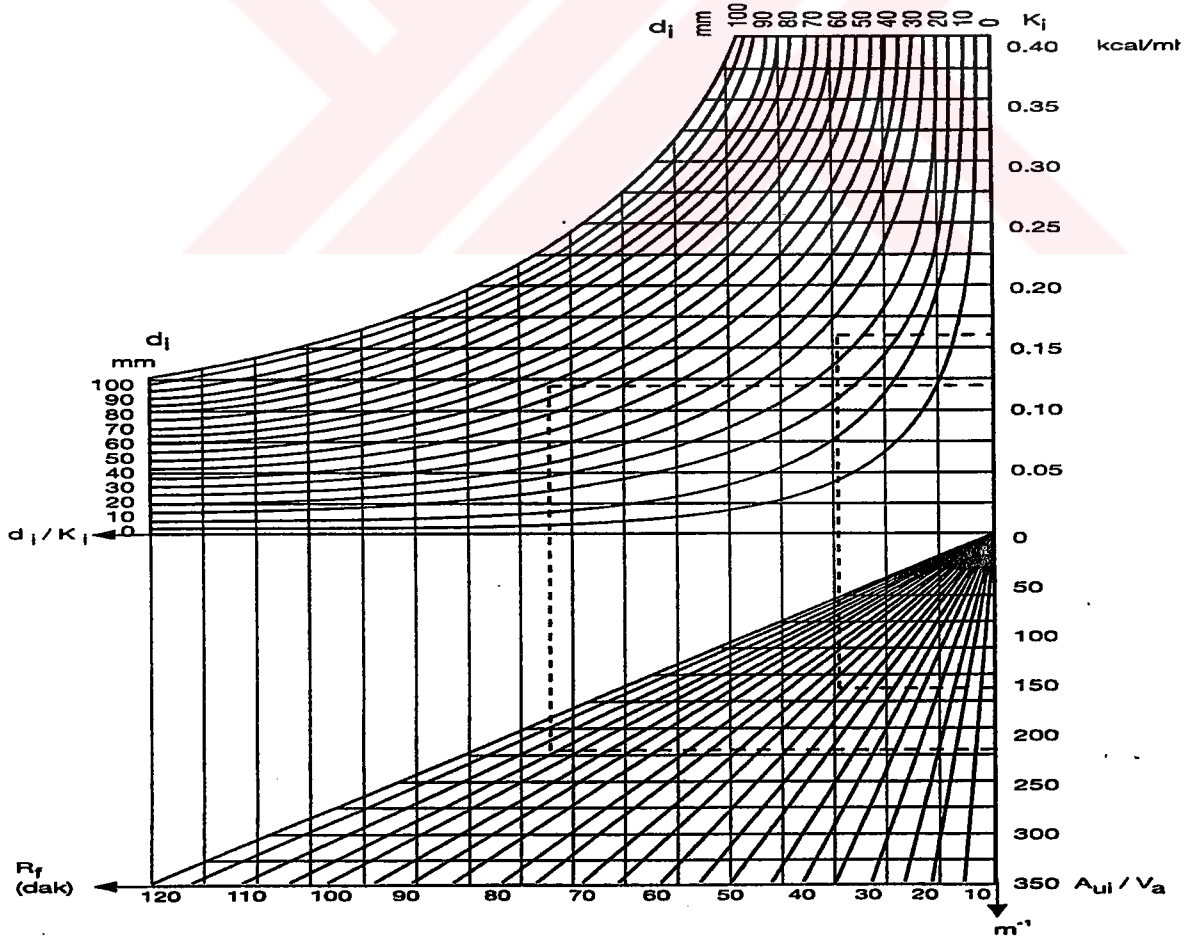
3.4. Yalıtım Kalınlıklarının Abaklar Yardımıyla Önbelirlenmesi

Uygulamada, sonradan üzerinde hesap yürütülecek yalıtım kalınlıklarının önbelirlenmesine yarayan abaklar hazırlanmıştır. Ağırıkça hafif yalıtımlar için, çelikte kritik sıcaklık $\theta_{ak} = 540^{\circ}\text{C}$ kabul edilerek hazırlanmış bulunan abak (Şekil 3.4), R_f dakika olarak istenilen yangın mukavemeti olmak üzere, K_i iletkenlik katsayısı bilinen her yalıtıkana uygulanabilir. Örnek olarak $A_{ui} / V_a = 160 \text{ m}^{-1}$, $R_f = 60$ dakika ve $K_i = 0,16 \text{ kcal / m. saat } ^{\circ}\text{C}$ için gerekli kalınlık $d_i = 23 \text{ mm}$ bulunur.

Yine örnek olarak : $K_i = 0,12 \text{ kcal/m saat } ^{\circ}\text{C}$, $d_i = 50 \text{ mm}$ ve $A_{ui} / V_a = 220 \text{ m}^{-1}$ için $R_f = 104$ dak. tahmin edilebilir. Gerçek θ_{ak} kritik sıcaklığı biliniyorsa (Bölüm 4.4), R_f yerine;

$$R^* f = 540^{\circ}\text{C} / (\theta_{ak} - 20^{\circ}\text{C}) \quad R_f \quad (3.19)$$

alınarak abak kullanımı daha kesin hale getirilebilir.

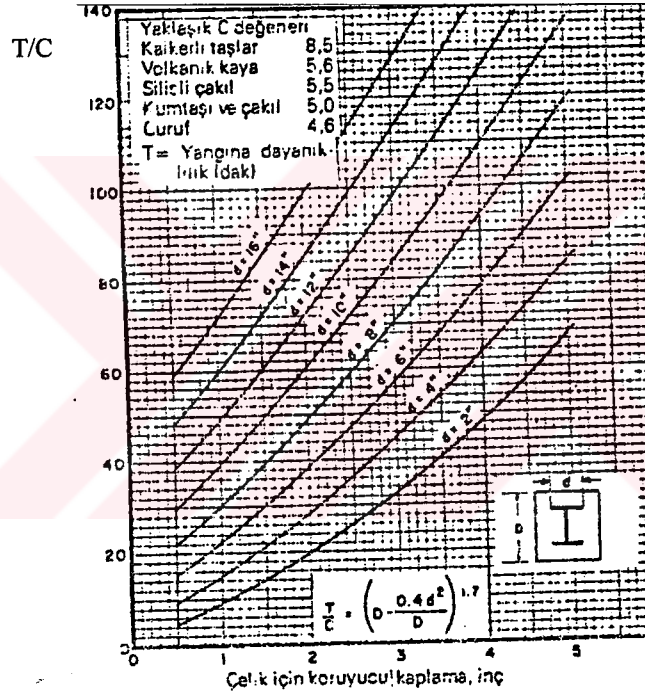


Şekil 3. 4. Ağırıkça hafif yalıtımlar önboyutlama abağı [1]
(Belçika yangın araştırma ulusal komisyonu)
($\theta_{ak} = 540^{\circ}\text{C}$ için hazırlanmıştır.)

3.4. Betonla Çevrili Çelik Sütunların Beton Kaplama Kalınlıklarının Başka Bir Yolla Bulunması

$$R=C(D-a \frac{d^2}{D})^n \quad \text{formülü ile hesaplanır.} \quad (3.20)$$

Bu formülle C, beton bileşimindeki maddelerin özelliklerine bağımlı bir katsayıdır. (Şekil 3.5'de formüldeki terimlerin anlamları ve çeşitli beton tipleri için C değerleri bulunmaktadır.)



Şekil 3.5. Çelik kolonların ve diğer serbest duran çelik elemanlarının kaplanması gereken beton kalınlıkları.[6]

Şekil 3.5 de, çelik sütun ve serbest duran benzeri diğer çelik yapıların yangına karşı dayanıklılığı formüllerinden yola çıkılarak kullanılabilir eğriler haline getirilmiştir. Örneğin 8 inç kalınlığındaki H tipi bir çelik sütunun yangına 6 saat dayanabilmesi istenmektedir. Şekil 3.5 de dikey eksen $T/C = 360/5.2 = 64.3$ dak.olarak belirlenir ve sağa doğru

gidilerek 8 inç eğrisi kesilir. Buradan alt eksene bakılınca gerekli kaplama kalınlığı için $2\frac{3}{4}$ inç değeri elde edilecektir. Benzer şekilde aynı tipten 6 inçlik H sütünün yangına dayanma süresinin 6 saat olması için $3\frac{3}{8}$ inç kalınlığında kaplama ile örtülmesi gerektiği ortaya çıkar.



4.TAŞIYICI SİSTEMİN YÜKSEK SICAKLIKTA DAVRANIŞI VE KRİTİK SICAKLIKLAR

Bir taşıyıcı sistem elemanının, hem şekil değiştirmelerinin belirli sınırlar içinde kalması, hem de verilmiş bir yükü taşıyabilmesi gerekir. Genelde bilinen mukavemet ilke ve kuralları kullanılır.

Ölü ya da sabit yüklere (g) eklenen yararlı ya da hareketli yüklerde (p), deprem durumuna benzer bir azaltma yapılmalıdır*. Rüzgâr ve kar yükleri de azaltılmalıdır. Olağan dışı bir durum olarak kabul edilmesi gereken yangında güvenlik katsayıları da değerce azaltılmalıdır. Eurocode'da çelikte, yangın durumunda, yük arttırma katsayısı 1,0 alınmakla birlikte, akma sınırı her zaman 1,1'e bölüdüğünden, pratikte 1,1 alınmış gibi olur.

Şekil değiştirmelerin önemli sayılmadığı yapı türlerinde elemanter plastik teori basit ve hızlı sonuçlar verir. Hesaplarda, çeliğin yüksek sıcaklıklardaki özellikleri kullanılmalıdır.

4.1. Yüksek Sıcaklıkta Burkulma

Burkulma kontrollerinde, her çelik türü için geçerli boyutsuz, Eurocode 3 burkulma eğrileri kullanılacaktır.

Önce, λ narinlik derecesi, E_a ve fay çeliğin olağan 20⁰C sıcaklıktaki elastiklik modülü ve akma sınırı olmak üzere, geliştirilmiş, $\bar{\lambda}$ narinlik derecesine geçilir

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{cy}}{E_a}} \quad (4.1.)$$

* Eurocode'a göre hareketli yükler yangın durumunda %50 azaltılabilir.

Eurocode 3 burkulma eğrileri, α farklı enkesit tipleri için değişen bir katsayı olmak üzere, fak kritik burkulma gerilmesinin fay akma sınırına X oranını verirler.

$$\varnothing = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (4.2)$$

olmak üzere

$$\chi = \frac{1}{\varnothing + \sqrt{\varnothing^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1 \quad (4.3)$$

Hangi enkesitlerin hangi burkulma eğrisine göre ele alınması gerektiği (Tablo 4.1), α katsayıları (Tablo 4.2) de verilmiştir (4.3) bağıntısı uyarınca hesaplanabilecek X oranları ise (Tablo 4.3) te verilmiştir.

Olağan oda sıcaklığı yerine θ sıcaklığında durum

$$\bar{\lambda}_\theta = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{ay\theta}}{E_{a\theta}}} \quad (4.4)$$

olmak üzere, \varnothing_θ değeri (4.2)'de $\bar{\lambda}$ yerine $\bar{\lambda}_\theta$ alarak ve χ_θ oranı ise (4.3)'de $\bar{\lambda}$ ve \varnothing yerine $\bar{\lambda}_\theta$ ve \varnothing_θ kullanılarak belirlenebilirler.

$\bar{\lambda}_\theta$ ile $\bar{\lambda}$ birbirleriyle

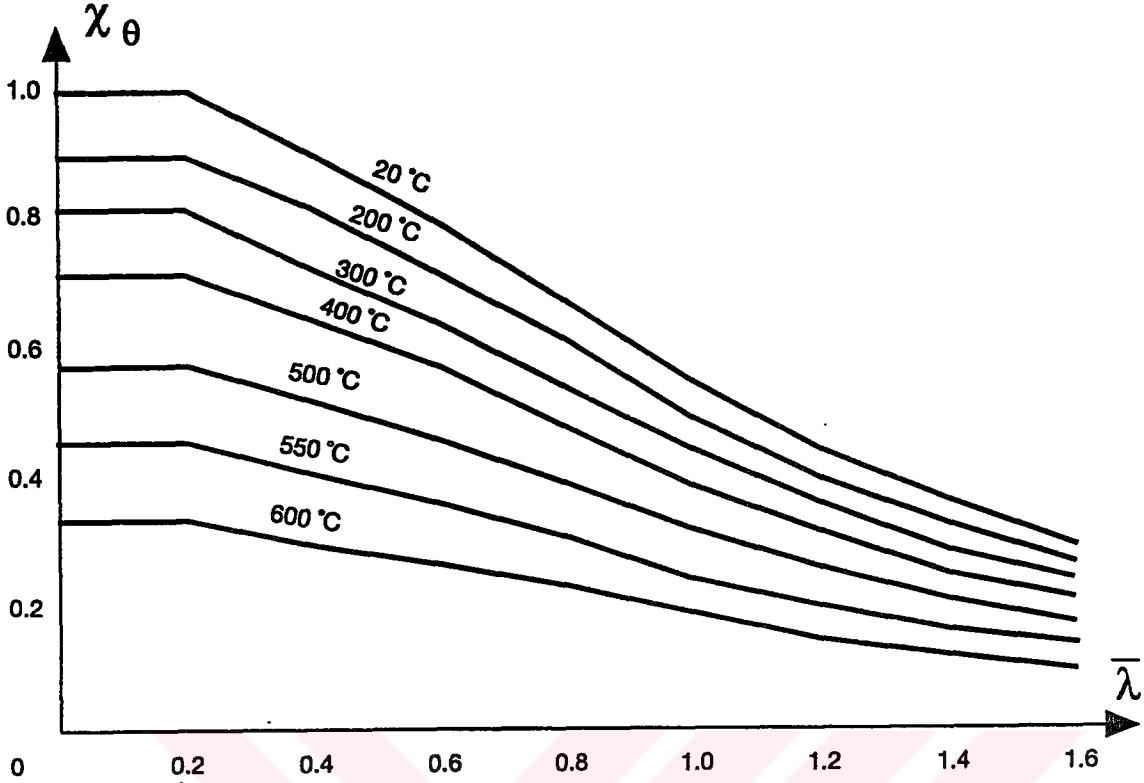
$$\frac{\bar{\lambda}_\theta}{\bar{\lambda}} = \frac{\sqrt{\frac{f_{ay\theta}}{E_{a\theta}}}}{\sqrt{\frac{f_{ay}}{E_a}}} = \sqrt{\frac{\frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}}}{\frac{E_{a\theta}}{E_a}}} \quad (4.5)$$

bağıntısıyla ilişkili olduklarından ve $f_{ay\theta} / f_{ay}$ ile $E_{a\theta} / E_a$ oranları sıcaklık arttıkça pek benzer bir değişme gösterdiklerinden (Şekil 2.3), iyi bir yaklaşıklıkla*

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \quad (4.6)$$

ve buradan,

$$\frac{f_{ak\theta}}{f_{ay\theta}} = \frac{f_{ak}}{f_{ay}} \text{ veya } f_{ak\theta} = f_{ay\theta} \frac{f_{ak}}{f_{ay}} = f_{ay\theta} \cdot \chi \quad (4.7)$$



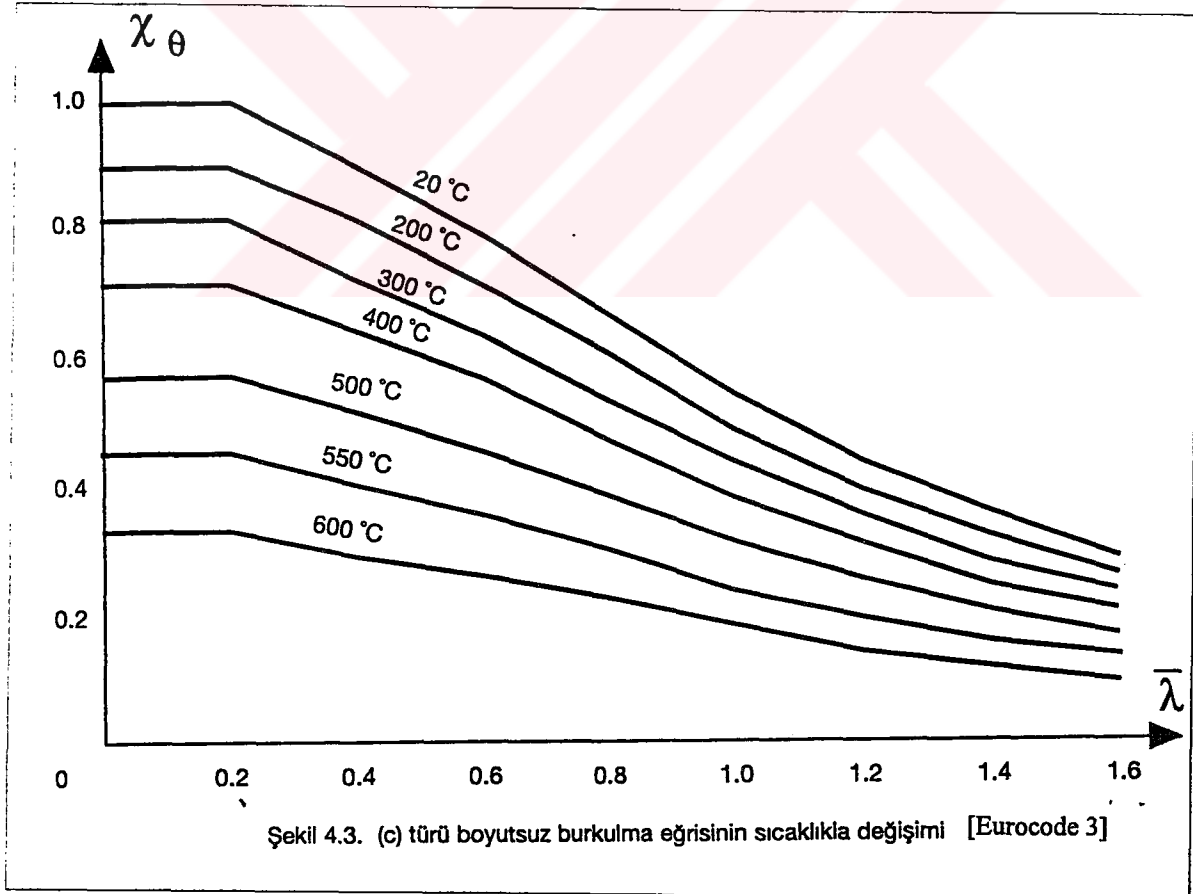
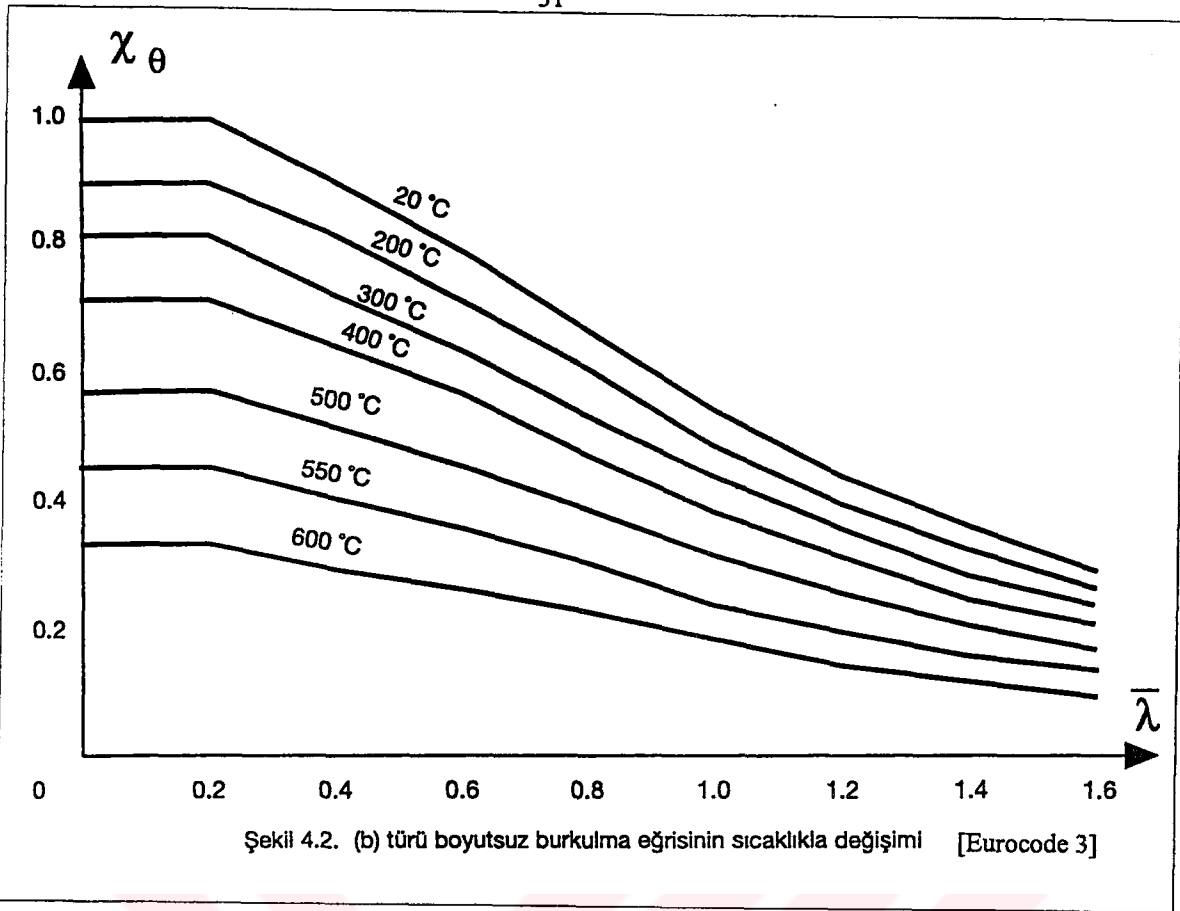
Şekil 4.1. (a) türü boyutsuz burkulma eğrisinin sıcaklıkla değişimi [Eurocode 3]

yazılabilir. Bu durumda kesitle ilgili α değeri kullanılarak ve her iki tarafı f_{ay} ile bölerek

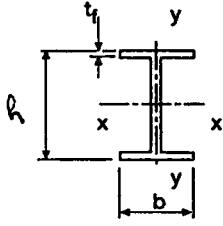
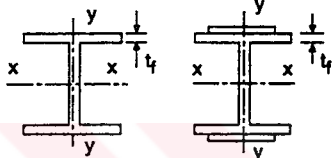

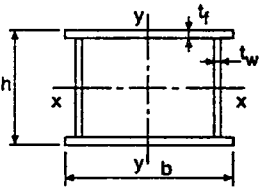
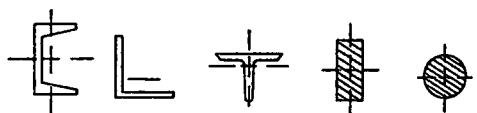
$$\bar{\lambda} \leq 0,2 \text{ için } \chi_{\theta} = \frac{f_{ak\theta}}{f_{ay}} = \frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} \quad (4.8-a)$$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \text{ için } \chi_{\theta} = \frac{f_{ak\theta}}{f_{ay}} = \frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} \cdot \chi \quad (4.8-b)$$

bağıntıları çıkarılır. Bu bağıntılar yardımıyla abaklar çizilmesi de mümkündür (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).



Tablo 4.1. Enkesitlere göre burkulma eğrileri seçimi

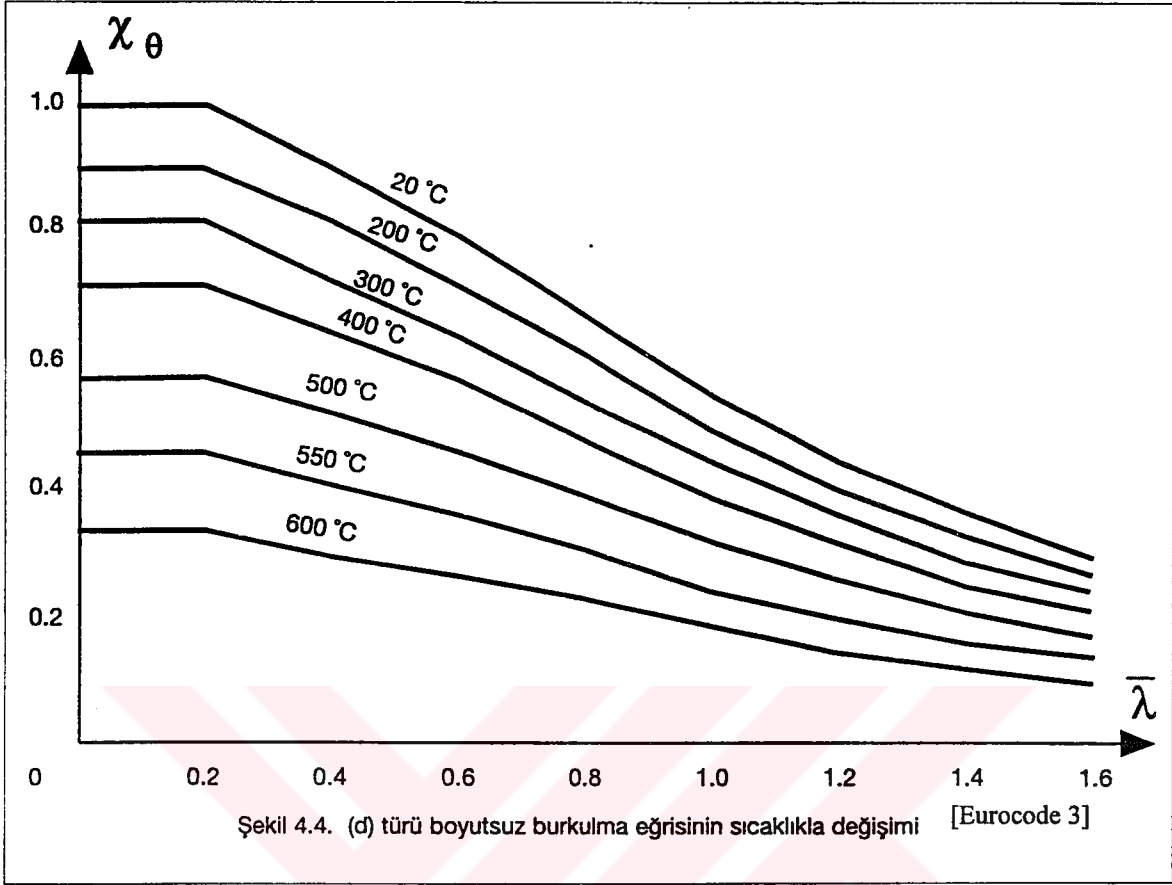
Enkesit	Sınırlar	Burkulma eksenini	Burkulma eğrisi
Haddelenmiş I Kesitler 	$h/b > 1,2:$ $t_f \leq 40\text{mm}$	x - x y - y	a b
	$40\text{mm} < t_f \leq 100\text{mm}$	x - x y - y	b c
	$h/b \leq 1,2:$ $t_f \leq 40\text{mm}$	x - x y - y	b c
$40\text{mm} < t_f \leq 100\text{mm}$	x - x y - y	d d	
Kaynaklı I Kesitler 	$t_f \leq 40\text{mm}$	x - x y - y	b c
$t_f > 40\text{mm}$	x - x y - y	c d	
İçi boş kesitler 	Sıcakta çekilmiş	hepsi	a
	Soğukta şekil verilmiş	hepsi	b
Kaynaklı kutu kesitler 	Aşağısı hariç genelde	hepsi	b
	kalın kaynaklar ve $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	x - x y - y	c c
U, L, T ve dolu kesitler 		hepsi	c

Tablo 4.2. α kusurluluk katsayıları

Burkulma eğrisi	a	b	c	d
α katsayısı	0,21	0,34	0,49	0,76

Tablo 4.3. χ azaltma oranları

$\bar{\lambda}$	Burkulma eğrisi			
	a	b	c	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882



4.2. Birleşimler

Birleşimlerin yalıtımı en az elemanların yalıtım kalınlığında yapılmalıdır. Bu durumda birleşimlerin ayrıca kontrolü gerekmez.

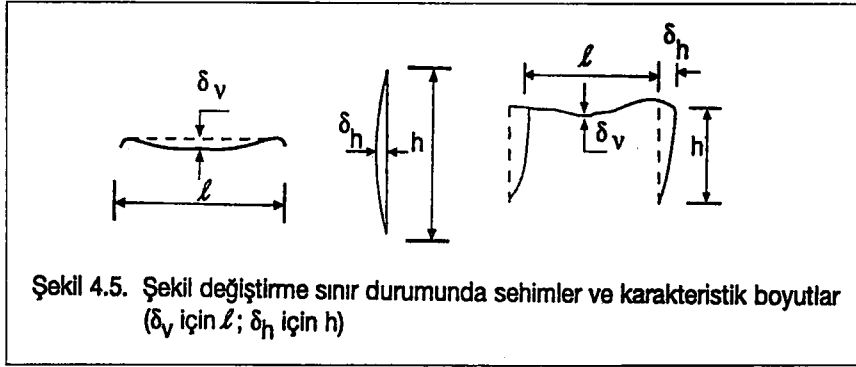
4.3. Sınır Durumlar

Tanım olarak, taşıyıcı sistem veya onun bir elemanı görevini tam olarak yerine getiremediğinde bir sınır duruma ulaşılır.

Göçme sınır durumuna, taşıyıcı sistem veya onun bir elemanının taşıma gücü, yangın koşullarında üzerine etki yapan yükün düzeyine indiğinde erişilir.

Şekil değiştirme sınır durumuna, Eurocode uyarınca, sehim değeri elemanın karakteristik boyutunun (Tablo 4.4)'de verilen kesrini aştığında erişildiği kabul edilir (Şekil 4.5), (Tablo 4.4).

Yangında, istisnai değerler kullanılacaklardır.



Tablo 4.4. Yangında Şekil-değiştirme Sınır Değerleri

Yer	Istisnai δ (Yangında)	Olağan δ
Genelde çatılar	$l / 200$	$l / 250$
Sıkça üstüne çıkılan çatılar	$l / 250$	$l / 300$
Genelde döşemeler	$l / 250$	$l / 300$
Elastik olmayan bölme/tesisat taşıyan döşemeler	$l / 250$	$l / 350$
Konsol kirişler	$l / 125$	$l / 125$
Kolonlar	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> $\left\{ \begin{array}{l} \text{Çok katlı binalar} \\ \text{Tek katlı binalar} \end{array} \right.$ </div> <div style="margin-right: 10px;"> $\left\{ \begin{array}{l} \text{Krensiz} \\ \text{Krenli} \end{array} \right.$ </div> <div> $h_i / 300$ ve $h / 150$ $h / 300$ </div> </div>	$\Sigma h_i / 500$

4.4. Kritik Sıcaklık

Yük taşıyan bir çelik eleman ya da sistemin kritik sıcaklığı, göçme sınır durumuna götüren sıcaklıktır.

4.4.1. Kirişlerin kritik sıcaklığı

Eğer kirişlerin olağan sıcaklıktaki hesapları elastik teoriye göre yapılmışsa, göçme sınır durumu

$$\frac{f_{ay}\theta}{f_{ay}} = \frac{1}{\psi} \cdot \frac{W_e}{W_p} \cdot \frac{kq^*}{qe}$$

ile, plastik teoriye göre hesaplanmışsa,

$$\frac{f_{ay}\theta}{f_{ay}} = \frac{kq^*}{q_p} \gamma_p$$

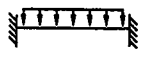
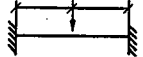
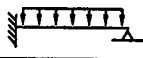
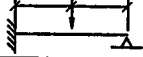
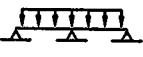
ile verilir. Bu orandan (Şekil 2.3) ile kritik sıcaklığa geçilir. Bağlıntılar sıcaklığın çelik eleman boyunca eşit dağıldığı kabulüne göredir.

Tablo 4.5. Kirişler için k yük katsayısı

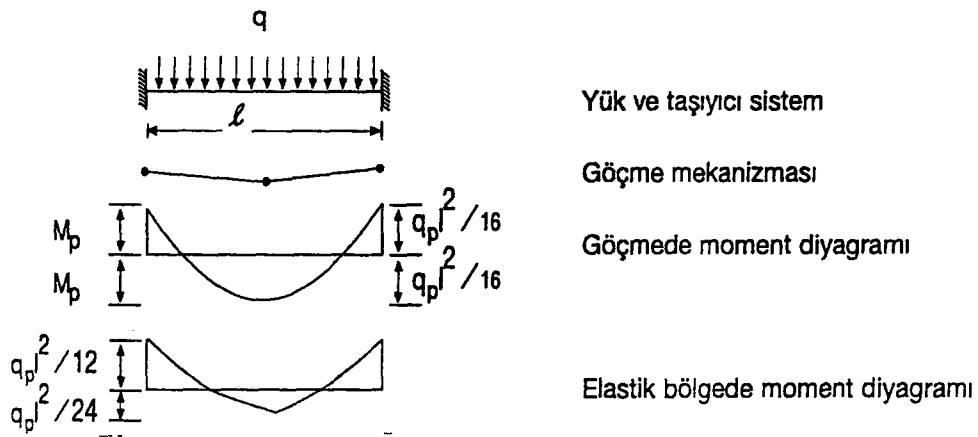
	$\frac{q^*}{q_e}$ veya $\frac{q^*}{q_p}$									
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00	
İzostatik kiriş	0,80	0,83	0,85	0,88	0,90	0,93	0,95	0,98	1,00	
1. ci derece hiperstatik kiriş	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	
Birden çok derecede hiperstatik kiriş	0,40	0,48	0,55	0,63	0,70	0,78	0,85	0,93	1,00	

Bazı ülke yönetmeliklerinde, kritik sıcaklık için aşılmaması gereken bir üst sınır konulmuştur. $\theta_{ak} \leq 550^\circ\text{C}$ gibi

Tablo 4.6. Elastik hesaplanan hiperstatik kirişler için ψ katsayıları [Eurocode]

Taşıyıcı Sistem	ψ
	1,33
	1,0
	1,47
	1,12
	1,47

Örnek olarak; her iki ucundan ankastre, düzgün yayılı yüklü kirişte olağan sıcaklıkta elastik yada plastik yöntemle hesap yapılmış olduğuna göre kritik sıcaklığı hesaplayalım. ($q=2.5 \text{ t/m}; l=6 \text{ m.};$ kesit şekli I; Ç.37 $\rightarrow f_{ay}=2.4 \text{ t/cm}^2$)



a) Olağan sıcaklıkta (20°C) elastik hesap yapılıyorsa:

$$M = \frac{q l^2}{12} = \frac{2,5 \times 6^2}{12} = 7,5 \text{ tm}$$

$$I 280 \rightarrow W_e = 542 \text{ cm}^3; S_x = 316 \text{ cm}^3 \text{ seçimi ile}$$

$$\sigma_a = \frac{750}{542} = 1,384 \text{ t / cm}^2 < 1,44 = \sigma_{a,emn}$$

$$\frac{q_e l^2}{12} = W_e f_{ay} \rightarrow q_e = \frac{542 \times 2,4}{\frac{600^2}{12}} = 0,04336 \text{ t / cm} = 4,336 \text{ t / m}$$

$$W_p = 2S_x = 2 \times 316 = 632 \text{ cm}^3$$

$$q^* = q \text{ alınır}$$

$$\frac{q^*}{q_e} = \frac{2,5}{4,336} = \frac{1}{1,73} = 0,577$$

(Tablo 4.5) $k = 0,67$

(Tablo 4.6) $\psi = 1,33$

$$(4.9) \quad \frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} = \frac{1}{1,33} \times \frac{542}{632} \times 0,67 \times 0,577 = 0,249$$

(Şekil 2.3) $f_{ay\theta} / f_{ay} = 0,249 \rightarrow \theta_{ak} = 680 \text{ }^\circ\text{C}$

(Yangın durumunda hareketli yükte bir miktar azaltma yapılması da, önceden açıklandığı üzere mümkündür. Bu durumda kritik sıcaklık yükselecektir).

b) Olağan sıcaklıkta plastik yöntemle hesap yapılıyorsa:

$$\text{Ağırlıklı } \bar{q} = 1,7 \times 2,5 = 4,25 \text{ t / m}$$

$$I 240 \longrightarrow S_x = 206 \text{ cm}^3 \longrightarrow W_p = 412 \text{ cm}^3 \text{ seçimi ile}$$

$$\frac{q_p \ell^2}{16} = W_p f_{ay} \longrightarrow q_p = \frac{412 \times 2,4}{\frac{600^2}{16}} = 0,04395 \text{ t / cm} = 4,395 \text{ t / m}$$

$$\bar{q} < q_p \quad (\checkmark)$$

$$q^* = \bar{q} \text{ alınır}$$

(Tablo 4.5)

$$\frac{q^*}{q_p} = \frac{4,25}{4,395} = 0,967 \longrightarrow k = 0,98$$

(4.10)

$$\frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} = 0,98 \times 0,967 \times 1,174 = 1,113 > 1$$

(Şekil 2.3)

$$f_{ay\theta} / f_{ay} = 1,000 \longrightarrow \theta_{ak} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$$

Yangın için 1,1 güvenlik katsayısı kullanılırsa

$$q^* = 1,1 \bar{q} = 1,1 \times 2,5 = 2,75 \text{ t/m olur.}$$

Bu durumda

$$\frac{q^*}{q_p} = \frac{2,750}{4,395} = 0,626 \longrightarrow \text{(Tablo: 4.5)} \quad k = 0,72$$

(4.10)

$$\frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} = 0,72 \times 0,626 \times 1,174 = 0,529$$

(Şekil 2.3)

$$f_{ay\theta} / f_{ay} = 0,529 \longrightarrow \theta_{ak} \cong 575 \text{ }^\circ\text{C}$$

4.4.2. Kolonların kritik sıcaklığı

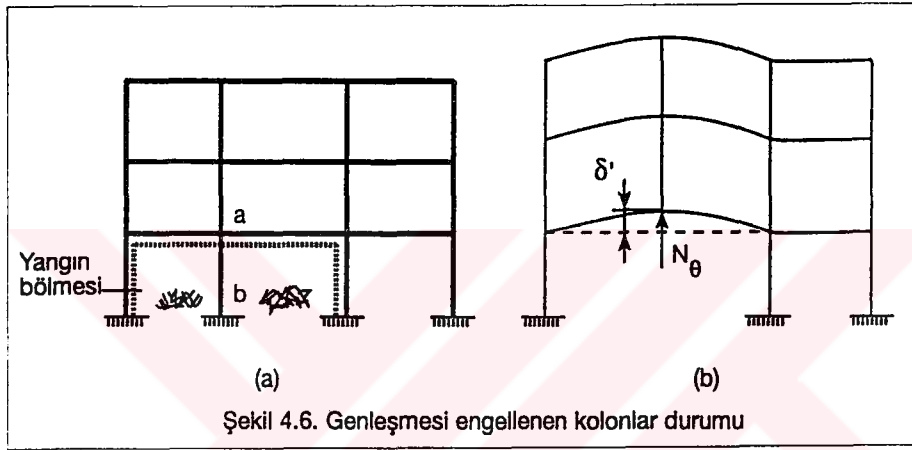
Kolonlarda burkulma sınır durumu

$$\gamma N^* = \chi_\theta f_{ay} A_a \quad (4.11)$$

$$\chi_\theta = \frac{\gamma N^*}{f_{ay} A_a} \quad (4.12)$$

oranı elde edilir. Bu orandan ve $\bar{\lambda}$ narinliğinden hareketle (Şekil 4.1 ile 4.4) kullanılarak kritik sıcaklık belirlenir

Yangında kolona etkiyen N^* normal kuvvetinin hesabında, sıcaklık artışı nedeniyle ortaya çıkan kolon boy uzaması yapı rijidliği ile engelleniyorsa, engellemeden oluşan ilave N_θ normal kuvveti gözönüne alınmalıdır. Bir yangın bölmesi ile yapının diğer kısımlarından sıcaklıkça ayrı kalmış bir a-b kolonu



$$\delta_\theta = \alpha_s \theta \ell$$

kadar uzamak isteyecektir. a-b kolonunun üstünde kalan bina bölümü bu δ_θ uzamasına izin vermeyecek kadar rijitse engellemeden dolayı Aa enkesitli kolonda N_θ değerinde bir engelleme ek normal kuvveti oluşur.

$$N_\theta = \frac{\delta_\theta}{\ell} E a A a \quad (4.14)$$

Bina üst bölümü az katlı ve kirişler aşırı rijid değilse N_θ kuvvetinden dolayı bir δ' şekil değiştirmesi yapar (Şekil 4.6-b) ve kısıtlanan uzama δ_θ - δ' değerine düşer. Bu durumda N_θ ardışık yaklaşımlarla bulunur.

Örnek olarak; $N^* = 60t$ ve $\lambda_{max} = \lambda_x = 100$ için IP200 enkesitli çelik kolonda (Ç.37) kritik sıcaklığı belirleyelim.

$$\text{Ç.37} \longrightarrow f_{ay} = 2,40 \text{ t/cm}^2$$

$$(4.1) \quad \bar{\lambda} = \frac{100}{\pi} \sqrt{\frac{2400}{2,1 \times 10^6}} = 1,076$$

(Tablo 4.1) x eksenine göre burkulma, $h/b > 1,2$ ve $t_f \leq 40\text{mm}$ için "a" burkulma eğrisi
IP200 $\longrightarrow A_a = 82,7\text{cm}^2$

$$(4.12) \quad \chi_{\theta} = \frac{1,174 \times 60}{2,40 \times 82,7} = 0,355$$

(Şekil 4.1) $\chi_{\theta} = 0,355$ ve $\bar{\lambda} = 1,076$ için $\theta_{ak} = 490 \text{ } ^\circ\text{C}$

4.4.3. Bileşik eğilme etkisindeki elemanlarda kritik sıcaklık

Özellikle çerçeve kolonlarında etkin olarak karşılaşılan bileşik eğilme durumunda,

$$\frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} = \left(\frac{N}{\chi_{min} N_p} + \sum k_i \frac{M_i}{M_{pi}} \right) \gamma \quad (4.15)$$

bağıntısı kullanılabilir.

Daha kestirme bir yöntem ile, Liege Üniversitesinden Minne ve Janss'ın Braunschweig Teknik Üniversitesinde yapılan deneylerle sağlanan görüşüne göre, bileşik eğilme etkisindeki kolonlarda eğilme momenti etkisini

$$e_x = \frac{M_x^*}{N^*} \quad (4.16)$$

dış merkezliğini gözönüne alarak ve (4.12) bağıntısını

$$N e_k = A_a \cdot f_{ay} X_e \quad (4.17)$$

şeklinde değiştirerek hesaba sokmak mümkündür.

Burada X_e , $\bar{\lambda}_x = \bar{\lambda}_x > 0,2$ için

$$\varepsilon = \frac{e_x}{\frac{h}{2}} = \frac{e_x \frac{h}{2}}{i_x^2} = \frac{e_x \frac{h}{2} A}{I_x} = \frac{e_x A}{W_x} \quad (4.18)$$

olmak ve

$$\varnothing_e = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_x - 0,2) + \varepsilon + \bar{\lambda}_x^2 \right] \quad (4.19)$$

alınmak üzere

$$\chi_e = \frac{1}{\varnothing_e + \sqrt{\varnothing_e^2 - \lambda_x^2}} \leq 1 \quad (4.20)$$

değerini alır.

(4.12)bağıntısı, bu durum için yeniden düzenlenirse

$$\chi_{e\theta} = \frac{\gamma N^*}{\chi_e f_{ay} A_a} \quad (4.21)$$

örnek olarak bir önceki uygulamada ayrıca $M^*_x=3$ tm. Moment bulunsa $\lambda_x=\lambda_{max}=100$ olsa kestirme yöntem ile:

$$(4.16) \quad e_x = \frac{3}{60} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

$$(4.18) \quad \varepsilon = \frac{5 \times 82,7}{595} = 0,695$$

(Örnek 4.2) $\bar{\lambda}_x = 1,076$ ve "a" burkulma eğrisi

(Tablo 4.2) $\alpha = 0,21$

$$(4.19) \quad \varnothing_e = 0,5 [1 + 0,21 (1,076 - 0,2) + 0,695 + 1,076^2] = 1,518$$

$$(4.20) \quad \chi_e = \frac{1}{1,518 + \sqrt{1,518^2 - 1,076^2}} = 0,386$$

$$(4.21) \quad \chi_{e\theta} = \frac{1,174 \times 60}{0,386 \times 2,4 \times 82,7} = 0,919$$

(Şekil 4.1) $\chi_{e\theta} = 0,919$ ve $\bar{\lambda} = 1,076 \longrightarrow$ abak dışı
 $\theta_{ak} \leq 20^\circ\text{C} \longrightarrow$ Yangında yük taşımaz.
 Kesit artırılmalıdır.

4.4.4. Çekme çubuklarının kritik sıcaklığı

Çekme çubuklarında kritik sıcaklık

$$\gamma N^* = f_{ay\theta} A_a \quad (4.22)$$

bağıntısından hareketle bulunan

$$\gamma N^* = \frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} f_{ay} A_a = \frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} N_p \quad (4.22-a)$$

$$\frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} = \frac{\gamma N^*}{N_p} \quad (4.23)$$

oranından yararlanarak (Şekil 2.3) aracılığıyla belirlenir. N^* bulunurken yük azaltmaları yapılmalıdır.

4.5. Taşıyıcı Elemanlarda Kontrol

Önceden görülen hususların ışığında, çelik bir taşıyıcı elemanın yangın mukavemetinin kontrolü şu aşamaları kapsar:

- a- θ_{ak} kritik sıcaklığının belirlenmesi,
- b- Bu kritik sıcaklığa tekabül eden t_f yangın mukavemeti süresinin yalıtım da gözönüne alınarak belirlenmesi,
- c- Belirlenen bu süre ile, yönetmeliklerin söz konusu yapı türü için zorunlu kıldıkları R_f mukavemet süresinin karşılaştırılması: $t_f \geq R_f$ olmalıdır.

4.6. Taşıyıcı Sistemde Kontrol

Taşıyıcı sistemin yangın güvenliğinin kontrolünde, en uygun yöntem olarak, adım-adım ilerlenen plastik hesap belirtilebilir. Sistem yangın dışında önceden boyutlanmıştır Yalıtım tür ve kalınlıkları seçilmiştir. Her adım, yangına ilişkin bir zaman aralığına tekabül eder: 10 veya 15 dakikalık aralıklar seçilmesi uygundur.

Yangın binanın her hacminde aynı anda başlamayacağından, bir yangın senaryosu seçilir. Yangın bölmeleri de gözönüne alınarak yangının nasıl ilerleyebileceği tahmin edilir. Örnek olarak, alt katta başlayan bir yangının cephe camlarından sıçrama yaparak her 10-15 dakikada bir, bir üst hacme sıçrayabileceği düşünülebilir. Aynı bir bina için mümkün değişik senaryolar denenebilir.

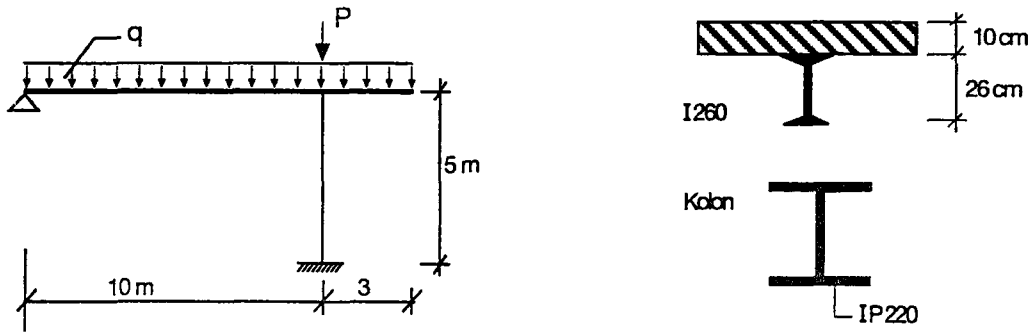
Her adımda, yangının ulaştığı hacimlerde bulunan elemanların θ_a sıcaklıkları, yalıtımlar da gözönünde tutularak hesaplanır ve buna bağlı olarak $f_{y\theta}$ akma sınırları ve $E_{a\theta}$ elastiklik katsayıları belirlenir. Bu değerlerden hareketle plastik mafsalların oluşumu ve basınç alan elemanların burkulması irdelenir. Yerel veya tümsel bir mekanizmanın

oluşumu ya da bir elemanın burkulması taşıyıcı sistemin yangın mukavemetini belirler. Bu tür bir hesap genel olarak, burkulma kontrolleriyle birlikte olmak koşuluyla birinci mertebede yürütülür. Ancak şekil değiştirmelerin etkisini de gözönüne alan bir program hazırlanarak ikinci mertebede çalışmak da mümkündür



5. SAYISAL UYGULAMA

Tüm bu bilgilerin ışığında aşağıda idealize edilmiş olan kompozit kiriş ve çelik kolonlu çerçevede, kiriş ve kolonda kritik sıcaklıkların tespiti ile yalıtımlı ve yalıtımsız durumlardaki yangına dayanım süreleri bulunacaktır. Yalıtım olarak kutulama türünde %20 nem içeren, tel üstü 3 cm. kalınlıklı saf alçı yapılması durumu incelenecektir.



Kirişe etkiyen yük $q=1.536$ t/m, kiriş taşıma gücü $q_u=2.732$ t/m. Kolona etkiyen kesit zorları $N=27.280$ t. ve $M=6.605$ tm'dir. Yangında $\delta=1.1$ alındığına göre ($\ell_{kx}=0.74 \ell$; $\ell_{ky}=0.8 \ell$): $f_{ay}=2.4$ t/cm².

a) Kiriş ve kolonda kritik sıcaklıklar:

Kirişte:

$$q^* = 1,1 \times 1,536 = 1,690 \text{ t/m}$$

$$q_p = q_u = 2,732 \text{ t/m} \checkmark$$

(Tablo 4.5)

$$\frac{q^*}{q_p} = \frac{1,690}{2,732} = 0,619 \rightarrow k = 0,906 \text{ (konsolda izostatik)}$$

(4.10)

$$\frac{f_{ay\theta}}{f_{ay}} = 0,906 \times 0,619 = 0,56$$

(Şekil 2.3)

$$0,56 \rightarrow \theta_{ak} = 560^\circ\text{C}$$

Kolonda :

$$N^* = 1,1 \times 27,280 = 30,008 \text{ t}$$

$$l_{Kx} = 0,74 \times 500 = 370 \text{ cm}$$

$$i_x = 9,37 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{370}{9,37} = 39,49$$

$$\bar{\lambda}_x = \frac{39,49}{\pi} \sqrt{\frac{2,4}{2100}} = 0,425$$

$$l_{Ky} = 0,80 \times 500 = 400 \text{ cm}$$

$$i_y = 5,59 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{400}{5,59} = 71,56$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{71,56}{\pi} \sqrt{\frac{2,4}{2100}} = 0,770$$

(momentle birlikte)

$$e_x = \frac{6,605}{27,28} = 0,242 \text{ m}$$

$$\varepsilon_x = 24,2 \times \frac{91,1}{732} = 3,01$$

x eksenine göre burkulmada, $h/b > 1,2$ ve $t_f \leq 40 \text{ mm}$ için "a" burkulma eğrisi,
y eksenine göre burkulmada "b" burkulma eğrisi

$$\text{IP220} \longrightarrow A_a = 91,1 \text{ cm}^2$$

$$\chi_{\theta y} = \frac{1,174 \times 30,008}{2,40 \times 91,1} = 0,161$$

$$\chi_{\theta y} = 0,161 \text{ ve } \bar{\lambda}_y = 0,770 \text{ için } \theta_{aky} = 640^\circ \text{C}$$

"a" eğrisi için $\alpha = 0,21$

$$\phi_{ex} = 0,5 [1 + 0,21 (0,425 - 0,2) + 3,01 + 0,425^2] = 2,119$$

$$\chi_{ex} = \frac{1}{2,119 + \sqrt{2,119^2 - 0,425^2}} = 0,238$$

$$\chi_{e\theta x} = \frac{1,174 \times 30,008}{0,238 \times 2,4 \times 91,1} = 0,677$$

$$\chi_{e\theta x} = 0,677 \text{ ve } \bar{\lambda}_x = 0,425 \text{ için } \theta_{akx} = 400^\circ \text{C}$$

$$\theta_{ak} = \begin{pmatrix} \theta_{akx} = 400 \\ \theta_{aky} = 640 \end{pmatrix} \text{ min} = 400^\circ \text{C}$$

b) Yalıtımsız kullanım:

Kirişte:

$$I \text{ 260} \longrightarrow U = 0,906 \text{ m}^2 / \text{m}; A_a = 53,4 \text{ cm}^2; b = 11,3 \text{ cm}$$

$$A_U = 0,906 - 0,113 \times 1 = 0,793 \text{ m}^2 / \text{m} \text{ (üstü örtülü)}$$

$$V_a = 1 \times 0,00534 = 0,00534 \text{ m}^3 / \text{m}$$

$$\frac{A_U}{V_a} = \frac{0,793}{0,00534} = 148,5$$

(Tablo 3.1)

t	A_U / V_a		
	100	148,5	150
0'	20 →	20 ←	20
13,8'	←	560	
15'	516 →	607 ←	610

Yalıtımsız kirişin yangına dayanım süresi $t = 13,8$ dakika

Kolonda :

$$IP220 \rightarrow U = 1,274 \text{ m}^2 / \text{m} = A_U$$

$$A_a = 91,1 \text{ cm}^2 \rightarrow V_a = 1 \times 0,00911 = 0,00911 \text{ m}^3 / \text{m}$$

$$\frac{A_U}{V_a} = \frac{1,274}{0,00911} = 139,85$$

(Tablo 3.1)

t	A_U / V_a		
	100	139,85	50
0'	20 →	20 ←	20
9,98'	←	400	
15'	516 →	591 ←	610

Yalıtımsız kolonun yangına dayanım süresi $t = 9,98$ dakika

c) Yalıtım ile:

(Tablo 2.1)

$d_i = 3 \text{ cm}$, %20 nemli tel üstü alçı sıva

$$\gamma_i = 800 \text{ kg} / \text{m}^3 \quad \gamma_a = 7850 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$c_i = 1700 \text{ J} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C} \quad c_a = 520 \text{ J} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K_i = 0,20 \text{ W} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$$

(3.12)

$$t_v = \frac{20 \times 800 \times 0,03^2}{5 \times 0,20} = 14,4 \text{ dakika nem geciktirmesi}$$

Kirişte :

$$A_{U_i} = 2 \times 0,26 + 0,113 = 0,633 \text{ m}^2 / \text{m}$$

$$c_a \gamma_a V_a = 520 \times 7850 \times 1 \times 0,00534 = 21798$$

$$2 c_i \gamma_i d_i A_{U_i} = 2 \times 1700 \times 800 \times 0,03 \times 0,633 = 51653$$

(3.10)

$$c_a \gamma_a V_a < 2 c_i \gamma_i d_i A_{U_i} \rightarrow \text{ağır yalıtım}$$

$$\frac{\gamma_a c_a}{\gamma_a c_a + \frac{\gamma_i c_i d_i A_{U_i}}{2 V_a}} = \frac{7850 \times 520}{7850 \times 520 + \frac{51653}{4 \times 0,00534}} = 0,632$$

$$\left(\frac{A_{ui}}{V_a}\right)^* = \frac{0,633}{0,00534} \times 0,632 \cong 75$$

$$d_i / K_i = \frac{0,03}{0,20} = 0,15$$

(Tablo 3.3 -c)

 $d_i / K_i = 0,10$ için:

t	A_{ui} / V_a		
	50	75	100
105'	451 →	548,5 ←	646
108,7'	←	560	
120'	498 →	595,5 ←	693

(Tablo 3.3 -d)

 $d_i / K_i = 0,20$ için:

105'	292 →	377,5 ←	463
120'	328 →	419 ←	510
eksterpolasyonla: >>120'	←	560	

 $d_i / K_i = 0,15$ için yangın dayanımı:

$$t = \frac{108,7 + (120)}{2} + 14,4 = 129 \text{ dakika}$$

Kolonda:

$$A_{ui} = 4 \times 0,22 \times 1 = 0,88 \text{ m}^2 / \text{m}$$

$$\gamma_a c_a V_a = 7850 \times 520 \times 1 \times 0,00911 = 37187$$

$$2 \gamma_i c_i d_i A_{ui} = 2 \times 800 \times 1700 \times 0,03 \times 0,88 = 71808$$

3.10)

$$c_a \gamma_a V_a < 2 c_i \gamma_i d_i A_{ui} \longrightarrow \text{ağır yalıtım}$$

$$\frac{\gamma_a c_a}{\gamma_a c_a + \frac{\gamma_i c_i d_i A_{ui}}{2 V_a}} = \frac{7850 \times 520}{7850 \times 520 + \frac{71808}{4 \times 0,00911}} = 0,674$$

$$\left(\frac{A_{ui}}{V_a}\right)^* = \frac{0,88}{0,00911} \times 0,674 \cong 65$$

$$d_i / K_i = \frac{0,03}{0,20} = 0,15$$

(Tablo 3.3 -c)

 $d_i / K_i = 0,10$ için:

t	A_{ui} / V_a		
	50	65	100
75'	343 →	398 ←	525
75,5'	←	400	
90'	399 →	456 ←	590

(Tablo 3.3 -d)

$d_i / K_i = 0,20$ için:	105'	292	→ 343 ←	463
	120'	328	→ 383 ←	510
eksterpolasyonla:	126,4'	←	400	

$d_i / K_i = 0,15$ için yangın dayanım süresi enterpolasyonla 101 dakika

Nemlilik gecikmesi de dikkate alınarak

$$t = 101 + 14,4 = 115,4 \text{ dakika}$$

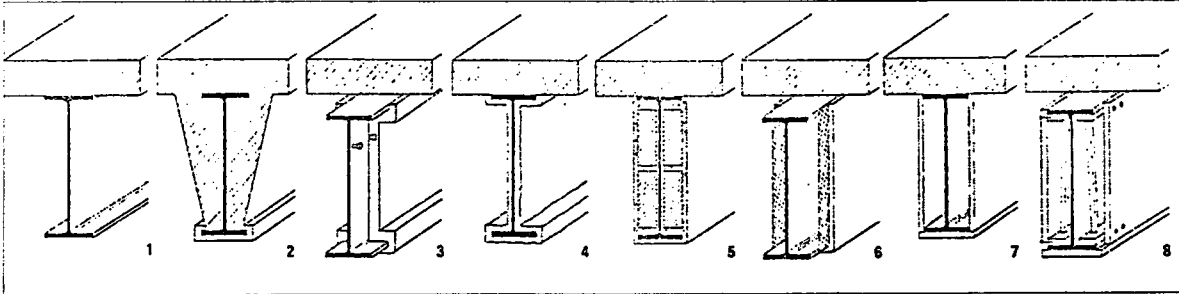


6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yangın çelik yapıda taşıyıcı elemanlar üzerinde daha etkilidir. Taşıyıcı elemanda sıcaklığın kritik sıcaklığa ulaşılması anda sistem göçme sınır durumuna ulaşmış ve tehlike arz etmeye başlamıştır. Çelik elemanların yangına dayanım sürelerini yalıtımla artırabildiğimiz gibi su soğutmalı sistem ile kritik sıcaklığa ulaşmalarını kesin olarak önlenir.

Yalıtım üç şekilde yapılır. Çevreyi sarma, kutuya alma ve kütleli. Çevreyi sarma şeklindeki yalıtım: püskürtme, sıvama, sıcaktan şişen boya sürme şekillerinde olabilir. Kutuya alma veya çerçeleme yapıştırma veya vidalamayla tutturulan rijid panoları veya donatılmış şilteleri kapsadığı gibi tel üstü sıvayı da içerir. Kütleli yalıtım : genelde betona gömme suretiyle gerçekleştirilir. Çeliğin yalıtılmadan sıcaktan korunması da mümkündür. Bu metod dünyada henüz uygulaması fazla olmayan su soğutmalı sistemdir. Bu sistemde taşıyıcı elemanlar içindeki suyun yangın anında devamlı yer değiştirmesi ile hiçbir zaman yüksek sıcaklıklara ulaşamayacaktır. Dolayısıyla yangına karşı çok etkili bir koruma şeklidir. Aşağıda geniş bir biçimde koruma yöntemleri açıklanmıştır.

6.1.Kirişlerin Yalıtılması

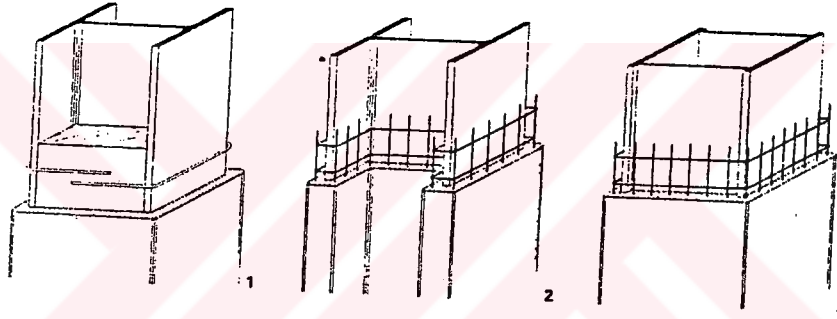


Şekil 6.1. Kirişteki Yalıtım Uygulamaları [3]

1. Farklı türde sıcakta şişen boya kaplamalarla, 30 dakikalık yangın mukavemeti sağlanabilir. Kaplama yada çerçeveleme olmayan bu yöntemde, kiriş, çıplak olarak dışarıdan görülmüş olur. Daha sonraki rötuşlar ve onarımlar için aynı boyanın temini sağlanmalıdır.
2. Beton içine gömülmüş çelik kiriş, alt flanşı hariç çok iyi korunmuştur. Kiriş, içinde tel hasır bulunan 25 mm lik vermikülit sıva yada 40 mm lik çimento sıvası ile muhafazaya alınabilir. Çelik kirişi betona bu şekilde gömme usulü etkili fakat pahalı bir yöntemdir.
3. Montaj öncesi kiriş betonla çevrelenmiştir. Koruma betonunun sağlamlığı için tel hasır betona konmalıdır. Ayrıca derin kirişler için saplamalar üst gövde kısmına kaynaklanmalıdır. 90 dakika yangına mukavemet isteniyorsa beton kalınlığı 60 mm yapılır. Özellikle büyük boyutlu kirişler için bu yöntem uygun fakat kalıp yapımı pahalıdır.
4. Püskürtülmüş asbest yada vermikülit sıva ile yapılan ortalama kalınlığı 25 mm olan bu tür uygulamada 90 dakika yangın mukavemeti sağlanır. Uygulama bu tür malzemeleri üreten firmanın tavsiyeleri üzerine yapılmalıdır. Uygulamadan önce çelik kiriş üzerindeki pas ve pislikler temizlenmelidir. Tabi hafif paslanmanın da aderansı iyi sağlayacağı göz önünde bulundurulur. Spreylenen kaplamalardan önce ince bir astar boya (15 µ) ile çelik kiriş boyanır. Nispeten derin kirişlerde kaynaklı pimlerle muhafazaya alınmış tel kafese ihtiyaç duyulur. Geniş flanşları olan derin bir kirişin alt flanşı çevresini tel kafesle iyice sarmak gerekir. Püskürtme yalnız iyi hava koşullarında yapılabilir.
5. Flanşlar arası boşluklar minimum 15 mm kalınlıktaki sıva ile kaplanmış hafif beton bloklar yada tuğlalarla doldurulmuştur. Tel kafes alt flanşı iyice sarmalıdır.
6. Kiriş, büyük metal tel kafeslerle sarılmış ve 25 mm kalınlığındaki vermikülit sıvayla kaplanmıştır.
7. Kiriş birbirine bağlı tabakalar ya da panolarla çerçevelemiştir. Örneğin 25 mm kalınlığındaki vermitekte panosu gibi.

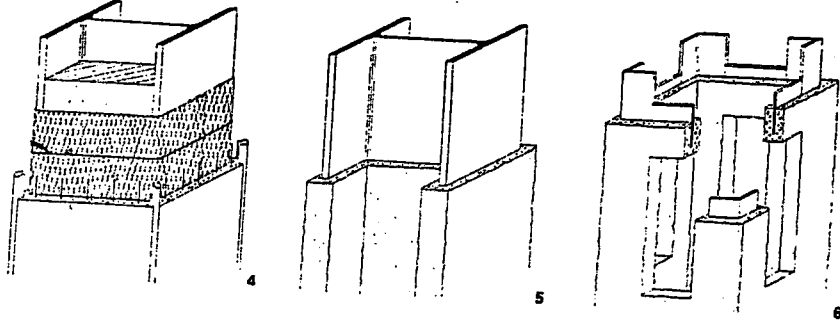
8. Civatalanmış yada çiviyle tutturulmuş tabaka yada panolar asbest, asbestli çimento yada alçıdan yapılmıştır. Satıcı firmanın talimatları doğrultusunda yanmaz malzemenin tespit edilmeden önce uygun mesnetlenme şeritlerinde kirişe tutturulması gerekir. Derzleri, alçı yada diğer uygun malzemelerle tıkalıdır. Avantajları: kuru metod, kötü hava şartlarından bağımsızdır. Bu şekliyle 90 dakika yangına mukavemet sağlayacakken, boşluklardaki yangına mukavim izolasyonla 120 dakika dayanım sağlanabilir.

6.2. Kolonların Yalıtılması



Şekil 6.2. Betona gömme usulü yalıtım. [3]

Betona gömme:(1-3) Hava geçirimsizliği ve mukavemetli koruma etkisi sağlanan betonla çelik kolonunun çevresi doğrudan sarılır. İnce bağlayıcı yada tel örgüler betonun yangın tesiri altında koruyuculuğunu kaybedip, parçalanmasını önler. 90 dakika yangına dayanıklılık için beton kaplama kalınlığı en az 40 mm olmalı ve beton sınıfı en az 160 kgf/cm² olmalıdır. Montajı öncesi ve sonrası kolon çevresindeki düşey kalıba yada montaj öncesi yatay kalıba beton konulabilir. Eğer dairesel bir kolon varsa, kare yada dikdörtgen kaplama ile çevrelenebilir. Ağırlığı artırmamak için flanşlar arasındaki boşluk hafif ağırlıktaki bir malzeme ile doldurulabilir.



Şekil 6.3. Sıvama ve püskürtme usulü yalıtım.[3]

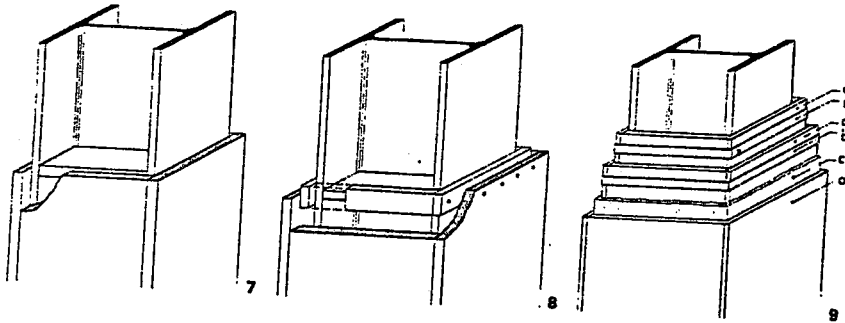
Sıvama :4. Kenar koruyucu metal şeritler, kaplama içindeki hafif çubuklar ve geniş sıva tirizleri ile kolonun çevresi sarılmış şekilde sıva uygulaması yapılır. Çeşitli tipleri:

35mm çimento yada alçılı perlit sıvası;

35mm alçı sıvası;

35mm vermikülit-çimento sıvası(5mm kireç yada kireç-çimento sıvası kaplama finişli)

5 ve 6 . En çok kullanılan ve en ekonomik bağlayıcı katkılarla püskürtme asbest uygulaması yada vemikülit kaplama ile çelik kolonların yangına karşı koruması sağlanır. Püskürtme usulü ile yapılan yöntemlerde yüzeyde küçük pürüzlükler meydana gelir ve ilave işlemlere ihtiyaç duyulur.

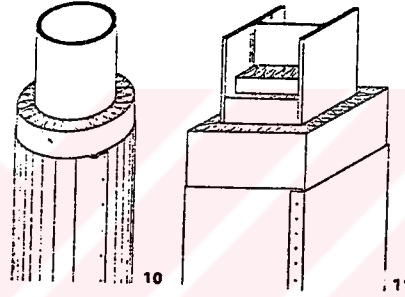


Şekil 6.4. Tabakalarla çerçeveleme usulü yalıtım [3].

7. Vermikülit beton tabakalar sentetik reçine bağlayıcılarla tespit olunur. I profili gibi açık kesitlerde tabakaların ek yerlerinde flanşlar arasına kalın bir diyafram konulmalıdır.

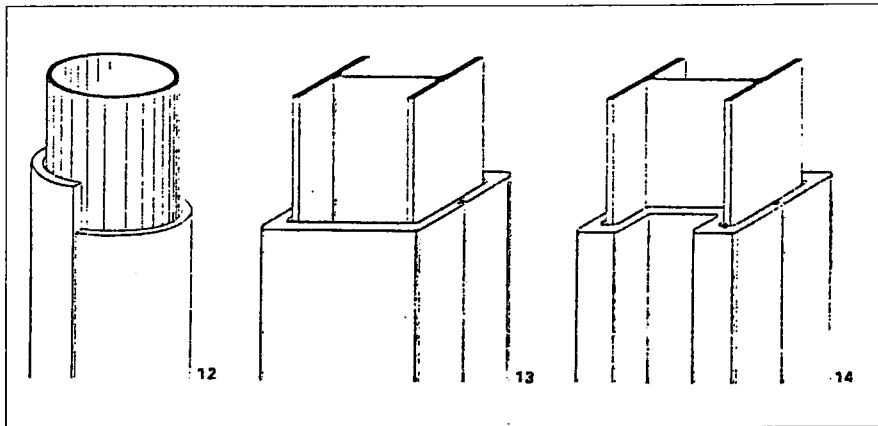
8. Asbest çimentolu plakalar darbelere karşı mukavemetli ve ahşaba benzer işçilik gösterirler. Çivi yada vida ile tutturulurlar. Plakalardaki yatay derzler kolon yüksekliği plaka uzunluğundan fazla geldiği durumda en az 50 cm ile şaşırtılmalıdır.

9. 90 dakika yangına dayanım için 3 kat kaplama uygulanır. a'da 3 adet 15 mm kalınlıkta alçı sıva panolu tabakalar vardır. b'de çelik bantlarla muhafaza sağlanmış ve c'de yapıştırıcı katkı maddesi uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Ceketleme usulü yalıtım [3].

10 ve 11 . 0.75 mm kalınlıktaki çelik plaka ceket ile mineral lifli hasır, çelik kolonu çevrelemiştir. Yangına dayanım süresinin 90 dakika olması için dairesel kolonda hasır kalınlığı 50 mm ve I profillerinde 40 mm olması gerekir.



Şekil 6.6. Ceketleme usulü yalıtım [3]

12. Dairesel kesitli bir kolonun çevresine asbest çimentolu ceket uygulaması yapılmıştır.

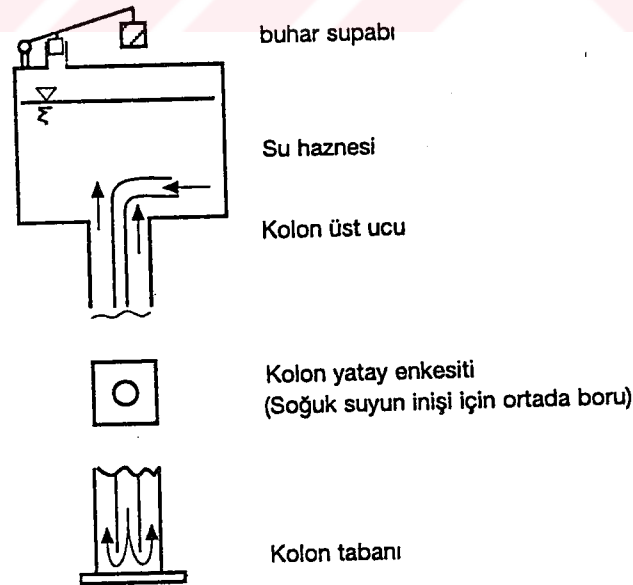
13 ve 14. Prefabrike olarak şekil verilen kaplamalar alçı sıva yada betonla yapılmışlardır. Dikdörtgen şeklindeki kaplamalar(13) , kolon kesitleri ne olursa olsun rahatlıkla uygulanır.

14. Bu tarz prefabrik kaplamalar yüksek kolonlarda uygulanır.

6.3. Çelik Elemanların Su Dolaşımı İle Soğutulması

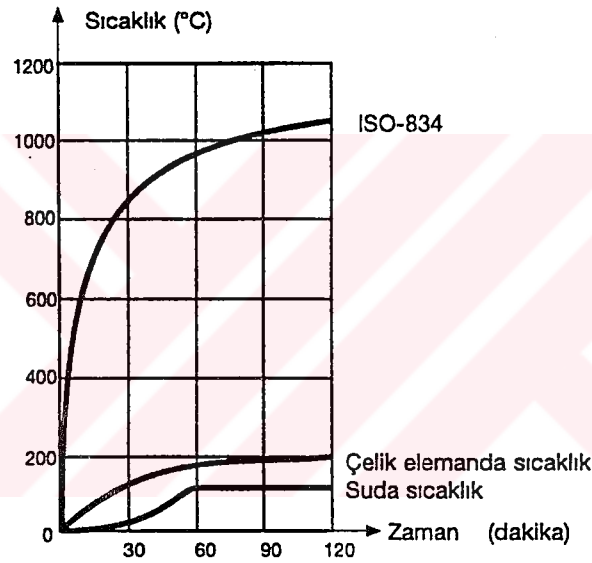
Yalıtılmamış bir çelik sistem, hem yapımsal hem de mimari yönlerden istenen bir durumdur. İsteğin günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan boru yada kutu enkesitli içi boş elemanlarda değişik bir yöntemle karşılanması mümkündür. Bu tür elemanların içinde bir su dolaşımı sağlanırsa yangından çeliğe gelen ısı, elemanın içindeki suyu ısıtır ve dolaşım ile çelik elemandan uzaklaştırılır. Su kaynama sıcaklığına erişse bile çelik elemanın ısısı 100 ila 200 °C'yi aşmaz. Bu sıcaklıklarda ise çeliğin mekanik özellikleri düşme göstermez.

Su dolaşımı ile soğutma, ya yalnız yangına daha hassas olan düşey konumlu kolonlarda yada tüm kiriş ve kolonları kapsayacak şekilde tamamına uygulanabilir.



Şekil 6.7. Kolonların doğal su dolaşımı ile soğutulma şeması[1]

Yalnız kolonların su dolaşımı ile soğutulması durumunda, uygulama çok basit olup doğal dolaşım ile yetinilebilir. Bu basitlik nedeniyle daha yaygın bir kullanıma aday görülmektedir. Bu tür kullanımda genelde her kolon üst ucunda küçük bir su deposuna sahiptir.(Şekil 6.7). Yangında kolon içindeki su ısınır ve bu nedenle yoğunluğu azalarak doğal olarak yükselir. Depodaki soğuk su orta borudan inerek yükselen sıcak suyun yerini doldurur. Suyun buharlaşması durumunda hazneye toplanabilecek su buharı için bir supap düşünülmelidir. Su hem büyük ısı özgül katsayısı, hem de buharlaşırken yuttuğu büyük ısı nedeniyle çok iyi bir soğutucudur.(Şekil 6.8)



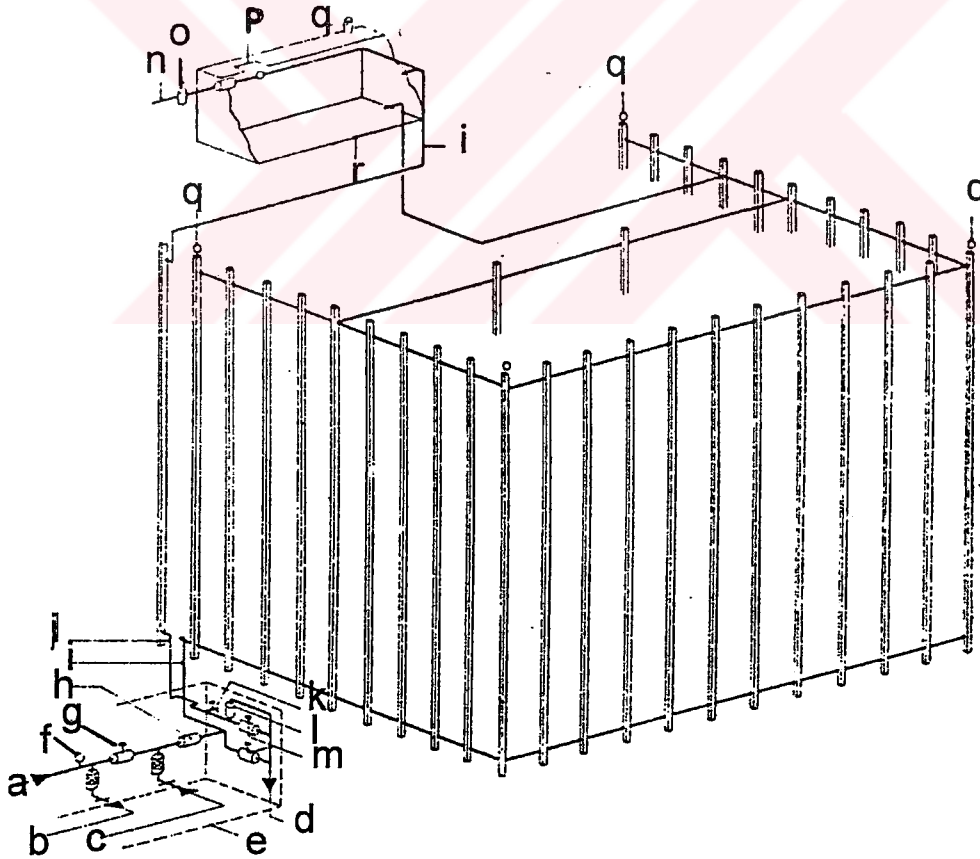
Şekil 6.8. Su dolaşımı ile soğutmada sıcaklığın değişimi[1]

İçi boş kutu ve kolonlarda bazen boru enkesitli elemanlardan oluşan bütün bir taşıyıcı sistemin de su dolaşımı ile yangından korunması mümkündür. Bu durumda, kiriş ve kolonlar birbirlerine bir su şebekesi oluşturacak şekilde birleştirilirler. Bu tür bir sistemde su sızdırmazlığının sağlanması özellikle birleşimlerde zorlaştığından, suyun şebekeye verilmesi otomatik bir yangın alarmı sistemine bağlı olarak gerçekleştirilir. Ayrıca dolaşımın sağlanması için, bir motor gücü de gereklidir(Pompa).

Yalnız kolonların korunması durumunda, su genelde sürekli dolu olduğundan, içine potasyum karbonat ya da benzeri bir antijel katılarak donmaya karşı önlem alınmalıdır. Çelik elemanların hesabında, hidrostatik iç su basıncı dikkate alınmalıdır. Yüksek binalarda şebekenin yükseklik boyunca bölünmesi gerekebilir. Yangın olmadıkça korozyondan korkulması gerekmez. Su değişmediği için içerdiği sınırlı oksijen korozyonu sürdürmez. Gerekirse, özellikle su değiştiriliyorsa potasyum nitrat gibi korozyon önleyici katkıları kullanılabilir.

Su dolaşımı ile soğutma, çelik taşıyıcı elemanları, yangının neden olduğu mukavemet azalmasından çok iyi bir şekilde koruyabilmektedir.

Bu yangından korunma biçiminin, ısıtma sistemleriyle ilişki kurularak, yangın olayı dışında da yararlı olması mümkündür. Bu son durumda, suyun devamlı değişmesi korozyon getireceğinden gerekli önlemler alınmalıdır.

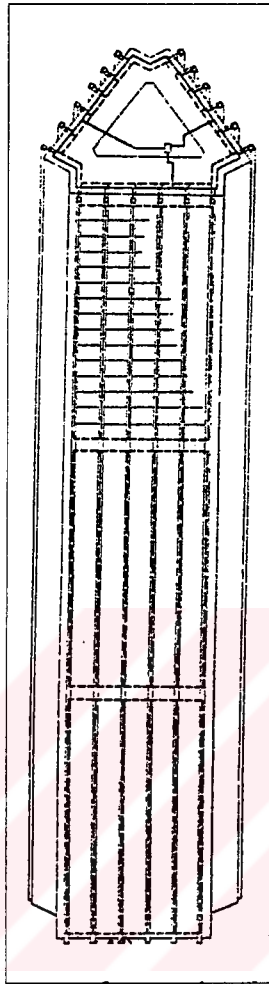


Şekil 6.9. Marsilya'daki bir sigorta şirketinin ofis binasının tesisat şeması[3]

- a. Ana borudan doğrudan bağlantı.
- b. Yangın ekibi tarafından kullanılmak için konulan su dağıtım bağlantısı.
- c. Soğutma sistemini su ile besleyen bağlantı.
- d. Çıkış.
- e. Tesis odası.
- f. Ana borudan dağıtım için basınç ölçme aracı.
- g. Doldurma vanası.
- h. Geri tepme vanası.
- i. Su giriş borusu.
- j. Geri dönüş borusu.
- k. Geri dönen suyun test musluğu.
- l. Emniyet vanası.
- m. Dren vanası.
- n. Bina için su dağıtım vanası.
- o. Kapama vanası.
- p. Kontrol odası.
- q. Buhar supabı.
- r. Su tankı.

Çelik yapıyı yangından korumada bu sistemi tercih eden Marsilya'daki sigorta binasının, su soğutmalı dış kolonlarının hem tabanda hem de tepedeki bağlantı hattı ile sistem şematik olarak gösterilmiştir. Yalnız bir kolonun ısınması durumunda, komşu kolonla arasında su sirkülasyonu başlar. Bu durumda ısınan su o kolonda yükselecek ve henüz ısınmamış komşu kolonda, aşağıya inecektir. Bu sayede sıcak kolonun tabanı, devamlı soğuk su ile beslenerek yüksek sıcaklığa ulaşması engellenmiş olur. Yangının geniş alanlara yayıldığı durumlarda sisteme akan soğuk suyu temin eden çatıdaki su tankında şimdi daha fazla su sirkülasyonu oluşacaktır. Uzun süreli bir yangında, ana borudan ilave su temin edilir. Isınan su ile oluşan buhar, buhar süpaplari vasıtasıyla dışarı çıkar. Büyük binalarda birden fazla sirkülasyon sistemleri bulunabilir. Uzun bir binada suyla soğutmalı sistemlerin birbirinden bağımsız alt bölümlere ayrılması ile

kolon diplerindeki sudan meydana gelebilecek yüksek hidrostatik basınç önlenmiş olur.



Şekil 6.10. ABD. Çelik idari binası[3].

Pittsburgh, ABD'deki Birleşik Devletler Çelik idari binasında toplam 16 katın her 4 metresinde bir su ile soğutma sistemi tertip edilmiştir. Bu sayede 64 m yüksekliğindeki binanın kolonlarında sudan meydana gelebilecek maksimum hidrostatik basınç 6.4 kg/cm^2 de kalır. Bu tür binaların kolonları dairesel, dikdörtgen boşluklu yada kaynaklı kutu kesitler şeklindedir.(Şekil 6.10)

Dünyada az sayıda binada uygulanan bu sistemle gerçekten başarı sağlanmış fakat bu tür koruma için gereken maliyet konusunda genel bir bilgi vermek henüz mümkün olamamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Arda,T.S.,Yardımcı,N.,(1995),”Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Mukavemeti”,İstanbul
- [2] Baldaş,A.,Kantar,F.,(1975),”Yapı Fiziği”,İstanbul
- [3] Hart,F.,Henn,W.,Sontag,H.,(1978),”Multi Storey Buildings in Steel”,London
- [4] Merrit,F.S.,Ricketts,J.T.,(1994),”Building Design and Construction Handbook”,Florida
- [5] National University of Singapore,(1995),”Structural Steel”,4’th Pasific,Singapore
- [6] Özer,M.,(1985),”Endüstriyel Yangın Tehlikeleri ve Güvenlik Tedbirleri”,İstanbul
- [7] Öztürk,A.Z.,(1989),”Çelik Yapılar”,İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	:19.09.1972	
Doğum yeri	: Isparta	
Lise	: 1986-1989	Isparta Gazi Lisesi
Lisans	: 1989-1993	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Askerlik	: 1995-1996	Bursa Hava Ulaştırma Okulu Hava Ulaştırma Yedek.Subay
Çalıştığı kurumlar	: 1994	Demyapı İnşaat Paz.A.Ş. İzmit Uzunçiftlik Şantiyesi.
	:1996	Levent İnşaat İzolasyon A.Ş. Emlak Bankası Bahçeşehir Şantiyesi.
	:1997-1998	Özer İnşaat A.Ş. Gebze-İsuzu Şantiyesi