

33653

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON YAPILARIN YANGINA KARŞI
TASARIMIYLA İLGİLİ
BİR YAKLAŞIM**

İnş.Müh. Olcay ERTAN

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Altay GÜNDÜZ

İSTANBUL, 1993

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖZET

Beton yapıların yangına karşı tasarımıyla ilgili yayınlanmış Türkçe kaynak ve bu konuda yeterli bir Türk standardı bulunmamaktadır. Bu çalışmada sunulan tasarım yöntemleri ve deneysel çalışmaların sonuçlarının analiziyle bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Birinci bölümde çalışmanın genel bir tanıtımı yapılmaktadır. İkinci bölümde yapısal yangın tasarımının ilkeleri yer almaktadır. Üçüncü bölümde bu çalışmanın amaç edindiği yangına karşı tasarımın temeli olan üç değerlendirme yöntemi verilmektedir. Dördüncü bölüm uygulama için temel bilgiler ve gerekli tabloları içermektedir. Beşinci bölümde beton yapıların yangına karşı tasarımı için sunulan biri, deneysel çalışmaların tablolaştırılmış veriler yardımıyla ve diğeri ise doğrudan çözümsel yolla sonuca giden iki tasarım yolu sunulmaktadır.

Son bölüm, bu çalışmadan çıkarılan sonuçları ve önerileri içermektedir ve bu son bölümü çalışmanın yararlandığı kaynaklar ve ek bölüm izlemektedir.

SUMMARY

There are no Turkish sources published in relation to fire design of concrete structures nor there does exist a sufficient Turkish standard on this subject. With the design methods and analysis of results of experimental studies presented in this work, this incompleteness was attempted to be remedied.

In the first chapter, a general introduction of the work is given. In the second chapter principles of structural fire design is covered the third chapter, three evaluation methods which are the basis of fire design which is the purpose of this study is presented. The fourth chapter deals with fundamental information and necessary tables for application. In the fifth chapter, two design methods presented for fire design of concrete structures are presented: one arriving at the result with the help of structural detailing by tabulated data and the other arriving at the result by means of direct analytical determination.

The last chapter covers conclusions and propositions inferred from this work and this chapter is followed by the sources utilised in this study and annex.

	ÖZET	
I.	GİRİŞ	1
II.	YAPISAL YANGIN TASARIMININ İLKELERİ	3
II.1.	Yapısal Yangın Tasarımının Amacı	3
II.1.1.	Risk ve Ekonomi	3
II.1.2.	Yapısal Gereksmeler	4
II.1.3.	Limit Durumlar	5
II.1.4.	Değişkenler ve Veriler	7
II.1.5.	Tasarım Şekli	7
II.1.6.	Modeller	8
II.2.	Malzemeyle ve Yapısal Beton Elemanların Yük Taşıma Kapasitesiyle İlgili Limit Durumlar İçin Kriterler	9
II.2.1.	Malzeme Kırılma Kriteri	9
II.2.1.1.	Beton	9
II.2.1.2.	Çelik	10
II.2.2.	Kırılma Biçimi için Yapısal Kriterler	11
II.2.2.1.	Basit Mesnetlenmiş Elemanlar	11
II.2.2.2.	Sürekli Elemanlar	11
II.2.2.3.	Basınç Elemanları	13
II.2.2.4.	Çekme Elemanları	14
II.2.3.	Ek Kırılma Biçimleri	14
II.2.3.1.	Parçalanıp dağılma	14
II.2.3.2.	Başka Kırılma Biçimleri	15
II.2.3.2.1.	Kesme Kırılması	15
II.2.3.2.2.	Aderans, Ankraj	15
II.2.3.2.3.	Dönme Kapasitesi	16
III.	DEĞERLENDİRME	17
III.1.	Değerlendirme Yöntemleri	17
III.1.1.	Isı Etkisi ve Yapısal Tepki	17
III.1.2.	Yükler (Etkiler)	18
III.1.3.	Kısmi Güvenlik Katsayıları veYük Etkilerinin Çıkarılması	19
III.2.	I. Değerlendirme Yöntemi : (ISO 834) Standart Yangın Etkisine Göre Yapısal Elemanların Mukavemeti	21
III.2.1.	Sınıflandırma için Veriler ve Bilgiler	22
III.2.2.	Sınıflandırma	22

III.2.3.	Standart Yangın Etkisi	22
III.2.4	Yangına Karşı Mukavemetin Belirlenmesi	23
III.2.4.1.	Deneyle Belirleme	23
III.2.4.2.	Deneyle Belirlenen Tablolaştırılmış Veriler	23
III.2.4.3.	Hesapla Belirleme	24
III.3.	II. Değerlendirme Yöntemi : Yangın Etkisinin Eşdeğer Zamanı	25
III.3.1.	Gerekli Bilgi ve Veriler	26
III.3.2.	Yangın Etkisinin Eşdeğer Zamanının Belirlenmesi	26
III.4.	III. Değerlendirme Yöntemi : Bölme Yangını Etkisine İlişkin Doğrudan Tasarım	27
III.4.1.	Gerekli Bilgiler ve Veriler	28
III.4.2.	Limit Durumlar	28
III.4.3.	Fiziksel Model ve Pratik Tasarım Formatı	29
III.4.4.	Güvenlik ve Frekans Farklılaşması	29
III.4.5.	Tasarım Denetlemesi	30
IV.	UYGULAMA İÇİN TEMEL BİLGİLER	32
IV.1.	Yangın Olgusu	32
IV.1.1	Tanımlar	32
IV.1.2.	Yangın yükü yoğunluğu	32
IV.1.3.	Bölme Yangını Etkisi	36
IV.1.4.	Standart Yangın Olgusu	43
IV.1.5.	Yangın Etkisinin Eşdeğer Zamanı	45
IV.2.	Malzeme Özellikleri	49
IV.2.1.	Giriş	49
IV.2.2.	Mekanik Özellikler için Deney Yöntemleri	49
IV.2.3.	Sıcaklığa Bağlı Malzeme Özellikleri	50
IV.2.3.1.	Beton	50
IV.2.3.2.	Çelik	58
IV.3.	Isısal Çözümleme	65
IV.3.1.	Çevresel Koşullar	65
IV.3.2.	Isı Transferi	66
IV.3.3.	Sıcaklık Dağılımı	67
IV.3.4.	Enkesit İçindeki Sıcaklık Dağılımı Örnekleri	68
V.	UYGULAMA	69
V.1.	Tablolaştırılmış Veriler Yardımıyla Yapısal Detaylandırma	69
V.1.1.	Genel Kabuller ve Tüzükler	69
V.1.2.	Kolonlar	73
V.1.3.	Duvarlar	76
V.1.3.1.	Yük Taşımayan Duvarlar (Bölme Duvarları)	76
V.1.3.2.	Yük taşıyan Dolu Gövdeli Duvarlar	76

V.1.4.	Çekme Elemanları	77
V.1.5.	Kirişler	79
V.1.5.1	Genel	79
V.1.5.2.	Basit Mesnetlenmiş Kirişler	81
V.1.5.3.	Sürekli Kirişler	82
V.1.5.4.	Bütün Yüzeylerinden Etkilenmiş Kirişler	85
V.1.6.	Döşemeler	86
V.1.6.1.	Genel	86
V.1.6.2.	Basit Mesnetlenmiş Döşemeler	88
V.1.6.3.	Sürekli Döşemeler	88
V.2.	Yangın Etkisinde Kalan Betonarme Elemanların Son Limit Eğilme Momenti Kapasitesinin Çözümsel Yolla Belirlenmesi	90
V.2.1.	Giriş	90
V.2.2.	Eğilme Momenti ve Eksenel Yük Etkisindeki Betonarme Enkesitler	91
V.2.2.1.	Basınç Donatısı Olmayan Dikdörtgen Kesit	92
V.2.2.2.	Basınç Donatısı Olmayan Tablalı Kesit	95
V.2.2.3.	Basınç Donatılı Enkesit	96
V.2.3.	Basit Mesnetlenmiş Betonarme Kiriş ve Döşemelerin Son Limit Yük Taşıma Kapasitesi	98
V.2.4.	Betonarme Sürekli Kiriş ve Döşemelerin Son Limit Yük Taşıma Kapasitesi	98
V.2.5.	Açıklıklar ve Yorumlar	101
V.2.5.1.	Kritik Gerilmeyi Belirleme ($\sigma_{s,crit}$)	101
V.2.5.2.	% 0,5 Deney Gerilmesinin Belirlenmesi $\sigma_{0,5}(T)$	103
VI.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	104
	EK.1	106

BÖLÜM I

GİRİŞ

Yangın gerekli önlemler alınmadığı takdirde önemli can ve mal kaybına neden olan bir olaydır. Yangının ortaya çıkması ve gelişmesi için yanıcı malzeme, oksijen ve bir ısı kaynağı gereklidir. Bu üçü her zaman yanyandır. Bu da yangın riskinin her zaman var olduğunu göstermektedir. Yangına karşı tasarımda amaç; riskleri, risk azaltıcı çözüm yolları ile en aza indirmektir. Bu çözüm yolları; yapısal çözüm yolları ve yapısal olmayan çözüm yolları başlıklarında toplanmıştır. Bu çalışmada yapısal çözüm yolları incelenmektedir.

Yapısal yangın tasarımı; ısı etkisi ve yapısal tepkinin belirlenmesi, yapısal detaylandırma ve uygun malzeme seçimini içerir. Bu amaçla, hesap modelleri kullanılır. Hesap modelleriyle ilişkili olarak tanımlanan değerlendirme yöntemleri, deneysel ve çözümsel esaslara dayanır. Değerlendirme yöntemlerinden yararlanılarak gerçekleştirilen hesap yöntemlerinden elde edilen sonuçların uygulamaya geçirilmesiyle yapısal yangın tasarımı tamamlanır.

Çalışma beş ana ve bir ek bölüm olmak üzere toplam altı bölümü içermektedir. Birinci bölüm giriş bölümüdür. İkinci bölümde, yapısal yangın tasarımına giriş açısından, yapısal yangın tasarımının amacı ve tasarım modelleri, çelik ve betonun malzeme kırılma kriterleri ve yapıyı göçmeye götüren limit durumlar üzerinde durulmaktadır.

Üçüncü bölümde, ısı etkisi modeli ile ilgili üç değerlendirme yöntemi yer almaktadır; (ISO 834) standart yangını etkisine göre yapısal elemanların mukavemetinin belirlenmesi temeline dayanan birinci değerlendirme yöntemi, yangın etkisinin eşdeğer zamanın bulunmasını içeren ikinci değerlendirme yöntemi ve bölme yangını etkisine ilişkin doğrudan bir tasarımı içeren üçüncü değerlendirme yöntemi.

Dördüncü bölümde, ilk olarak, çalışmada karşılaşılan bazı kavram ve terimlerle ilgili tanımlar verilmektedir. İlerleyen sayfalarda beton ve çelik malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede kullanılan deney yöntemleri ve bu deney yöntemleriyle yapılan deneylerden elde edilen, sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri açıklanmaktadır. Son olarak da ısısal çözümlenmeyle ilgili genel bilgiler verilmektedir.

Beşinci bölümde, üç değerlendirme yönteminden yola çıkarak geliştirilen iki tasarım yönteminin incelenmesini kapsamaktadır. İlk yöntemde yapısal elemanların tablolaştırılmış verilerin yardımıyla detaylandırılması ve ikinci yöntemde yangın etkisinde kalan betonarme elemanların son limit eğilme momenti kapasitesinin doğrudan çözümsel yolla belirlenmesi gösterilmektedir.

Çalışmanın son bölümünde ise bu çalışmadan çıkarılan sonuç ve öneriler özetlenmektedir. En son olarak da yararlanılan kaynaklar listesiyle ek bölüm bulunmaktadır.



BÖLÜM II

YAPISAL YANGIN TASARIMININ İLKELERİ

II.1. YAPISAL YANGIN TASARIMININ AMACI

II.1.1. Risk ve Ekonomi

Yangına karşı tasarımın amacı aşağıdaki risklerin sınırlandırılmasıdır:

- (i) Bireysel ve toplumsal yaşam riskinin,
- (ii) Komşu mülkün karşılaştığı riskin,
- (iii) Mülkün doğrudan karşılaştığı riskin.

İnsan hayatının ve komşu mülkün karşılaştığı riski ulusal yönetmelik ve şartnamelerde global şekilde verilen risk düzeyleri belirler. Mülkün doğrudan karşılaştığı riski ise, ekonomik nedenler belirler.

Tutuşma, yangının büyümesi ve yayılması ile bu olayların sonuçlarının denetim altına alınması için aşağıdaki stratejiler izlenebilir:

- (i) Yangının çıkma ihtimalinin en aza indirilmesi,
- (ii) Yangının erken evrede (ısı, alevler, duman ve toksit gazlar bakımından) kontrol altına alınması,
- (iii) İnsanlara (ve mümkünse mallara) güvenli tahliye ya da güvenli koruma alanı sağlanması,
- (iv) Belirli bölgeler (yangın bölmeleri) dışına yangının yayılmasının (ısı, alevler, duman ve toksit gazlar bakımından) önlenmesi,
- (v) İtfaiye ekibi için etkili ve güvenli operasyon koşulları sağlanması,
- (vi) Onarılabilirlik ve yeniden kullanılabilirlik gözönünde bulundurularak erken yapısal göçmenin önlenmesi ya da yapısal hasarın sınırlandırılması.

Yapısal yangın tasarımı (iii)~(vi)'nci yöntemler ile ilgilidir. Bu, (i) ve (ii)'nci yöntemlerin başarısız olduğunun, diğer bir deyişle, yangının erken evrede kontrol altına alınamadığının kabul edilmesi anlamına gelir.

Yapısal yangın güvenliğinin sağlanmasında şu konular gözönüne alınmalıdır:

- (i) Yangın olgusunun bir arıza olay, bir kaza olarak hesaba katılması,
- (ii) Yapısal çözüm yollarının risk azaltıcı etkileri,
- (iii) Yangın bölmelerinin (*) risk azaltıcı etkileri.

Yangına karşı tasarımın gerçekleştirilmesinde ve risklerin belirlenmesinde gözönüne alınması gereken temel birim yangın bölmesidir. Bu nedenle, yapısal çözüm yolları;

- Binanın ya da yangın bölmelerinin tipine (yüksekliğine) ve kullanımına,
- Yangın bölmelerinin işgal süresine,
- Çeşitli yapısal elemanların binanın bütünüdürün stabilitesi üzerindeki önemine bağlıdır.

Yangın riski denetimi için yapısal olmayan çözüm yolları da (malzemenin seçimi, duman ya da ısı sezinleyen alarm sistemleri, sprinkler sistemleri, itfaiye ekipleri v.s.) hesaba katılmalıdır. Bu yapısal olmayan çözüm yolları, yapısal çözüm yolları indirgenerek gözönüne alınabilir. Ancak, yapısal olmayan çözüm yolları hesaba katılıyorsa, şu konular güvence altına alınmalıdır:

- Alarm ve suni yağmur sistemleri uygun şekilde kontrol edilmeli ve bakımları yaptırılmalıdır,
- İtfaiye ekiplerinin etkililiği belirli bir standardın altına indirilmemelidir,
- Minimum suyun sağlanması ya da özel durumlarda diğer uygun söndürme araçlarının minimum temini her zaman karşılanmalıdır.

II.1.2. Yapısal Gereksmeler

Genel olarak, yapılar yangın durumunda normal kullanımları sırasındaki işlevlerini yerine getirebilecek ve istenilen performansını gösterebilecek şekilde tasarlanmalı, inşa edilmeli ve bakımları yapılmalıdır. Ayrıca, yangın olgusuna göre tasarım yaparken, binanın yangın sırasında belirli bir süre içerisinde tahliye edilmesi ve insanların özel korumalı bölgelere ulaştırılması öngörülür. Bununla birlikte, binanın onarılabilirliğe ve yeniden kullanılabilirliğe göre projelendirilmesi de amaçlanmalıdır.

Yapısal yangın tasarımı şunları içerir:

(*) Yangın bölmesi : Yapısal elemanlar tarafından kuşatılmış ve yangına karşı korunmuş bir mekandır. Küçük binaların kendileri de bir yangın bölmesi şeklinde gözönüne alınabilir.

- (i) Yüklerin ve ısı etkisinin değerlendirilmesi ve yapısal tepkinin belirlenmesi,
- (ii) Yapısal detaylandırma (uygun yapısal sistemin seçilmesi, yapısal geometri ve yapıyı oluşturan elemanların seçilmesini),
- (iii) Uygun ısısal ve mekanik özelliklere sahip malzemelerin seçilmesi.

Bu bağlamda çeşitli değerlendirme yöntemleri kullanılabilir. Beklenen yangın olgusuna göre tasarım, belirli tipteki binalar için temsili ya da özel durumlar için yapılabilir. İstenilen güvenlik düzeylerinin gerçekleştiğini kanıtlamak için, uygun güvenilirlik modellerine ilişkin değerlendirme yöntemleri kullanılır. Bu yöntemlere ileriki bölümlerde detaylı olarak değinilecektir.

II.1.3. Limit Durumlar

Yangına karşı tasarım yapının amacına göre aşağıdaki limit durumların irdelenmesini içerir :

(i) Yük taşıma kapasitesi ile ilgili limit durumlar:

Bir yapı, belirli bir süre içerisinde kendisine etkileyen tüm yükleri ve sıcaklık etkilerini karşılayabilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Yük taşıma kapasitesi aşağıdaki son limit durumlarla belirlenir:

- a) Son limit mukavemeti; Yangın süresince yapı ve onu oluşturan yapısal elemanlar belirli bir göçme riski ile tüm dış yüklerle ve içsel etkilere mukavemet etmelidir.
- b) Son limit stabilitesi; Yangın süresince yapı ve onu oluşturan yapısal elemanlar yeterli mukavemete ve stabilizeye sahip olmalı ve deformasyonlardan etkilenmemelidir.
- c) Son limit düktilitesi; Yangın süresince yapı ve onu oluşturan yapısal elemanlar yük taşıma kapasitesini kaybetmemeli ve yeterli düktiliteye sahip olmalıdır.

(ii) İşlev ayırımına ilişkin limit durumlar:

Yangının sınırlı bir alanda kuşatılabilmesi için büyük yapılar yangın bölmelerine ayrılmalıdır. Bu nedenle, bir yangın bölmesini oluşturan ya da çevreleyen tüm elemanlar yeterli ısı yalıtımına (sınırlandırılmış ısı transferi) sahip olmalı ve yangın sırasında oluşabilecek çatlaklara karşı bütünselliğini koruyabilmelidir.

Limit durumlar, ısı ve yük etkileri ile yapısal tepki bağlamındaki uygun hesap modelleri ve/veya deneysel modellerle belirtilir. Yapısal elemanların yük taşıma kapasitesiyle ilgili olarak şu limit durum tanımlamaları yapılabilir; yapısal elemanlar belirli bir yangın süresi içinde göçme limit durumuna ulaşmamalıdır. Bu amaçla, eğilme

elemanları için bir limit sehim ve sehim hızı aşılmamalıdır, eksenel yüklü elemanlar içinse, bir limit kısıalma ve kısıalma hızı aşılmamalıdır.

Eğilme elemanları:

$$\text{Sehim} \quad f = L^2 / (400 \cdot d) \quad [\text{mm}]$$

$$\text{Sehim hızı} \quad \Delta f / \Delta t = L^2 / (9000 \cdot d) \quad [\text{mm/dak}] \quad (*)$$

f :Toplam sehim [mm]

Δf :Bir dakikalık Δt zaman aralığı için sehim [mm]

Δt :Bir dakikalık zaman aralığı

L :Yapısal elemanın net açıklığı [mm]

d :Yapısal kesitin tasarım basınç bölgesinin en dış lifi ile tasarım çekme bölgesinin en dış lifi arasındaki uzaklık [mm]

Bununla birlikte bazı ülkeler basit mesnetlenmiş eğilme elemanları için $f \leq L/30$ değerinin aşılmamasını kabul etmiştir.

Eksenel yüklenmiş elemanlar:

$$\text{Eksenel kısıalma} \quad :h / 100 \quad [\text{mm}]$$

$$\text{Eksenel kısıalma hızı} :3h / 1000 \quad [\text{mm / dak.}]$$

h :Elemanın başlangıç yüksekliği (uzunluk) [mm]

Hesaplar, bu sehim ya da kısıalmanın kritik değerleri için yapısal elemanların son limit kapasitelerine ulaştığını göstermiştir. Bu nedenle, değerlendirme yöntemlerinde bu kriterleri kullanmak son limit yük taşıma kapasitesi ya da yangına mukavemet süresi ile ilgili önemli indirgemeler gerektirmemektedir.

Bir yangın bölmesi ile kuşatılmış yapısal elemanların işlev ayırımına ilişkin şu limit durum tanımlamaları kabul edilebilir ;

(1)Yapısal elemanın dış etkiye açık olmayan yüzünde ortalama sıcaklık artışı belirli bir sınırı aşmamalıdır :

$$\Delta T = 140 \text{ K} (*) \text{ (başlangıç sıcaklığından sonra ortalama sıcaklık artışı)}$$

$$\Delta T = 180 \text{ K} \text{ (başlangıç sıcaklığından sonra herhangi bir noktada maksimum sıcaklık artışı)}$$

$T = 200^{\circ}\text{C}$ (dış etkiye açık olmayan yüzdeki limit sıcaklık)

(11)Alevlerin ve sıcak gazların doğrudan geçebileceği boyutta deliklere ve çatlak genişliklerine izin verilmemelidir.

II.1.4. Değişkenler ve Veriler

Değerlendirme yöntemlerinde kullanılan yapısal tepki modeli, gözönüne alınan limit durumla ilgili olarak aşağıdaki değişkenleri içerir;

- Yapının geometrik parametrelerini,
- Yapısal sistem,
- Yapısal sistemin deformasyonları,
- Yapısal bileşenlerin ısısal özellikleri,
- Yapısal bileşenlerin mekanik özellikleri,
- Yapısal bileşenlerin deformasyonları,
- Yük kombinezonları.

Daha gelişmiş değerlendirme yöntemlerinde gözönüne alınan ısı etkisi modeline göre aşağıdaki ek değişkenlerin hesaba katılması gerekir;

- Yangın yükü yoğunluğu,
- Yangın yükünün yanma davranışı,
- Yangın bölmesinin geometrik parametreleri,
- Yangın bölmesinin havalandırma özellikleri,
- Yangın bölmesinin ısısal özellikleri,
- Şiddetli yangın frekansı ile ilgili veriler (yangın bölmesinin kullanım süresi ve boyutu, yangın söndürme imkanları, su sağlama, yangını sezen ve uyaran alarm sistemleri).

Gelişmiş güvenlik modellerini içeren bir tasarım içinse şu bilgilere gerek vardır;

- Yukarıda belirtilen değişkenlere ilişkin istatistiksel gösterimlere ve
- Şiddetli bir yangın beklenmesi halinde, gerçek yüklerin sayısal ve istatistiksel gösterimine.

II.1.5. Tasarım Şekli

Pratik amaçlı tasarım için kısmi güvenlik katsayıları yaklaşımı kabul edilir. Bilindiği gibi bu yaklaşımda, tasarım değişkenleri, belirli bir riskle gerçekleşmesi kabul edilen karakteristik değerlerle X_k ifade edilir. Değişkenin tasarım değeri X_d karakteristik değerın kısmi güvenlik katsayısı γ_x ile çarpımıyla yada bölünmesi ile bulunur;

-Etki değişkenleri	$X_d = X_k \cdot \gamma_x$
-Tepki değişkenleri	$X_d = X_k / \gamma_x$

Güvenlik katsayılarının belirlenmesinde, yapısal hasara yolaçabilen ve arızı bir olay olarak kabul edilen, seyrek rastlanan şiddetli yangınlar gözönünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, güvenlik tasarımında kullandığımız güvenlik katsayıları, genelde normal tasarımla ilgili güvenlik katsayılarından daha az ihtiyatlı değere sahiptir.

Yük ve ısı etkisi modeliyle ilgili kısmi güvenlik katsayılarının belirlenmesinde şu hususlar gözönüne alınmalıdır;

- Mekanik yükler ve kombinezonlarıyla ilgili belirsizlikler,
- Isı etkisi modeli ile ilgili değişkenler için kabul edilen karakteristik değer risklerinden daha büyük sapmaların oluşması olasılığı,
- Isı etkisi modelinin duyarsızlığı,
- Isı etkisi modelinin rastgele yapısını betimleyen güvenilirlik modelindeki belirsizlikler.

Limit duruma ve belirlenme şekline (çözümsel ya da deneysel oluşuna) bağlı olarak yapısal tepki modeline ilişkin kısmi güvenlik katsayıları şu belirsizlikleri de örtmelidir;

1)Yük taşıma işlevine ilişkin limit durum ;

-Yük taşıma kapasitesinin belirlenmesinde karşılaşılan belirsizlikler ve normal durumlara ek olarak sıcaklık artışından doğan belirsizlikler.

2)İşlev ayırımına ilişkin limit durum;

- Isı yalıtımının ve bütünsellik kriterinin belirlenmesinde karşılaşılan belirsizlikler,
- Yapısal elemanlardaki dış etkiler nedeniyle karşılaşılan belirsizlikler.

II.1.6. Modeller

Hesaplamalarda ve deneysel belirlemelerde ısı etkisinin ve yapısal tepkinin yapısı hesap modellerinin saptanmasında gözönüne alınmalıdır. Bu amaçla, yangın frekansını betimleyen modeller, bir arızı olgu olarak tasarıma katılmalıdır. Bu katsayıların hesaplanmasında stokastik model belirsizlikleri gözönüne alınmalıdır.

(1) Yük ve ısı etkisi modeli;

Değerlendirme yöntemlerinin herbiri için uygun bir ısı etkisi modeli kabul edilmelidir. Normal koşullar altındaki tasarım yükleri tam olarak gözönüne alınmalıdır.

Yüklerin rastgele yapısı tam olarak hesaba katılmışsa, indirgeme yapılabilir.

(ii) Yapısal tepki modeli;

Tasarım, yapısal çözümleme ve bu çözümlemeye göre sistemi oluşturan yapısal elemanların hesaplanması ve denetlenmesini içerir. Ulusal standartlara göre çoğu zaman yapısal sistemin bütünsel davranışı yerine bireysel elemanların denetlenmesi gerekir. Bu nedenle tasarım, doğrudan yangın etkisi altında kalan yapısal elemanların denetlenmesine indirgenir.

II.2. MALZEMEYİ VE YAPISAL BETON ELEMANLARIN YÜK TAŞIMA KAPASİTESİYLE İLGİLİ LİMİT DURUMLAR İÇİN KRİTERLER

II.2.1. Malzeme Kırılma Kriteri

II.2.1.1. Beton

Isıtma işlemi sırasında betonun mikro ve makro yapısı içinde fiziksel, kimyasal ve minerolojik değişimler meydana gelir. Bu değişimler çimento matrisi ve agregalar içinde geçerlidir. Farklı bileşenlerdeki bu değişimler çeşitli doğrultularda olduğundan, ortaya çıkan karmaşık mekanizmanın çözülmesi çok güçtür.

Genel olarak, sıcaklığın artmasıyla betonun mukavemetinin azaldığı ve deformasyon yapabilirliğinin arttığı söylenebilir. Farklı bileşimli (örneğin ;farklı tipte çimentolu, silisli ya da kalkerli agregalı) normal ağırlıkta betonlarda, farklı beton davranışları izlenebilir. Hafif agregalardaysa, normal betona nazaran daha farklı davranış gözlenebilir. Bu çalışmada, bu durumlara değinilmeyecektir. Bununla birlikte, hafif agregaların performansı ile ilgili tablolaştırılmış veriler ve malzeme özellikleri hakkında bazı bilgiler, ilerideki bölümlerde daha detaylı olarak verilecektir.

Betonun mekanik kırılma kriterlerinden biri de "**kritik beton sıcaklığı**" dır. Bir beton deney numunesi sabit basınç gerilmesi altında ısıtılır. Isıtma işlemi süresince uygulanan sabit basınç gerilmesinin beton numuneyi tek başına limit durumlara götürmediği ve sıcaklık arttırıldığında beton enkesit üzerindeki sıcaklık dağılımının üniform olduğu kabul edilmiştir. Bu şartlar altında beton numune $\epsilon' \rightarrow \infty$ (*) deformasyon hızında son limit durumuna ulaşacaktır. Elemanın son limit durumuna ulaştığı andaki bu sıcaklığa "**kritik beton sıcaklığı**" denir. "**Kritik beton sıcaklığı**" gerilmeye bağlıdır, yani, büyük gerilmeler, küçük kritik sıcaklıklardan ileri gelir.

Bu deney yönteminden elde edilen malzeme özellikleri, bir elemanın içinde bulunduğu koşulları çok iyi belirtir. Örneğin; yukarıdaki beton deney numunesi için gözlenen $\epsilon' \rightarrow \infty$ deformasyon hızından elemanın basınç kırılması ve bunu izleyen son

limit durumu anlaşılır ve eğilmeye çalışan bir yapısal elemanın basınç bölgesindeki deformasyon hızı şeklinde hesaba katılabilir.

Betonun çekme gerilmesi için kırılma kriteri ikinci derecede önem taşır.

Bir beton elemanın "**kritik sıcaklığı**" kırılma kriterinden, elemanın uğruyacağı deformasyonun değeri ile ilgili bir bilgi alınamaz. Bu deformasyon değeri, herhangi bir elemanın ya da yapının son limit durumu ve yük taşıma davranışının araştırılması için gerekliyse, ilerideki bölümlerde verilecek olan gerilme-birim deformasyon diyagramlarına başvurulabilir.

II.2.1.2. Çelik

Sıcaklık artışıyla beraber çeliğin bütün tipleri için bir mukavemet kaybı söz konusudur ve aynı zamanda deformasyon yapabilirliklerinde de artış meydana gelir. Çeliğin bileşimi ve çelik yapım yöntemleri, yükselen sıcaklıklar altındaki çeliğin mukavemet ve deformasyon özelliklerine büyük ölçüde etki ederler. Çevre sıcaklığında , soğukta çekilerek ve soğukta bükülerek imal edilen donatı ya da öngerilme çeliğinin çekme mukavemetinin artırılması, çeliğin mikro yapısı içinde distorsiyon ve dislokasyonlara neden olur. Bu sertleştirme olayı, sıcaklık arttığında, yeniden kristalleşme ile tesirsiz hale gelir. Çünkü, yeniden kristalleşme işlerken pekleşme etkisinin zayıflamasına yol açar. Çeliğin işlenme sıcaklığına bir yangın sırasında tekrar ulaşıldığı zaman, işlenme sonrası sıcaklık etkisi ortadan kaybolacaktır. Çelik mukavemetinde sürekli bir azalmaya yolaçan yukarıdaki etkiler, sıcakta çekilerek imal edilen donatı çeliğinde görülmez.

Normal sıcaklık durumunda önemli elastik deformasyon (akma sınırı) göstermeyen çeliklerin akması, 2,0 mm/m (% 2)'lik kalıcı (plastik) birim deformasyona neden olan gerilme ile belirlenir. Bütün çelik tipleri için, akma sınırı yükselen sıcaklıkla beraber ortadan kaybolur ve bu bağlamda akmanın tanımı plastik deformasyon değerlerine benzer şekilde verilebilir. Bu yöntem çoğu zaman hesap yoluyla değerlendirmelerden yararlanmak için kullanılır.

Yükselen sıcaklıkla beraber çeliğin mekanik kırılma kriterini mekanik kırılma için sınırlamak istersek, sabit çekme gerilmesi altında ısıtılmış çelik deney numunesi için uzama hızını $\dot{\epsilon} = 10^{-4}$ /s alabiliriz. Çeliği bu kriterle ulaştıran sıcaklığa "**kritik sıcaklık**" denir. Kritik çelik sıcaklığı gerilmeye bağlıdır, yani büyük gerilmeler küçük kritik sıcaklıklara neden olacaktır.

Eğer betonarme ve öngerilmeli beton elemanın içindeki çelik (çekme mukavemetinin kararlı olması için) kritik sıcaklığa ulaşırsa, elemanın son limit duruma ulaşmasına neden olan hızlı sehim artışı ortaya çıkacaktır.

Basınç altındaki çelik için malzeme özellikleri ve kırılma kriterleri, çekme gerilmeleri için kabul edilen kriterlere benzer şekilde gözönüne alınabilir.

"Kritik çelik sıcaklığı" kırılma kriteri, meydana gelen deformasyonun değeri ile ilgili hiçbir bilgi vermez. Eğer bu bilgiye bir elmanın ya da bir yapının son limit durumu ve yük taşıma davranışının değerlendirilmesi için gerek duyuluyorsa, ileriki bölümlerde değinilecek olan gerilme-birim deformasyon diyagramlarına başvurulabilir.

II.2.2.Kırılma Biçimi için Yapısal Kriterler

II.2.2.1. Basit Mesnetlenmiş Elemanlar

İzostatik eğilme elemanlarının çekme bölgesi, (çoğunlukla karşılaştığımız) ısının alttan gelmesi halinde doğrudan bir yangın tehtidi altında kalır. Bu yüzden bu bölge enkesitin üst parçalarından daha çabuk ısınır. Bu bölgedeki çekme donatısı yük taşıma davranışına göre belirlenir ve çekme donatısı kritik sıcaklığa ulaştığında, yük taşıma kapasitesi limit durumuna ulaşır. Yani akma gerçek gerilme etkisinde başlar.

İzostatik (basit mesnetlenmiş) beton elemanların gerçek kırılma süreleri tabloların ve basitleştirilmiş hesap yöntemlerinin yardımıyla belirlenebilir. Bu amaçla, mekanik yükten doğan donatının gerçek işletme çekme gerilmesinin, ısıtma işlemi süresince değişmeyeceği kabul edilir. Öngerilmeli beton elemanlardaysa, yangına karşı mukavemetin belirlenmesinde gerekli olan öngerilme çeliğinin gerçek çekme gerilmesi, yaklaşık olarak yangın etkisinin başlangıcında elemanın sahip olduğu çekme gerilmesi olarak alınabilir. Daha kesin bir hesaplamayla, ısıtma işlemi süresince çekme gerilmesindeki değişimler görülebilir.

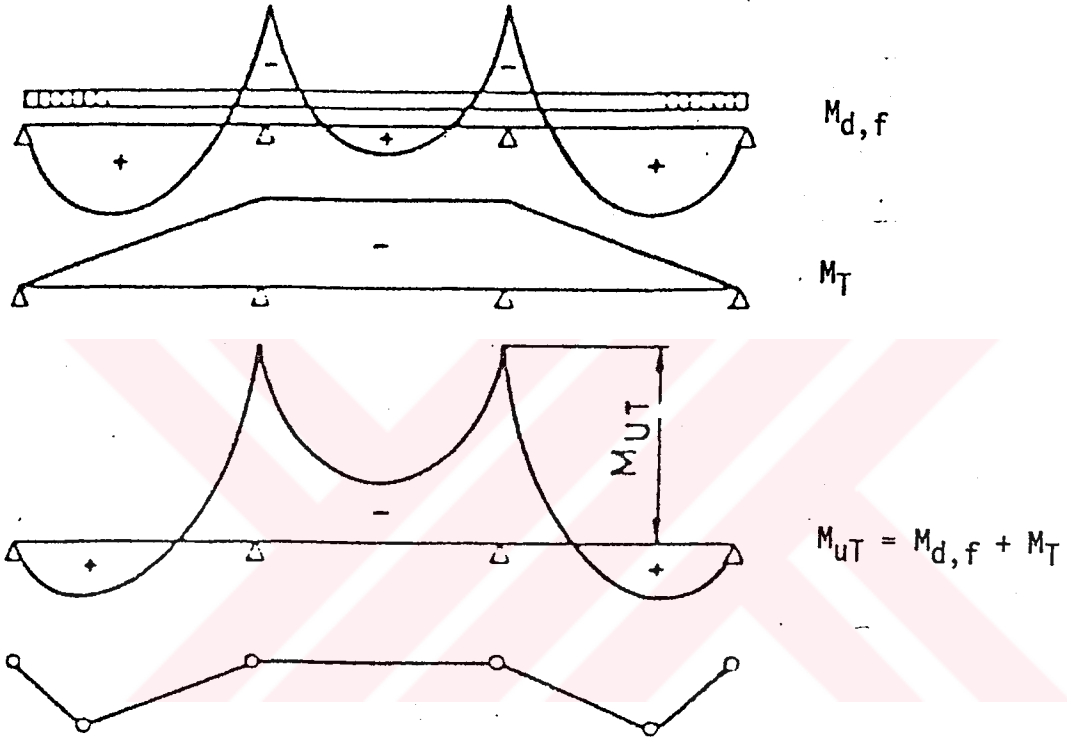
İzostatik eğilme elemanlarının basınç alanının genellikle basınç kırılması kriterine ulaşmayacağı kabul edilebilir. Fakat yine de öngerilmeli beton eleman gövdeleri bu bakımdan kontrol edilmelidir.

II.2.2.2. Sürekli Elemanlar

Hiperstatik beton elemanlarda, sınırlandırılmış etkiler yangın etkisiyle daha da belirginleşir ve mekanik yükün neden olduğu gerilmelerle süperpoze edildiğinde elemanın kırılma biçimi bulunur.

Örneğin; bir sürekli eğilme elemanı alttan ısıtılırsa, ara mesnetler üzerindeki monolitik bağlantılar sistemi sehime yapmaya zorlar. Bu sehime, enkesitin ısıl eğimi ve azalan rijitliği neden olur. Bu da mesnetler üzerinde ek negatif momentlere yol açar. Bu ek momentler, orta açıklık bölgelerindeki gerilmeleri indirgerken, aynı zamanda, ara

mesnetler üzerindeki de artırırlar. Çoğunlukla, ara mesnetler üzerindeki üst donatı akma gerilmesine ulaşana dek bu moment yeniden dağılımı devam edecektir. Mesnetler üzerinde plastik mafsalların oluşmasından sonra, plastik mafsalların sistemin açıklık bölgelerinin ortalarında meydana gelmesiyle, sistem tamamiyle göçecektir. Başka bir anlatımla, açıklık ortasındaki alt donatının (moment yeniden dağılımından doğan gerilmelerin azalmasıyla artış gösteren) kritik sıcaklığına ulaşmasıyla sistem tamamen göçecektir. Bu göçme mekanizması aşağıda bir örnekle gösterilmektedir.



Sekil II.1 : Tüm boyunca ısıtılmış, üç açıklıklı sürekli beton kirişin kırılma biçimi ve moment yeniden dağılımı.

Belirli bir zaman zarfında, bu yük taşıma mekanizmasının yapısının bozulmaması için aşağıdaki üç temel koşul sağlanmalıdır ;

- (i) Beton basınç alanının kırılması önce mesnetler üzerinde meydana gelmemelidir,
- (ii) Dönme kapasitesi yetersizliği önce mesnetler üzerinde meydana gelmemelidir,
- (iii) Üst donatı, negatif momentlerin genişletilmiş alanını karşılamalıdır.

Sıcaklığın artmasıyla, iki doğrultulu plaklarda da gerilme yeniden dağılımı meydana gelir. Bu gerilme yeniden dağılımı, artan sıcaklıkla beraber açıklık donatısının büyük bir kritik sıcaklık değerine ulaşması ve bundan dolayı köşe bölgelerindeki rijitlik etkisinin artmasıyla ortaya çıkar.

II.2.2.3. Basınç Elemanları

Narinlik oranı, yük eksantritesi, donatı yüzdesi ve uç sınır şartları, yangın etkisinde kalan betonarme kolonların yük taşıma davranışını etkiler. Bu etki faktörleri birbirleri ile yakından ilişkilidir ve birbirlerinin şiddetlerini arttırabilir ya da etkisiz hale getirebilirler. Narin kolonlar, uygun bir yük düzeyi ile kısa kolonlara nazaran daha erken göçme zamanına ulaşırlar. Narin kolonların göçme zamanını, enkesitin hasar gören dış yüzey bölümlerindeki kayıplar ve dolayısıyla etkili narinlik oranının artması etkiler.

Sonuç olarak, yükselen sıcaklık altında betonun deformasyon yapabilirliğinin artmasından doğan yük eksantriteleri, kolonların önemli yatay deformasyonlarına neden olmaktadır. Yani, ikinci mertebe teorisi sıcaklık etkisindeki bir sistemde, oda sıcaklığındaki bir sistemde olduğundan daha çok önemlidir.

Enkesit içinde, yükselen sıcaklıkla birlikte kuvvetlerin yeniden dağılımı meydana gelir. Sıcaklığın artmasıyla, enkesit dış yüzeyine yakın bölgelerdeki donatının yük taşıma kapasitesinde bir azalma gözlenir. Bundan dolayı yük beton çekirdeğe aktarılır.

Büyük donatı yüzdeleri için, kolonun erken kırılmasına neden olabilen yükün önemli bölümü betona aktarılmalıdır.

Genellikle kolonlar alt ve üst taraflarından monolitik olarak diğer yapı elemanlarına bağlanırlar. Yangın sırasında, kolon başlarındaki rijitlik kaybı, kolon yüksekliğinin orta noktalarından oldukça az olacaktır. Kolon başlarındaki bu rijitlik kaybı, bitişik yapısal elemanların konsantre kütlelerinin neden olduğu yavaş sıcaklık artışından doğar. Bu olay, bu kolonların son limit yük taşıma kapasitesini olumlu yönde etkileyecektir.

Bir yangın sırasında bir çok komşu kolon yangından farklı şekilde etkilenirse, bu kolonların ısıl genleşmeleri de farklı olur. Genleşme zorlaması boyuna doğrultuda ek kuvvetler meydana getirecektir. Ek gerilmelerin derecesi yapısal sistemin tümüne bağlıdır (en fazla binanın rijit çekirdeğine yakın kolonları etkilenir). Yüksek sıcaklık-sünme ve yüksek sıcaklık gevşeme-etkileri, yangın sırasında oluşan zorlama kuvvetlerini azaltmaktadır. Bahsi geçen bu yorumlar yük taşıyan duvarlar için de geçerlidir.

Yükselen sıcaklıkla karşı karşıya kalan basınç altındaki beton elemanların kırılması (malzeme kırılma kriteriyle açıklanabilen), enkesitin yük taşıma kapasitesini aşmasıyla ya

da ilgili yapısal elemanın stabilitesini kaybetmesiyle meydana gelir.

II.2.2.4. Çekme Elemanları

Çekmeye çalışan betonarme ve öngerilmeli beton elemanlarda yangın sırasında oluşan önemli çatlaklarla ilgili olarak, çekmeye karşı rijitleştirici etki gözönüne alınmamalıdır ve beton yalnızca bir izolasyon gibi dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı, bu yapısal elemanların limit durumu yalnızca çeliğin davranışına bağlıdır ve bu durum çelik kritik sıcaklığına ulaştığında meydana gelir.

Limit duruma yaklaşmış çekme elemanlarındaki genişleme oldukça küçüktür. Bu gerçeğe, eğer çekme elemanlarının genişmesi yapısal elemanların erken limit durumlarına sebep olacaksa (örneğin gergiyle taşınan kemerlerde olduğu gibi) dikkat edilmelidir.

II.2.3. Ek Kırılma Biçimleri

Bundan önceki bölümlerde betimlenen yapısal elemanların kırılma biçimleri, karşımıza çıkacak durumların çoğunda gözlenir. Normal durumlarda, yapısal beton elemanların yangın mukavemeti için kullanılan tasarım kılavuzları ve hesap yöntemleri genelde daha önce belirtilen kırılma biçimlerine bağlıdır. Bununla birlikte, aşağıdaki kırılma biçimlerine, uygun detaylandırma yapılarak, ilk önce ulaşılmaması sağlanmalıdır.

II.2.3.1. Parçalanıp dağılma

Bir yangının etkisinde kalmış beton elemanların yük taşıma kapasiteleri parçalanarak dağılmanın meydana gelmesiyle aşırı derecede kayba uğrarlar. Bu olay kesit alanının azalmasına neden olacağı gibi, donatı çubuklarını koruyan örtü betonunu da ortadan kaldırır. Yük taşıyan sistem gerilme yeniden dağılımının gerçekleşmesine izin vermelidir. Bu gerilme yeniden dağılımı sayesinde, patlayarak dağılmadan etkilenen elmandaki yükler, diğer elemanlara aktarma yoluyla, büyüklüklerini azaltırlar. Bu yeniden dağılım olmazsa, yapı elemanları ayrı ayrı malzeme kırılma kriterine ulaşarak vaktinden önce kırılacaktır.

Agreganın parçalanarak dağılması daha az önemlidir. Agreganın parçalanarak dağılmasının nedeni, agrega yapısı içindeki fiziko-kimyasal biçim değiştirmelerdir. Bu patlayarak dağılma beton enkesitin en dış alanıyla sınırlanmıştır ve geniş hasara neden olmaz.

Aşırı ısınmadan dolayı, enkesitin yüzeye yakın bölgesi gevrekleşiyorsa, yangın etkisinin daha ileri evrelerinde beton parça parça kopup dökülür. Bu olay çoğunlukla elemanın büyük deformasyonlarıyla ortaya çıkar. Parça parça kopma meydana

geldiğinde, yük taşıma kapasitesinde önemli azalmaların oluşması istenmez.

Patlayarak dağılmalar ısı etkisinin erken evrelerinde meydana geldiğinde genellikle çok tehlikeli olur. Patlayarak dağılmaların başlıca nedeni iç gerilmelerdir. İç gerilmeler, en kesitte ısıtma işleminden ileri gelen su/buhar hareketleri ve ısısal eğimle meydana gelirler. İç gerilmelerin kimi zaman mekanik yükün neden olduğu gerilmelerle süperpoze edilmesi gerekir. Bu çeşit dağılmalar küçük enkesitlerde, büyük enkesitlerden daha çabuk oluşur ve enkesitlerdeki hızlı değişimler patlayarak dağılmayı kolaylaştırır.

Yeterli ısı kapasitesine sahip beton kesitler içindeki sıcaklık yavaş artar ve aynı şekilde su buharı hareketleri de yavaş seyrederek. Böylece, uygun şekilli kesit seçimi ile patlayarak dağılmanın tehlikesi önlenebilir ya da azaltılabilir.

II.2.3.2. Başka Kırılma Biçimleri

II.2.3.2.1. Kesme Kırılması

Yangın etkisinde kalan beton elemanlardaki kesme gerilmeleriyle ilgili karmaşık kırılma mekanizması henüz (bilinen onaylanmış tahminsel yöntemlerle) yeterli derecede ve tam olarak tanımlanmamıştır. Malzeme kırılma kriterleri yöntemi, bu probleme bir ilk yaklaşım gibi gözönüne alınabilir.

Eğilme ve kesme kuvvetlerinden doğan gerilme kombinezonları, çok özel koşullarda kırılmalara neden olurlar. Bu kırılmalar gerçek moment-kesme oranı ve enkesit ile sisteme ait karakteristiklerden dolayı eğilme elemanlarında daha erken meydana gelebilir. Basınç ve çekme gerilmelerinin birlikte etkimesi ile bitişik yatay yapı elemanlarındaki sıcaklığa bağlı dilatasyonların neden olduğu yatay kuvvetlerin birlikte etkimesi, kolonların kırılmasına neden olabilir. Kirişler için tavsiye edilen dört adet bindirmeli etriye kolonlardaki bu bölgelerde de konuşlandırılmalıdır.

II.2.3.2.2. Aderans, Ankraj

Aderans kırılma kriteri, kayma ve tahrip edici kırılmayla ve sonrasında beton örtünün sıyrılmasıyla tanımlanabilir. Donatı çubuğu yüzey karakteristikleri, örtü betonu ve "örtü beton/donatı çapı" oranı kırılma biçimini etkiler. Genellikle beton ile nervürlü donatı ya da hasır donatı arasındaki aderans mukavemeti donatının akma mukavemetinden daha yavaş azalır. Bu patlayarak dağılmanın uygun koşullarda önlenmesini sağlar.

Erken aderans kırılması, zayıf ankre edilen düz donatı çubukları ya da öngerilmeli prefabrike yapı elemanlarının kullanılması halinde daha çabuk olacaktır. Erken aderans kırılması, öngerme halatlarının ya da tellerinin öngerilme aktarım bölgelerine yangının

etki etmesi ve etriyelerin uygun yerleştirilmesiyle güvenliğin sağlanmadığı bölgelerde meydana gelir.

II.2.3.2.3. Dönme Kapasitesi

Sürekli sistemlerde, enkesit üzerindeki ısısal eğimden doğan açıklık içindeki büyük sehimler, ara mesnet bölgelerinde bir dönme artışına yol açarlar. Bu nedenle, bütün düzenlemeler, bu enkesit bölgesindeki yeterli dönme kapasitesini koşul olarak vermektedir. Sıcaklığın artmasıyla hiperstatik yapıların yük taşıma davranışını etkileyen gerilme yeniden dağılımları bu düzenlemelerin kapsamındadır.

Bu dönme kabiliyeti basınç bölgesinin etkili derinliğinin boyuna bağılıdır. Küçük boyutlu çatlakların artması da, bu dönme kabiliyetini etkileyen unsurlardandır. Bu çatlaklara, enine donatı ve/veya etriye düzenleme mesafeleri etki eder. Bunların ötesinde, bu dönme kapasitesi üst donatının aderansına ve duktilitesine de bağılıdır.

Daha farklı gerilme dağılımının mümkün olmadığı (örneğin açıklık doğrultusuna paralel mesnetlerde gözlenen) ve iyi aderans özelliği, fakat kötü duktiliteye sahip yüksek kaliteli çelikten imal edilen donatının kullanıldığı tek açıklıklı sürekli döşemelerde, yetersiz dönme kapasitesinden doğan kırılma meydana gelebilir.

BÖLÜM III

DEĞERLENDİRME

III.1. DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

III.1.1. Isı Etkisi ve Yapısal Tepki

Isı etkisi modeliyle ilgili üç değerlendirme yöntemi aşağıdaki gibi sınıflandırılır ;

(i).I. Değerlendirme yöntemi: " (ISO 834)(*) standart ısıtma koşulları"nı esas alan yöntem. Bu yöntemle ilişkin tasarım kriteri şöyledir; yapısal elemanın standart ısıtma koşullarında sahip olduğu yangına karşı mukavemeti deneysel ya da çözümsel yolla belirlenir. Belirlenen bu yangın mukavemeti, yapı yönetmelikleriyle ya da diğer tasarım kurallarıyla sınırlanan yangının devam süresine eşittir ya da bunu aşar.

(ii).II. Değerlendirme yöntemi: " (ISO 834) standart ısıtma koşulları"nı esas alan yöntem. Bu yöntemle ait tasarım kriteri şöyledir; bir yapısal elemanın deneysel yada çözümsel yolla belirlenen yangın mukavemeti, "yangın etkisinin eşdeğer zamanı"na eşittir ya da bunu aşar. Bu eşdeğer zaman yapısal elemanda benzer etkiye neden olan "standart ısıtma koşulları"yla, standart olmıyan bölme yangını etkisine bağlıdır.

(iii).III. Değerlendirme yöntemi: Yöntem, standart olmıyan bölme yangını etkisini esas alan yapısal tasarımın, doğrudan çözümsel yolla bulunmasıyla belirlenir.

Birinci yöntemle göre tasarım bir çok ülkenin yönetmeliklerine uymaktadır. Bu yönetmeliklerdeki yapısal eleman gereksemeleri, (ISO 834 standart yangına ilişkin ısıtma şartlarına bağlıdır) yangın seyrinin gerekli minimum zamanı şeklinde açıklanmaktadır. Bu bağlamda birinci değerlendirme yöntemi, bir tasarım yönteminden çok, bir sınıflandırma sistemidir.

Uygulamada, bu basitleştirilmiş yöntem yardımıyla yangın etkisinde kalan yapıların karmaşık davranışına ilişkin yüzeysel bir yaklaşım yapılabilmektedir. Çünkü, gereken yangın mukavemeti çoğunlukla geniş bir güvenlik sınırı için hesaplanır, buna karşılık sınıflandırma sistemi yılların denetimine dayanmaktadır. Sınıflandırma sisteminin pratik uygulamada sağladığı kolaylık da çok önemlidir. Aşağıdaki koşulların sağlanmasıyla, birinci değerlendirme yöntemi kullanılarak, bir çok durumda ve özellikle yük taşıma kapasitesi limit durumunda, gerçek yapıya gelen bazı ek yangın mukavemetleri

karşılabilir ;

-ISO 834'e göre yapılan deneylerden doğan sınıflandırılmış gereksemelerin, binanın sahip olduğu gerçek yangın özelliklerini karşılaması (bununla birlikte bazı durumlarda, gerçek yangın standart yangın deneylerinden daha tehlikeli olabilir).

-Gerçek tasarımda (yangın süresince) gözönüne alınandan daha düşük mekanik yük ve daha iyi mekanik malzeme özelliklerinden dolayı yük taşıma kapasitesinde ortaya çıkan fazlalıkların dikkate alınması.

-Yapısal elemanın bünyesel özelliklerinden dolayı, tüm yapının yük taşıma davranışının ayrı ayrı her bir elemanla karşılaştırılması (tasarım yapılırken, bir elemanın bünyesel özelliklerinin, elemanın yangın davranışını etkilemediğinden emin olunmalıdır).

Kararlılık açısından, yangın etkisinde kalan sistemlerin davranışına ilişkin yapısal tasarımın daha ileri düzeylerinde daha iyi ısı modellerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, daha işlevsel temellere dayalı olan ikinci ve üçüncü değerlendirme yöntemlerinin dikkate alınması tavsiye edilir.

Üçüncü değerlendirme yönteminde standart olmıyan bölme yangını olgusuna bağlı (işlevsel yönden) bir tasarım yolu sunulmaktadır ve bu tasarım yolu, bilinen stokastik değerleri içine alır.

İkinci değerlendirme yöntemi bir ara yöntemdir. Bu yöntemde standart olmıyan bölme yangınının etkisi, yapısal elemanda aynı tehlikeli etkiye neden olan ve "yangın etkisi eşdeğer zamanı" ile ifade edilen standart yangına ait ısıtma koşullarıyla ilişkilidir. Bu yangın etkisinin eşdeğer zamanı, yangın yükünün ve yangın bölmesinin geometrisinin, havalandırma koşullarının ve ısısal özelliklerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanır.

III.1.2. Yükler (Etkiler)

Birinci değerlendirme yöntemine ait yangın tasarımında, son limit yük taşıma kapasitesi için yangına mukavemet süresi, belirli bir elemanın normal (arızı olmıyan) yangın tasarımı durumundaki $F_{d,f}$ tasarım yükleri ile bağlantılı olarak belirlenir. Yangın mukavemetini belirlemek için $S_{d,f}$ yük etkilerinin uygun tasarım değerleri, aşağıda görüldüğü gibi bir arızı yük kombinezonunun gözönüne alınmasıyla belirlenir;

$$S_{d,f} = S (G_k + \sum \Psi_i Q_{k,i} + Q_{k,ind}) = S (F_{d,f}) \quad (III.1)$$

G_k :Sabit yüklerin karakteristik değeri

$Q_{k,i}$:Hareketli yüklerin karakteristik değerleri

$Q_{k,ind}$:Sıcaklık etkisinden doğan dolaylı etkilerin (ısısal zorlama) karakteristik

değerleri

Ψ_i :Kombinezon katsayısı, $i \leq 1$ (genelde $i = 1$ ve $i > 1$ için farklıdır)

Yangın tasarımında kullanılan $S_{d,f}$ (yük etkilerinin tasarım değeri) tutarlılık ve basitlik sağlaması açısından normal tasarımda kullanılan S_d 'lerden (yük etkilerinin tasarım değerleri) türetilenlerdir. Bu durumda kombinezon katsayıları dikkate alınmaz.

$$S_{d,f} \cong 0,7 \cdot S_d \quad (\text{III.2})$$

(III.1) denkleminde yalnız bir hareketli yüke sahip bir yük kombinezonu için yalnızca yarı sabit yük kısmının karakteristik değerini göz önüne almak uygun olacaktır. Kısa süreli oluşları ve seyrek görülmeleri nedeniyle küçük değerler bu özel şartlarda ihmal edilebilir. Bu bağlamda, hareketli yükün yarı sabit kısmı gözönüne alınacaksa;

$$\Psi_1 = 0,65 \quad (\text{III.3})$$

alınması tavsiye edilir. Aksi durumda

$$\Psi_i = 0,80 \quad (\text{III.4})$$

alınabilir. Bölüm (III.1.3)'de (III.2), (III.3), (III.4) kabullerinin doğruluğu araştırılacaktır.

Yangına karşı mukavemet, yük taşıma kapasitesine ilişkin aşağıdaki durumların yerine getirilmesiyle belirlenebilir;

- Tasarlanan belirli bir servis yükü için temsili yük gruplarının yaklaşık olarak hesaplanması ve
- Tekil yükü ve kombinezonlarını mekanik yükün bir fonksiyonu şeklinde hesaba katarak yapısal elemanların kesin yangın mukavemetinin belirlenmesi.

III.1.3. Kısmi Güvenlik Katsayıları ve Yük Etkilerinin Belirlenmesi

Normal tasarım durumunda, (III.2)'de verilen 0,7 katsayısı aşağıdaki gibi belirlenir;

$$S_d = S(\gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q) = S(F_d) \quad (\text{III.5})$$

ve

$$F_k = G_k + Q_k \quad (\text{III.6})$$

γ_G :Sabit yükler için kısmi güvenlik katsayısı (genelde 1,35'dir)

γ_Q :Yalnız bir hareketli yük için kısmi güvenlik katsayısı (genelde 1,5'dir)

F_d :Yüklerin tasarım değeri
 F_k :Yüklerin karakteristik değeri

$$G_k = \alpha \cdot F_k \quad (\text{III.7})$$

$$Q_k = (1 - \alpha) \cdot F_k \quad (\text{III.8})$$

olarak yazılırsa,

$$F_d = \gamma_G \cdot \alpha \cdot F_k + \gamma_Q \cdot (1 - \alpha) \cdot F_k \quad (\text{III.9})$$

$$F_k = F_d / (\gamma_G \cdot \alpha + ((1 - \alpha) \cdot \gamma_Q)) \quad (\text{III.10})$$

elde edilirse ve $\alpha = 0,5$ kabul edilirse, $F_k = 0,7 \cdot F_d$ elde edilir. Bu da şu anlama gelir; $S_{d,f}$ karakteristik değerlere bağlıysa ve

$$S_{d,f} = S(0,7 \cdot F_d) \cong 0,7 \cdot S_d \quad (\text{III.11})$$

(III.11) bağıntısı, tasarım değerleri için geçerli olmaktaysa, $S_{d,f}$ 'yi, $0,7 \cdot S_d$ gibi almak doğru olacaktır.

Yapısal tasarımda kullanılan bütün kısmi güvenlik katsayıları aynı göçme riskine göre belirlenmiştir. Önerilen Ψ_1 değeri, $\beta_f = 2,5$, $\alpha_R = 0,6$, $\alpha_F = -0,5$, $\alpha_T = -0,7$ kabul edilerek ve karakteristik değerlerle ilgili risk %5 kabul edilerek belirlenebilir.

$$\gamma_{M,f} = R_k / R_d \quad (\text{III.12})$$

$$\gamma_{F,f} = F_d / F_k \quad (\text{III.13})$$

Yukarıdaki kısmi güvenlik katsayıları, log- normal dağılımına bağlı olarak aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$\gamma_{M,f} = \exp(\alpha_R \cdot \beta_f \cdot v_R - k \cdot V_R) \quad (\text{III.14})$$

$$\gamma_{F,f} = \exp(-\alpha_F \cdot \beta_f \cdot v_F - k \cdot V_F) \quad (\text{III.15})$$

α :Duyarlılık katsayısıdır ve göçme olasılığı üzerindeki, (R, F, T) değişkenine göre belirlenir.

β_f :Arızı yangın durumunda, bina elemanının kabul edilebilir kırılma olasılığı için kullanılan güvenilirlik indeksidir.

v : Varyasyon katsayısı (yaklaşık olarak log-normal dağılımının standart sapmasına eşittir).

k : 1,645 (normal dağılıma ilişkin % 5 ya da % 95 fraktıl değerdir ve bu değer (III.14) ve (III.15)' de gözönünde bulundurulur)

Yukarıda verilen değerler ışığında ve (kullanışlı olması açısından) varyasyon katsayılarını, malzeme açısından $v_R = 0,25$, sabit yük için $v_G = 0,1$ ve hareketli yük için $v_Q = 0,5$ kabul edersek, aşağıdaki kısmi güvenlik katsayısı elde edilir:

$$\gamma_{M,f} = \exp(0,6 \cdot 2,5 \cdot 0,25 - 1,645 \cdot 0,25) = 0,96 \cong 1 \quad (\text{III.16})$$

yük için α_F katsayısı;

$$\alpha_{F,G} = -0,3 \quad (\text{III.17})$$

$$\alpha_{F,Q} = -0,4 \quad (\text{III.18})$$

şeklinde alınırsa, kısmi güvenlik katsayısı şu şekilde bulunur:

$$\gamma_{G,f} = \exp(0,3 \cdot 2,5 \cdot 0,1 - 1,645 \cdot 0,1) = 0,91 \cong 1 \quad (\text{III.19})$$

ya da hareketli yükün ortalama değeri alınırsa:

$$\gamma_{G,f} = \exp(0,3 \cdot 2,5 \cdot 0,1) = 1,08 \cong 1 \quad (\text{III.20})$$

olur. Hareketli yük için kısmi güvenlik katsayısı aşağıdaki şekilde bulunur (Ψ_1 katsayısı yalnız bir hareketli yük içindir):

$$\gamma_{Q,f} = \exp(0,4 \cdot 2,5 \cdot 0,5 - 1,645 \cdot 0,5) = 0,72 \cong 0,8 \quad (\text{III.21})$$

sadece hareketli yükün yarı sabit kısmı alınırsa, $Q_{k,perm} = 0,8 \cdot Q_k$ olduğu kabul edilerek aşağıdaki $\gamma_{Q,f,perm} = \Psi_1$ katsayısı hesaplanabilir :

$$\gamma_{Q,f,perm} = \exp(\ln(0,8) + 0,4 \cdot 2,5 \cdot 0,5 - 1,645 \cdot 0,5) = 0,58 \cong 0,65 \quad (\text{III.22})$$

İhtiyatlı değerlere dayanan bu hesap yolu (III.1) denklemini için yapılan (III.3) ve (III.4) ihtiyatlı kabullerinin yarı olasılıksal temelde doğru olduğunu göstermektedir.

III.2. I. Değerlendirme Yöntemi: (ISO 834) Standart Yangın Etkisine Göre Yapısal Elemanların Mukavemeti

Bir çok ülke yangına ilişkin bir sınıflandırma sistemini esas alarak yapısal elemanların gereksemelerini kurallaştırmıştır. Yapısal elemanların herbirinin gerekli yangın mukavemeti sınıfı, yapısal tasarımda uygulanmadan önce bu kurallara göre denetlenmelidir. Bu denetleme aşağıdaki bağıntıyla yapılır :

$$\text{req. } t_f \leq \text{eval. } t_f \quad (\text{III.23})$$

req. t_f :Gerekli yangın mukavemeti sınıfı

eval. t_f :Belirlenen yangın mukavemeti sınıfı; deneysel olarak ya da yapısal elemanların standartlaştırılmış başvuru kataloglarından alınabilir.

Yangın mukavemeti sınıfları " (ISO 834) standart ısıtma koşulları"na göre birinci yöntemle belirlenebilir. Belirleme, standartlandırılmış zamana bağlı sıcaklık gelişimi etkisinde kalan ilgili elemana ait deney numunelerinin davranışı incelenerek sağlanır. Gerekli yangın mukavemeti sınıfının bir deney süresiyle ilgili olduğu ve gerçek bir yangın süresiyle ilişkili olmadığı unutulmamalıdır.

III.2.1. Sınıflandırma için Veriler ve Bilgiler

Gerekli yangın mukavemeti sınıfları aşağıdaki verilere bağlı olarak belirlenmelidir:

- Kullanıma ve bina tipine,
- Bina boyutu, kat adedine,
- Olası bina yangını tipi ve şiddetine,
- Bölmelere ayrılan yapısal elemanların işlevleri ve yapının bütünsel stabilitesine,
- Yangın söndürme aletleri (yangın sezinleyici sistemler, sprinkler sistemleri),
- İtfaiye ekipleri ve su teminine..

III.2.2. Sınıflandırma

Bir yapısal elemanın yangına karşı mukavemeti, doğrudan dakika olarak yangına karşı mukavemet süresi, t_f ile ya da dolaylı olarak F.30, F.60, F.90,... şeklinde yangına karşı minimum mukavemet sürelerine göre gösterilen yangına karşı mukavemet sınıflarıyla temsil edilir.

III.2.3. Standart Yangın Etkisi

Pratik amaçlı uygulamalar için bazı ülkeler basitleştirilmiş sıcaklık-zaman eğrilerini kullanmaktadır. Bununla birlikte, bir çok ülkede yapılan deneysel ve çözümsel çalışmalar sonucunda ISO tarafından standardize edilmiş bir sıcaklık zaman bağıntısı belirlenmiştir. ISO 834 uluslararası standardında, farklı kategorilerdeki yapısal elemanların yangın mukavemetinin belirlenmesi için standart ısıtma ve basınç koşulları ile deney yöntemi ve

kriterleri verilmektedir. Deney belirli boyutlardaki deney numunelerinin yangın süresince tavsiye edilen deney şartları altında koşul olarak verilen kriterleri yerine getirme süresini esas alan yapısal elemanların yangın mukavemetinin belirlenmesini sağlar.

Deney süresince numune belli bir fırında sıcaklık artışı etkisinde kalır. Sıcaklık değişimi standart "zaman-sıcaklık" eğrisinin belirli sınırları içinde kalacak şekilde denetlenir.

$$T - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1) \quad (\text{III.24})$$

t : Dakika olarak zaman

T : t zamanında fırın ısısı (°C)

T₀ : t = 0 zamanında fırın ısısı (°C)

Deney koşulları, benzer yapısal elemanların servis durumları altında beklenen durumlara mümkün olduğunca uyacak şekilde hazırlanmalıdır. Yük taşıyan deney numuneleri, elemanın kritik bölgelerinden tasarım yüküne maruz kalan tam boyutlu bir elemenda meydana gelen aynı büyüklükteki gerilmeleri doğuran yüklemeye maruz bırakılır.

III.2.4. Yangına Karşı Mukavemetin Belirlenmesi

III.2.4.1. Deneyle Belirleme

Bir yapısal elemanın yangına karşı mukavemeti ISO 834 uluslararası standardına ilişkin kriterlere göre gerçekleştirilen deneyle belirlenebilir. Bu deneylerin tümü gerçek boyutta deney numuneleriyle ya da bu mümkün değilse deney numunelerini minimum boyutları, orjinal boyutlara yaklaştırılarak gerçekleştirilir.

ISO 834`teki deney koşulları (örneğin yakıt, fırın özellikleri, fırının içinde bulunduğu çevre şartlarına ilişkin koşullar) her bakımdan tam olarak belirtilmezse, farklı laboratuvarlardan farklı deney sonuçları alınabilir. Ayrıca, arazi çalışmalarından elde edilen sonuçlar da dikkate alınmalıdır.

Geçen on yıl süresince, betonarme ve öngerilmeli beton elmanlara ilişkin çok sayıda standart yangın deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları daha sonraki kullanımlar için elde mevcuttur. Şuanda, yalnızca özel durumlarla ilgili deneyler gerçekleştirilmektedir.

III.2.4.2. Deneyle Belirlenen Tablolaştırılmış Veriler

Çoğu ISO 834'e göre yapılan deneylerinin çözümlenmesi sonucunda elde edilen sonuçlar çok miktarda yapısal beton elemandan elde edilmişse, betonarme ve öngerilme çeliği için örtü beton kalınlığı ve eleman boyutuyla ilgili tasarım kurallarının kurulması mümkün olur. Bu tasarım kuralları yardımıyla yaygın olarak kullanılan yapı elemanlarının yangına karşı mukavemeti bulunabilir. Bu deney sonuçlarının çoğu ilerideki bölümlerde verilecek olan tablolaştırılmış veriler kaynak 4'e göre yapılan ve tasarım yükleri etkisindeki elemanlarla ilgilidir. Diğer yük düzeyleri, basit yaklaşım yöntemleri kullanılarak hesaplanır. Özel tipte yapı elemanları için daha ayrıntılı bilgi almak isteniyorsa, ulusal yönetmeliklere başvurulmalıdır.

III.2.4.3. Hesapla Belirleme

Geçen on yıl içersinde gerçekleştirilen gelişmeler saysinde, çelik ve betonun geçici yüksek sıcaklıklar altındaki mekanik davranışı ile ilgili geçerli malzeme modellerinin geliştirilmesi mümkün olmuştur. Bu bağlamda, yangın etkisinde kalan betonarme ve öngerilmeli beton yapıların farklı tipleri için yük taşıma kapasitesini ve davranışını belirleyen doğruluğu kanıtlanmış bilgisayar programları da yayımlanmıştır.

İkinci bölümde değinilen "ek kırılma biçimleri", algılamadaki karışıklıklar nedeniyle varolan yöntemlerle karşılanamaz. Bu nedenle, bir pratik yangın mühendisliği uygulamasında, yapısal elemanlar bu tip kırılmaların eğilme kırılması oluşması olasılığından daha küçük bir olasılıkla ortaya çıkacağı dikkate alınarak detaylandırılmalıdır. Bu nedenle, geleneksel sınıflandırma sisteminden kaynaklanan I. değerlendirme yöntemi ilgili karakteristik değerleri esas alan bir deterministik kavram olarak gözönüne alınmalıdır. CEB-FIB model yönetmeliğiyle uyuşması için, çözümsel tasarım işlemlerinde ısısal ve mekanik özellikler karakteristik değerleriyle $\gamma_M=1$ alınarak gözönüne alınmalıdır.

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton ve çelik için karakteristik mukavemet değerleri, çevre sıcaklığındaki karakteristik değerlerin bir fonksiyonu olarak ileriki bölümlerde verilecektir.

Yangın etkisinde kalan çoğu beton yapı tipinin yapısal davranışının anlaşılması güçtür. Bu nedenle, basitleştirilmiş tasarım kuralları geliştirilmiştir. Böyle bir yöntem, yangın etkisindeki öngerilmeli beton elemanların son limit eğilme momenti kapasitesinin çözümsel yoldan sınırlandırılması için ileriki bölümlerde verilecektir.

Karakteristik değerleri esas alan yangına karşı mukavemet süresinin (ya da yük taşıma kapasitesinin) araştırılması için basitleştirilmiş ve geçerliliği tam olarak kanıtlanmamış tasarım kuralları kullanılıyorsa, tasarımda $\gamma_{sys}=1,1$ güvenlik katsayısının kullanılması tavsiye edilir. Bunun nedeni hesaplanan yangın mukavemeti süresi t_f 'in, (ya da yük taşıma kapasitesinin) indirgenmesi içindir.

$$\text{eval. } t_f = \text{comp. } t_f / \gamma_{\text{sys}}$$

(III.25)

Hesaplanan yangın mukavemeti zamanında (ya da yük taşıma kapasitesinde) yapılan bu indirgeme, hesap modeli belirsizliklerini, tasarım kurallarındaki duyarsızlıkları ve basitleştirmeleri de kapsar.

III.3. II. Değerlendirme Yöntemi: Yangın Etkisinin Eşdeğer Zamanı

"Yangın etkisinin eşdeğer zamanı"; Bir doğal bölme yangını olgusunun karşılığı olan ve standart sıcaklık-zaman eğrisine göre belirlenen ısıtma modeline doğrudan geçişin saptanmasıyla ilgili bir kavramdır. İlk olarak, eşdeğer yangın etkisi " t_e ", gerçek (standart olmıyan) bölme yangını etkisiyle göçecek bir yapıda aynı tehlikeli etkiyi oluşturan bir standart yangın mukavemeti deneyinden belirlenen ısıtma periyodunun büyüklüğü olarak tanımlanır.

Eşdeğer zaman kavramının yalıtılmış çelik yapılar için geliştirilmiş olduğu gözönünde bulundurulmalıdır. Buradaki "Yangın etkisinin eşdeğer zamanı", yangın etkisindeki standart çelik sıcaklığının karşılığı olan ve onunla kıyaslanan eşdeğer çelik sıcaklığı anlamına gelir. Beton yapı elemanlarındaysa, bu basit sıcaklık kriteri genellikle beton yapı elemanlarının yangın sırasındaki kırılma biçimini betimlemek için kullanılmaktadır. Şu anda kullanılmakta olan eşdeğer zaman kavramı, çok rastlanan izostatik eğilme elemanlarının davranışını yeterli derecede açıklamaktadır. Ancak, hiperstatik sistemlerde bu yöntem çok yaklaşık sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, bu konu üzerinde yapılacak çalışmalar, herhangi bir beton yapı elemanı için bu tasarım kavramının geliştirilmesi üzerine yoğunlaştırılır.

Yöntemde, bu bölümde listesi verilen parametrelerin bir bölme yangınının gelişimi üzerindeki etkisi ve bu yangının çevre yapısal elemanlar üzerindeki etkisi, sırasıyla bir temel değerler sistemi, güvenlik katsayıları ve farklılık katsayıları kullanılarak gözönüne alınmaktadır. Kontrol aşağıdaki ilişkinin gerçekleşmesiyle sağlanır :

$$\text{eval. } t_e \cdot \gamma_f \cdot \gamma_e \cdot \gamma_n \leq \text{eval. } t_f$$

(III.26)

t_e : Yangın etkisi eşdeğer zamanının karakteristik değeri

t_f : Yangına mukavemetin karakteristik değeri; deneysel, çözümsel ya da

standartlaştırılmış yapısal elemanlara ilişkin başvuru kataloglarından sağlanan değer

$\gamma_f, \gamma_e, \gamma_n$: Kısmi güvenlik ve farklılık katsayıları

γ_f : Yangına karşı mukavemete ilişkin kısmi güvenlik katsayısı

γ_e : Yangın etkisinin eşdeğer zamanına ilişkin kısmi güvenlik katsayısı

γ_n : Farklılık katsayısı; farklı güvenlik sınıfları ve özel yangın söndürme koşullarının gözönüne alınmasını sağlayan katsayı.

Kısmi güvenlik katsayıları ve farklılık katsayıları ile bunların olasılıksal temelleri hakkında CIB'nin yapısal yangın güvenliği tasarım kılavuzuna başvurulabilir.

III.3.1. Gerekli Bilgi ve Veriler

İkinci değerlendirme yöntemi belirli iskan durumlarına ilişkin yangın bölmeleri için kullanılır. Bu şu durumlardan birinin gözönüne alınmasını gerektirir; belirli bir bölmenin çeşitli etki parametrelerinin bireysel ve ayrıntılı incelenmesini kapsayan bireysel bir değerlendirilmesini ya da belirli bir binayı ve iskan tipini temsil ettiği düşünülen bir yangın bölmesinin değerlendirilmesini. Değerlendirme için aşağıdaki bilgi ve veriler gereklidir ;

- İskan ve bina tipi,
- Bina boyutu, kat adedi,
- Yangın bölmelerinin yerleri ve boyutları,
- Yangın yükleri (değişmez ve değişen yükler) ve tipi için belirli bir bölmenin ya da belirli bir iskana ilişkin temsili bir bölmenin gözönüne alınması,
- Bölmelendirmeye ve yapının bütünsel stabilitesine göre çeşitli yapısal elemanların işlevleri,
- Yangın söndürme aletleri (yağmur sezinleyici sistemler, sprinkler sistemleri),
- İtfaiye ekibi ve su ikmali sağlanması.

III.3.2. Yangın Etkisinin Eşdeğer Zamanının Belirlenmesi

Bir bölmede, yangın etkisinin eşdeğer zamanı t_e , III.27.a ve III.27.b bağıntılarıyla hesaplanabilir. Bu iki bağıntı ilerde görüleceği gibi eşdeğerdir ve ikinci bağıntı birinciden türetilmiştir.

$$t_e = (0,067 \cdot q_{tf}) / (A \sqrt{h} / A_t)_f^{1/2} \quad (\text{dak.}) \quad (\text{III.27.a})$$

$$t_e = q_f \cdot \omega \cdot c \quad (\text{dak.}) \quad (\text{III.27.b})$$

Bağıntıdaki q_f ; birim kat alanına gelen yangın yükü yoğunluğudur (IV.1.2. bölümüne bakınız). q_f aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$q_f = 1 / A_f \cdot \sum \mu_v \cdot m_v \cdot H_v \quad (\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (\text{III.28})$$

q_{tf} ise ; yangın bölmesini kuşatan (boşluk bölgelerini de içine alan) yüzeylerin birim alanının karşılığı yangın yüküdür ve bitişik yapıların ısısal özelliklerine göre değişebilir. Bu iki kavrama ileriki bölümlerde daha detaylı değinilecektir.

Yukarıdaki denklemlerdeki diğer büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır:

- A : Yangın bölmesinde bulunan pencere ve kapı boşluklarının toplam alanı (m^2)
 A_f : Bölme döşemesinin alanı (m^2)
 A_t : Yangın bölmesini kuşatan iç yüzeylerin (boşluk alanları dahil) toplam alanı (m^2)
 h : Pencere ve kapı boşluklarının ortalama yüksekliği (m) (her bir boşluk alanı için ağırlıklı ortalama alınarak belirlenir)
 $(A\sqrt{h} / A_t)_f$: Yangın bölmesi boşluk katsayısı. (IV.1.8.b) denkleminde belirtildiği gibi bitişik yapıların ısısal özelliklerine göre değişebilir ($m^{1/2}$)
 m_v : v yanıcı malzelesinin toplam kütlesi (kg)
 H_v : v yanıcı malzelesinin net kalori değeri ($MJ \cdot kg^{-1}$)
 μ_v : v malzelesi için gerçek tutuşma derecesi
 ω : (IV.1.12) bağıntısıyla ya da (IV.1.15) basitleştirilmiş bağıntısıyla belirlenen yangın bölmesi havalandırma katsayısı ($m^{-1/4}$)
 c : Yangın bölmesiyle kuşatılan yapıların ısısal özelliklerinin hesaba katılmasını sağlayan ve (IV.1.13) bağıntısıyla yaklaşık olarak (IV.1.1) tablosu ile belirlenen dönüşüm katsayısı ($dak. \cdot m^{7/4} \cdot MJ^{-1}$)

(III.27.a) ve (III.27.b) denklemleriyle hesaplanan t_e 'nin (yangın etkisi eşdeğer zamanı) basit bir tasarım yoluyla hesaplanması bölüm IV.1.5.'de verilmiştir. Normal binalar ve ortalama havalandırma koşulları için $\omega = 1,5$ ve $c = 0,5$ alınması, kabulün ihtiyatlı olmasını sağlar. Çok iyi havalandırma koşullarında havalandırma katsayısı % 70'e kadar azaltılabilir, yani $0,7 \cdot \omega$ alınabilir. Buradaki "**çok iyi havalandırma**" terimi, döşeme alanının %2'sinden daha fazla çatı boşluğu olması durumunu belirtir.

Bu bölümde ((III.27.a) ve (III.27.b) denklemleriyle) tanımlanan model yangın etkisi eşdeğer zamanı t_e 'nin, geçerli diğer başka (örneğin standartlaştırılmış ısı yükünün bir fonksiyonu olan t_e gibi) modellerin kullanılmasını kısıtlamaz.

III.4. III. Değerlendirme Yöntemi: Bölme Yangını Etkisine İlişkin Doğrudan Tasarım

Bu bölüm, bölme yangını etkisinde kalan yapılar ve yapısal elemanların ısısal ve mekanik tepkisinin araştırılması ile ilgilidir. Tasarımda yapının bütünü ya da yalnızca bir bölümünü etkileyen bir yangın gözönüne alınabilir. Bu tasarım, yangın bölmesinin geometrik, havalandırma ve ısısal özellikleri ve yangın yükünün tutuşma özelliklerine göre yapılır.

Yangına göre tasarım, bölüm IV.1.3.'de belirtilen bölme yangınının tam geliştiği bir durum için gereken yangın güvenliğinin denetlenmesi esasına dayanır. Uygun güvenilirlik ve farklılık katsayılarıyla belirlenen yangın etkisinin ilgili kısmı süresince yapı

ya da yapısal eleman gereksenen işlevini sürdürüyorsa, yapısal güvenliğin sağlandığı kabul edilebilir. Başka bir anlatımla, yapısal güvenilirlik birinci düzey yaklaşımla sağlanır. Bu yaklaşım yalnızca yapısal yangın tepkisinin çözümsel yolla belirlenmesinin mümkün olduğu durumlarda kullanılabilir.

Günümüzde, yapısal sistemi karmaşık olan bir bina için III. değerlendirme yönteminin uygulanmasını mümkün kılan nitelikli bilgiler ve hesap yöntemleri bulunmamaktadır. Doğal olarak bu durum, bir yapısal sistemin ya da yapısal elemanların yangına karşı özel ve pratik tasarımını kısıtlamaktadır.

III.4.1. Gerekli Bilgiler ve Veriler

Üçüncü değerlendirme yöntemi özel iskanlı binaların yangın bölmelerine uygulanabilir. Bu, belirli bir bölmenin ve binanın çeşitli etki parametrelerinin ayrıntılı incelenmesini veya belirli bir binayı ya da iskanı temsil ettiği düşünülen bir yangın bölmelerini ve binanın çeşitli etki parametrelerine göre irdelenmesini gerektirir.

Değerlendirme için şu bilgiler ve veriler gereklidir ;

- İskan ve bina tipi,
- Bina boyutu, kat adedi,
- Yangın bölmelerinin yerleri ve boyutları,
- Yangın yükleri (değişmez ve değişen yükler) ve tipi için belirli bir bölmenin ya da belirli bir iskanı temsil eden özel bölmenin gözönüne alınması,
- Özel bir bölme ya da belirli bir iskanı temsil eden bir bölme için yangın bölmelerinin havalandırma koşulları ve duvar,döşeme ve çatı gibi onu saran elemanların ısısal özellikleri,
- Bölmelendirmeye göre yapının ve elemanların işlevleri ve binanın bütünsel stabilitesi,
- Yangın söndürme aletleri (yağmur sezinleyici sistemler, sprinkler sistemleri),
- İtfaiye ekibi ve su ikmali sağlanması.

III.4.2. Limit Durumlar

Uygulama tipine bağlı olarak aşağıdaki limit durumların biri, ikisi ya da tümü gözönüne alınır ;

- (i) Yük taşıma kapasitesiyle ilgili limit durum
- (ii) Yalıtımla ilgili limit durum
- (iii) Bütünsellikle ilgili limit durum

Yük taşıyan bir yapı için tasarım kriteri şöyledir; yangın etkisi süresince yük taşıma kapasitesinin minimum tasarım değeri $R_d(t)$, yapıdaki tasarım yükü etkisi S_d 'yi karşılamalıdır. Yani;

$$\min\{R_d(t)\} - S_d \geq 0 \quad (\text{II.29})$$

olmalıdır. Bu kriter ilgili tüm kısımla tipleri için geçerlidir.

Yalıtım ve bütünsellik ile ilgili gereksemeler ayırma yapılarıyla ilgilidir. Yalıtımla ilgili tasarım kriteri şöyledir; yapının dış etkiye açık olmayan yüzünde (t) zamanında yangının en yüksek tasarım sıcaklığı $\max\{T_{sd}(t)\}$, T_{cr} sıcaklığını karşılamalıdır. T_{cr} yangın bölmesinden komşu bölmeye yangının yayılmasının önlenmesi için gereksemelere bağlı olarak kabul edilen, yapının dış etkiye açık olmayan yüzündeki sıcaklıktır. Daha açık bir anlatımla yukarıdaki kriter şu şekilde ifade edilebilir ;

$$T_{cr} - \max\{T_{sd}(t)\} \geq 0 \quad (\text{III.30})$$

Günümüzde bütünlük gereksemeleri için çözümsel olarak ifade edilmiş tasarım kriteri yoktur. Bu nedenle, gerektiği zaman, anılan limit durum bir yangın mukavemeti deneyi ya da küçük bir model üzerinde deney yapılarak, deneysel yolla denetlenmelidir.

III.4.3. Fiziksel Model ve Pratik Tasarım Formatı

Fiziksel model, belirli bir yangın ve yükleme koşulları altında yapının davranışını betimleyen fiziksel süreçle tanımlanan deterministik bir modeldir. Uygun kısmi güvenlik katsayılarına ek olarak, fiziksel model tasarım formatına aktarılır.

Tasarım yangını etkisi, enerji ve kütle denge denklemleriyle ya da tasarım esaslarının sistematik şekilde düzenlenmesi ile belirlenir. Belirleme, tasarım yangın yükü ve yangın bölmesinin (boşluk katsayısı ve yangın bölmesi tipi) geometrik, havalandırma ve ısısal karakteristikleri yardımıyla yapılır. Yine, yapının yapımına ilişkin veriler, tasarımın değerleri ve yapısal malzemelerin ısısal özellikleri gözönüne alınmalı ve ilgili yangın sürecinde yük taşıma kapasitesinin en düşük değeri için tasarım yük taşıma kapasitesi R_d ve tasarım sıcaklık durumu ile tasarım yangını etkisi belirlenmelidir. Bu bağlamda (III.29) bağıntısı gerçekleşmelidir.

Böyle bir yapısal tasarımda, ısısal özelliklerle, mekanik mukavemetlerle ve yüklerle ilgili tasarım verilerindeki belirsizliklerin olasılıksal etkileri, yangın yüküne ilişkin karakteristik değerlerle ve kısmi güvenlik katsayılarıyla gözönüne alınmalıdır. Bu nedenle, bölüm II.5'deki kısmi güvenlik katsayıları olasılıksal yolla hesaplanmalıdır.

III.4.4. Güvenlik ve Frekans Farklılaşması

Tasarım için belirlenen işlevsel gereksemeler; iskan tipi, binanın boyutu ve tipi, kat adedi, yangın bölmesinin yeri ve boyutu ve binanın tüm stabilitesi, yapının ya da yapısal elemanın önemine göre ayırt edilmelidir. Bu, farklı kırılma olasılıklarına bağlı olan güvenlik sınıfları sistemiyle gözönüne alınır. Tasarım tahkikinde karşılaşılan güvenlik farklılaşması, farklı güvenlik sınıflarının, farklı güvenlik katsayılarını uygulamasıyla ya da (daha ihtiyatlı olan) γ_{n1} farklılık katsayılarını uygulamayla etkisiz hale getirilebilir.

Belirli bir iskanda özel bir proje için, tamamen gelişmiş bir yangının frekansını azaltmada kullanılan önlemler gözönünde bulundurulmalıdır. Bu önlemler şunlardır;

- Öngörülen alarm ve sprinkler sistemleri,
- Yangın söndürme ekiplerinin etkililik derecesi.

Tasarım tahkikin, farklı kısmi güvenlik katsayılarını hesaplamayla frekans farklılaşması etkisiz hale gelebilir. Frekans farklılaşması, söz konusu önlemler ve yangın bölmesi boyutuna bağlı olarak ya da (daha ihtiyatlı olan) γ_{n2} farklılık katsayısı uygulanarak etkisiz hale getirilebilir. γ_{n1} ve γ_{n2} için CIB W14 tasarım kılavuzundaki Ek.5' den alınabilir.

III.4.5. Tasarım Denetlemesi

Özetle, tasarım denetlemesinde şu koşullar sağlanmalıdır ;

$$R_{dn} = (1/\gamma_n) \cdot R_d \cdot (R_{d1}, R_{d2}, \dots) \geq S_d \cdot (G_d, Q_{d1}, \dots)$$

ya da

$$(1/\gamma_n) \cdot R_d \cdot (R_{k1}/\gamma_{r1}, R_{k1}/\gamma_{r2}, \dots) \geq S_d \cdot (G_k, \Psi_{is}, Q_{k,i}, Q_{k,ind}, \dots) \quad (III.31)$$

R_d :Son limit yük taşıma kapasitesinin tasarım değeridir ve ilgili yangının seyri süresince son limit yük taşıma kapasitesinin en düşük değeriyle belirlenir.

S_d :Yangın sırasındaki tasarım yükü etkisidir ve III. 1.2'ye ilişkin yük kombinezonlarından belirlenir.

$R_{di}, R_{ki}, \gamma_{ri}$:Sırasıyla, son limit yük taşıma kapasitesine bağlı tasarım değerleri, karakteristik değerler ve kısmi güvenlik katsayılarıdır ve yapısal tepki ile ısı etkisindeki belirsizlikler gözönüne alınarak hesaplanırlar.

$\gamma_n = \gamma_{n1}, \gamma_{n2}$:Farklılık katsayılarıdır ve farklı güvenlik sınıfları için (γ_{n1}) ve özel yangın söndürme önlemleri için (γ_{n2}) III.4.4'e göre hesaplanırlar.

Ψ :Kombinezon katsayılarıdır ve farklı hareketli yük kombinezonlarının gözönüne alınmasını sağlarlar.

γ_n , denklem (III.31)'e alternatif olarak tasarım yangınının etkisinin değişmesi nedeniyle etkilenen tasarım yangını yüküne uygulanabilir. γ_{fi} kısmi güvenlik katsayılarının türetilmesi ve örnek değerler CIB W14 tasarım kılavuzunda Ek 5'de açıklanmıştır.

Pratik uygulama tipine bağlı olarak denklem (III.31)'in tam bir yangın ya da sınırlı bir yangın için doğruluğu kanıtlanmalıdır. Denklem (III.31) tasarlanan bina tahliye süresi t_{rd} ile sınırlanmalıdır.

BÖLÜM IV

UYGULAMA İÇİN TEMEL BİLGİLER

IV.1. Yangın Olgusu

IV.1.1 Tanımlar

Farklı yangın tiplerini ve bunlarla yakından ilgili kavramları betimlemek için aşağıdaki tanımlar yapılmıştır.

Yangın bölmesi: Yangının etki süresi boyunca yangının binanın diğer bölmelerine yayılmasını yeterli derecede önleyen, binanın içinde ve ayırma elemanlarıyla kuşatılmış bir bölgedir. Bir yangın bölmesi bir ya da bir kaç katı kapsayabilir ve bu şekildeki yangın bölmesine "**çok düzeyli**" ya da "**çok katlı**" yangın bölmesi adı verilir.

Yangın etkisi: Yapıyı etkileyen ısısal eylemlerdir.

Tamamen gelişmiş yangın: Bir yangında yanabilir maddelerin tamamen alevlerle sarılması durumudur.

Gerçek yangın: Bir binada söndürme sistemi ve/veya itfaiye takımının kullanılmadığı ya da kullanılmadığı bir yangının gelişimidir.

Deney yangını: Belirli karakteristiklerle bir deneye bağlı olarak düzenlenen gerçek ya da indirgenmiş büyüklükteki yangındır.

Tasarım yangını: Belirli bir ısısal etkiye göre yapısal tasarımda kullanılan yangındır. Isısal etki ISO 834'te verilen standart sıcaklık-zaman eğrisiyle verilmişse, tasarım yangını standart yangındır. Isısal etki bir yangın bölmesinde belirli ve idealize edilmiş bir yolla gerçek yangına benzemekteyse, bu bir bölme yangınıdır. Böyle bir yangın, etkilenmiş bir yapıda ya da yapısal elemanda ısı akışının zamana göre değişmesiyle ya da bölmedeki gaz sıcaklığının zamana göre değişmesiyle belirlenebilir.

Bu çalışmada bahsi geçen yangınların tümü standart ya da bölme yangınlarıdır. Literatürde kullanılan "**doğal yangınlar**" terimi "**deneysel**" ve "**bölme**" yangınlarıyla ilgilidir.

IV.1.2. Yangın yükü yoğunluğu

Yangın yükü: Yangın bölmesi içindeki duvarları, çatı döşemelerini, yük taşıyan ve taşımayan yapı ya da yapısal elemanların yüzey malzemelerini, kaplamalarını, örtülerini ve iç tesisatlarını da içine alan yanıcı malzemelerin tamamının tutuşmasıyla serbest kalan ısının toplam miktarı (Q) şeklinde tanımlanır. Q, karakteristik bir referans alanına bölüldüğünde **yangın yükü yoğunluğu** (q) bulunur. Bir çok ülkede A_f kat alanı referans alanı olarak kabul edilmektedir. Bazı ülkelerde ise yangın bölmesini kuşatan iç yüzeylerin (tüm boşluklar dahil) toplam alanı olan A_t 'yi referans alanı olarak almaktadırlar. Alternatif A_t kuşatma alanının kullanımı, bu büyüklüğün bölme yangınının ısı dengesinde bir temel parametre olduğu gerçeğinden kaynaklanmaktadır.

Yangın yükü yoğunluğunun bu iki tanımı aşağıdaki denklemlerle verilmektedir:

$$q_f = (1/A_f) \cdot \sum m_v \cdot H_v \quad (IV.1.1.a)$$

$$q_t = (1/A_t) \cdot \sum m_v \cdot H_v \quad (IV.1.1.b)$$

q_f :Birim döşeme alanı karşılığı yangın yükü yoğunluğu (MJ · m⁻²)

q_t :Kuşatma yüzeylerinin birim alanı karşılığı yangın yükü yoğunluğu (MJ · m⁻²)

m_v :v yanıcı malzemesinin toplam kütlesi (kg)

H_v :v yanıcı malzemesinin net ısısal değeri (MJ · kg⁻¹)

A_f :Yangın bölmesi döşeme alanı (m²)

A_t :Yangın bölmesini kuşatan iç yüzeylerin (tüm boşluklar dahil) toplam alanı (m²)

Katı, sıvı ve gaz malzemelerin ısı değerleri örnekleri Ek.1`de verilmiştir.

Kural olarak, bir yangın bölmesinde bulunan yanıcı malzemelerin tümü tutuşmaz. Bu durum, aşağıdaki bağıntıların kullanılmasıyla yangın yükü yoğunluğunun hesaplanmasında gözönüne alınabilir.

$$q_f = (1/A_f) \cdot \sum \mu_v \cdot m_v \cdot H_v \quad (IV.1.2.a)$$

$$q_t = (1/A_t) \cdot \sum \mu_v \cdot m_v \cdot H_v \quad (IV.1.2.b)$$

μ_v :Yangın yükünün herbir değerine karşılık tutuşmanın gerçek değerini veren, 0 ile 1 arasında değişen yüzde.

μ_v boyutsuz katsayısı, yakıt tipi, yangın bölmesinin yeri ve geometrik özelliği ile yangının içinde bulunduğu ortama (ısınma süresince ve akışı boyunca) göre değişir. Kitaplıklar, kağıt yığınları ve döşeme kaplamaları, genellikle gerçek tutuşma derecesinin düşük olduğu ve sonuçta m_v değerlerinin 1'in altında olduğu, yangın yükü bileşenleri örneklerindedir. Denklem (IV.1.2)'nin pratik uygulamasını sınırlamak için deneysel olarak doğruluğu kanıtlanmış μ_v değerlerine gerek vardır. Tüm indirgeme katsayıları esas alınarak belirlenen ve etkili yangın yükü yoğunluğuyla ilişkili istatistiksel veriler kaynak 6'da verilmiştir.

Uygulamalarda ihtiyatlı bir yaklaşım olarak $\mu_v = 0,7$ önerilir. Yapılan deneyler sonucunda, μ_v değerlerinin sabit değerler karşısında 0,8'den 0,2'ye bir dizi halinde değiştiği bulunmuştur. Bazı ülkelerde, (Çekoslovakya gibi) $\mu_v = 0,8$ örneği gibi ihtiyatlı tek bir m_v eşitliği kabul edilmekte ve global bir yaklaşım kullanılmaktadır.

Yangın yükü yoğunluğunun tasarım değeri; yedek parça ve sürekli kullanım garantisine sahip bir yangın bölmesi için denklem (IV.1.1) ve (IV.1.2) ile doğrudan belirlenir. İlgili yangın bölmesi tipinin yangın yükü istatistiklerine ilişkin varyasyon katsayılarının bilinmesi halinde, böyle özel bir incelemenin yapılması uygundur. Bu bağlamdaki belirleme, binada daha sonra yapılacak düzenlemeler ve değişiklikler nedeniyle, bazı sakıncalar doğurabilir. Bu nedenle, sorundaki öncül tasarım yangın yükünü ya da bina tipinin istatistiksel araştırmalarının temelindeki tasarım yangın yükünü belirlemek daha uygun olur.

Yangın durumunda yanıcı malzemelerin olası miktarına ve yangına katılma olasılığına ya da yangına geç katılma ihtimaline göre yangın yüklerini, sürekli, değişken, korunmuş ve korunmamış yangın yükleri şeklinde ayrılarak ve aşağıdaki bağıntıyla yangın yükü yoğunlukları birleştirilebilir ;

$$q_d = \sum \gamma_{qi} \cdot \psi_{qi} \cdot \psi_{pi} \cdot q_{ki} \quad (IV.1.3)$$

q_d : Yangın yükü yoğunluğu q 'nin tasarım değeri (q_f, q_t)

q_{ki} : Hesaba katılan farklı yangın yükleri için karakteristik yangın yükü yoğunluğu değerleri

γ_{qi} : Genelde seçilen tek bir değere ($\gamma_{qi} = \gamma_q$) karşılık yangın yükü yoğunluğu için kısmi güvenlik katsayısı

ψ_{qi} : Değişken yangın yükleri için kombinezon katsayısı (sürekli yangın yükleri için $\psi_{qi} = 1,0$)

ψ_{pi} : Korunmuş yangın yükleri için kombinezon katsayısı (korunmamış yangın yükleri için $\psi_{pi} = 1,0$)

Genel olarak sürekli yangın yükleri, örneğin yük taşıyan ya da taşımayan yapı içindeki yanıcı yapısal malzemeler, kaplamalar, teçhizat, sürekli kullanım amacıyla yerleştirilen çalışma aletleri v.b. ve yapı içindeki yangın yüklerini kapsar.

Sürekli yangın yüklerinin tasarım yangın yükü yoğunluğunun belirlenmesinde beklenen nominal değerleri q°_i ile verilebilir ;

$$q_{ki} = q^{\circ}_i \quad (IV.1.4)$$

Örneğin enerjiyi korumak için ek izolasyon uygulanması gibi yapısal tadilat durumlarında, sürekli yangın yükünün yeniden araştırılması gerekebilir. Bu nedenle, bazen q°_i 'nin ihtiyatlı tahmin edilmesi doğru olacaktır.

Değişken yangın yükleri; Yanabilir malzemeler ve eşyalardan meydana gelir ve bu yüklerin miktarı meskenin servis yaşamı süresince değişebilir. Örnek olarak, bu bağlamdaki mobilyalar, taşınır gereçler, depo edilir mallar v.b. sayılabilir.

Değişken yangın yükleri esas olarak, tahmin edilen anlık değerler dağılımındaki belirli fraktilin karşılığı olan yangın yükü yoğunluğunun karakteristik değerleriyle hesaba katılır. Değişken yangın yüklerinin var olması halinde ψ_{ki} , q_{ki} gibi bireysel katkılar denklem (IV.1.3)'e göre belirlenir. Buradaki ψ_{ki} kombinezon katsayısı değişen mekanik yüklemelerle benzeşim yolu ile türetilir. ψ_{ki} 'nin seçimi için ayrıntılı bilgiler çeşitli kaynaklarda verilmektedir.

Bir çok ülkede değişken yangın yükünün kapsamlı istatistiksel araştırmaları, meskenler, ofisler, oteller, kamu binaları, okullar, mağazalar, hastahaneler ve endüstriyel binalar için yapılmıştır.

Kaynak 6'da kapsamlı olarak gözden geçirilmiş değişken yangın yükü yoğunluğuna ait geçerli istatistikler verilmiştir.

Korunmuş yangın yükleri ; Yangın etkisine karşı korunan yanıcı malzemeler ve eşyalardır. Bu tür malzeme ve eşyaların tahmin edilen yangın işlemine katılma olasılığı düşüktür. Koruma olayının önemi bu olasılığın hesabını gerektirir.

Denklem (IV.1.3)'e göre ψ_{pi} katsayısını belirlemeyle koruma etkisi, yangın yükü yoğunluğunun hesabında gözönünde bulundurulabilir. ψ_{pi} katsayılarını belirleyen bir yöntem şu konuları içermelidir ;

-Korunmuş yangın yüklerini hesaba katmadan maksimum gaz sıcaklığının ya da yangın etkisi eşdeğer zamanı t_e 'nin hesaplanması,

- Mühendislik yöntemlerle ya da ideal hesaplamayla bu bilgiye bağlı olan korumanın kırılma olasılığı, P_{fi} 'nin araştırılması,
- Korumanın tahmin edilen kırılma olasılığının bir fonksiyonu olarak ψ_{pi} 'yi veren uygun istatistiksel modeli uygulamayla ψ_{pi} 'nin belirlenmesi.

Yanmaz kaplamalar, koruma örtüleri veya koruyucularla korunmamış ya da özel depolanma koşulları sağlanmamış tüm yanıcı malzemeler ve eşyalar $\psi_{pi} = 1,0$ alınarak korunmamış yangın yükleri gibi gözönüne alınmalıdır.

IV.1.3. Bölme Yangını Etkisi

Yapısal elemanların ve yapıların ayırımı ve/veya yük taşıma mukavemeti ve yangın davranışı için kesin ve tam gelişmiş bölme yangını yöntemi vardır. - Son kıvılcım atlaması bölme yangını - yangın yönteminin bu kısım üzerindeki başlıca etkileri şunlardır ;

- Bölmedeki yanabilir malzemelerin miktarı ve tipi (yangın yükü),
- Yangın yükünün porositesi ve parça biçimi,
- Bölmedeki yangın yükünün dağılımı,
- Bölmeye birim zamanda giren havanın miktarı,
- Bölmenin geometrisi ve
- Bölmeyi kuşatan yapıların ısısal özellikleri.

Tam gelişmiş bölme yangını için uzun zamandan beri kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Geçen 25 yıl süresince ilk olarak yapısal yangın güvenliği problemlerine uygulamak için geliştirilen çözümsel benzetim modelleri sunulmuştur. Harmathy ve Mehaffey başlıca 14 model gösterimini esas alan, 14 matematiksel modele ayırmıştır. Bu modellerin içeriğinde; bilgi elde etmedeki önemli adımları gösterilmekte ya da eşsiz kavramlar ileri sürülmektedir.

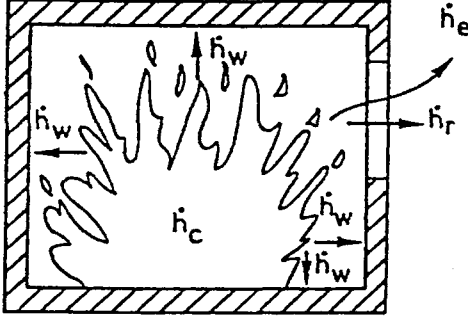
Tamamen gelişen bölme yangınının tam olarak tanımlanabilmesi için temel özellikler aşağıdakilerin zamana karşı değişimleridir:

- 1) Serbest bırakılan ısının oranı, RHR
- 2) Gaz sıcaklığı
- 3) Dıştan gelen alevlerin geometrik ve termal verileri
- 4) Duman ve dumanın görmeye etkileri
- 5) Yanıcı ürünlerin, özellikle toksit ve aşındırıcı gazların içerikleri

Yapıda, yangına karşı güvenlik için geliştirilen benzeşim modelleri 1`den 3`e kadar olan özellikler üzerinde yoğunlaşır. Çoğu modeller kısmen teorik ve kısmen, tüketilen yakıtın hızı hakkında bilgi edinilmesini amaçlayan ampirik bölümleri içerir. Çoğunlukla

bu modellerin, yangın bölmesi içinde sıcaklığın üniform olduğu yaklaşımına dayandığı görülmektedir.

Etkilenen yapıdaki ısı akışının zaman eğrisi ya da yangın bölmesinin gaz sıcaklığı-zaman eğrisi, yangın yükünün yanma özelliklerinin bilinmesi için yangın bölmesinin enerji ve kütle denge denklemlerinden pratik olarak hesaplanabilir (şekil IV.1.1).



Sekil IV.1.1 ; Bölme yangının enerji dengesi

Enerji denge denklemi şöyledir ;

$$h_c = h_e + h_r + h_w + h_g \quad (IV.1.5)$$

h_c : Yakıtın (yangın yükünün) tutuşmasından dolayı serbest kalan ısının hızı

h_e : Sıcak gazların soğuk hava karşısında değişimiyle birim zamanda yer değiştiren enerji

h_r : Açıklıkların arasında radyasyonla birim zamanda yer değiştiren enerji

h_w : Kuşatma yapılarına ısı aktarımıyla birim zamanda yer değiştiren enerji

h_g : Yangın bölmesi içinde birim zamanda depolanan enerji (çoğunlukla ihmal edilir)

Yangın bölmesinin kütle denge denkleminin karşılığı olan denklem de şöyledir:

$$m_f = m_{air} + m_p \quad (IV.1.6)$$

m_f : Sıcak gazların dışarıya çıkan kütlesi

m_{air} : İçeriye giren havanın kütlesi

m_p : Yakıtın ısıl çözülümünün oranı

Tam gelişen bölme yangınları basitlik açısından iki şekilde belirlenebilir; havalandırma kontrolü ya da yakıt yatağının kontrolü. Birinci tip için aktif yangın sırasındaki tutuşma bölme havalandırmasıyla kontrol edilir. Boşlukların içinden geçen hava yanma hızıyla doğru orantılıdır. Yukarıda söz edilen tutuşma herhangi bir şekilde yakıtın miktarına, porositine ve tanecik şekline bağlı değildir. İkinci tip için tutuşma yakıtın özellikleriyle bağlantılı olarak kontrol edilir ve açıklıklar içinden geçen havadan

tamamen bağımsızdır. Yangın davranışının bu iki tipi arasındaki sınırı açıkça belirlenmemiştir.



Sekil IV.1.2 ; Tam gelişmiş bölme yangınında iki yakıt tipinin zamana karşı serbest kalan ısı miktarının olası hızı

Şekil IV.1.2'deki diyagramlarda bölme yangınlarının bu iki tipi gösterilmiştir. Diyagramda yangın süresince iki yakıt tipinin zamana karşı serbest bıraktıkları ısı miktarının (entalpi) hızı verilmiştir. Şekildeki \dot{h}_p yakıttan çözülerek ayrılan gazın ısı miktarının (entalpi) potansiyel değişim oranını gösterir, başka bir anlatımla; ideal yanma şartlarında ortaya çıkan maksimum yakıt miktarının serbest kalma hızını belirtir. \dot{h}_s terimi orantılar hesabıyla ilgili tutuşmada serbest kalan ısının hızını gösterir. Verilen bir bölmede \dot{h}_s , esasen havalandırma katsayısının ($A\sqrt{h}$) ve gaz sıcaklığının bir fonksiyonudur ve az da olsa yalnızca yakıt tipine bağlıdır. Buradaki A , bölmedeki boşlukların alanı, h ise yüksekliğidir. \dot{h}_c serbest bırakılan gerçek ısı miktarının hızıdır ve bir b_p maksimum tutuşma etkisi katsayısıyla indirgenen \dot{h}_p ve \dot{h}_s 'den daha küçük olacaktır. Bu olay eksik karışımlar için doğrudur ;

$$\dot{h}_c = \text{daha küçüğü} \left\{ \begin{array}{l} \dot{h}_p \cdot b_p \\ \dot{h}_s \cdot b_p \end{array} \right. \quad (\text{IV.1.7})$$

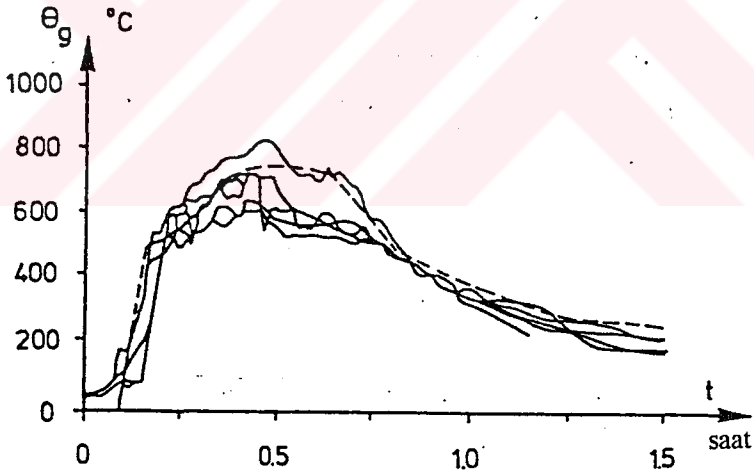
Şekil IV.1.2 çakıp atlama sırasında $\dot{h}_p > \dot{h}_s$ olan iki bölme yangını gösterir. Çakıp atlamada $\dot{h}_p > \dot{h}_s$, yangının havalandırma kontrolünden başladığı anlamına gelir. Yangın süresi içinde ısı çözülme hızı azaldığında \dot{h}_p eğrisi bazen \dot{h}_s eğrisiyle çakışabilir. Bu noktadan sonra yangın değişerek yakıt kontrolündeki yangın başlar. $\dot{h}_p > \dot{h}_s$ 'de bölme içinde yanabilenden daha fazla yakıt yangın bölmesi içinde çözülür. Ahşap yakıt yangını için şekilde taralı alanda gösterilen $\dot{h}_p - \dot{h}_s$ farkı, bölmede serbest kalan fazla ısı çözülme hızını gösterir. Yüksek ısı çözülme hızı ile çabuk ateş alabilen sıvı ve birçok plastik yakıt için örnek teşkil eden yakıtlarda, bu fazla ısı çözülme yangın bölmesi dışındaki, örneğin; koridorlar ya da bina cephelerinde, önemli yangın tehlikesi artışları verebilirler.

Tam gelişmiş bölme yangınının tasarımında enerji ve kütle denge denklemlerinin kullanımında pratiklik açısından (belgelerle doğruluğu kanıtlanmış) bilgisayar programlarıyla yaklaşım gerekir. Mühendislik uygulamalarına uyarlanan, bu şekilde mevcut üç bilgisayar yöntemi vardır. Bunlar: Magnusson-Thelandersson-Jönsson'un SFIRE modeli, Babrauskas'ın COMPF-2 modeli ve Schneider-Haksever'in BRAND

modelidir. Elle yapılan hesaplamalara kolaylık sağlamak için Babrauskas tarafından hazırlanmış bir yaklaşık yöntem de vardır.

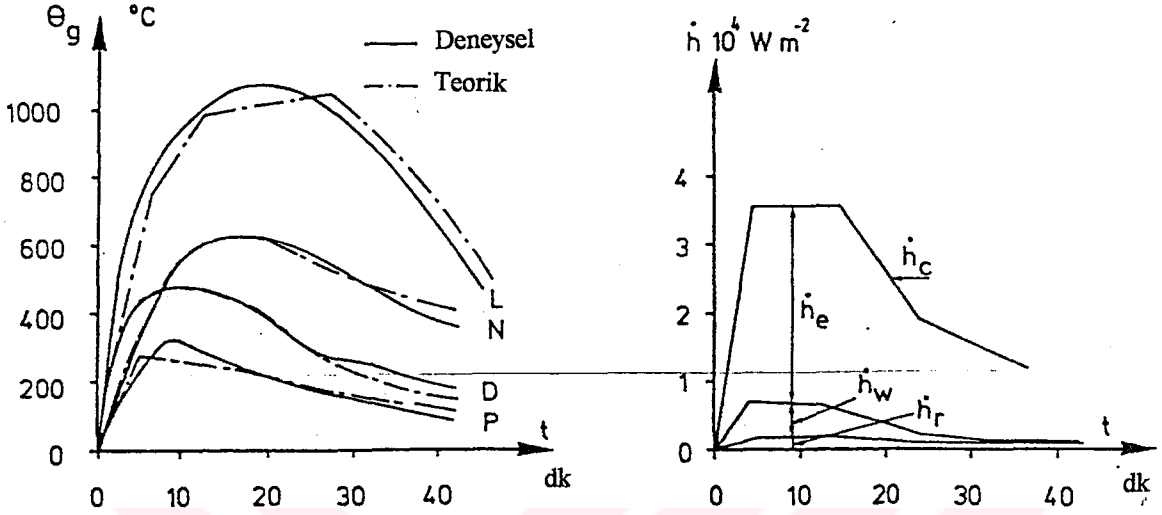
Bilgisayar yöntemlerini kullanmada karşılaşılan asıl problem yangın yükünün tutuşmasıyla serbest kalan ısının hızına (h_c) ilişkin yeterli bilgiye sahip olunamamasıdır. Sonuç olarak, uygulama için her zaman ihtiyatlı tarafta kalan basitleştirilmiş kabullere yapılmalıdır. Bu kabuller, yangının her tarafında havalandırma kontrolü olduğu ve yangın yükünün tamamen yangın bölmesi içinde bulunduğu şeklinde ifade edilebilir. Bu bağlamda, h_c 'nin daha doğru bir yaklaşımla belirlenmesi için gerek duyulan bilgiden devamlı yararlanılmaktadır ve bu durumda kumaş kaplanmış eşyalar, düzlem şeklinde genişletilmiş katı mobilyalar, şilteler ve yataklar, yanıcı kaplama malzemeleri ve masa çekmecelerine, dosya dolaplarına ya da rafların içine yerleştirilen kağıtlar şeklindeki yangın yükü bileşenlerinde, böyle bir belirlemeye imkan veren bilgiler vardır.

Tamamen ya da örnek miktarda deney yangını analiz etmek için tamamen gelişmiş bölme yangınına ilişkin bilgisayar programları kullanılabilir. Deneysel bölme yangınlarının analizi için bilgisayar programlarının yeterliliği Şekil IV.1.3 ve IV.1.4'de açıklanmıştır. Şekil IV.1.3'de kesiksiz çizgi ile gösterilen eğriler bir Japon tam skala deneyinden alınmıştır. Şekil IV.1.3, yangın bölmesinde farklı noktalarda tutuşturulan gazların sıcaklık-zaman eğrisini göstermektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen eğri, kaynak 8'den türetilen çözümsel modelin uygulanmasıyla hesaplanan sıcaklık-zaman bağıntısını temsil etmektedir.



Şekil IV.1.3 ; Kaynak 8'den türetilen çözümsel modelle hesaplanan (kesikli çizgi ile gösterilen) teorik eğriyle, yangın bölmelerinin farklı noktalarından alınan gaz sıcaklığının deneysel olarak belirlenmiş (kesikli çizgi ile gösterilen) sıcaklık zaman eğrilerinin karşılaştırılması. Yapılar beton döşeme, beton

çatı ve delikli beton bloklardan imal edilmiş duvarlarla kuşatılmıştır. Yangın bölmesi için, boşluk katsayısı, $A\sqrt{h}/A_t = 0,0467 \text{ m}^{1/2}$ ile yangın bölmesinin yangın yükü yoğunluğu, $q_t = 140 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ kabul edilmiştir.

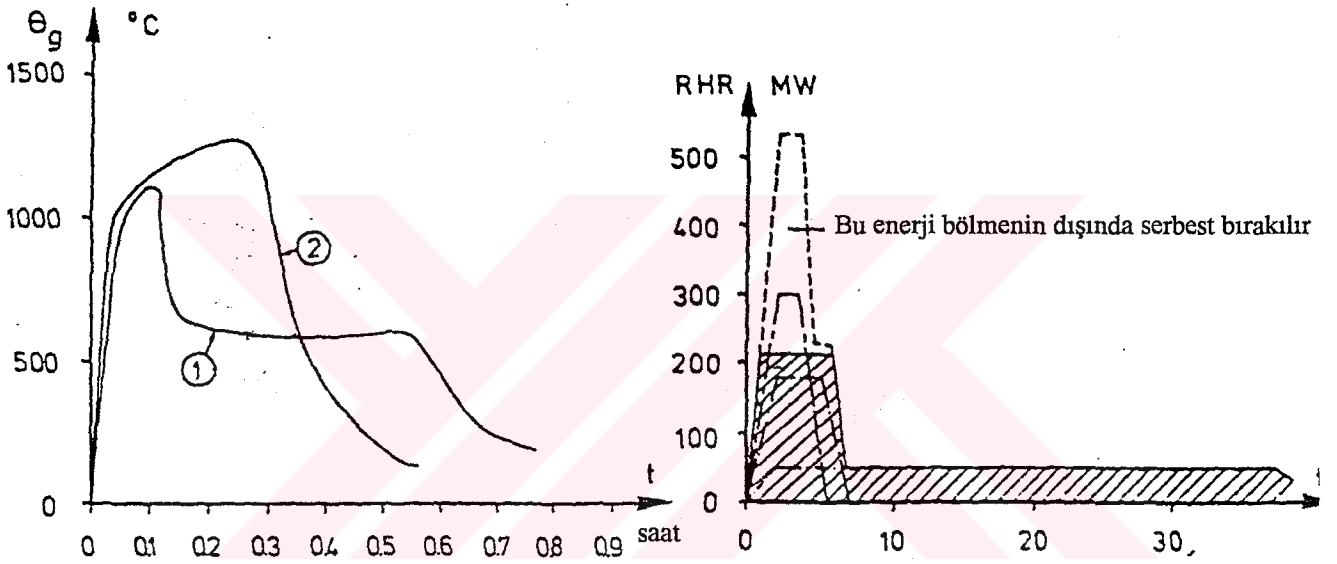


Sekil IV.1.4 ;Kaynak 8'den türetilen çözümsel modelin uygulanmasıyla hesaplanan (noktalı çizgi ile gösterilen) teorik eğrilerin yerini tutan eğrilerle, yangın bölmesinin içindeki gaz sıcaklığının, deneysel olarak belirlenmiş (kesiksiz çizgi ile gösterilen) sıcaklık zaman eğrileri ile karşılaştırılması. Yapılar beton döşeme, yüksek sıcaklığa dayanıklı tavan ve yaygın olarak kullanılan briket duvarlarla kuşatılmıştır. Yangın bölmesi için, boşluk katsayısı, $A\sqrt{h}/A_t = 0,12 \text{ m}^{1/2}$ ile yangın bölmesinin yangın yükü yoğunluğu, $q_t = 31$ (deney P), 62 (deney D), 124(deney N) ve 248 (deney L) $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ kabul edilmiştir. D deneyi için, enerji denge denklemindeki farklı terimlerin zaman eğrileri sağ taraftaki şekilde gösterilmektedir.

Şekil IV.1.4'de yangın bölmesi içindeki ortalama gaz sıcaklığının zamanla değişimi görülmektedir. Şekilde kaynak 8'deki çözümsel modelden elde edilen değerlerin karşılığı olan eğriler ile İngiltere Yangın Araştırma Merkezinde gerçekleştirilen tam skala deneylerinde ölçülen değerlerin eğrileri karşılaştırılmaktadır. Deneylerden biri için şekil, yangın bölmesinin enerji denge denklemindeki terimler arasındaki ilişkiyi de göstermektedir.

Şekil IV.1.3 ve IV.1.4, doğru giriş verilerinin kullanılması halinde mevcut bilgisayar programlarının yeterliliğini göstermektedir. Bununla birlikte (daha önce

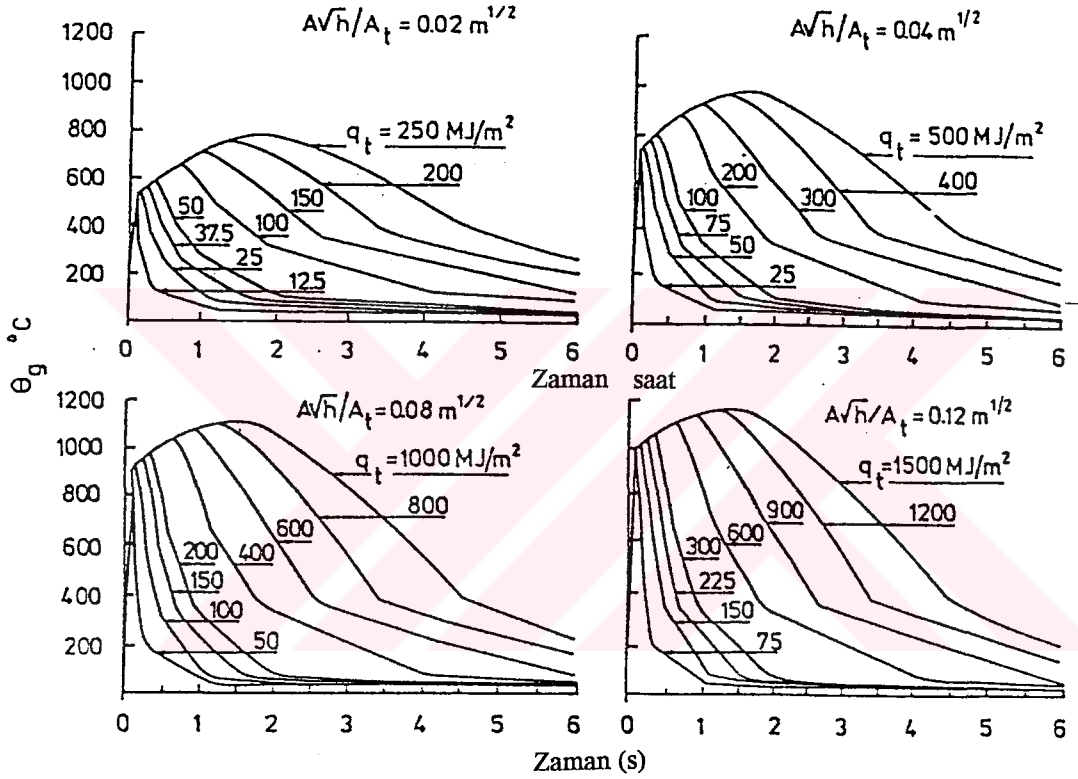
belirtildiği gibi), yangın yükünün tutuşmasıyla serbest kalan ısının hızı ile ilgili mevcut bilgiler eksiktir ve bu eksiklikler sık sık bilgisayar programlarının uygulamada güçlükler neden olmaktadır. Bu problem şekil IV.1.5'de örnekle açıklanmaktadır. Şekil IV.1.5 belirli bir yangın yükü ve bölmesi için hesaplanan gaz sıcaklığı-zaman eğrilerini göstermektedir. ① numaralı eğri, yangın süresince yangın yükünün enerjisinin yalnız bir bölümünün bölme içinde serbest kaldığı varsayımıyla hesaplanan gaz sıcaklığını verir. ② numaralı eğri, yangın yükünün tüm enerjisinin bölme içinde serbest bırakıldığı ihtiyatlı kabulünü esas alan değerlerin karşılığı olan eğriyi gösterir.



Sekil IV.1.5 ; Bir ofis bölgesinde $A\sqrt{h}/A_t = 0,04 \text{ m}^{1/2}$ boşluk katsayısı ile tam gelişmiş bölme yangını. Yangın yükü olarak, ahşap mobilya, kitaplıktaki kağıtlar ve döşeme kaplamaları alınmıştır. Şekil a, değişik yanıcı maddeler için zamana karşı serbest kalan ısının hızını (RHR) göstermektedir. Diyagramdaki - - - - kağıt, - · - - mobilya, - - - döşeme kaplaması, - - - yangın yükünün toplam RHR'si, — bölme içinde serbest bırakılan RHR'yi göstermektedir. Şekil b'de gösterilen ① numaralı eğri, bölme

içinde serbest bırakılan gerçek RHR'yi esas alan ve ② numaralı eğri, bölme içinde tüm enerjinin serbest bırakıldığı ihtiyatlı kabulünü esas alan gaz sıcaklığı-zaman eğrilerini karşılaştırmaktadır.

Tam gelişmiş bölme yangını için bilgisayar kodları ve analitik modeller sistematikleştirilmiş bir tasarım için esas teşkil ederler. Şekil IV.1.6'daki gaz sıcaklığı-zaman eğrileri doğal bölme yangını etkisindeki, yük taşıyan ve ayıran yapıların analitik tasarımı için, bu şekilde yardım örnekleri gösterilmektedir. Eğriler İsveç Ulusal Fiziksel Planlama ve İnşa Etme Kurulu tarafından pratik uygulama için onaylanmıştır.



Sekil IV.1.6 ; Yangın yükü yoğunluğu, q_t 'nin ve boşluk katsayısı, $A\sqrt{h}/A_t$ 'nin farklı değerleri için tam gelişmiş bölme yangınının gaz sıcaklığı-zaman (T_g-t) eğrileri örnekleri. Yangın bölmesi, olarak İsveç Standart Şartnamelerinde onaylanan A tipi yangın bölmesi alınmıştır.

Diyagramlardaki değişkenler, bölmeyi kuşatan yüzeylerin birim alanı için yangın yükü yoğunluğu, q_t ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) ve boşluk katsayısı, $A\sqrt{h}/A_t$ ($\text{m}^{1/2}$) şeklinde tanımlanan, bölmenin havalandırma karakteristikleridir.

A :Pencere ve kapı boşlukları toplam alanı (m^2)

h :Herbir boşluk alanı için ölçülen pencere kapı boşluklarının yüksekliğinin ortalama alanı(m)
 A_t :Açıklık alanlarını içine alacak şekilde, bölmeyi kuşatan yüzeylerin iç bölgesinin toplam alanı(m²)

Şekil IV.1.6'daki diyagramlar A tipi bir yangın bölmesini kuşatan yüzeyler için belirlenen ısısal verilere aittir. Isısal veri sapmalarına göre yangın bölmeleri, aşağıdaki bağıntı yardımıyla, yangın yükü yoğunluğu ve boşluk katsayısının fiktif değerlerinin kullanılması sayesinde yaklaşık olarak A tipi yangın bölmelerine aktarılabilirler;

$$q_{tf} = K_f \cdot q_t \quad (IV.1.8.a)$$

$$(A\sqrt{h}/A_t)_f = K_f \cdot A\sqrt{h}/A_t \quad (IV.1.8.b)$$

Buradaki K_f katsayısı esas olarak yangın bölmesinin tipinin bir fonksiyonudur. Bölmelerin bazı tipleri için gözönüne alınan boşluk katsayısının da etkisi vardır. K_f katsayıları sekiz yangın bölmesi için ek 1'de verilmiştir. Tasarımın esas basitleştirilen kesin kabuller ışığında yangın bölmesinin enerji ve kütle denge denklemlerinden çıkarılmıştır. Şöyle ki;

- *Yangın yükünün tutuşması tamamıyla yangın bölmesi içinde gerçekleşir,
- *Yangın yöntemi havalandırma kontrollüdür,
- *Sıcaklık herhangi bir zamanda yangın bölmesi içinde üniformdur.

Sistemli analizler yangın etkisindeki yapıların ve yapısal elemanların içine yerleştirilen orta boyuttaki yangın bölmelerinin (yani konutların, sıradan ofislerin, okulların, hastahanelerin, otellerin ve kütüphanelerin temsili boyutlu bölmeleri) yük taşıma kapasitesinin hesabını esas alacak şekilde kabullerin uygunluğu kanıtlanmıştır. Çok büyük yangın bölmelerinde (örneğin; büyük endüstriyel binalar ve spor salonları gibi) enerji ve kütle denge denklemleri ve örnek olarak gösterilen tasarım esasları gerçek yangın etkisini betimlemede yetersiz kalmaktadır. Bu şekilde bölmeler için tasarım, tam gelişmiş bölme yangınının mevcut modellerine bağlıysa, ilk çakıp atlayan yangın yerel olarak bir yapısal elemanı (örneğin; bir kiriş, bir kolon ya da bir çerçeve gibi) alacağı durumdan daha fazla ya da daha az etkilenebilir. Şu anda çok büyük yangın bölmeleri gibi yangın oluşumunun görüngenel olarak doğru temsili için onaylanmış modeller mevcut değildir.

IV.1.4. Standart Yangın Olgusu

Yük taşıyan ve ayıran elemanların yangın mühendisliği tasarımları için ısısal gereksemeler, çoğu ülkede doğrudan standart yangın deneyine bağlıdır. Tasarım sırasında

deneylerin sonuçları, binalarla ilgili tasarım ve yapım kuralları ve yöntemlerinde belirlenmiş uygun gereksemeleri karşılamalıdır. Bunun dışında yapısal elemanların yangın mukavemetleri çözümsel olarak da belirlenebilir.

Yangın mukavemeti deneyleri ülkeden ülkeye, yalnızca küçük ayrıntılarla değişen ulusal şartnamelere göre uygulanır. Genel olarak deney koşulları ISO'nun 834 standardına uygundur.

Numune yangın mukavemeti deneyinde ocak içerisinde bir sıcaklık artışı etkisindedir. Ocak sıcaklığı artışı aşağıdaki standart yangın bağıntısına uygun olarak belirlenmiş zaman sınırları içerisindeki değişimiyle kontrol edilebilir;

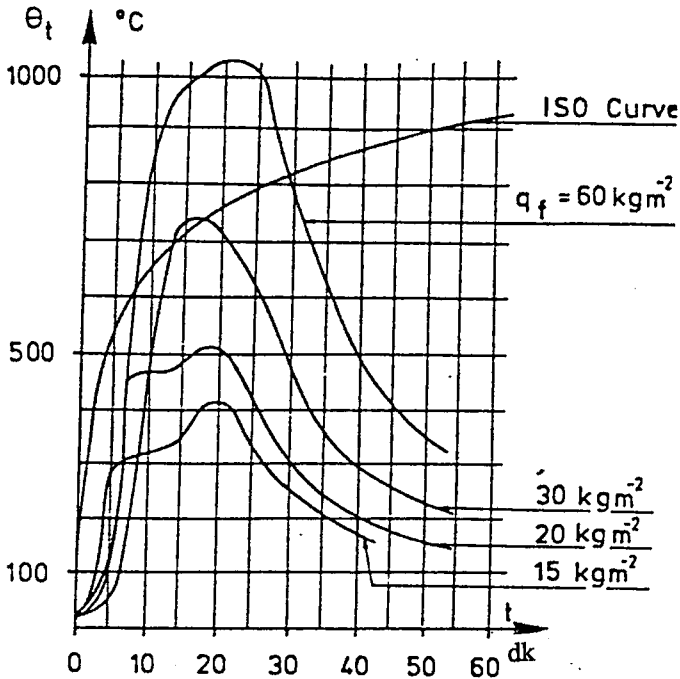
$$\theta_t - \theta_0 = 345 \cdot \log_{10} (8t + 1) \quad (\text{IV.1.9})$$

t : Zaman (dakika)

θ_t : °C olarak t zamanındaki ocak sıcaklığı

θ_0 : °C olarak $t = 0$ zamanındaki ocak sıcaklığı

Denklem IV.1.9'den yararlanarak grafikleştirilen sıcaklık-zaman eğrisi, $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$ için şekil IV.1.7'de gösterilmiştir. Şekil, kıyaslama açısından, yangın bölmesi içindeki ortalama gaz sıcaklığını veren eğriler grubunu da içine alır. Bu eğri grubu $A\sqrt{h}/A_t = 0,157 \text{ m}^{1/2}$ boşluk katsayısı ile bir oda içinde bulunan dört ayrı yangın yükü grubu için Maizieres-Les-Metz'deki yangın deney istasyonunda uygulanan tam skala deneylerinden elde edilmiştir. A , boşluk alanı, h boşluk yüksekliği ve A_t boşlukların alanını da içine alacak şekilde, yangın bölmesini kuşatan yüzeylerin iç bölgesinin toplam alanıdır. Eğriler bir deney yangınındaki ısı etkisinin, standart yangındaki ısı etkisinden oldukça ayrı olabileceğini göstermektedir.



Şekil IV.1.7 ;Birim kat alanına (m^2) düşen değişken yangın yükü yoğunluğu $q_t = 15, 20, 30$ ve 60 (kg aışap) ve $A\sqrt{h}/A_t = 0,157 m^{1/2}$ boşluk katsayısıyla nitelendirilen dört tam skala deney yangınından belirlenen ortalama gaz sıcaklığı-zaman eğrileri ile denklem (IV.1.9)'a göre ISO standart yangını eğrisinin karşılaştırılması. Yukarıdaki yangın yükü yoğunlukları sırasıyla $q_t = 45, 60, 90,$ ve $180 MJ \cdot m^{-2}$ yangın yükü yoğunluklarına eşdeğerdir. Bölmeyi kuşatan yapılar, döşeme, bir duvarı hafif beton, öteki üç duvarı yaygın olarak kullanılan briketle ve tavan ise ateşe dayanıklı betondan yapılmıştır. Ayrıca, duvarlar ve tavan, iç yüzlerinden vermikulit esaslı sıvayla yalıtılmıştır.

Standart yangın mukavemeti deneyi, uluslararası düzeyde, kapsamlı olarak ele alınmış yangın deneyi yöntemlerinden biri olarak gözönüne alınmaktadır. Buna karşın deney eleştirilebilir. Bu deney yöntemi güncel şekliyle bir çok bakımdan yetersizlik göstermektedir. Örneğe, ısıtma ve zorlama karakteristiklerine, mobilyanın içinde bulunduğu ortama ve mobilya sıcaklığının ölçümü ve kontrolü için kullanılan termik elemanlara ilişkin belirsizlikler gibi. Deney yükünün belirlenmesi pratik olarak ulusal yapı yönetmeliklerinde verilmiştir. Bu yükler ülkeden ülkeye gerek duyulan yük düzeylerine bağlı olarak değişebilir.

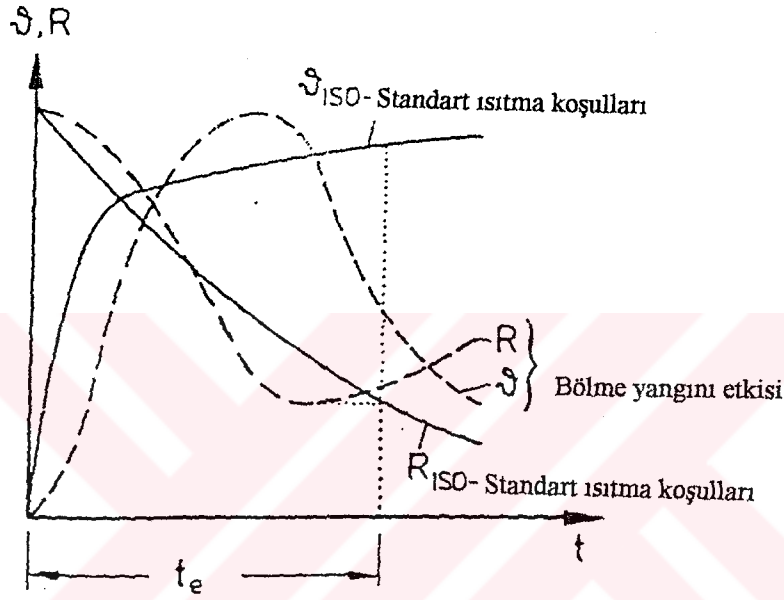
Bu bağlamda değişen ocak özellikleri ve uygulamada karşılaşılan değişikliklerle değişik yangın mühendisliği laboratuvarlarında denenen benzer yapısal elemanların yangın mukavemetlerinde önemli farklılıklar gözlenebilir. Bu sorunlar tekrarlanabilir ve geliştirilmiş bir deney yöntemine ulaşmak amacıyla çeşitli kaynaklarda incelenmiştir.

IV.1.5. Yangın Etkisinin Eşdeğer Zamanı

Yangın etkisinin eşdeğer zamanı kavramı (denklem (IV.1.9)'a bakın) standart yangına ait bir bölme yangını etkisine ilişkin ısıtma süresi olarak gözönüne alınmaktadır. Bu kavram pratikte, örneğin yapısal elemanların sınıflandırılması ve sıralandırılması için geliştirilmiş sınıflama olarak kullanılabilir. Genel olarak, yangın etkisinin eşdeğer zamanı, bölme yangınının tamalanmış sürecinde, bir yapısal elemanda kırılmaya ilişkin aynı kritik yükü (etkiyi) veren bir standart yangındaki ısıtma periyodunun uzunluğu olarak tanımlanabilir.

Bu kavramın dayandığı temel kural Şekil IV.1.8'de gösterilmiştir. Kesikli çizgili eğriler q_t yangın yükü yoğunluğu, $A\sqrt{h}/A_t$ boşluk katsayısı ve yangın bölmesini kuşatan yapıların ısısal özellikleriyle belirlenen bölme yangın etkisi için yapısal elemanın yük taşıma kapasitesi $R(t)$ ile gaz sıcaklığının zamana karşı değişimini gösterir. Kesiksiz çizgi ile gösterilen eğriler, (ISO) yük taşıma kapasitesinin ($R(t)$) zamanla değişimini veren eğrilere ve denklem (IV.1.9)'a göre (ISO) standart yangın sıcaklığı-zaman değişimini

vermektedir. Bölme yangını süresince yapısal elemanın minimum yük taşıma kapasitesi, standart yangının ısısal etkisine ilişkin yük taşıma kapasitesinin benzer değerine aktarılır ve yangın etkisinin eşdeğer zamanı t_e 'yi belirler. Minimum yük taşıma kapasitesi başka bir yoldan, bir maksimum genişlemenin, bir maksimum genişleme oranının ya da bir maksimum sıcaklığın kritik değeriyle belirlenebilir.



Sekil IV.1.8 ; Yangın etkisinin eşdeğer zamanını (t_e) belirleyen ISO 834 standart ısıtma koşullarıyla bölme yangını arasındaki ilişki

Şekil IV.1.8'e göre belirlenen uygulama şu anlama gelir; yangın etkisinin eşdeğer zamanı, t_e yapısal parametrelere ve yangın yöntemine etkiyen parametrelere bağlıdır. Yangından etkilenen çelik yapılar için uygun tasarım yardımcıları (tabloları ve abakları içeren) bulunmaktadır. Fakat, yangın etkisinde kalan betonarme ya da ahşap yapılar için uygun tasarım yardımcıları yoktur.

Korunmuş çelik yapılar için yapısal parametrelerden bağımsız olarak yangın etkisinin eşdeğer zamanını veren basit bir bağıntı aşağıda açıklandığı şekilde türetilmiştir. Verilen bir bölme yangını etkisi için maksimum çelik sıcaklığının sabit bir değerini (örneğin; 500°C) veren yapısal parametrelerin bu şekildeki değerleri seçilmiştir. Değişik bölme yangını karakteristikleri için bu işlemi tekrarlamayla yalnız yangın bölmesinin yangın yükü ve özelliklerinin bir fonksiyonu şeklinde t_e 'yi veren yaklaşık bağıntı elde edilmiştir. Doğruluğu yaklaşık aynı düzeyde olan benzer bir bağıntı Thomas-Heselden tarafından türetilmiştir.

$$t_e = 0,067 \frac{q_{ff}}{(A\sqrt{h}/A_t)^{1/2}_f} \quad (\text{dak.}) \quad (\text{IV.1.10})$$

Denklemdaki q_{ff} ve $(A\sqrt{h}/A_t)_f$ sırasıyla (denklem (IV.1.8)'e göre) yangın bölmesinin fiktif yangın yükü yoğunluğu ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) ve boşluk katsayısıdır ($\text{m}^{1/2}$). Denklem bu şekliyle, gözönünde bulundurulanan yangın bölmesini kuşatan yapıların değişen ısısal özelliklerinin etkisine imkan vermektedir. Denklem (IV.1.10), şu şekilde de yazılabilir ;

$$t_e = 0,067 \frac{q_{ff} \cdot A_f}{A_t \cdot (A\sqrt{h}/A_t)^{1/2}_f} \quad (\text{dak.}) \quad (\text{IV.1.11})$$

Bağıntıdaki $q_{ff} = K_f \cdot q_f$ birim döşeme alanına gelen fiktif yangın yükü yoğunluğudur ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). $q_{ff} = K_f \cdot q_f$ alınmasıyla ve denklem (IV.1.8.b)'nin uygulanmasıyla denklem (IV.1.11) aşağıdaki şekli alır;

$$t_e = 0,067 \frac{A_f}{q_f \cdot (A_t \cdot A\sqrt{h})^{1/2}_f} \sqrt{K_f} \quad (\text{dak.})$$

$$\omega = \frac{A_f}{(A_t \cdot A\sqrt{h})^{1/2}_f} \quad (\text{IV.1.12})$$

$$c = 0,067 \cdot \sqrt{K_f} \quad (\text{IV.1.13})$$

ω ve c yerine yerleştirilirse, yangın etkisinin eşdeğer zamanı için aşağıdaki bağıntı elde edilir;

$$t_e = q_f \cdot \omega \cdot c \quad (\text{IV.1.14})$$

Denklemden ω havalandırma katsayısı ve c yangın bölmesini kuşatan yapıların ısısal özelliklerini açıklayan dönüşüm katsayısıdır. Denklem (IV.1.12)'deki havalandırma katsayısı (ω) basitleştirilerek aşağıdaki şekilde düzenlenebilir;

$$\omega = 0,5 \cdot (\sqrt{A_f/A}) \quad (\text{IV.1.15})$$

Dönüşüm katsayısı yangın bölmesinin etrafını çevreleyen yapıların $\sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$ ısı ataletinin bir fonksiyonudur. Burada λ : ısı iletkenlik katsayısı ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$), c : ısı özgül katsayısı ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$) ve ρ : kütleli yoğunluktur ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Uygulamaların büyük çoğunluğu için yeterince doğru, yaklaşık c değerleri tablo IV.1.1'de verilmiştir.

Tablo IV.1.1 ; c dönüşüm katsayısı için yaklaşık değerler

$\sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$ ($\text{W} \cdot \text{m}^{1/2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$)	c ($\text{dak} \cdot \text{m}^{7/4} \cdot \text{MJ}^{-1}$)
<12	0,09
12~42	0,07
>42	0,05

Denklem IV.1.10'a göre yaklaşık bağıntı , kırılmaya ilişkin kritik çelik sıcaklığının yaklaşık 500°C olması şartıyla, yangından etkilenmiş, korunmuş ve korunmamış çelik elemanların pratik uygulaması için doğruluğu gerçekleşmiş olur. Bağıntı $A\sqrt{h}/A_f > 0,05$ $\text{m}^{1/2}$ yangın bölmesi boşluk katsayısını karşılar ve kritik çelik sıcaklığı değerinin sapmasında da kullanılır. Bağıntının, kırılmanın donatının akmasıyla başladığı koşuldaki eğilme kırılmasıyla betonarme kirişler için doğruluğu ayrıca gerçekleşmiştir. Bağıntının yekpare ve tabaka halinde yapılandırılmış kereste yapılar için de geçerli olduğu kabul edilmiştir. Diğer yapı tipleri için denklem (IV.1.10)'unu duyarlılığıyla ilgili az sayıda araştırma yapılmıştır. Bu bağlamda, bu tipte yapısal elemanlarda formülün uygulanmasında tasarımdaki ek belirsizliklerin kapsam içine alınması zorunludur.

IV.2.MALZEME ÖZELLİKLERİ

IV.2.1. Giriş

Beton ve çelik üzerinde çok sayıda yüksek sıcaklık deneyi yapılmıştır. Özellikle mekanik özelliklerle ilgili olan deney sonuçları, son derece farklılıklar göstermektedir. Farklılıkların bazı nedenleri aşağıda açıklanmıştır:

- Deney numuneleri (kimyasal bileşim, biçim ve boyut bakımından) farklı olabilir,
- Tanımlamalar eksik olabilir
- Deney koşulları farklı olabilir,
- Deney aletlerinin kesinlik ve güvenilirliği yetersiz olabilir, fakat asıl etken farklı deney yöntemlerinden gözlenmiştir.

IV.2.2. Mekanik Özellikler için Deney Yöntemleri

Yükselen sıcaklıktaki mekanik özelliklerin araştırılmasında başlıca şu iki deney yöntemi kullanılır; sabit durum deneyleri ve geçici durum deneyleri.

Beton elemanı da içeren gelişmiş bir yangın boyunca malzeme, değişen sıcaklık ve gerilmeli bir geçici durum etkisinde kalır. Bu süreci açıklayan en uygun deney geçici deneylerdir. Karşılaşılan durumların tümünde, gerilme-birim deformasyon özelliklerinin tanımlanması için, sabit durum deneyleri yalnız başına kullanılmamalıdır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan altı pratik sabit durum ve geçici deney yöntemi şunlardır:

- Sabit durum deneyleri
 - *Gerilme-birim deformasyon ilişkisi (gerilme hızı denetimi)
 - *Gerilme-birim deformasyon ilişkisi (birim deformasyon hızı denetimi)
 - *Sünme
 - *Gevşeme
- Geçici deneyler
 - *Toplam deformasyonlar, kırılma sıcaklığı (gerilme denetimi)
 - *Toplam kuvvetler, zorlama (bağ) kuvvetleri (birim deformasyon denetimi)

Sabit Durum Deneyleri; Bir ısıtma periyoduna göre tanımlanır ve numuneye, izin verilen sıcaklık periyodu, herhangi bir yük öncesinde dengedeyken uygulanır. Yük uygulanmadan önce ölçülen birim deformasyon, ısıl genleşmeye karşılık gelen deformasyona eşittir. Isıtma periyodu boyunca sünme ve gevşeme oluşmaz. Dengelenen periyod sonrası sıcaklık sabit tutulur ve dört sabit durum deneyi yukarıda belirtildiği gibi uygulanır.

Geçici sıcaklık deneyleri ya da sabit olmayan deneyler; Çoğunlukla, doğrusal değişen sıcaklığa ve eşzamanlı yüklemeye göre tanımlanır. Yük ısıtma öncesi uygulanabilir ya da ısıtma süresince ısıl genleşmeye karşı oluşan zorlamayla artabilir. Geçici deneylerin bu iki tipi, sırasıyla, yük ve birim deformasyon denetimiyle uygulanır. Bu nedenle, ısıtma periyodu boyunca sünme ya da gevşeme etkileri oluşur ve ölçülen toplam deformasyon ve toplam kuvvetler de hesaba katılır.

IV.2.3. Sıcaklığa Bağlı Malzeme Özellikleri

Aşağıdaki paragraflarda değişik laboratuvarlardan alınmış yangın deneylerinin sonuçları gösterilmektedir. Çoğunluğu özel durumlarla ilgili bu araştırmalardan elde edilen kesin sonuçlar verilmeye çalışılmıştır. Birkaç durum için deney sonuçlarının dağılımı, bazı belirgin temsili değerlerle verilmiştir.

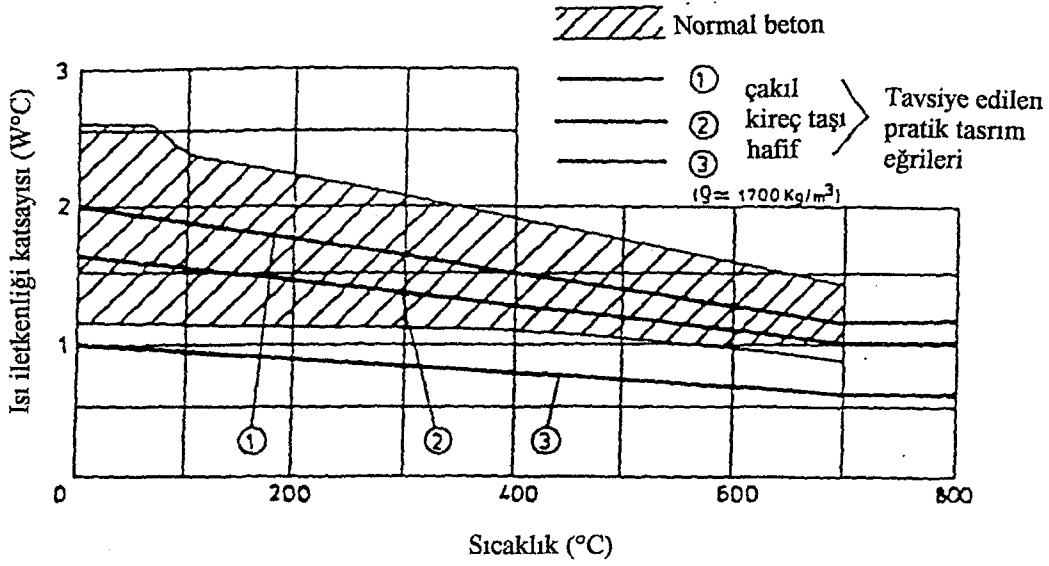
Malzemeyle ilgili sayısal değerler göz önünde bulundurularak, pratiklik için, geçerli tasarım eğrileri önerilebilir. Burada anılan tasarım eğrileri basitçe doğrularla ya da eğrilerle verilecektir. Ancak, başka yaklaşımların yapılmasında mümkündür. Sağlanabildiği kadarıyla diyagramlarda hafif agregalı betonla ilgili bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

Burada verilen tasarım eğrilerinin C-60'dan büyük beton sınıfları için kullanılması tavsiye edilir. Yüksek mukavemetli betonun beton karışımından dolayı, bu tür betonlar farklı şekilde davranabilir ve bu nedenle, burada verilen sonuçlardan bu beton türleri için genel bir ifade çıkarılamaz.

IV.2.3.1. Beton

(1) Isı İletkenlik Katsayısı;

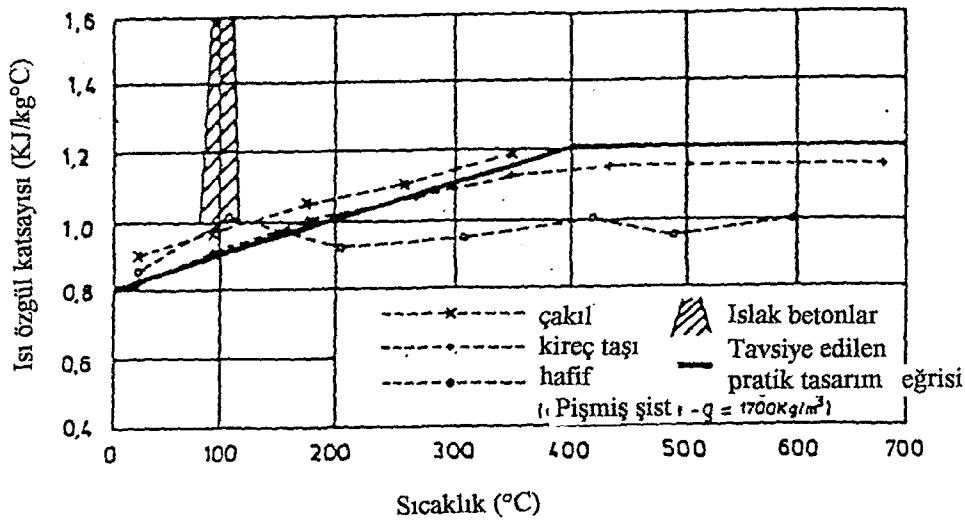
Betonun ısı iletkenlik katsayısı λ , şekil IV.2.1'de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla azalır. 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda nem içeriği ısı iletkenlik katsayısını etkiler. Şekil IV.2.1'de agrega tipinin, iletkenliği oldukça etkilediği görülmektedir. Hafif agregalı beton, normal yoğunluktaki betondan oldukça düşük ısı iletkenliği katsayısına sahiptir. Kireçtaşı ya da dolomit agregayla yapılmış betonun, silisli agregayla yapılmış betondan %15 ~ 20 daha az iletkenliğe sahip olduğu kabul edilebilir. Kalsiyum karbonatın neden olduğu yüksek sıcaklıklardaki ısı alan tepkilesimin etkileri, ayrıca gözönüne alınmalıdır.



Sekil IV.2.1 ;Farklı beton türleri için λ ısı iletkenlik katsayısı

(11) Isı Özgül Katsayısı;

Şekil IV.2.2 çakıl, kireçtaşı ve hafif agrega için ısı özgül katsayısı, c 'nin sıcaklığın bir fonksiyonu gibi değişimini göstermektedir. Değerlerin, sıcaklığın artışıyla birlikte yavaş arttığı ve agrega tipinin bu katsayı üzerinde yalnız küçük bir parça etkiye sahip olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle, tüm beton türleri için pratik bir tasarım eğrisi kabul edilmiştir. 100°C dolayında serbest suyun buharlaşmasından dolayı önemli bir artış görülebilir.



Sekil IV.2.2 ;Farklı beton türleri için ısı c, ısı özgül katsayısı

(iii)Yoğunluk;

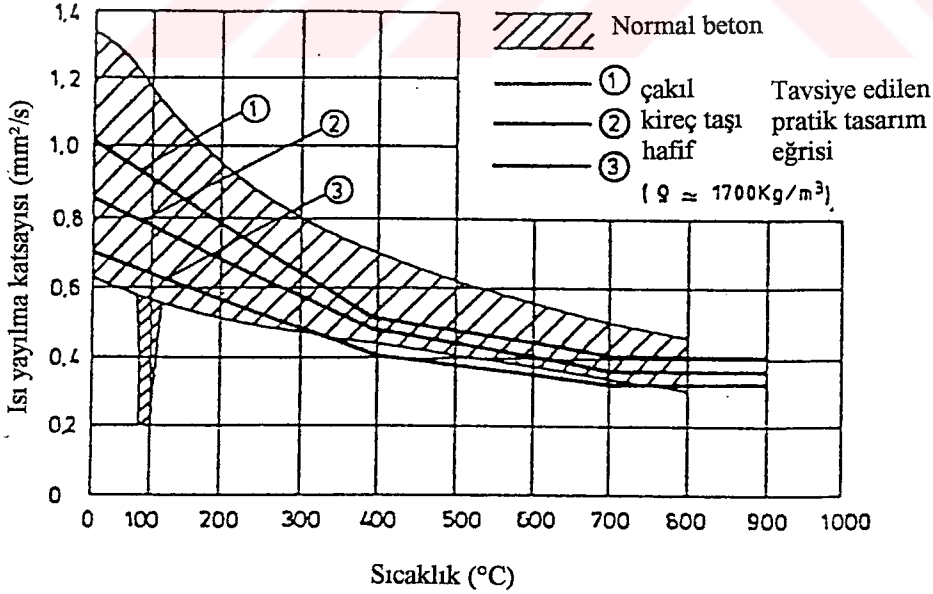
Betonun yoğunluğu, ρ , sıcaklık artışıyla fazla değişmez. Bu değişim, esas olarak serbest suyun buharlaşmasından ve aynı zamanda ısıl genişlemenin neden olduğu hacimsel artıştan kaynaklanır. Serbest suyun buharlaşmasından sonra, çoğu durumda yoğunluk azalması 100 kg/m^3 kabul edilebilir. Bu bağlamda, ρ , pratik tasarımda sıcaklıktan bağımsız olarak

$$\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$$

şeklinde sabit bir değerde alınabilir.

(iv)Isı Yayılma Katsayısı;

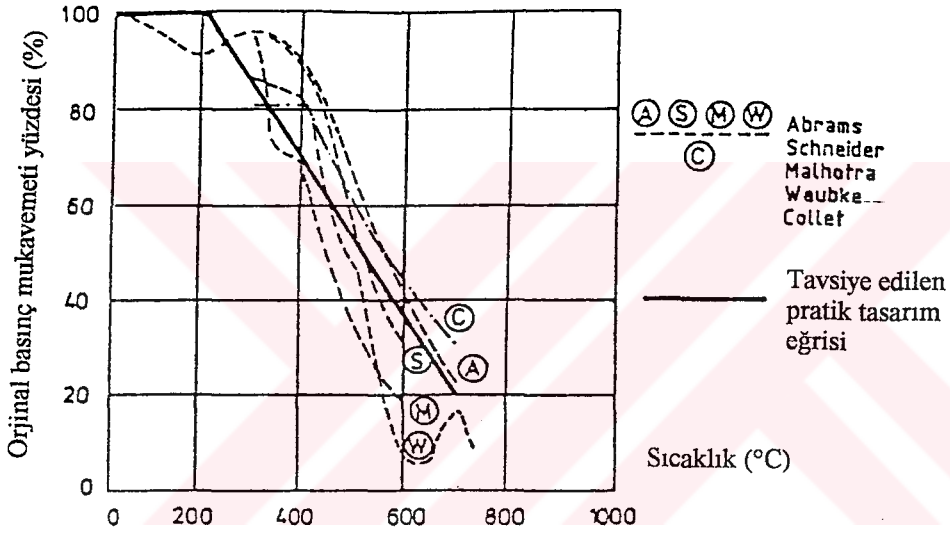
Hesaplama kolaylık sağlamak amacıyla ısı yayılma katsayısı, a , genel olarak $a = \lambda / c\rho$ şeklinde gözönüne alınabilir. Bu katsayı malzemenin ısı karşısındaki davranışı hakkında ayrıntılı bilgi verir ve bu nedenle, sıcaklıkla nasıl değiştiğinin bilinmesi önemlidir. Şekil IV.2.3'de önceki bölümlerdeki farklı beton türleri hakkındaki verilere göre ısı yayılma katsayılarının değişimi gösterilmiştir. Şekildeki agrega tipinin bu katsayıyı önemli ölçüde etkilediği de görülmektedir. Serbest suyun buharlaşmasından dolayı 100°C dolayında önemli azalma gözlenebilir.



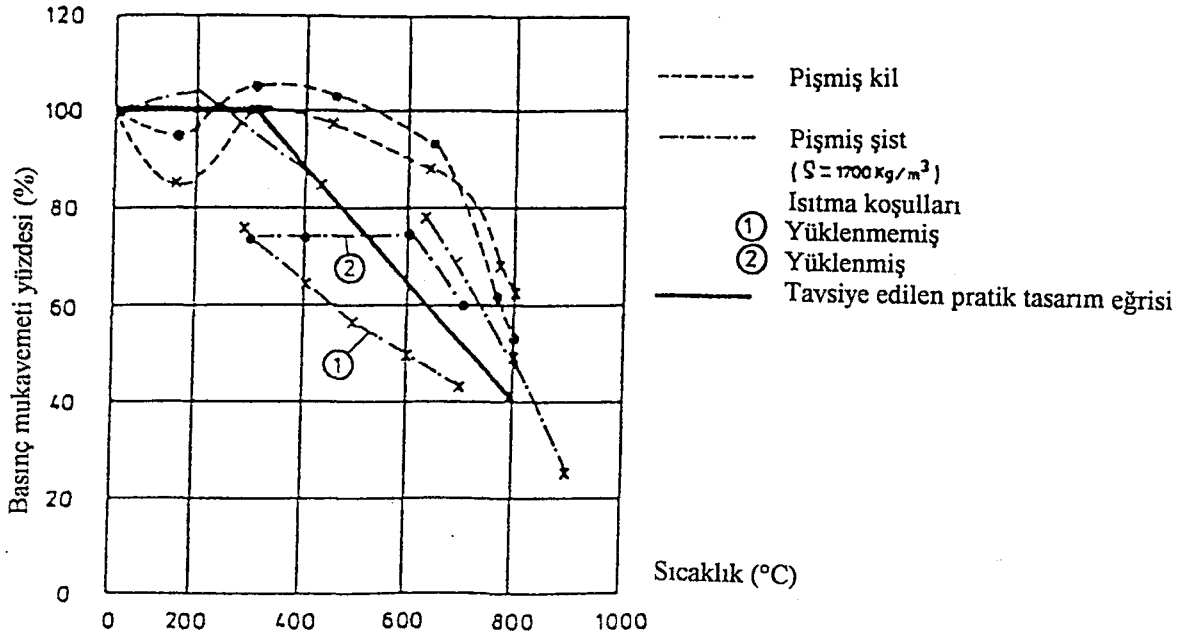
Sekil IV.2.3 ; Farklı beton türleri için α ısı yayılma katsayısı

(v) Basınç Mukavemeti;

Bazı araştırmacıların normal yoğunluktaki betonlardan elde edilen bazı deney sonuçları şekil IV.2.5`de verilmiştir. Şekillerden sıcaklık artışıyla mukavemetin azaldığı görülmektedir. Örnekler mekanik gerilme uygulanmadan ısıtılmış ve maksimum sıcaklığa ulaşıldığı zaman yüklenmiş silisli betona aittir (sabit durum deneyleri). Yalnız bir deney serisi (s ile gösterilen) ısıtma süresince yüklemeye sabit tutulmuştur (geçici deneyler). Şekil IV.2.5`de iki hafif beton türü için (pişmiş kil ve pişmiş şist) için benzer diyagramlar gösterilmiştir. Isıtma boyunca yüklemenin etkisi gözlenebilir. Normal beton için mukavemet kaybı, hafif beton için olandan daha azdır. Nem yüzdesinin azalmasından dolayı 150°C dolayında mukavemette azalma oluşur.



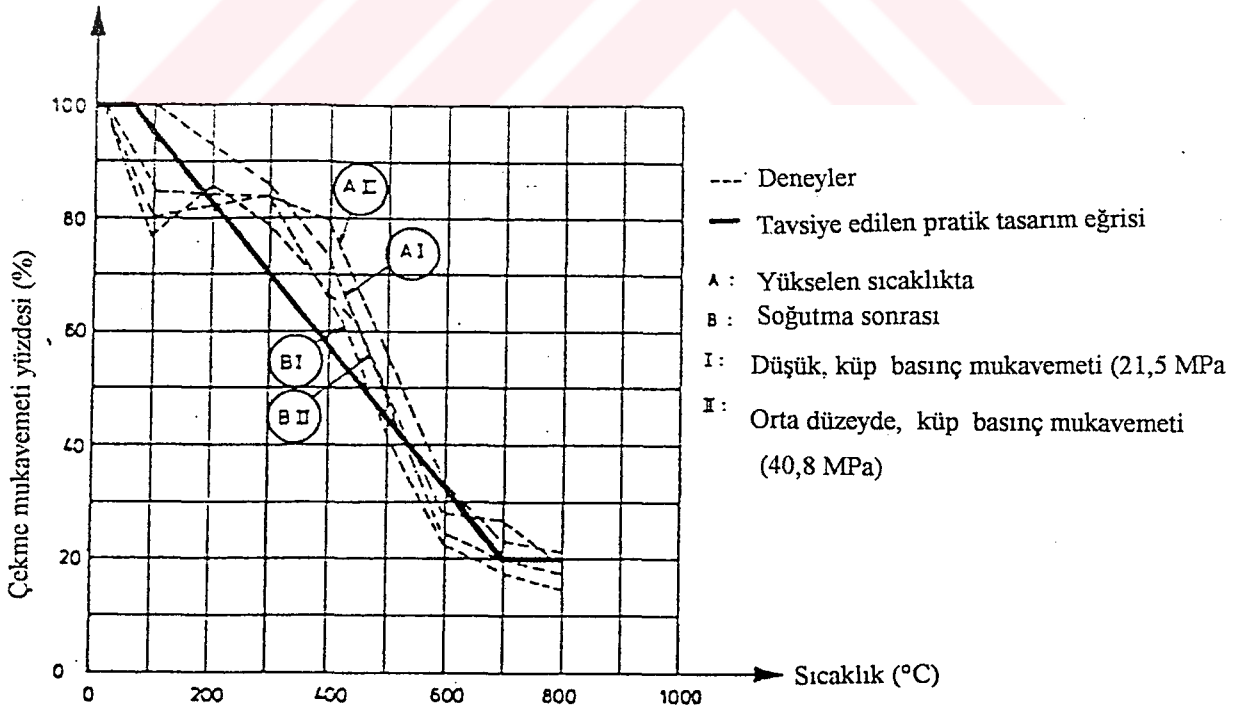
Sekil IV.2.4 ; Yükselen sıcaklık altında normal yoğunluktaki (silisli) betonun basınç mukavemeti



Şekil IV.2.5 ; Yükselen sıcaklık altında hafif betonun basınç mukavemeti

(vi) Çekme mukavemeti;

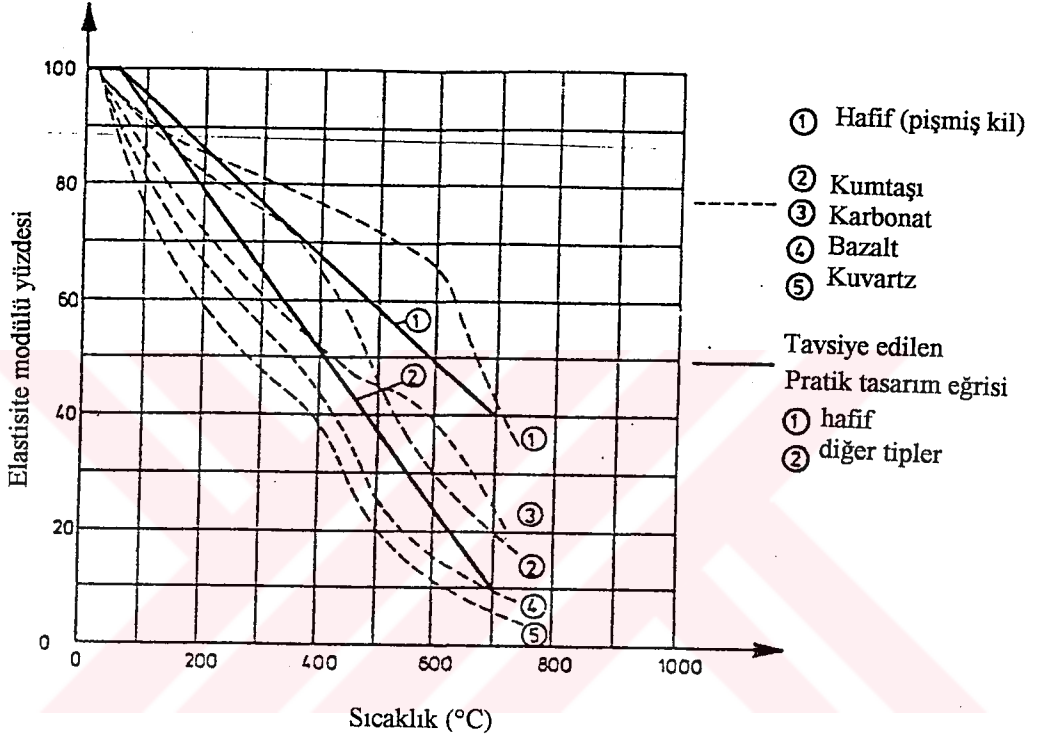
Yükselen sıcaklık altında çekme mukavemetinin değişimiyle ilgili az sayıda araştırma yapılmıştır. Şekil IV.2.6 silindir kırma tekniği ile elde edilmiş İsveç çekme mukavemeti deney sonuçlarını göstermektedir.



Sekil IV.2.6 ; Silisli agregayla yapılmış betonun, silindir kırmayla elde edilen çekme mukavemetine sıcaklığın etkisi (sabit durum deneyleri)

(vii) Elastisite Modülü;

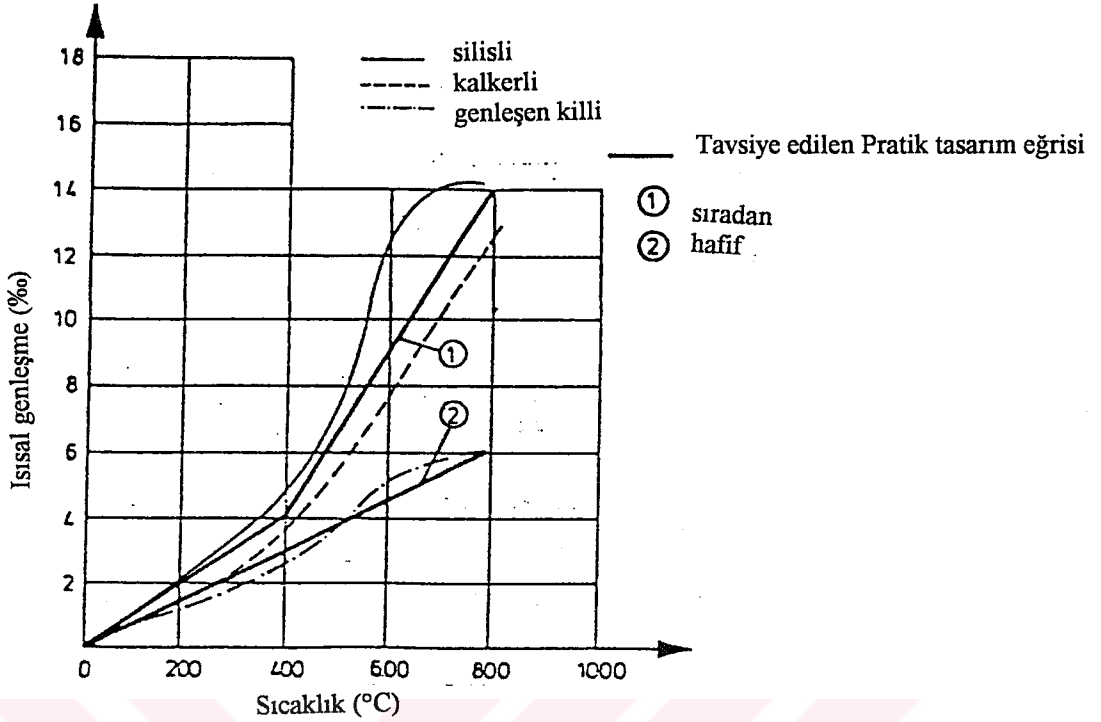
Isının elastisite modülü üzerindeki etkisi, basınç mukavemeti üzerindeki etkisine benzemektedir. Yükleme geçmişinin etkisi de önemlidir. Şekil IV.2.7 de farklı normal ve hafif beton türleri için deney sonuçları gösterilmiştir.



Sekil IV.2.7 ; Farklı beton türleri için E , elastisite modülü üzerinde sıcaklığın etkisi (sabit durum deneyleri)

(viii) Isısal Genleşme;

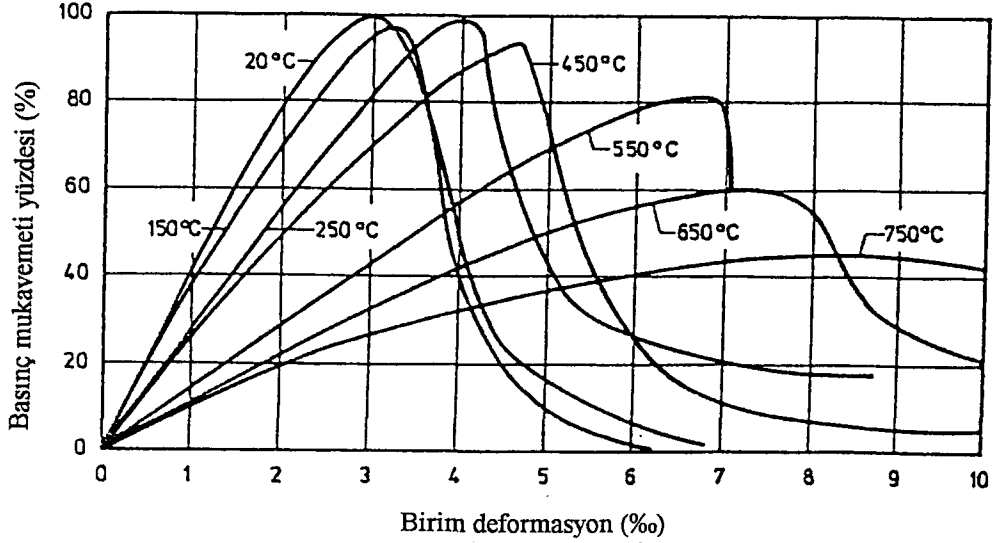
Bir yangında görülen sıcaklıkların etki alanı içinde ısısal genleşme katsayısı, α_t , sabit bir değere sahip değildir. Şekil IV.2.9'da, farklı beton türleri için toplam ısısal genleşme, ϵ_t 'ye ait deney sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlar yüklenmemiş numunelere aittir. Belirli betonlar için, genleşmenin yüksek sıcaklıklarda büzülme etkisiyle durdurulduğu görülmektedir.



Sekil IV.2.8 ;Farklı beton türleri (yüklenmemiş numune) için, ϵ_t ısısal genleşme katsayısı

(ix)Birim Deformasyona Bağlı Gerilmeler;

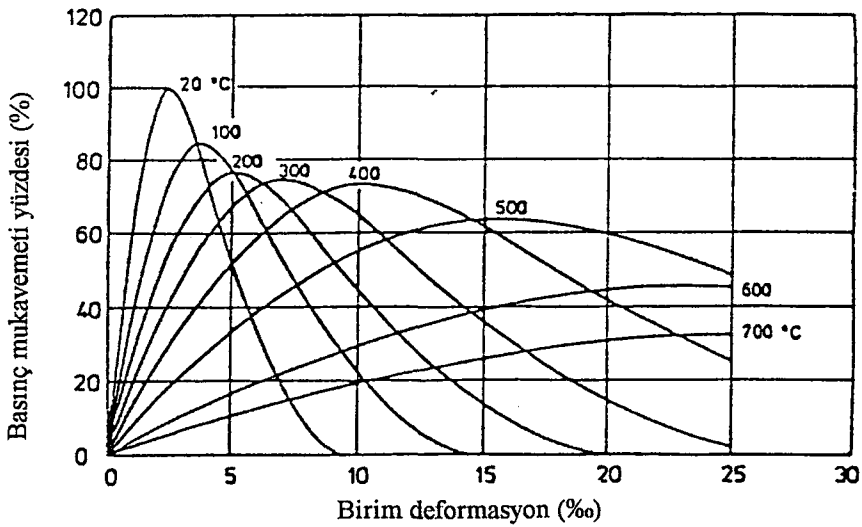
Yangından etkilenmiş bir yapının yük taşıma ve deformasyon davranışının gerçeğe yakın analizi, ısısal genişmeye ek olarak sıcaktan etkilenen betonun birim deformasyonuna bağlı gerilmenin hesaba katılmasını içerir. Farklı sıcaklıklardaki gerilme-birim deformasyon ilişkileri sabit durum deneylerinin yardımıyla elde edilebilir. Bu deneylerde belirtilen (sabit sıcaklıklardaki) deney periyodu boyunca gelişen sünmenin küçük bir bölümü hesaba katılır. Birim deformasyonunun denetlendiği deneylerle artan birim deformasyonunun incelenmesi sırasında, gerilme azalışının maksimum gerilmeye ulaşması sonrasında olduğu gözlenmektedir. Bu şekildeki bir ilişkiye ait örnek şekil IV.2.9'da verilmiştir.



Sekil IV.2.9 ;Sabit durum deneylerine bağlı olarak silisli agregalı (kumtaşı) beton için gerilme-birim deformasyon ilişkileri (bu deneyde birim deformasyon hızı denetlenmiştir)

Geçici deneyler yardımıyla farklı sıcaklıklarda başka bir gerilme-birim deformasyon ilişkisi daha belirginleşir. Sabit gerilme altında yapılan bu deneyler sünme etkisini de içermektedir. Bu deneyler, numunenin kırılmasına yol açtığı için, bunlardan yalnızca σ - ϵ eğrisinin yükselen bölümü hakkında bilgi edinilebilir. σ - ϵ eğrisinin alçalan bölümüyle ilgili bilgi, sabit durum deneylerinden sağlanır ve bu bilgiyle σ - ϵ eğrisinin tamamı elde edilir.

Şekil IV.2.10'dan görüleceği gibi, geçici deneylerden elde edilen birim deformasyonlar, sabit durum deneylerinden elde edilen birim deformasyonlardan oldukça büyüktür.

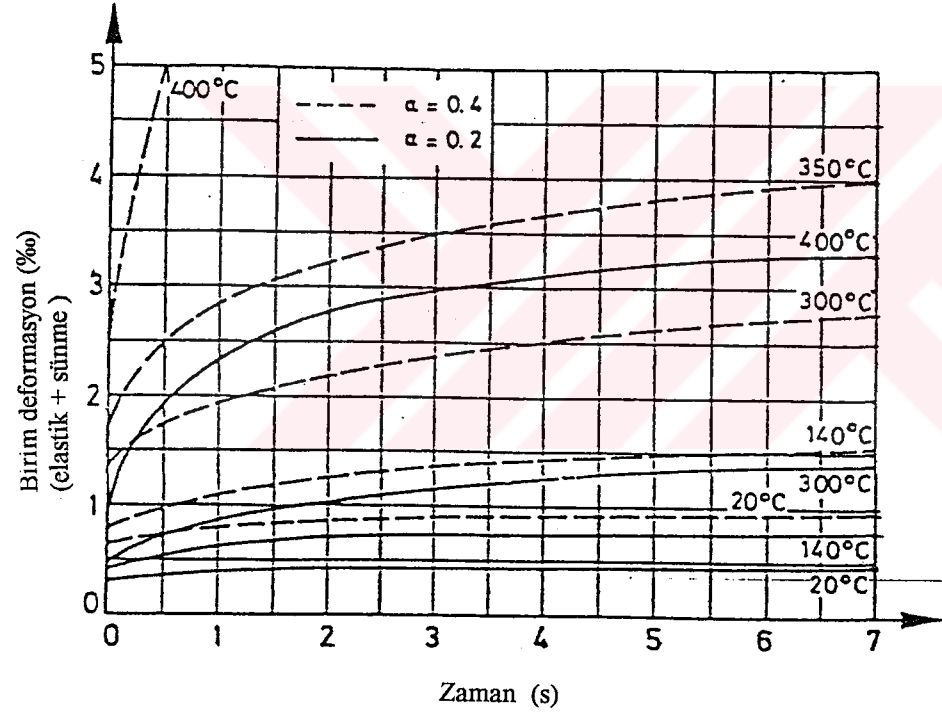


Sekil IV.2.10 ; Silisli agregalı beton için geçici deneylere bağılı olarak gerilme-birim deformasyon ilişkileri

Gerilme-birim deformasyon ilişkilerinin her iki türü de, ISO 834 standart yangınından etkilenmiş beton yapıların yük taşıma ve deformasyon davranışının hesaplanması için kullanılmaktadır.

DeneySEL sonuçlar şunu göstermektedir; Betonun sünmesi ve gevşemesi yüksek sıcaklıklarda önemli artış gösterir. DeneySEL sonuçlarının, geçici koşulların, sünme ve gevşemeyi oldukça etkilediğini göstermesine karşın, bu özellikler çoğunlukla sabit durum deneylerinden elde edilir. Şekil IV.2.11, gerilme düzeyi ve sıcaklığın, sünme birim deformasyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. Gerilme düzeyinin etkisinin artan sıcaklıkla doğrusal artmadığı açıkça görülmektedir.

$$\alpha = \frac{\text{Sünme deneyi boyunca gerilme}}{\text{Oda sıcaklığındaki mukavemet}} = \text{Gerilme düzeyi}$$



Sekil IV.2.11 ; Gerilme düzeyi, α ve sıcaklığın sünme birim deformasyonu üzerindeki etkisi (sabit durum deneyleri)

IV.2.3.2. Çelik

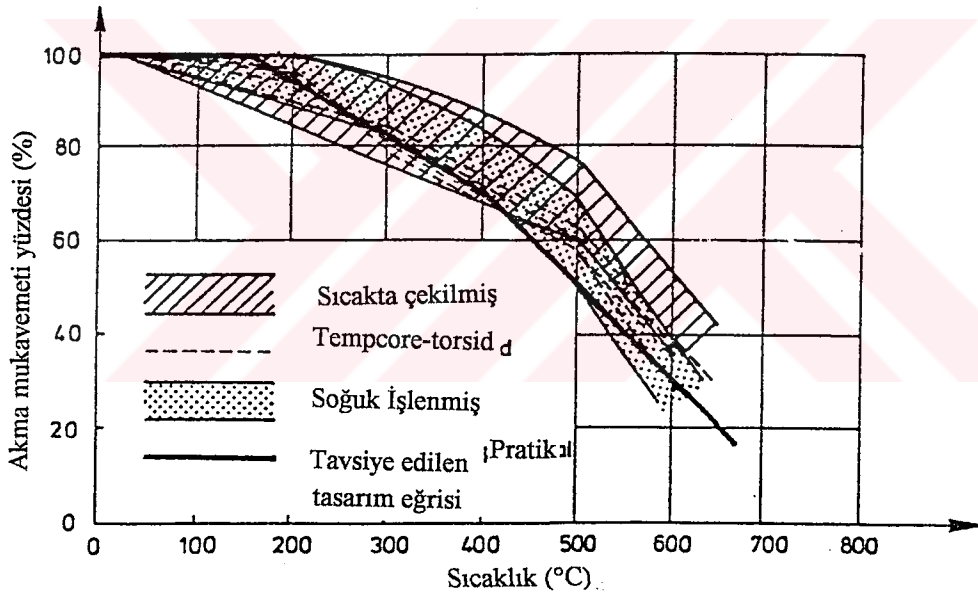
Genelde, betonarme ve öngerilmeli beton elemanların herikisinde de, enkesitin içindeki sıcaklık artışının donatı üzerindeki etkisi ikinci derecede önem taşıdığı için, çeliğin ısısal özellikleri önemsenmeyebilir. Buna karşın, çelik yüzdesinin sıcaklık dağılımını etkilediği söylenebilir.

Aşağıda açıklanan malzeme özellikleri çeliğin çekme deneylerinden elde edilmiştir. Bu özellikler, benzer şekilde, basınca çalışan elemanlar için de geçerlidir.

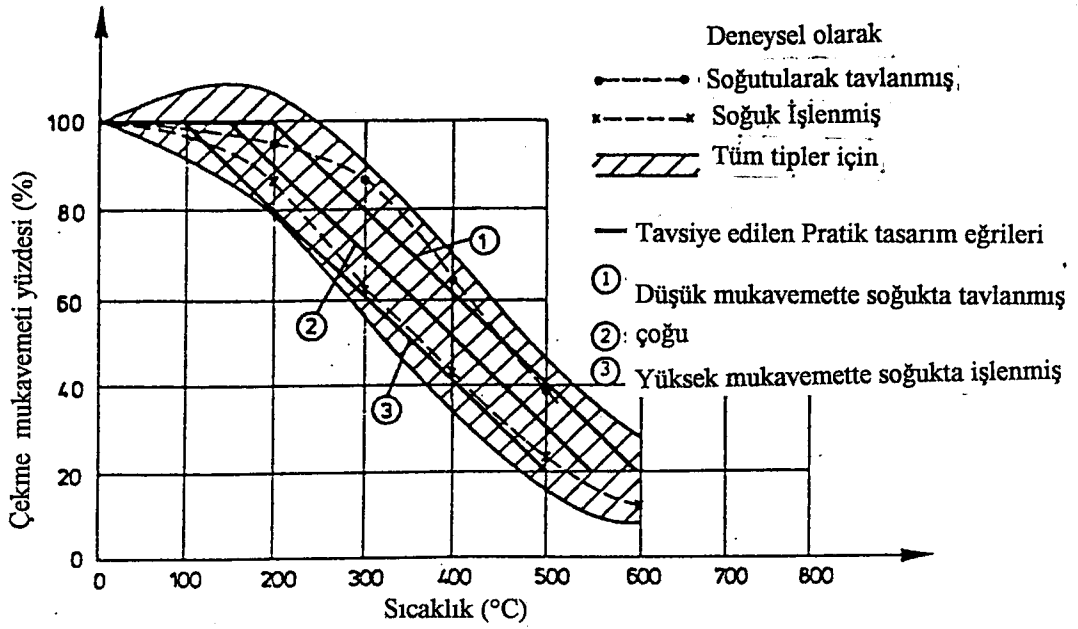
(1) Çekme ve Akma Mukavemeti;

Çelik mukavemetinin sıcaklıkla birlikte azalışı Şekil IV.2.12 ve Şekil IV.2.13`de gösterilmiştir. Öngerilme çeliğine ilişkin diyagramdaki çekme mukavemeti, donatı çeliklerinde kırılma için akma mukavemetini esas almıştır. Akma ve kopma birbirleriyle yakından ilişkili olduğundan bu durum için kırılma kriteri kabul edilmiştir.

Kritik çelik sıcaklığı bu diyagramlardan elde edilebilir. Bu diyagramların ordinatında beton eleman için çelik gerilmesi ve absisinde kırılma sıcaklığı gösterilmiştir. Kritik çelik sıcaklığı hakkında daha ayrıntılı bilgi daha önceki bölümlerde verilmiştir.



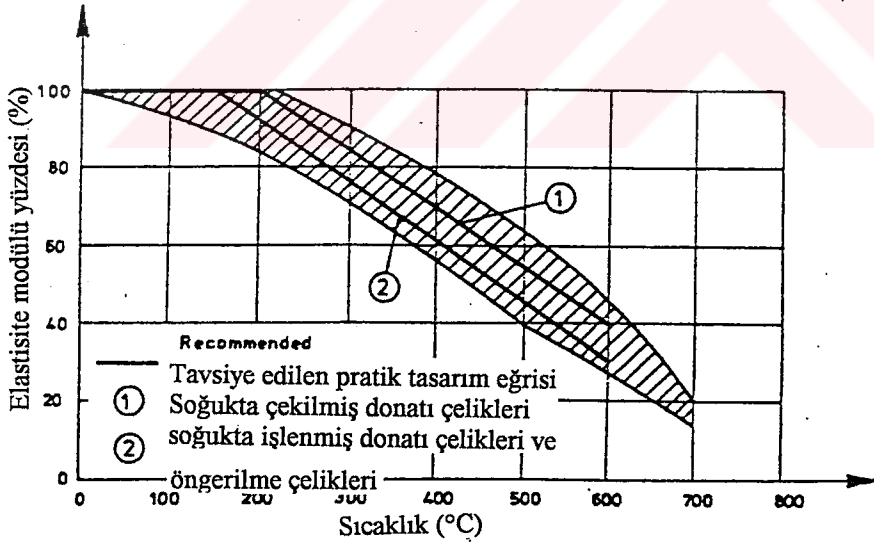
Şekil IV.2.12 ;Donatı çeliklerinde ısıtmanın neden olduğu akma mukavemeti kayıpları



Sekil IV.2.13 ; Öngerilme çeliklerinde ısıtmanın neden olduğu çekme mukavemeti kayıpları

(ı)Elastisite Modülü;

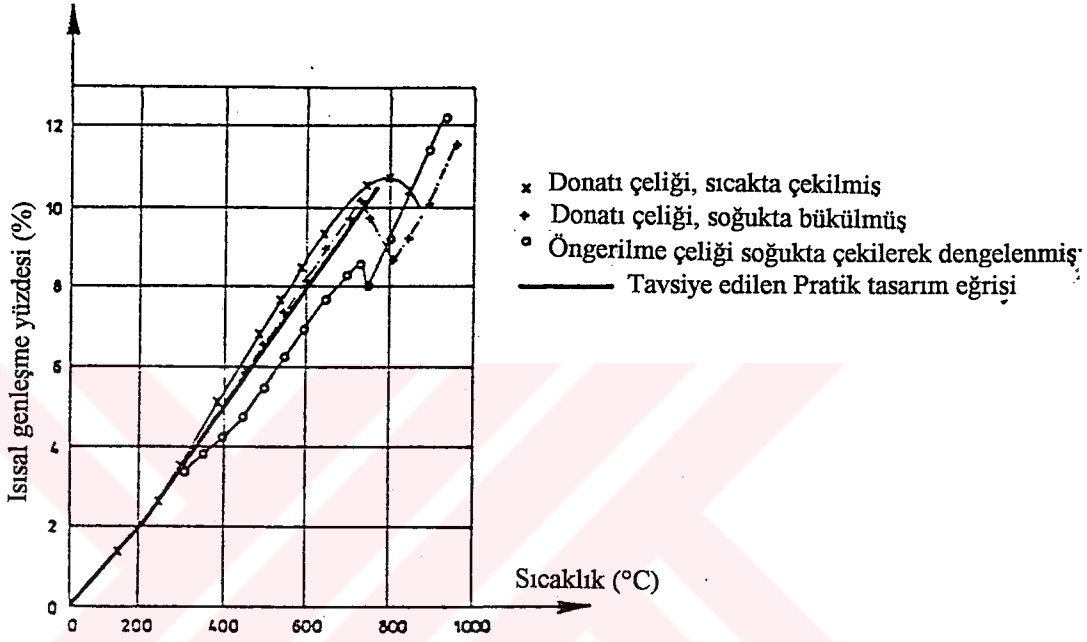
Donatı ve öngerilme çeliğinin yükselen sıcaklık altında elastisite modülündeki azalma şekil IV.2.14`de gösterilmiştir. Deney sonuçlarının çok azı öngerilme çeliğine aittir. Çoğunlukla, öngerilme çeliklerinde ve soğukta işlenmiş donatı çeliklerinde, sıcakta çekilmiş donatı çeliklerinden biraz daha hızlı azalma gözlenmektedir. Bu nedenle, aşağıdaki iki pratik tasarım eğrisi tavsiye edilmiştir.



Sekil IV.2.14 ;Donatı ve öngerilme çeliğinin elastisite modülü üzerinde sıcaklığın etkisi (sabit durum deneyleri)

(iii) Isısal Genleşme;

Çeliğin ısısal genleşme katsayısı, α_t 'nin değeri artan sıcaklıkla birlikte yavaş bir artış gösterir. Bu, toplam ısısal genleşme, ϵ_t 'yi gösteren şekil IV.2.15'den görülebilir. Bu deney sonuçları yüklenmemiş numunelerden elde edilmiştir. Öngerilme çeliklerinde mikro yapı içinde açık bir iyileşme gözlenebilir. Mikro yapı içindeki bu değişimler 700 ile 800°C arasındaki kararsız bölgeyi açıklar.



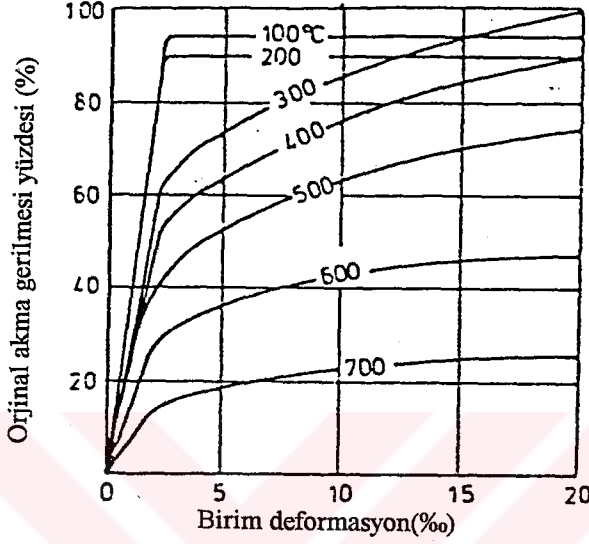
Sekil IV.2.15 ;Donatı ve öngerilme çeliği (yüklenmemiş numuneler), ϵ_t ısısal genleşmesi

(iv) Birim Deformasyonlara Bağlı Gerilme;

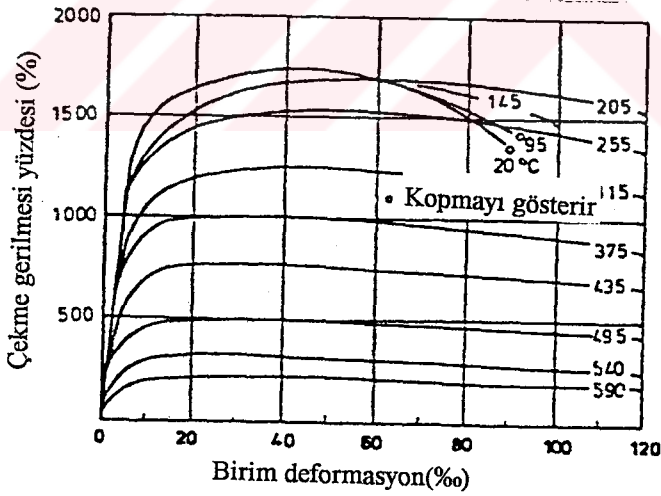
Yükselen sıcaklıkta, çeliğin mekanik özelliklerine bileşimi ve imal tekniği etkiler. Bu esas olarak gerilme-birim deformasyon ilişkileriyle ilgilidir. Çeliğin yukarıda sözü edilen özelliklere göre değişen dört türe ayrılması tavsiye edilir. Yalnız bunların her biri orjinal çelik mukavemetinden bağımsız olarak uygulanabilir. Bu dört tür şunlardır;

- Sıcakta çekilmiş donatı çeliği,
- Soğukta işlenmiş donatı çeliği,
- Soğutularak tavllanmış öngerilme çeliği,
- Soğukta işlenmiş öngerilme çeliği,

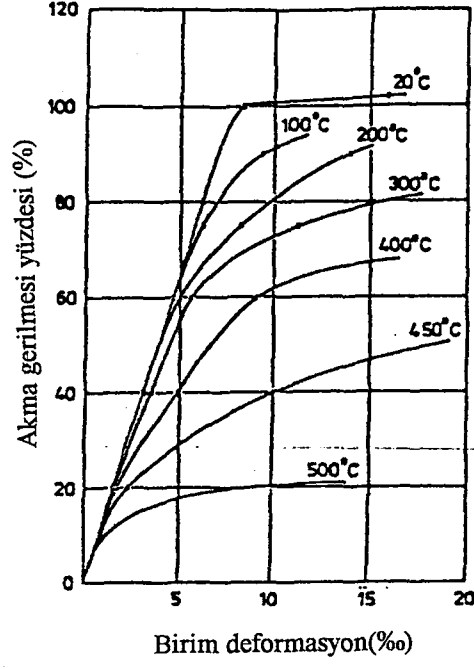
Beton için olduğu gibi çelik için de sabit durum deneyleri ve geçici deneyler kullanılmıştır. Buna ilişkin örnekler şekil IV.16, 17, 18, 19'da verilmiştir. Benzer donatı çelikleri için gerilme birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması Şekil IV.2.20'de gösterilmiştir. Eğrilerin bir bölümü yükselen sıcaklıklar altında sabit durum deneylerinden elde edilmiştir. Geçici koşullardan elde edilen aynı gerilme düzeylerine karşılık gelen birim deformasyonlar önemlidir.



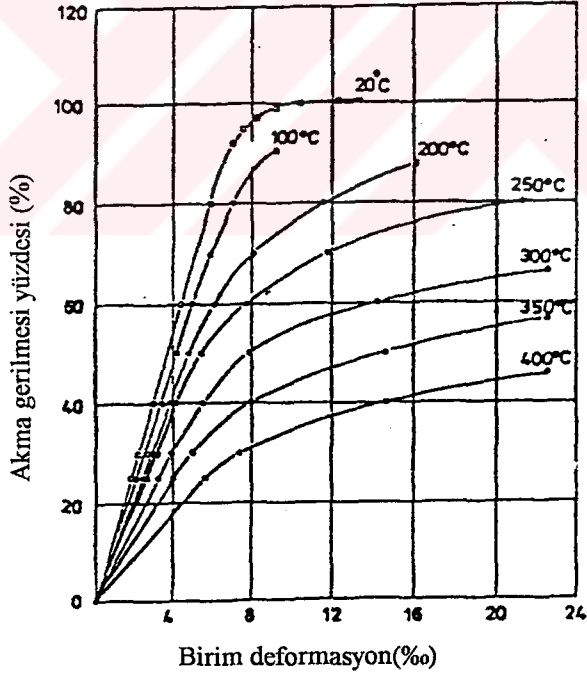
Sekil IV.2.16 ; Sıcakta çekilmiş donatı çeliği için artan sıcaklıklarda gerilme-birim deformasyon ilişkileri (sabit durum deneyleri)



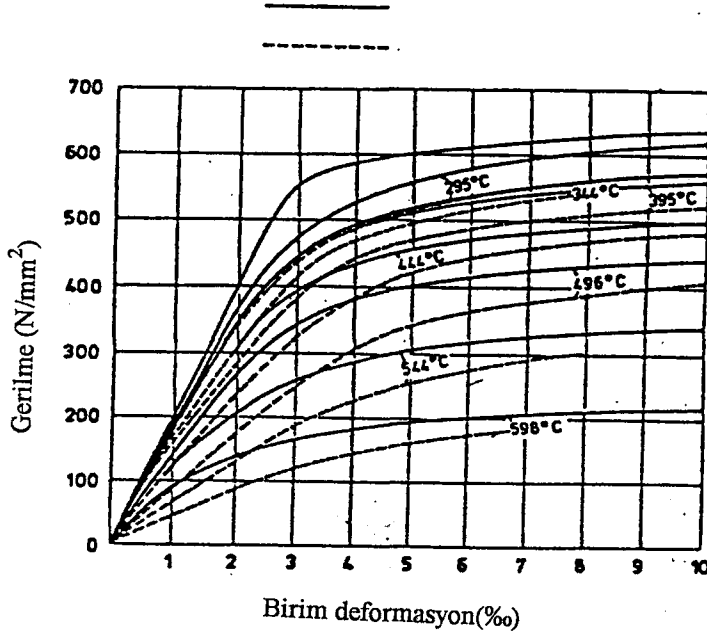
Sekil IV.2.17 ; Soğukta işlenmiş öngerilme çeliği için artan sıcaklıklarda gerilme-birim deformasyon ilişkileri (sabit durum deneyleri)



Sekil IV.2.18 ;Geçici deneylerden elde edilen, soğutularak tavllanmış öngerilme çeliğine ilişkin gerilme-birim deformasyon eğrileri



Sekil IV.2.19 ;Geçici deneylerden elde edilen, soğukta çekilmiş öngerilme çeliğine ilişkin gerilme-birim deformasyon eğrileri

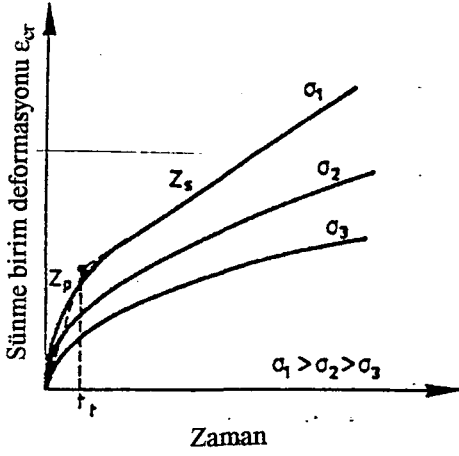


Sekil IV.2.20 ;Bir donatı çeliği için geçici deneylerden elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrileri ile artan sıcaklıklar altında sabit durum deneylerinden elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması

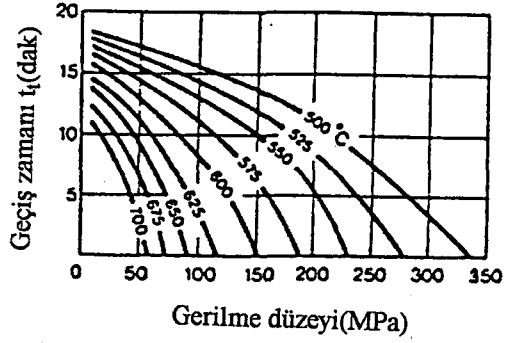
Beton için yapılan deneylerin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında , çeliğin sünme ve gevşemesi yüksek sıcaklıklarda önemli artışlar gösterir. Bununla birlikte, geçici koşulların etkisi çelikte daha az önemli gibi gözükmemektedir.

Sünme birim deformasyonu genellikle, uygulanan gerilme düzeyinin ve zamanla dengelenen sıcaklığın fonksiyonu olarak kabul edilirler. Sünme 10 ile 20 dakika arasında sınırlandırılmış periyod içinde oluşan birincil sünme ve daha sonra oluşan ikincil sünme olarak ikiye ayrılabilir.

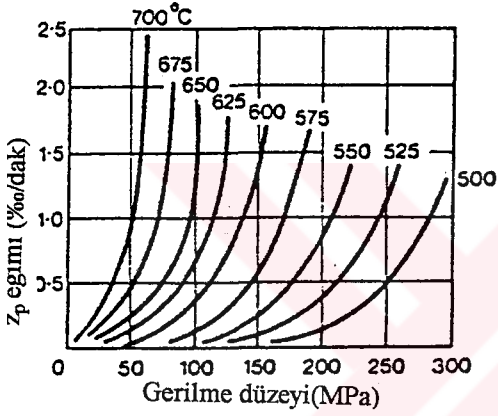
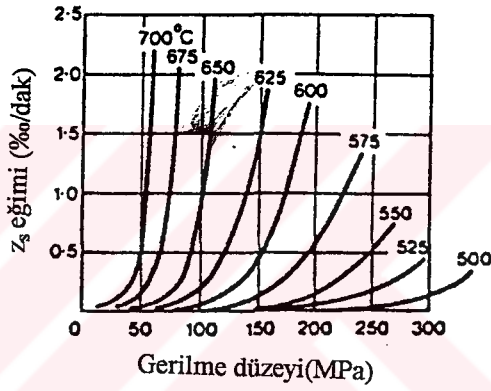
Bazı teorilerde gerçek sünme-zaman eğrileri Şekil IV.2.21.a'da gösterilen eğrilere benzer. Şekil IV.2.21.b,c ve d sıcakta çekilmiş bir donatı çeliğinin şekil IV.2.21.a'da tanımlanan üç parametrenin belirlenmesi için kullanılan diyagramları göstermektedir.



a) Gerçek sünme-zaman eğrileri



b) Gerilme düzeyi-zaman eğrileri

c) Sünmenin birincil hızının z_p eğimid) Sünmenin ikincil hızının z_s eğimi

Sekil IV.2.21 ; Sıcakta çekilmiş öngerilme çeliği için zamanın bir fonksiyonu şeklinde sünme birim deformasyonu

IV.3. ISISAL ÇÖZÜMLEME

IV.3.1. Çevresel Koşullar

Çözümü gereken ilk problem, yangın süresince varolan çevresel koşulların modellendirilmesidir. ISO standart sıcaklık zaman eğrisi ya da diğer bağıntı çeşitleri bu koşulların temsil edilmesinde kullanılabilir. Bu problem, bölüm III.1'de (yangın etkisinin çözümsel modeli) ve bölüm IV.1'de (yangın etkisi) ayrıntılı incelenmiştir.

IV.3.2. Isı Transferi

Isısal çözümlenmenin yapılabilmesi için sınır koşullarının belirlenmesi gereklidir. Bu koşullar beton elemanların içine sıcak gazların ısı transferiyle temsil edilebilir. Elemana ulaşan Q ısı transferinin belirlenmesi karmaşık bir problemdir. Fakat, genelde, aşağıda görüleceği gibi bir ısı taşınımı (konveksiyon) bölümüne ve bir ısı ışıınımı (radyasyon) bölümüne ayrılabilir;

$$Q = h \cdot (T_e - T_s) + \sigma_0 \cdot \epsilon_{es} \cdot [(T_e + 273)^4 - (T_s + 273)^4] \quad (\text{IV.3.1})$$

T_e :Çevre sıcaklığı (gaz sıcaklığı)

T_s :Elemanın etkilenen yüzündeki sıcaklık

h :Isı taşınımı (konveksiyon) katsayısı

σ_0 :Stefan-Boltzman sabiti

ϵ_{es} :Elemanın etkilenen yüzeyi ile çevre arasındaki ısı ışıınımı (radyasyon) için bileşke yayılma kapasitesi

Denklem (IV.3.1) aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$Q = \alpha_t \cdot (T_e - T_s) \quad (\text{IV.3.2})$$

$$\alpha_t = \alpha_c + \alpha_r \quad (\text{IV.3.3})$$

$$= h + \sigma_0 \cdot \epsilon_{es} \cdot [(T_e + 273)^3 + (T_e + 273)^2 + (T_e + 273) + (T_s + 273) + (T_s + 273)^2 + (T_s + 273)^3]$$

α_t :Toplam ısı transferi katsayısı

α_c :Isı taşınımından doğan ısı transferi katsayısı

α_r :Isı ışıınımından doğan ısı transferi katsayısı

Isı taşınımı ve ısı ışıınımından doğan ısı transferi katsayıları sıcaklığa bağlıdır ve birçok parametreden etkilenir. α_c katsayısı esas olarak, gaz transferi hızı, sıcaklık, gazın çeşidi ve bundan başka yüzey tipi ve eleman boyutundan etkilenir. α_r katsayısı ise alevlerin yayılma kapasitesine, yanıcı gazlara, mobilyaların etkilenmiş yüzeylerine ve elemanın etkilenmiş yüzeyine bağlıdır.

α_r ısı ışıınımı katsayısı için kabul edilen (IV.3.3) bağıntısında, ısı ışıınımının, T_e sıcaklığıyla tanımlanan çevre ile, elemanın yüzeyi arasındaki global ısı değişiminde olduğu kabulü gözönünde bulundurulmalıdır. Bileşke yayılma kapasitesi, ϵ_{es} , bundan önceki tüm parametreleri kapsıyacak şekilde seçilmelidir.

Sayısal ve deneysel sonuçlar arasında iyi uyuşma sağlanması için sayısal deneyler yapılmıştır ve karşılaştırma farklı laboratuvarlardan alınan deney sonuçlarıyla yapılmıştır. Tüm bu hesaplamalardan pratik uygulama için sonuçlar çıkarılmış ve h ile ϵ_{es} için sabit değerler kabul edilmiştir. Bu değerlerin gerçek bir yangın süresince değil, standart yangın mukavemeti deneyi süresince karşı karşıya gelinen koşulları açıkladığı belirtilmelidir.

Daha önce de belirtildiği gibi h ve ϵ_{es} katsayıları birçok parametreye bağlıdır. Bunlar bir ocaktan diğerine farklılık gösterir ve deney yapılan elemana göre değişir. Ayrıca gözönünde bulundurulan yüzeylerin ısıtılması ya da sıcakla temas ettirilmemesine göre de farklılık gösterirler. Aşağıdaki değerler ısıtılmış yüzeyler için tavsiye edilir;

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

$$\epsilon_{es} = 0,5$$

Isı taşınımı katsayısı için verilen değer, bileşke yayılma kapasitesi, ϵ_{es} , farklı ocaklara ve eleman tiplerine ilişkin ortalama bir değer şeklinde gözönüne alındığında, çoğunlukla kabul edilebilir.

Beton enkesitin sıcaklık profili, sonlu farklar ya da sonlu elemanlar yöntemiyle belirlendiğinde, bir sonraki işlem için elemanın yüzey sıcaklığı, T_s , enterpolasyon bağıntısını kullanan bilgisayar programlarıyla kendiliğinden hesaplanır. Bununla birlikte, çevre sıcaklığı, T_e ile yüzey sıcaklığı, T_s arasındaki bağıntıya ilişkin bazı belirlemeler yapılması yararlı olacaktır.

Isınan yüzey için T_s/T_e oranı ısıtma başlangıcı dışında yaklaşık olarak sabit kalacaktır. Bu bağlamda T_s/T_e için şu değer kabul edilebilir;

$$T_s/T_e \cong \text{sabit} \cong 0,85$$

IV.3.3. Sıcaklık Dağılımı

Kütle transferi ihmal edilirse, sabit olmayan koşullar altında bir enkesit üzerindeki sıcaklık dağılımı Fourier denklemiyle belirlenebilir:

$$c \cdot \rho \cdot \partial T / \partial t = \text{div } \lambda \cdot (\text{grad } T) + W \quad (\text{IV.3.4})$$

T :Sıcaklık

t :Zaman

λ :Isı iletim katsayısı

c :Isı özgül katsayısı

ρ :Yoğunluk

Isınan yüzey için T_s/T_e oranı ısıtma başlangıcı dışında yaklaşık olarak sabit kalacaktır. Bu bağlamda T_s/T_e için şu değer kabul edilebilir;

$$T_s/T_e \cong \text{sabit} \cong 0,85$$

IV.3.3. Sıcaklık Dağılımı

Kütle transferi ihmal edilirse, sabit olmayan koşullar altında bir enkesit üzerindeki sıcaklık dağılımı Fourier denklemiyle belirlenebilir:

$$c \cdot \rho \cdot \partial T / \partial t = \text{div } \lambda \cdot (\text{grad } T) + W \quad (\text{IV.3.4})$$

T :Sıcaklık

t :Zaman

λ :Isı iletim katsayısı

c :Isı özgül katsayısı

ρ :Yoğunluk

W :Isıtıcı ya da ısı tüketicisi

Isı transferine ek olarak nem ve buhar hareketide olduğu için, bu denklem yalnızca beton enkesit içindeki sıcaklık dağılımına ait bir yaklaşım verir. Bu iki yöntem süperpoze edilir ve sistem yalnızca eşzamanlı ısı ve nem transferi yasalarına göre farklı denklemler halinde kolayca çözülebilir.

Hesaplama λ , c ve ρ 'daki artan sıcaklık altındaki değişim için tolerans kabul edilmelidir. Nem yüzdesinin etkisi belirli sıcaklıklar altında λ ve c'nin indirgenmesi ile yaklaşık olarak hesaba katılabilir.

Betonun ısıl özelliklerini içeren bilgiler; ısı iletkenlik katsayısı (λ), ısı özgül katsayısı (c), yoğunluk (ρ) ve ısı yayılma katsayısı ($a = \lambda / c \cdot \rho$) bölüm IV.2`de verilmiştir.

Bu problemi çözmek için kesin ya da yaklaşık çözümsel çözüm yöntemleri elverişsizdir ve sayısal yöntemler kullanılabilir. Sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemlerinin her ikisi de başarıyla kullanılmaktadır.

IV.3.4. Enkesit İçindeki Sıcaklık Dağılımı Örnekleri

Prototip enkesitlerdeki sıcaklık profillerinin bilinmesi pratik kullanım için gereklidir. Bu son örnekler kaynak 7`de yayımlanmıştır. Örneklerde ISO 834 standart sıcaklık zaman eğrisinden etkilenmiş beton enkesitlerdeki (kiriş ve kolon) sıcaklık dağılımlarını vermektedir. Grafikler silisli ve hafif agregalı betondan elde edilmiştir. Sonuçlar tam

ölçekli deneylerle doğrulanmıştır. Pratikte diyagramlar normal koşullara karşı gelen nem yüzdesi etkisini kapsamaktadır.

Ek.2`de şekil 1, 2 ve 3`ün tümü silisli agregalı betonla yapılmış kiriş, T-kesitli kiriş ve kare kolon için bazı özel durumlarda geçerli olan sonuçları göstermektedir.

Sonuç olarak sıcaklık dağılımını kısa sürede açıkça algılamak isteyen okuyucu için, eşsıcaklık (izoterm) eğrileri ile donatılan, seçilmiş bazı beton enkesitler kaynak 1`de verilmiştir. Şekil IV.3.4 ve IV.3.5 aynı özel durumlar için (yalnız dikdörtgen kiriş ve kare kolon için) elde edilen diyagramları göstermektedir.



BÖLÜM V

UYGULAMA

V.1. TABLOLAŞTIRILMIŞ VERİLER YARDIMIYLA YAPISAL DETAYLANDIRMA

V.1.1. Genel Kabuller ve Tüzükler

Büyük miktarda beton yapı biriminden elde edilen ve çoğunluğu ISO 834'e göre yapılan yangın deneylerinin sonuçlarının çözümlenmesi sonucunda bazı tasarım kurallarının konulması mümkün olmuştur. Özellikle öngerilme ya da betonarme çeliğinin örtü betonu ve eleman boyutuna bağlı ve yaygın olarak kullanılan yapısal elemanların tasarlanan standart yangın mukavemetinin uygulamalarında karşılaşılan diğer bazı faktörleride içeren tasarım kuralları bu çözümlenmeler sonucu sağlanmıştır. Gerekli ayrıntıların çoğu bu bölümde verilecektir. Daha özel yapısal eleman tipleri için tasarım kuralları bazı el kitaplarından ve ulusal yönetmeliklerden sağlanabilir.

Yapısal birimler, bu bölümde verilecek olan tabloların ve önerilerin yerine getirilmesiyle, yük taşıma kapasitesi, yangına karşı bütünlük ve ısı yalıtımı kapasitesine ait ISO 834'te verilen gereksemeleri karşılayacaktır ve bölüm II.3'de açıklandığı gibi son limit durumlara erken ulaşmayacaktır. Gerekli yangın mukavemetinin denetlenmesi yangın etkisinin gerekli süresi dışında hiçbir yarar sağlamaz ve yeniden faydalanabilirlik bu kriterleri içermez.

Tabloları kullanırken bazı genel noktalara dikkat edilmelidir. Başka bir deyişle, yangın durumundaki tasarım yükü etkisi $S_{d,f}$ 'nin (yaklaşık olarak yangın durumundaki tasarım yükü $F_{d,f}$ alınabilir) etkisinde kalan yük taşıyan elemanlar gerekli standart yangın mukavemeti süresince göçmemelidirler. Gerekli çelik koruması için çeliğin "kritik sıcaklığı"nın $T_{crit} = 500^{\circ}\text{C}$ olduğu kabul edilmiştir. Bu sıcaklık, $S_{d,f} = 0,7 \cdot S_d$ (yaklaşık olarak $F_{d,f} = 0,7 \cdot F_d$ alınabilir) ve $\gamma_m = 1,0$ (bölüm III.1 ve bölüm III.2'ye bakınız) alındığında çekme elemanının yada basit mesnetli sebest eğilme elemanının göçmesine yakın donatı çeliğinin sıcaklığıdır.

T_{crit} değeri çeliğin cinsine bağlı olarak değişir. Özellikle bu durum, çoğunlukla son derece düşük T_{crit} sıcaklığına sahip olan öngerme çeliğinde gözönünde bulundurulmalıdır (bölüm IV.2'ye bakınız). T_{crit} değeri, $S_{d,f} < 0,7 \cdot S_d$ ise artar.

500°C`den farklı kritik çelik sıcaklıklarının çekme ve eğilme elemanlarına uyarlanması aşağıda görüldüğü şekilde olabilir ;

- a) Beton enkesitin tablolarla verilen minimum gereksemelere göre ayarlanması
- b) $E_{d,f}$ `den ileri gelen çelik gerilmesinin belirlenmesi
- c) b adımında bulunan gerilmeye ve çeliğin çeşidine bağlı olarak kritik çelik sıcaklığının (θ_{crit}) belirlenmesi (bölüm IV.2`ye bakınız)
- d) Tablolardan alınan minimum a eksen uzaklığının aşağıdaki yaklaşımın yardımıyla gerçek kritik çelik sıcaklığına göre ayarlanması

$$\Delta a \text{ (mm)} = - 0,1 \Delta \theta_{crit} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{V.1})$$

Δa : $\theta_{crit} = 500^\circ\text{C}$ `deki eksen uzaklığı ile gerçek eksen uzaklığı arasındaki fark

$\Delta \theta_{crit}$: 500°C `den gerçek kritik çelik sıcaklığının farkı

Yukarıdaki yaklaşım $350^\circ\text{C} < \theta_{crit} < 700^\circ\text{C}$ için geçerlidir. 400°C `den az θ_{crit} değerleri için eğilme elemanının çekme bölgesi minimum genişliğinin azaltılarak beton alanı azaltılmalıdır (aşağıdaki (V.1.a) bağıntısına bakınız)

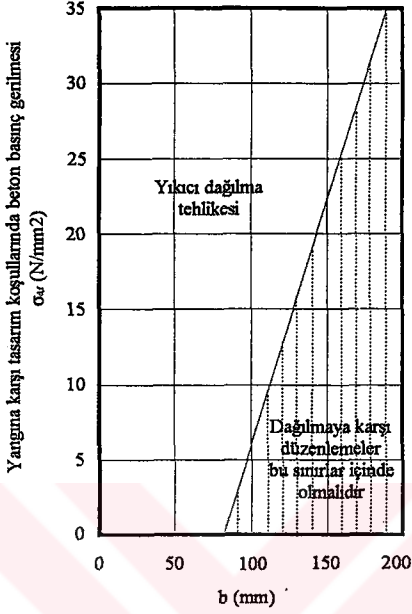
$$b_{mod} \geq b_{min} + 0,8 \cdot (400 - \theta_{crit}) \text{ [mm]} \quad (\text{V.1.a})$$

b_{min} , gerekli standart yangın mukavemetine bağlı olarak tablolarda verilen minimum b boyutudur.

Tablolarda verilen değerler IV.2`de belirtilen malzeme özelliklerine bağlıdır. Bu değerler beton ağırlığının yaklaşık %2~3`lük bir nemlilik içeriği ile ve silisli agregayla yapılan normal yoğunluktaki beton ile ilgilidir. Bu su içeriğine çoğu binada karşılaşılabılır. Çekme ya da eğilme elemanlarında karbonlu agregalar kullanılırsa, minimum enkesit boyutu ya da donatının minimum a eksen uzaklığının değeri %5 ~ 10 arasında azaltılabilir. Bu indirgeme hafif agregalı betonda, yoğunluk $1,2 \text{ t / m}^3$ ise yaklaşık olarak %20 ve yoğunluk $1,85 \text{ t / m}^3$ olduğu takdirde yaklaşık olarak %10 olabilir. Ara değerler lineer enterpolasyonla bulunabilir.

Bir yapısal elemanın basınç bölgesi ya da ön-basınç uygulanmış çekme bölgesi yangın etkisinde kaldığı zaman zayıf enkesitlerin patlayarak dağılma tehlikesi altında kalabileceği dikkate alınmalıdır (bölüm II.2.3.1`e bakınız). Normal yoğunluktaki betonun patlamasını önlemek için şekil V.1`de eğik çizgiyle belirlenen, servis koşulları altındaki basınç gerilmesi ile eleman genişliği arasındaki oran aşılmamalıdır. Şekil V.1 yangın mukavemeti periyotlarından bağımsızdır ve beton mukavemetinden de bağımsız olduğu varsayılarak hesaba katılabilir.

Yüksek mukavemetli (C 60'dan daha büyük) beton sınıfları betonun aşırı derecede düşük boşluk oranından (porozitesinden) doğan patlayarak dağılmadan etkilendiği zaman verilen şekildeki bu oran elemanı koruyamaz.

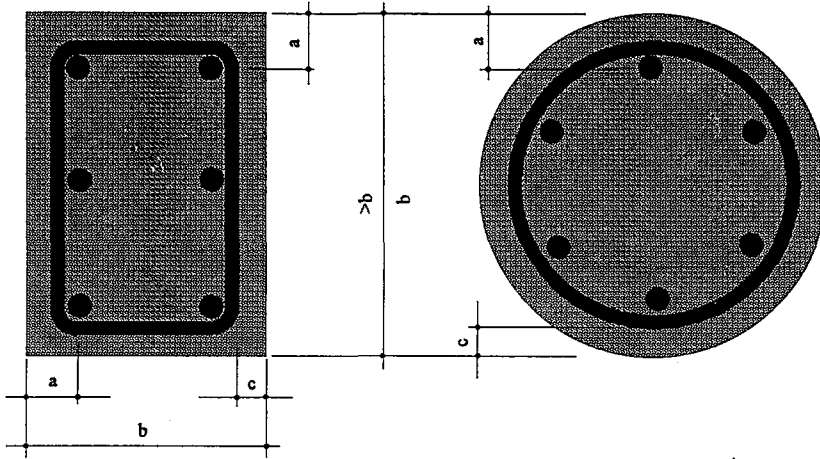


Sekil V.1; Gerçek $\sigma_{d,f}$ gerilmesi ve b eleman genişliğine bağlı normal yoğunlukta agregalı beton elemanların patlayarak dağılma tehlikesi.

V.1 şekli az sayıda betonarme numunelerle yapılan deneylerden sağlanmıştır. Bu davranış beton yüzeyine yakın sık örgülü donatılarda daha kötü olabilir.

Patlayarak dağılma konusuyla ilgili deneyimler malzeme özelliklerinin farklı kabul edilmesinden dolayı ülkeler arasında değişiklikler gösterir. Patlayarak dağılmaya meyilli malzemeler hakkındaki bölgesel bilgiler her zaman gözönüne alınmalıdır.

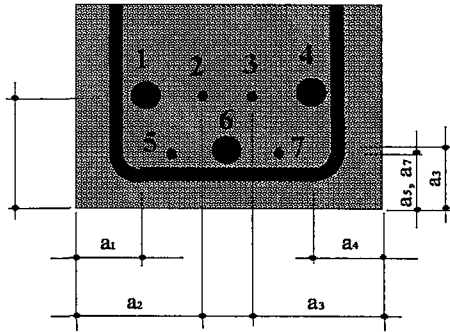
En dıştaki çeliğin üzerindeki minimum örtü beton kalınlığı, c, tüm yapılarda 10 mm'den az olmamalıdır. Tablolarda kullanılan bazı "a" (çeliğin eksenine olan uzaklık) değerleri yalnızca teorik yarar sağlar. "a" eksen uzaklığı, çekme (kolonlar ve perde duvarlar için basınç) çeliği, teli ya da tendonunun eksenine ile elemanın etkili yüzeyi arasındaki minimum uzaklıktır (Şekil 6.2'ye bakınız).



Sekil V.2 ;Yapısal elemanların boyutları ; eksen uzaklığı, a ve örtü beton kalınlığı, c

Donatı ya da öngerilme çeliği, şekil V.3'deki gibi bir kaç sıra halinde düzenlenmişse, ortalama eksen uzaklığı, a_m , tüm donatı çeliklerinin toplam enkesit alanı, $A_{s1}, A_{s2}, \dots, A_{sn}$ ve aşağıda görüldüğü gibi alttan ya da yandan ölçülen uygun eksen mesafelerinin minimum değerlerinden, a_1, a_2, \dots, a_n çıkarılabilir ;

$$a_m = \frac{A_{s1} \cdot a_1 + A_{s2} \cdot a_2 + \dots + A_{sn} \cdot a_n}{A_{s1} + A_{s2} + \dots + A_{sn}} = \frac{\sum A_s \cdot a}{\sum A_s} \quad (V.2)$$

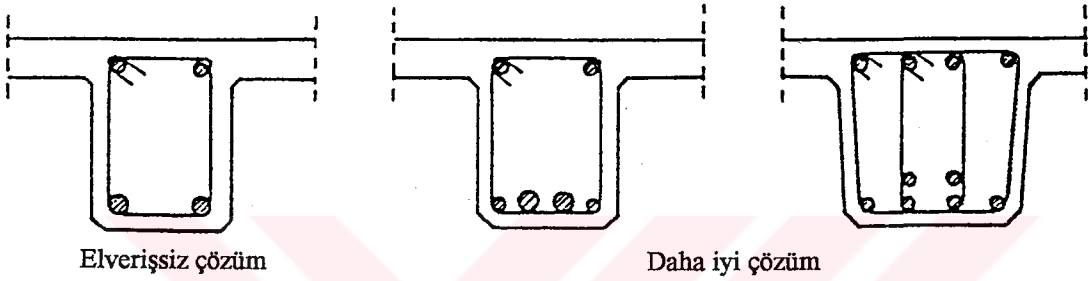


Sekil V.3 ; a_m ortalama eksen uzaklığı

Bölüm V.2'deki denklem (V.12) ile a_m 'nin gerçek değeri daha büyük hassasiyetle belirlenebilir.

Ek donatı nedeniyle beton örtünün azalmasını engellemek için $c > 50$ mm'lik örtü beton kalınlığı sağlanmalıdır. Büyük çaplı çubuklar ve/veya kablolar kullanıldığı zaman örtü betondaki aşırı azalmadan kaçınmak ve farklı elemanların yapımında ayrıntılı tanımlamayı kolaylaştırmak için bazı ülkeler çelik yüzeyindeki minimum örtü kalınlığı, c 'yi, $c = a - 5$ (mm)'den az olmayacak şekilde sınırlandırmışlardır.

Yüksek sıcaklıklar, dikdörtgen beton kesitlerin köşelerinde oluştuğu için, tasarımcı bu bölgelerde bir noktaya toplanan donatı ya da öngerilme çeliğini kullanmaktan mümkünse kaçınmalıdır.



Şekil V.4 ;Farklı donatı düzenlemeleriyle giriş enkesitleri

Tablolardaki minimum tasarım önerilerine yalnızca yangına karşı mukavemette başvurulur. Örtü kalınlığı ve kesit boyutlarına ilişkin diğer istemlere de (örneğin dayanıklılık için) uyulmalıdır. Tablolardaki değerler arasında lineer enterpolasyon yapılabilir.

V.1.2. Kolonlar

Yangının etkisinde kalan kolonların performansı bölüm III.2.2.3'de belirtildiği gibi, çok sayıda parametreden etkilenir. Uygulamaların tümüne ilişkin tek bir tablo düzenlenemez.

Bu nedenle, tablo V.1 için bazı koşullar gözönüne alınmalıdır ; yatay yapı elemanlarının ısısal genişmesiyle etkilenen kolonlarda önemli deplasmanların oluşmasından kaçınılmalıdır. Bu bağlamda genişme derzlerine bağlı olarak bölmelere ayırma gereklidir (bölüm V.2.2'ye bakınız).

Kolonun etkili l_0 boyu CEB MC 90'daki gibi belirlenecektir. Yanal deplasman yapmayan yatay kolonlarda etkili boy, kolon boyu, l_{kol} 'un, 0,7'si olarak alınabilir. Yanal deplasman yapmayan yapılarda yatay elemanlarla olan bağlantılar monolitik ya da mafsallı

olarak yapılmalıdır. Bu mafsallar tüm enkesit üzerinde madensel harçla ya da mümkünse bulonlarla bağlantı sağlanarak oluşturulmalıdır. $F_{d,f} \leq \max N_{d,f}$ olduğu doğrulanmalıdır.

$\max N_{d,f}$: Tablo V.1`de verilen yangın koşulları altında yük taşıma kapasitesidir.

Tablolardaki $N_{d,f}$, aksenal yük karşılığı kullanılmıştır. Oda sıcaklığında eksantrik yükün değeri aşağıdaki orantıya göre azaltılırsa eksantrik yükleme yapmaya izin verilir.

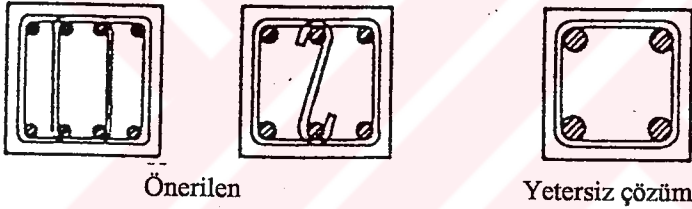
$$N_{\text{eksantrik}}(\theta) / N_{\text{eksenel}}(\theta) = N_{\text{eksantrik}}(20^\circ\text{C}) / N_{\text{eksenel}}(20^\circ\text{C}) \quad (\text{V.3})$$

$\max N_{d,f}$ yük taşıma kapasitesi tablo V.1 için esas alınan değerden farklıysa donatı miktarının, oda sıcaklığında, $\max N_{d,f}$ yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi aşağıdaki oranla gözönüne alınabilir ;

$$N_{A_s}(\theta) / N_{A_{s1}}(\theta) = N_{A_s}(20^\circ\text{C}) / N_{A_{s1}}(20^\circ\text{C}) \quad (\text{V.4})$$

$$0,008 \cdot A_c \leq A_s \leq 0,003 \cdot A_c$$

Tablo V.1`deki değerler dışında artırılan donatı miktarı en kesitin kenarları boyunca çubukların dağıtılmasını gerektirir (şekil V.5`e bakınız).

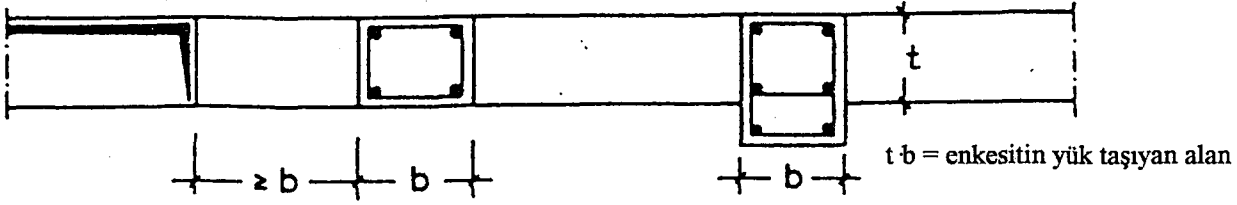


Şekil V.5 ; Bir kolon enkesitindeki donatının sırasıyla,

$$f_{0,2k} = 400 \text{ N/mm}^2 \text{ için, } A_s > 0,02 \cdot A_c \text{ ve}$$

$$f_{0,2k} = 500 \text{ N/mm}^2 \text{ için, } A_s > 0,016 \cdot A_c \text{ ilgili dağılımını göstermektedir}$$

Tablo V.1`deki değerler tüm kenarları yangından etkilenmiş kolonlar için ve yalnızca bir yüzünden yangın etkisinde kalan ve tüm yüksekliğince yangına mukavemetli duvarların içine inşa edilen kolonlarla ilgili önerileri içerir. Yalnızca bir yüzünden yangın etkisinde kalan kolonlar için tablo V.1`de verilen b değerleri, kolonunun duvar içine gömülen enkesit alanı tüm yükü taşıyabiliyorsa, duvar içine gömme ve çıkma kolonlara uygulanır. Bu bağlamda, duvar içinde herhangi bir açıklık varsa bu açıklığın kolona olan uzaklığının b`nin minimum boyutundan daha az olmaması gerekir.



Şekil V.6;Duvar içine gömme kolonlar

Tablo V.1;Betonarme kolonlar (silisli agregalı beton ve kare kesit için)

Yangın Mukavemeti Peryodu	Tasarım Detayları: Tüm yüzlerinden etkilenmiş											
	Kolon Boyu l (m)	Beton mukavemeti f_{ck} (N/mm ²)	İşletme Yüktü F (kN)	Kolon Genişliği /Eksen Uzaklığı b/a (mm)	Alternatif		Beton mukavemeti f_{ck} (N/mm ²)	İşletme Yüktü F (kN)	Kolon Genişliği /Eksen Uzaklığı b/a (mm)	Alternatif		Bir yüzünden etkilenmiş b/a (mm)
					F (kN)	b/a (mm)				F (kN)	b/a (mm)	
F 30	3	20	200	150/25	820	200/25	45	370	150/25	1300	200/25	100/10
	6		100		360	140		500				
F 60	3	20	440	200/35	730	240/30	45	830	200/35	1500	240/30	120/25
	6		200		360	260		510				
F 90	3	20	530	240/50	1000	300/35	45	1000	240/50	1800	300/35	140/35
	6		330		640	470		1300				
F 120	3	20	810	300/50	1500	350/35	45	1500	300/50	3000	350/35	160/40
	6		480		1000	1000		2100				
F 180	3	20	1600	400/50	3000	500/35	45	3400	400/50	6300	500/35	200/40
	6		1300		2700	2500		5800				
F 240	3	20	2000	450/55	4300	600/35	45	4100	450/55	9000	600/35	240/40
	6		1500		4100	3000		8600				

Çelik sınıfı $f_{0,2k} = 400$ N/mm² için, $A_s = 0,02 \cdot A_c$ veya
 $f_{0,2k} = 500$ N/mm² için, $A_s = 0,015 \cdot A_c$

Tabloda verilen minimum b kolon genişliğinin azaltılmasına , kalkerli ya da silisli agregalı betonda izin verilmez.

Tablo V.1`de gerekli standart yangın mukavemeti için "alternatif" olarak verilen değerlerden daha büyük kolon genişlikleri için max $N_{d,f}$ `de herhangi bir kısıtlama yoktur.

V.1.3. Duvarlar

V.1.3.1. Yük taşımayan Duvarlar (Bölme Duvarları)

Bu tip duvarlar yalnızca kendi ağırlıklarını taşırlar. Bunun yanında bu duvarlar rüzgar yüklerini aktarabilir ve diğer yük taşıyan yapısal elemanları rijitleştirebilirler. Bölme duvarları, yangın sırasında bölmelerle ilgili gereksemeleri uygun şekilde karşılamalıdır. Minimum bölme duvarı değerleri tablo V.2`de verilmektedir. Bu değerler, bir standart yangın deneyi süresince yangın etkisinde kalmayacak yüzeydeki ortalama sıcaklık artışının 140 K`yı aşmayacağını güvence altına alır. Betonun gerçek kalınlığının sınırlandırılmasında, herhangi bir koruyucu ek örtü ya da donatılmış alçı sıva varsa toleransa izin verilir.

Duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranı h/t 40`ı aşmamalıdır.

Tablo V.2 ;Yük taşıyan bölme duvarları (yük taşıyan ya da taşımayan)

Standart yangın mukavemeti	Minimum t duvar kalınlığı (mm)	
	Ağır agregalı beton	hafif agregalı beton
F 30	60	60
F 60	80	65
F 90	100	80
F 120	120	95
F 180	150	120
F 240	175	140

V.1.3.2. Yük taşıyan Dolu Gövdeli Duvarlar

Tablo V.3`deki değerler eksenel yüklenmiş yük taşıyan betonarme duvarlarla ilgilidir. Bu değerler, bileşke kuvvetin enkesitin üçte birlik orta kısmında kalması

durumunda, eksantirik yüklü duvarlar için de geçerlidir. Duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranı h/t 25; i aşmamalıdır.

Tablo V.3 yangın sırasında, diğer yüzün yangın etkisine karşı engellenmesi nedeniyle yalnızca bir yüzü yangın etkisinde kalan duvarlar için de geçerlidir. Veriler her iki yüzü yangından etkilenen duvarlara aittir ve yangın durumunda duvarların tasarım yüklerini taşıması için gereklidir.

Tablo V.3'de verilen eksen uzaklıkları duvarların yük taşıma kapasitesine katkıda bulunan donatılarıyla ilgilidir. Minimum duvar kalınlıkları donatısız yük taşıyan duvarlar için de kullanılabilir.

Tablo V.3 ;Yük taşıyan betonarme duvarlar (ağır agregalı beton için)

Standart Yangın Mukavemeti	Özellikler			
	Beton İşletme Gerilmesi	Duvar Kalınlığı/Eksen Uzaklığı t/a (mm)	Beton İşletme Gerilmesi	Duvar Kalınlığı/Eksen Uzaklığı t/a (mm)
F 30	$\sigma \leq 0,2f_{ck}$	120/10	$\sigma \leq 0,4f_{ck}$	120/10
F 60		120/15		140/25
F 90		140/25		170/35
F 120		160/35		220/45
F 180		200/50		300/60
F 240		240/60		400/70

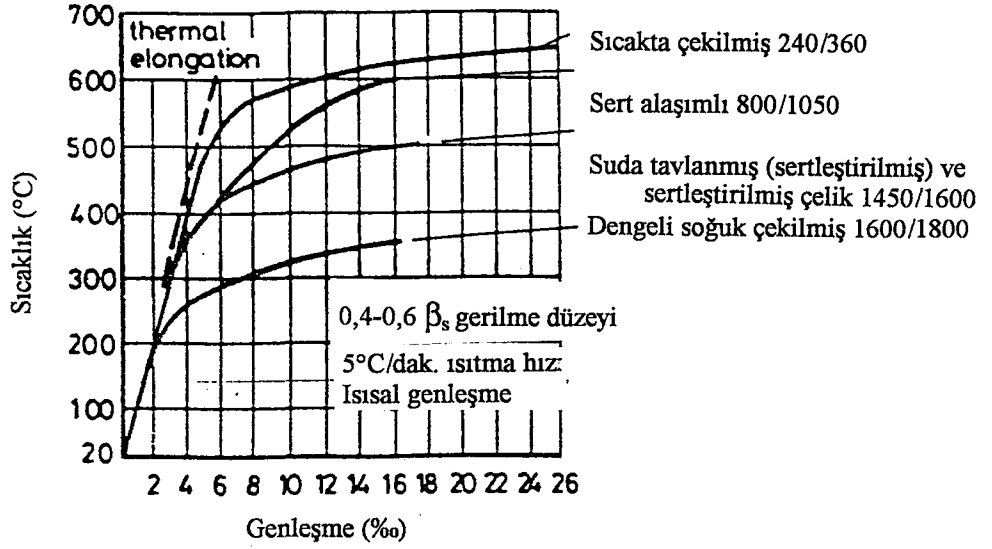
f_{ck} : Karakteristik beton (silindir) mukavemeti

V.1.4. Çekme Elemanları

Beton ile kuşatılmış çekme elemanlarında, çatlaklar arasındaki betonun, yük taşıma kapasitesine ve rijitliğe katkısının gözönüne alınması önerilir.

Tablo V.4'deki değerler donatı ve öngerilme çekme elemanlarına (örneğin kirişlerin çekme elemanları ya da kemerlerin bağlarına) aittir. Verilen boyutlar donatı ya da öngerilme çeliğinin akmasını ve kopmasını önlemelidir. Buna karşın elemanda önemli ölçüde genleşmeler meydana gelebilir. Bir yapının stabilitesi çekme elemanlarının genleşmesinin kısıtlanmasını gerektiriyorsa, çelik sıcaklığı düşük bir değerde tutulmalıdır (bölüm III.2.2.4'e bakınız). Sıcaklık artışıyla birlikte çekmeye çalışan bir çeliğin deformasyonları şekil V.2'de

gösterilmiştir. Seçilen ISO standart yangının etki periyodlarında beton kesitlerin içindeki sıcaklık dağılımı örnekleri bölüm V.3'den alınabilir.



Sekil V.7 ;Farklı çelik türlerinin gerilme ve sıcaklık artışından doğan toplam genleşmesi Ortalama eksen uzaklığı, a_m , donatı ya da öngerme çeliği birden fazla sıra dizilimiyle düzenlenmişse bölüm V.1.1'de verilen kurallara göre sınırlandırılabilir.

Tablo V.4 ;Betonarme ya da öngerilmeli beton çekme elemanları

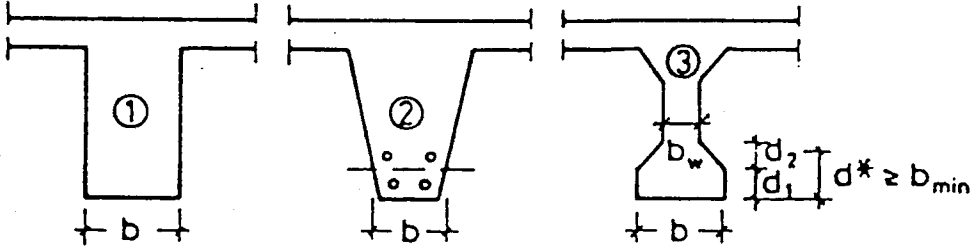
Standard Yangın mukavemeti	Minimum Boyutlar			
	Ağır agregalı beton		Hafif agregalı beton	
	Eleman genişliği / eksen uzaklığı b/a (**) (mm)	Alternatif b/a (**) (mm)	Eleman genişliği / eksen uzaklığı b/a (**) (mm)	Alternatif b/a (**) (mm)
F 30	80/35	200/20	80/28	200/16
F 60	120/50	300/35	100/50	300/28
F 90	150/65	400/45	120/60	400/35
F 120	200/75	500/55	160/75	500/45
F 180	240/90	600/70	190/90	600/55
F 240	280/100	700/80	225/100	700/65

V.1.5. Kirişler

V.1.5.1 Genel

Aşağıdaki tablolar üç yüzü yangında etkilenmiş kirişlere uygulanır; üst yüz, tüm yangın mukavemet periyodları boyunca izolasyon işlevini kaybetmeyen döşemeler ya da diğer elemanlarla izole edilmiştir. Bütün yüzleri yangın etkisinde kalan kirişlerde bazı ilave çarelere başvurulmalıdır (bölüm V.1.5.4'e bakınız).

Tablolardaki değerler dikdörtgen kesitler için ve aşağıdaki kurallara göre, diğer en kesitler için geçerlidir.



Şekil V.8 ;Çeşitli kiriş enkesitleri

Yan yüzleri eğimli kirişlerde (şekil V.8.b) b genişliği çekmeye çalışan çeliklerin şekil merkezinden ölçülmelidir.

I-kesitli kirişlerde (şekil V.8.c) genişletilmiş çekme bölgesinin net derinliği, d^* , minimum kiriş genişliği, b_{min} 'den, büyük ya da eşit olmalıdır

$$d^* = d_1 + 0,5 \cdot d_2 \geq b_{min} \quad (V.5)$$

$b > 1,4 \cdot b_w$ için donatı ya da öngerme çeliğinin eksen uzunluğu ;

$$a^* = a \cdot (1,85 - \sqrt{b_w/b} \cdot (d^*/b_{min})) \geq a \quad (V.6)$$

$b > 3,5 \cdot b_w$ için kiriş tabloları kullanılmaz ve alt tabla bir çekme elemanı gibi hesaba katılır (bölüm 6.1.4'e bakınız).

Kiriş gövdesindeki delikler elemanın çekme bölgesinin geri kalan enkesit alanının $2b_{min}^2$ 'den az olmaması koşuluyla ihmal edilebilir. Buradaki b_{min} , tablo V.5 ve V.6'da verilen ve gerekli standart yangın mukavemetine göre seçilen minimum değerdir.

b_w gövde genişliği $b/2$ 'den az olan I-kesitli kirişlerde (şekil V.8.c'ye bakınız) kesme donatısı gövde içinde kalmalıdır. Verilen çelik alanı gövdenin net alanının en az % 0,25'i olmalıdır. Betonun dağılmasını önlemek için beton yüzeyi ile etriye arasındaki uzaklık $0,2 \cdot b_w$ 'yi aşmamalıdır.

Öngerilme çelik donatı birden fazla sıra halinde düzenlendiği zaman, ortalama eksen uzaklığı, a_m , bölüm V.1.1' de verilen kurallara göre sınırlandırılabilir.

Herhangi bir çubuk için minimum örtü beton kalınlığı, tablo V.5 ve V.6'daki F.30 için gerekli olan kalınlıktan ve ortalama eksen uzaklığının yarısından az olmamalıdır.

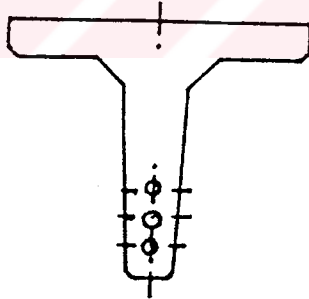
Donatı ya da öngerme çeliği bir sıra halinde düzenlenmişse elemanın kenarına göre eksen uzaklığı, a_{st} , en az Tablo V.5 ve V.8'de verilen değerlere eşit alınmalıdır.

Kirişler için tablolarda verilen değerlerin dişli (nervürlü) donatılı döşemelere uygulanması halinde, çoğunlukla güvenli tarafta kalınır. Isı kapasitesinin artmasıyla dolu ya da yarı dolu bölgelerin membran rijitliklerinin olumlu etkisi dikkata alınırsa daha ekonomik bir tasarım elde edilebilir (ulusal şartnamelere bakınız).

Yüksek yangın mukavemeti periyodları olan kirişlerde büyük kesme gerilmeleri meydana geldiği zaman kesme kırılması tehlikesi ortaya çıkar.

$$V_d/b_w \cdot z \geq 0,035 \cdot f_{cd} \quad (V.7)$$

V_d ve f_{cd} normal koşullardaki tasarım değerleridir. Çok kollu etriyeler (\geq dört adet bindirmeli etriye) F.120 ~ F.240 için düzenlenmelidir.



Şekil V.9 ;Eksen çizgisi üzerindeki öngerme tendonları ile öngerilmeli beton enkesiti

Enkesit düşey eksenini üzerinde yoğunlaşmış öngerme tendonları olan öngerilmeli basit mesnetli kirişlerde kiriş uçlarındaki kayma erken ankraj kırılmasıyla ortaya çıkabilir. Bunu önlemek için aşağıdaki çarelere başvurulabilir

a) Betonun her bir tendonundan, ısınan yüzeye olan uzaklığı 75 mm'den az olacak şekilde bir yol izlenmesi, kiriş ve uç bölgelerinde uygun izolasyon ya da kalınlaştırmayla kiriş uçlarında önlem alınması veya

b) Kiriş ucundan en az 1,5 · geçiş boyu (≥ 1 m) kadar bir uzunluk üzerinde sık aralıklı konulan etriyeler kullanılması ya da

c) Kiriş ucundan en az 1,5 · geçiş boyu (≥ 1 m) kadar bir uzunluk üzerinde sarmal eğri içindeki halat gruplarının kuşatılması ve 12,5'den daha küçük çapta halatların kullanılması

V.1.5.2. Basit Mesnetlenmiş Kirişler

Tablo V.5 ve V.6'daki değerler izostatik (basit mesnetli ve serbest) betonarme ve öngerilmeli beton kirişlere aittir. Sürekli ve rijitce yerleştirilmiş kirişler için bu değerler bölüm V.1.5.3'e göre indirgenebilir.

Tablo V.5 ;Basit mesnetli betonarme ve öngerilmeli beton kirişler (ağır agregalı)

Standart Yangın Mukavemeti	Minimum Boyutlar					Minimum Gövde Kalınlığı bw (mm)
	Kiriş Genişliği m (mm) ve Minimum Eksen Uzaklığı (alternatif) a (mm)					
	b	80	120	160	200	
F 30	a	25	15	10	10	80
F 60	b	120	160	200	300	100
	a	40	35	30	25	
F 90	b	150	200	250	400	100
	a	55	45	40	35	
F 120	b	200	240	300	500	120
	a	65	55	50	45	
F 180	b	240	300	400	600	140
	a	80	70	65	60	
F 240	b	280	350	500	700	160
	a	90	80	75	70	
	ast = a + 10 mm				ast = a	

Tabloda verilen a eksen uzaklıkları $T_{crit} = 500^{\circ}\text{C}$ için geçerlidir, diğer değerler için V.1.1 ve IV.2 bölümlerine bakınız.

Tablo V.6 ;Basit mesnetli betonarme ve öngerilmeli beton kirişler (hafif agregalı)(*)

Standart Yangın Mukavemeti	Minimum Boyutlar					Minimum Gövde Kalınlığı bw (mm)
	Kiriş Genişliği m (mm) ve Minimum Eksen Uzaklığı (alternatif) a (mm)					
	b	80	120	160	200	
F 30	a	20	15	10	10	80
F 60	b	100	160	200	300	80
	a	40	30	25	20	
F 90	b	120	200	280	400	80
	a	55	40	35	30	
F 120	b	160	240	300	500	100
	a	65	50	40	35	
F 180	b	190	300	400	600	115
	a	80	65	65	50	
F 240	b	225	350	500	700	130
	a	90	75	65	55	
	ast = a + 10 mm				ast = a	

Tabloda verilen a eksen uzaklıkları $T_{crit} = 500^{\circ}\text{C}$ için geçerlidir, diğer değerler için V.1.1 ve IV.2 bölümlerine bakınız.

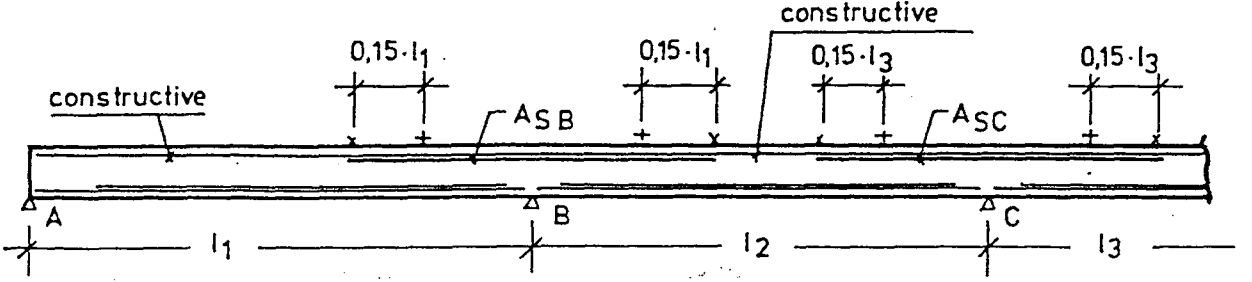
V.1.5.3. Sürekli Kirişler

Aşağıdaki tablolar bölüm II.2.2.2'de belirtildiği gibi yangın etkisinde kalan hiperstatik sistemlerin eğilme davranışından yararlanarak düzenlenmiştir. Uygun etkileri sağlamak için üst (negatif) donatı düzenlenmesinde aşağıdaki istemler gözönüne alınmalıdır (şekil V.10`a bakınız) ;

-Mesnetlerdeki gerekli negatif donatının uygun bir yüzdesi açıklık boyunca devam ettirilmelidir

-Tüm negatif donatı normal tasarımda öngörülene ilave olarak $0,15 \cdot l$ uzunluğunda devam ettirilmelidir. Buradaki l , gözönüne alınan mesnete komşu açıklıklardan uzun olanının boyudur.

-Negatif donatının miktarının arttırılması gereksizdir.



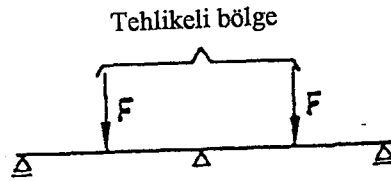
Sekil V.10 ; Üst donatının düzenlenmesi (seçilen örnekte $l_1 > l_2 > l_3$ dir)

Yukarıdaki istemlerin karşılanmaması halinde, sürekli kirişin her bir açıklığı bir basit mesnetli kiriş gibi değerlendirilmelidir.

Süreklilik olayı öngeriilmeli sistemler için kullanılıyorsa donatının belirli bir miktarı etkilenen ve etkilenmeyen kenara yerleştirilmelidir. Bu durumda, diğer önlemlerin mesnet bölgelerindeki eğilme momenti artışlarını karşılaması koşuluyla, gereksemeler karşılanabilir ve tablo V.7 ve V.8 kullanılabilir.

Bazı durumlarda Tablo V.7 ve V.8'de yüksek yangın mukavemeti düzeylerinde tasarlanan iki açıklıklı kirişler ve kesme gerilmelerinin bileşik etkisinden doğan erken kırılmaya meyilli olabilirler. Bu durumlar aşağıda görüldüğü gibidir (şekil V.11'e bakınız);

- Uç momentlerin eğilmeye karşı engellenmemiş olması durumunda
- Tekil yüklemelerde kesme açıklığı/ etkili derinlik oranının $2,5 < M_{d,f} / V_{d,f} \cdot d < 3,0$ olması halinde
- $V_d / b_w \cdot z \geq 0,08 \cdot f_{cd}$ ise



Sekil V.11 ; Yangında, eğilme kırılmasına duyarlı taşıyıcı sistem

Bu durumlarla aynı anda karşılaşırsa, minimum b kiriş genişliği orta mesnete yakın, tehlikeli bölgeler için en az aşağıdaki değerlerin (tablo V.7a/V.8a) üzerinde bir

artış yapılmalıdır. Bu bölgede I-kesitli kirişlerin gövde kalınlığının indirgenmesine izin verilmemelidir. Bu bağlamda çok kollu etriyelerle ilgili bölüm V.1.5.1'e bakınız.

Tablo V.7a/V.8a ;Sürekli betonarme ve öngerilmeli beton kirişlerde elverişsiz koşullar için arttırılan kiriş genişlikleri

Standart Yangın Mukavemeti	Ağır Agregalı Beton	Hafif Agregalı Beton(*)
	Minimum b Kiriş Genişliği (mm)	
F 120	220	180
F 180	400	320
F 240	600	480

Tablo V.9 ;Sürekli betonarme ve öngerilmeli beton kirişler (Ağır Agregalı Beto)

Standart Yangın Mukavemeti	Minimum Boyutlar					Minimum Gövde Kalınlığı bw (mm)(*)
	Kiriş Genişliği m (mm) ve Minimum Eksen Uzaklığı (alternatif) a (mm)					
F 30	b	80		200	200	80
	a	12		12	10	
F 60	b	120	200	300	300	100
	a	25	12	12	20	
F 90	b	150	250	400	400	100
	a	35	25	25	30	
F 120	b	200	300	500	500	120
	a	45	35	35	35	
F 180	b	240		600	600	140
	a	50		50	50	
F 240	b	280		700	700	160
	a	60		60	55	
	ast = a + 10 mm				ast = a	

Tabloda verilen a eksen uzaklıkları ısısal moment yeniden dağılımları olmadan meydana gelecek olan $T_{crit} = 500^{\circ}\text{C}$ için geçerlidir, diğer değerler için V.1.1 ve IV.2 bölümlerine bakınız.

Tablo V.8 ; Sürekli betonarme ve öngerilmeli beton kirişler (hafif agregalı beton)(*)

Standart Yangın Mukavemeti	Minimum Boyutlar				Minimum Gövde Kalınlığı b_w (mm)(**)
	Kiriş Genişliği m (mm) ve Minimum Eksen Uzaklığı (alternatif) a (mm)				
F 30	b	80		150	80
	a	12		12	
F 60	b	100	160	200	80
	a	25	12	12	
F 90	b	120	200	300	80
	a	35	25	25	
F 120	b	160	300	400	100
	a	45	30	30	
F 180	b	190	400	500	115
	a	50	40	40	
F 240	b	225	500	600	130
	a	60	50	50	
	ast = a + 10 mm			ast = a	

Tabloda verilen a eksen uzaklıkları ısısal moment yeniden dağılımları olmadan meydana gelecek olan $T_{crit} = 500^{\circ}\text{C}$ için geçerlidir, diğer değerler için V.1.1 ve IV.2 bölümlerine bakınız.

V.1.5.4. Bütün Yüzeylerinden Etkilenmiş Kirişler

Bazı durumlarda kirişlerin tüm yüzeyleri de yangın etkisinde kalabilir. Bu gibi durumlarda aşağıdaki tasarım yolları izlenebilir ;

-Tablo V.5 ~ V.6 uygulanır. Ayrıca;

- (i) Kiriş yüksekliği her bir standart yangın mukavemeti için gerekenen minimum genişlikten daha küçük olmamalıdır.
 (ii) Kiriş enkesit alanı aşağıdaki koşulu sağlamalıdır ;

$$A_c \geq 2 \cdot b_{\min}^2 \quad (V.8)$$

Buradaki b_{\min} gerekli standart yangın mukavemeti için uygun tablolarda verilen b değerleridir.

- (iii) Eksen uzaklıkları boyuna donatıların tümü içindir.
 (iv) I-kesitli kirişlerin üst başlıkları "serbest başlık" gibi dikkate alınabilir (şekil V.7.3'e bakınız).

V.1.6. Döşemeler

V.1.6.1. Genel

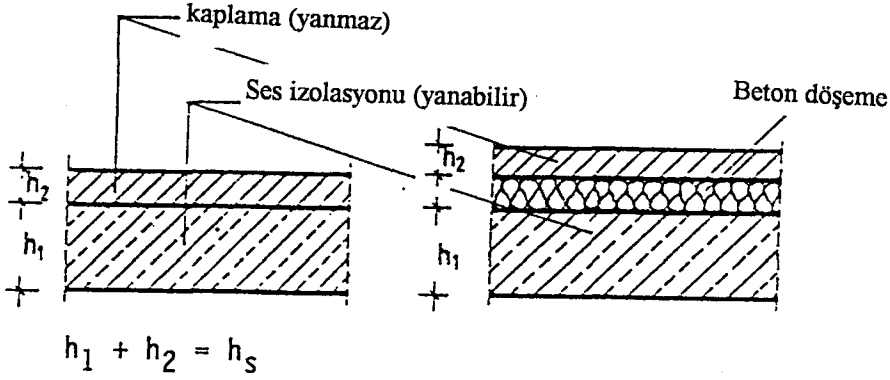
Aşağıdaki tablolar geleneksel olarak niş edilmiş döşemeler için hazırlanmıştır. Başka bir anlatımla, mesnetleri yeterince rijit kabul edilebilen kirişler ve duvarlardan oluşan döşemeler içindir. Bu gibi durumlarda bölüm II.2.2.2'de belirtilen sürekliliğin elverişli etkilerine ve kabuk rijitliğine (esas olarak iki doğrultuda çalışan döşemelerde) önem verilmelidir.

Kirişsiz döşemeler, mesnetlenme özellikleri dolayısıyla, rijit elemanlara mesnetlenmiş döşemelere kıyasla daha fazla deformasyon yapabilirler. Bu gibi durumlarda yangından etkilenen tüm sistemdeki sehimler aşırı artar. Özellikle ısınmadan dolayı kesme mukavemetinin azaldığı orta mesnetlerde oluşabilecek zımbalama kırılması gözönünde bulundurulmalıdır. Yangın etkisindeki bu sistemlerin davranışları henüz kapsamlı şekilde bilinmemektedir. Bu nedenle şahsi kararlar alınması tavsiye edilir.

Aşağıda verilen tasarım yardımcıları çoğu ulusal standartta sınırlandırılan genişleme hızına ulaşmayacağı ($\Delta f / \Delta t = L^2 / (9000 \cdot h)$ [cm/dak], bölüm II.1.4'e bakınız) güvence altına alınmalıdır.

Aşağıdaki tablolarda verilen minimum döşeme kalınlıkları h_s 'in standart yangın deneyi süresince dış etkiye açık olmayan yüzeyindeki sıcaklık artışının 140 K 'yi aşmaması sağlanmalıdır. Döşeme kalınlığına dahil edilen yanmaz malzemelerin sıva ya da döşeme kaplamaları kalınlıkları ölçüsünde, yangına karşı mukavemete yardım edeceklerdir (bölüm V.12'ye bakınız). Çimento döşeme kaplamaları (çimento şap) altında kalan yanıcı

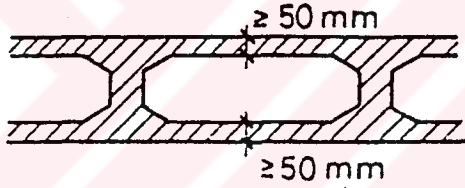
izolasyon tabakaları yangına karşı mukavemeti azaltmaz ve kullanılmasına izin verilebilir (şekil V.12'ye bakınız).



Sekil V.12 ;Kaplama ile beton döşeme (ve ses izolaasyon tabakası)

Boşluklu döşemelerde etkili kalınlık, döşemenin net en kesit alanının döşeme genişliğine bölünmesiyle bulunur ve işlev ayırımıyla ilgili olarak yangın mukavemetinin değerlendirilmesinde kullanılır.

Tüm beton sınıfları için, boşluklu döşemelerde dağılmayı önlemek için tüm kenarlardaki beton kalınlıklarının 50 mm'den az olmaması sağlanmalıdır.



Sekil V.13 ;Geniş boşluklu döşemeler

Alt yüzeyde bu gereksemeler karşılanmazsa ve boşlukların içinde dolgu yoksa ya da yanıcı bir dolgu malzemesi varsa, üst yüzey döşemede işlev ayırımı yapılmalıdır ve genişlikler kenardan ve altından yangından etkilenmiş gibi (kirişlerde olduğu gibi) düşünülmelidir.

Önceden gerilmiş öngerilmeli beton delik döşemelerin bazı yangın deneylerinde öngerilme halatlarının kayması ortaya çıkmıştır. Bu kaymaya yalnızca büyük kesme kuvvetleriyle birlikte ankraj kırılmasına ve erken göçmeye neden olur. Bu olaydan kaçınmak için halatların yüzey/alan oranı, halatları koruyan betonun kütlesi ve mesnetlere yakın döşemelerin ısınmamış bölgelerinin boyu, olabildiği kadar büyük olmalıdır.

V.1.6.2. Basit Mesnetlenmiş Döşemeler

Tablo V.9 tek doğrultulu ve iki doğrultulu döşemelere aittir.

Tablo V.9 ;Basit mesnetlenmiş betonarme ve öngerilmeli beton döşemeler

Standart Yangın Mukavemeti	Minimum Boyutlar							
	Döşeme Kalınlığı hs	Ağır Agregalı Beton			Döşeme Kalınlığı hs	Hafif Agregalı Beton (*)		
		Eksen Uzaklığı a (mm) Tek Doğrultulu	İki Doğrultulu			Eksen Uzaklığı a (mm) Tek Doğrultulu	İki Doğrultulu	
			ly/lx 1,5	ly/lx 2,0			ly/lx 1,5	ly/lx 2,0
F 30	60	10	10	10	60	10	10	10
F 60	80	25	10	25	65	20	10	20
F 90	100	35	15	35	80	30	10	30
F 120	120	45	20	45	95	40	15	40
F 180	150	60	30	60	120	50	25	50
F 240	175	70	40	70	140	55	30	55

l_x ve l_y birbirine dik iki doğrultudaki döşeme açıklıklarıdır. $1,5 > l_x / l_y > 2,0$ durumunda lineer enterpolasyon yapılabilir.

Tek doğrultulu döşemelerde verilen a eksen uzaklıkları $T_{crit} = 500^\circ\text{C}$ 'de geçerlidir,iki doğrultulu döşemelerde verilen a eksen uzaklıkları ısısal moment yeniden dağılımı olmadan meydana gelecek olan $T_{crit} = 500^\circ\text{C}$ için geçerlidir, diğer değerler için V.1.1 ve IV.2 bölümlerine bakınız.

V.1.6.3. Sürekli Döşemeler

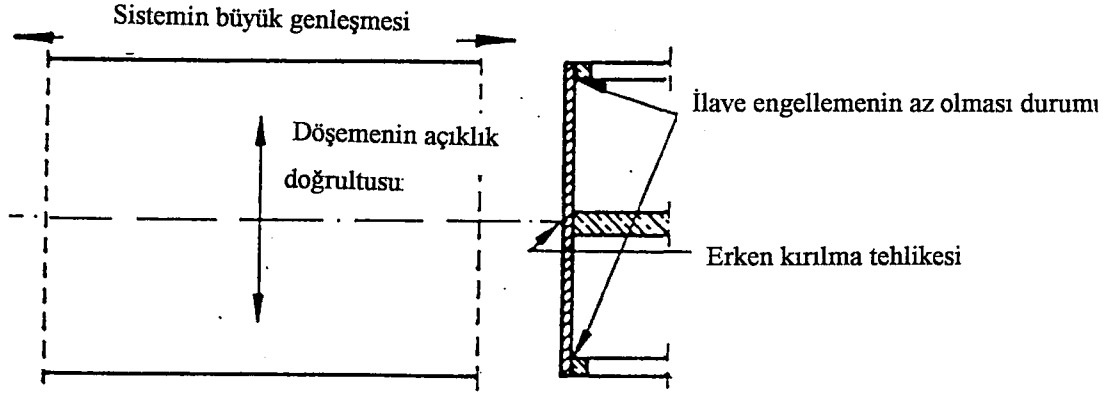
Sürekli Döşemelerde kirişler için (bölüm V.1.5.3'e bakınız) belirlendiği şekilde negatif donatı düzenlemesini ilgilendiren basit koşullar uygulanır, fakat bir süreklilik yüzdesi gerekli değildir. Bununla birlikte, bazı kısaltmalar getirilmelidir ;

-İki doğrultulu plaklar için tablo V.9'da verilen değerlerin bir kez daha indirgenmesine izin verilmez.

-Özel koşullarda orta mesnetler üzerindeki eğilme momentlerine (bölüm II.2.2.2 ve V.1.5.3'de belirtildiği şekilde) karşılık gerilme dağılımı elverişsiz sonuçlara yol açabilir.

-Yetersiz dönme kapasitesi, eğer ;

- a) İki doğrultulu sistemlerde, uygun detaylandırılmış ve/veya normal koşullarda tasarım yardımıyla son mesnetlerde eğilme zorlaması göstermezse,
b) Tasarımda dikkate alınmayan açıklık doğrultusunda, orta duvarlara ya da diğer mesnetlere karşı enine yük etkileri, yeniden dağılıma olanak vermezse,
c) İyi aderans fakat düşük duktiliteli yüksek mukavemetli çelik sınıfı kullanılırsa, bu bölgelerdeki negatif donatının erken kırılmasına ve giderek sistemin göçmesine neden olur.



Sekil V.14 ; İyi aderans fakat düşük duktiliteye sahip yüksek kaliteli çelik kullanılan erken kırılmaya hassas döşeme sistemleri

Bu koşullar aynı zamanda gerçekleşirse orta mesnetler üzerindeki minimum negatif donatı $A_s \geq 0,005 \cdot A_c$ şeklinde düzenlenmelidir (A_c beton alanıdır).

Tablo V.10 ; Sürekli betonarme ve öngerilmeli beton döşemeler

Standart	Minimum Boyutlar			
	Ağır Agregalı Beton		Hafif Agregalı Beton (*)	
Yangın Mukavemeti	Döşeme Kalınlığı h_s	Eksen Uzaklığı a (mm)	Döşeme Kalınlığı h_s	Eksen Uzaklığı a (mm)
F 30	60	10	60	10
F 60	80	10	65	10
F 90	100	15	80	10
F 120	120	20	95	15
F 180	150	30	120	25
F 240	175	40	140	30

Tabloda verilen a eksen uzaklıkları ısısal moment yeniden dağılımları olmadan meydana gelecek olan $T_{crit} = 500^{\circ}\text{C}$ için geçerlidir, diğer değerler için V.1.1 ve IV.2 bölümlerine bakınız.

V.2. YANGIN ETKİSİNDE KALAN BETONARME ELEMANLARIN SON LİMİT EĞİLME MOMENTİ KAPASİTESİNİN ÇÖZÜMSSEL YOLLA BELİRLENMESİ

V.2.1. Giriş

Son on yıl içerisinde, betonun yüksek sıcaklık koşullarındaki mekanik davranışı için uygun malzeme modellerinin geliştirilmesinde önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Betonarme öngörülen beton yapıların farklı tiplerinin yangın etkisi altındaki yük taşıma kapasitesi ve davranışı için doğruluğu ispatlanmış bilgisayar programları geliştirilmesinde de dikkate değer ilerlemeler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede günümüzde, yaygın beton tipleri için çözümsel esasa dayanan bir yol geliştirilmiştir. Esasen bu yol son limit yük taşıma kapasitesinde gözlenen eğilme kırılmasıyla ilgilidir. Kesme, aderans, ankraj ve patlıyarak dağılma şeklindeki diğer kırılma tipleri için elde hazır yeterli bilgi yoktur. Bu kırılma türlerinin meydana gelme olasılığı eğilme kırılmasının meydana gelme olasılığından daha azdır ve bu nedenle, yangın mühendisliğinde pratik tasarım açısından bu olasılık yapıyı detaylandırmada kolaylık sağlamak açısından önemlidir (bölüm III.2 ve V.1'e bakınız). Bununla birlikte, doğrudan standart yangın mukavemeti deneyinin sonuçlarına bağlı olan bu durum yalnızca bir çözümsel tasarım için değil, yapısal bir tasarım için de amaca uygun değildir.

Yangından etkilenmiş beton yapı türlerinin yapısal davranışı çok karmaşıksa, pratik uygulamada kolaylık sağlamak için, basitleştirilmiş kuralların ve yöntemlerin geliştirilmesi gerekir. Yangın etkisi altında betonarme bir elemanın son limit eğilme momenti kapasitesinin çözümsel yolla belirlenmesi için kullanılan, bu şekildeki bir yöntem ilerideki bölümlerde verilecektir.

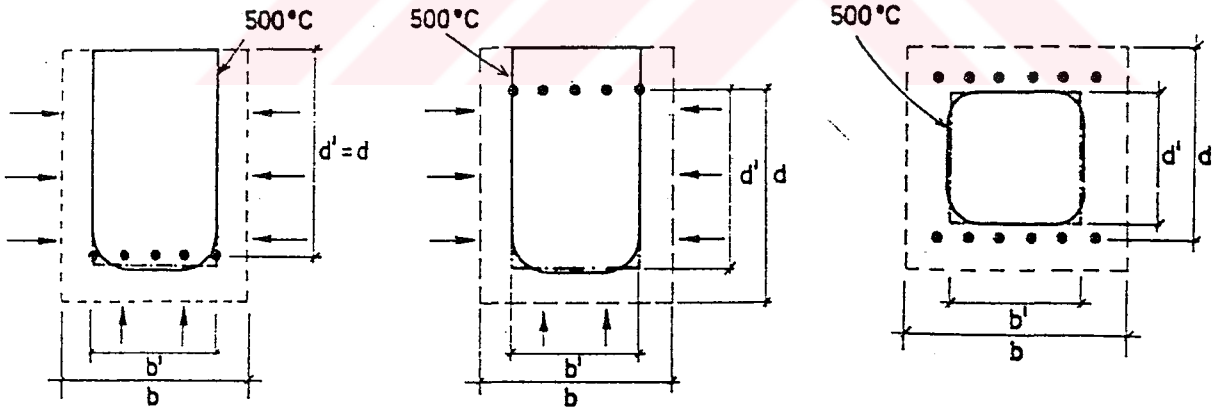
Yapısal yangın tasarımı, bölüm V.2.2'de özet halinde verilen yöntemle uyularak, çözümsel yolla belirlenebilir. Yangından etkilenmiş bir yapısal elemanın gerekli yangın mukavemeti için bölüm IV'deki tasarım esasları kullanılarak bazı prototip enkesitlerin sıcaklık profillerinin şekilleri belirlenmiştir. Bu şekiller sayesinde kritik enkesitlerdeki sıcaklık alanlarının daha çabuk sınırlandırılması sağlanır. Yük taşıma kapasitesinin ve uygun yangın mukavemetinin bu sıcaklık bölgelerine transferine (enkesit, basit mesnetlenmiş kiriş ve herhangi bir boyuna zorlamanın etkilediği sürekli kirişlerle ilgili bilgilere göre) aşağıda ayrıntılı olarak değinilecektir. Daha karmaşık yapılar için mevcut bilgisayar programlarına başvurulabilir.

V.2.2. Eğilme Momenti ve Aksenal Yük Etkisindeki Betonarme Enkesitler

Yukarıda bahsedilen yaklaşım esas alınarak aşağıda görüleceği şekilde, yangın mühendisliğinde betonarme bir enkesit için bir tasarım yöntemi hazırlanmıştır:

- (1) Bölüm IV.3'e göre belirlenen yangın etkisi için 500°C sıcaklıktaki eşsıcaklık eğrisinin belirlenmesi,
- (2) 500°C sıcaklıktaki eşsıcaklık eğrisinin dışındaki betonun hesaba katılmasıyla enkesitin yeni etkili yükseliği " d' " ve yeni genişliği " b' " nün belirlenmesi (şekil V.15),
- (3) Çekme ve basınç bölgelerindeki donatı çubuklarının sıcaklığının belirlenmesi; her bir donatı çubuğunun sıcaklığı bölüm IV.3'de verilen sıcaklık profillerinden elde edilebilir ve donatı merkezine rastlayan sıcaklık esas alınır,
- (4) Çekme ve basınç donatısındaki sıcaklıktan doğan kritik gerilmenin belirlenmesi (şekil V.17); Basınç donatısı için % 0,5 deney gerilmesi, $\sigma_{0,5}(T)$ kullanılması tavsiye edilir,
- (5) 4'de yapılabenzer şekilde, donatı çubuklarındaki gerilmeler ile son limit yük taşıma kapasitesinin sınırlandırılması için indirgenmiş kesitte klasik hesap yöntemlerinin kullanılması,
- (6) Tasarım yükü etkisiyle son limit yük taşıma kapasitesini ya da alternatif olarak, gerekli mukavemet ile belirlenen yangın mukavemetinin karşılaştırılması.

Şekil V.15'de gösterildiği gibi, bazı donatı çubukları indirgenmiş enkesitin dışında kalabilirler. Buna karşın, ihtiyatlı yoldan yangından etkilenen enkesitin yük taşıma kapasitesinin hesaplanmasında dikkate alınmış olurlar. Eş sıcaklık eğrisinin yuvarlatılmış köşeleri (şekil V.15'de gösterildiği gibi), eş sıcaklık eğrisinin gerçek şekli dikdörtgene ya da bir kareye yaklaştırılarak gözönüne alınabilir.

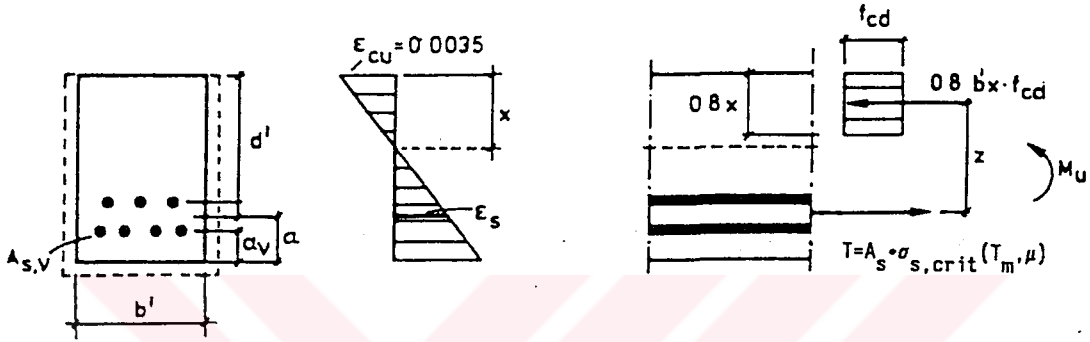


Şekil V.15 ;a) Yangından etkilenmiş çekme bölgesi ile üç yanında yangından etkimiş,
b) Yangından etkilenmiş basınç bölgesi ile üç yanında yangından etkimiş,

c) Dört yanından yangın etkimiş bir betonarme kirişin indirgenmiş enkesiti.

Çekme donatısı kritik gerilmesi yaklaşık olarak bölüm IV.2'de önerilen pratik tasarım eğrilerinden alınabilir. Bu şekilde genelde çok ihtiyatlı bir yapısal yangın tasarımına ulaşılır. Aşağıdaki yaklaşım, yükselen sıcaklıklarda çekme donatısının σ - ϵ ilişkisine bağlıdır ve daha geçekçi pratik tasarım sağlar. Bu yaklaşımdaki kritik gerilme, bir birim deformasyon-gerilme çözümlenmesinden belirlenmiştir.

V.2.2.1. Basınç Donatısı Olmayan Dikdörtgen Kesit



Sekil V.16 ; Basınç donatısız dikdörtgen bir beton kesit için son limit durumda birim deformasyon ve gerilme dağılımı

Son limit eğilme momenti durumunda, indirgenmiş beton enkesitin birim deformasyon ve gerilme dağılımı şekil V.16'da görülmektedir. M_u son limit eğilme momenti şu bağıntıyla verilebilir:

$$M_u = A_s \cdot \sigma_{s,crit} \cdot d' \cdot (1 - 0,5 \cdot \omega_k) \quad (V.9)$$

$$\omega_k = \frac{A_s \cdot \sigma_{s,crit}}{b' \cdot d' \cdot f_{cd}} \quad (V.10)$$

A_s : Çekme donatısının enkesit alanı

$\sigma_{s,crit}$: Çekme donatısı kritik gerilmesi

b' : İndirgenmiş beton enkesitin genişliği

d' : İndirgenmiş beton enkesitin etkili yüksekliği

f_{cd} : (Normal oda sıcaklığında) betonun basınç mukavemetinin tasarım değeri $=f_{ck}$

f_{ck} :Beton basınç mukavemetinin karakteristik değeri (prizmatik deney numuneleri ile belirlenmiştir)

Çekme donatısı kritik gerilmesi: donatının ortalama sıcaklığı T_m ve betonun maksimum (basınç) birim deformasyonu $\epsilon_{cu} = 0,0035$ ile belirlenir. $\sigma_{s,crit}$, T_m 'nin ve μ 'nün bir fonksiyonu olarak gösterilebilir (bölüm V.2.5'e bakınız).

$$\mu = \frac{A_s}{b' \cdot d' \cdot f_{cd}} \quad (V.11)$$

Şekil V.17'de sıcakta çekilmiş normal donatı çeliği için şekil a'da ve soğukta işlenmiş çelikler için şekil b'de, $\sigma_{s,crit}$, T_m 'nin ve $1/\mu$ 'nün bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Diyagramlar, her bir sıcaklığa karşılık, $\sigma_{s,crit}$ deney gerilmesinin % 2,0'si alınarak maksimize edilmiştir, buna karşın, normal oda sıcaklığındaki deney gerilmesinin % 0,2'si alınarak ($\sigma_{0,2}(20^\circ C)$)maksimize edilmiştir.

Donatının etkili ağırlık merkezinin yeri biliniyorsa, donatı çubukları dizilişi birden fazla sıra şeklinde düzenlenmiş yangından etkilenmiş bir enkesitte, indirgenmiş etkili yükseklik, d' 'nün, belirlenmesi gereklidir. Şekil V.16'daki notasyonlardan "a"; yukarıda sözedilen ağırlık merkezi ile indirgenmiş enkesitin en alt kenarı arasındaki uzaklık, aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$a = \frac{\sum (a_v \cdot A_{sv} / T_v)}{\sum (A_{sv} / T_v)} \quad (V.12)$$

Bu denklem, denklem V.2'den daha gerçektir.

A_{sv} :v sırasındaki donatı çubukları enkesit alanı

a_v :v sırası ile indirgenmiş enkesitin en alt kenarı arasındaki uzaklık

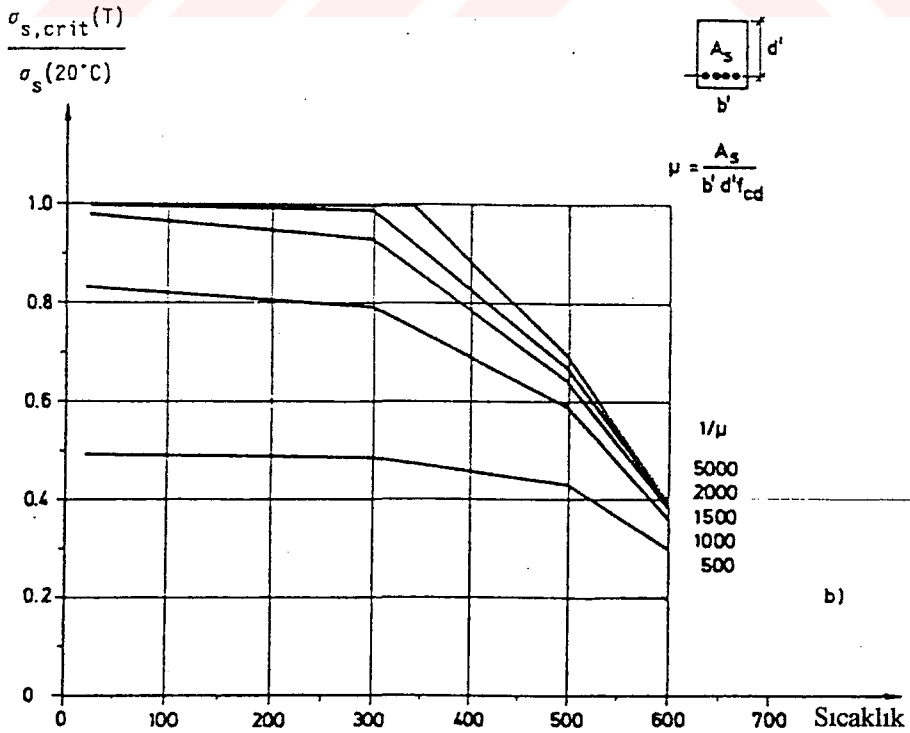
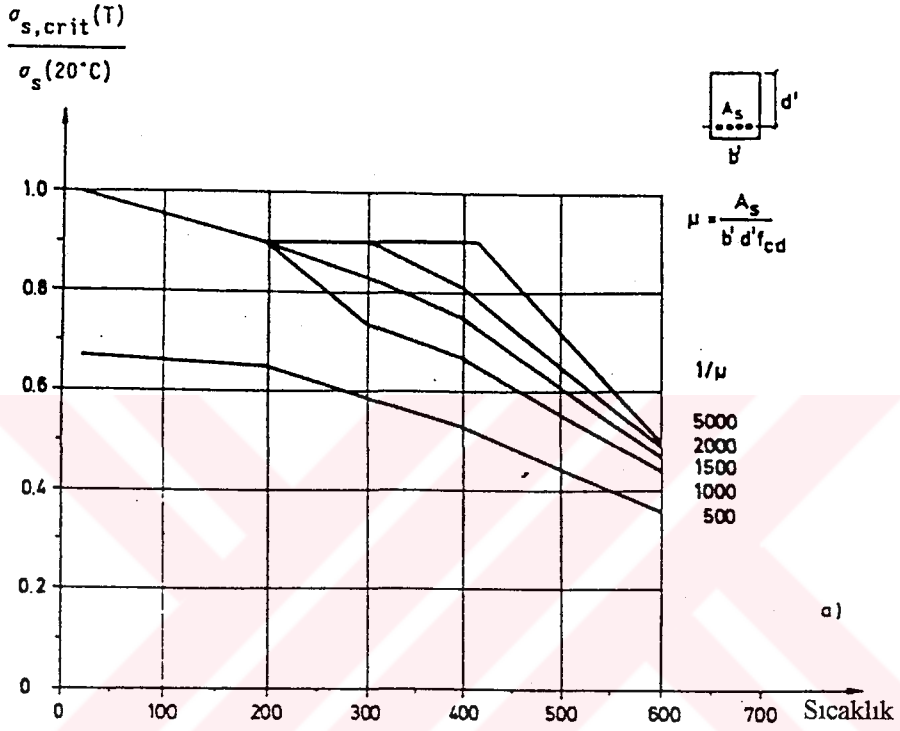
T_v :v sırasındaki donatı çubuklarının ortalama sıcaklığı

Tüm çekme donatısı için ortalama sıcaklık, T_m , aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir:

$$T_m = \frac{\sum (T_v \cdot A_{sv})}{A_s} \quad ; \quad A_s = \sum A_{sv} \quad (V.13)$$

v sırasındaki donatı çubuklarının ortalama sıcaklığı, T_v 'ler, benzer şekilde hesaplanabilir.

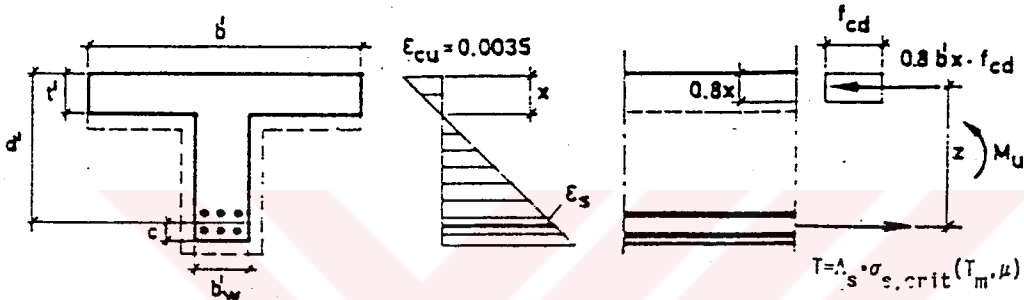
Donatı birbirine yakın ve makul sayıda sırada toplanırsa denklem (V.12) ve (V.13) oldukça doğru değerler verir. Bu donatı enkesitin içinde dağıtılmışsa, son limit eğilme momenti, M_u , donatı çubuklarının her biri tek başına düşünülerek bireysel katkıları bir araya getirilerek hesaplanmalıdır.



Sekil V.17 ;Donatının ortalama sıcaklığı, T_m ve $1/\mu$ 'nün bir fonksiyonu olarak çekme donatısı kritik gerilmesi, $\sigma_{s,crit}$ ve normal oda sıcaklığında akma gerilmesinin karakteristik değeri, $\sigma_s(20^\circ C)$ 'nin zamana karşı değişimi. μ için şekilde verilen bağıntıda A_s , m^2 , b' ve d' , m ve f_{cd} , MPa boyutunda alınmıştır. Şekilde;

- a) Sıcakta çekilmiş çelik,
b) Soğukta işlenmiş çelik içindir.

V.2.2.2. Basınç Donatısı Olmayan Tablalı Kesit



Sekil V.18 ;Basınç donatısı olmayan tablalı kesit için son limit durumda birim deformasyon ve gerilme dağılımı

Şekil V.18'de tablalı bir betonarme kirişin eğilme momentinin son limit duruma ulaştığında, indirgenmiş enkesitteki birim deformasyon ve gerilme dağılımının basınç bölgesinin indirgenmiş tabla alanı içinde kaldığı durum gösterilmektedir, bu $0,8 \cdot x \leq t$ olduğu zaman karşılaşılan durumdur. Bu durumla V.14 bağıntısı gerçekleştiği zaman karşılaşılır;

$$t' \geq \frac{A_s \cdot \sigma_{s,crit}}{b' \cdot f_{cd}} \quad (V.14)$$

Bu durumda tablalı kesit b' ; tabla genişliği olacağından, dikdörtgen bir kesit gibi davranır ve bu bağlamda son limit eğilme momenti, M_u , diyagram V.17'de verilen çekme donatısı kritik gerilmesi, $\sigma_{s,crit}$ ile denklem (V.9) ~ (V.13)'e göre hesaplanabilir.

Basınç bölgesinin en alt kenarı indirgenmiş tabla alanının altında kalıyorsa, M_u eğilme momentini belirlerken, enkesit hasarının içindeki gerilme bloğunun katkısını ihmal etmek oldukça doğru olacaktır. M_u eğilme momenti (V.15) basitleştirilmiş bağıntısıyla aşağıda görüldüğü gibi hesaplanabilir:

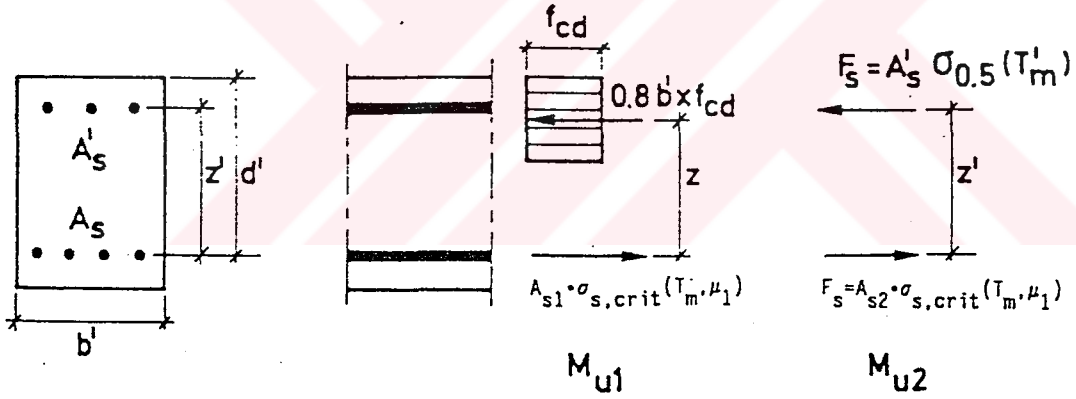
$$M_u = A_s \cdot \sigma_{s,crit} \cdot (d' - t'/2) \quad (V.15)$$

Yukarıdaki denklemde geçen çekme donatısı kritik gerilmesi (V.14) bağıntısından şu şekilde alınabilir:

$$\sigma_{s,crit} = \frac{b' \cdot t' \cdot f_{cd}}{A_s} \quad (V.16)$$

V.2.2.3. Basınç Donatılı Enkesit

Yangından etkilenmiş basınç donatılı beton enkesitlerin davranışı ve son limit yük taşıma kapasitesiyle ilgili çok sayıda çözümsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, basınç donatısının, genelde donatının gerçek ortalama sıcaklığın, T'_m 'de, deney gerilmesinin % 0,5'inin ($\sigma_{0,5}(T'_m)$) karşılığı olan bir birim deformasyonun üzerine eklendiği kabulünün doğruluğu kanıtlanmıştır. Şekil V.19'da $\sigma_{0,5}$ gösterilmiştir. T'_m sıcaklığı denklem (V.13)'e benzer bir bağıntıyla belirlenebilir.



Şekil V.19 ; Basınç donatılı bir beton enkesitin son limit durumda gerilme ve kuvvet dağılımı

M_u son limit eğilme momentini hesaplarırken, pratiklik açısından M_{u1} ve M_{u2} şeklinde M_u 'yu bölerek hesaplayabiliriz :

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} \quad (V.17)$$

Şekil V.19`dan görüleceği gibi M_{u1} , A_{s1} enkesit alanı ve $\sigma_{s,crit}$ kritik gerilmesi ile, çekme donatısında bir kuvvetle ve indirgenmiş beton enkesit basınç alanında gerilme bloğuyla verilen eğilme momentidir. M_{u2} ise, A_{s2} enkesit alanı ve $\sigma_{s,crit}$ kritik gerilmesi ile çekme donatısını ve A'_s enkesit alanıyla ve $\sigma_{0,5}(T'_m)$ gerilmesi ile basınç donatısını temsil eden F_s kuvvet çiftiyle verilen eğilme momentidir.

Gözönüne alınan temiz eğilme momentinin etki ettiği enkesit alanı şu şekildedir;

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (V.18)$$

A_s :Toplam çekme donatısı alanı

M_{u1} eğilme momenti aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (denklem (V.9) ve (V.10)`a bakınız);

$$M_{u1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s,crit} \cdot d' \cdot (1 - 0,5 \cdot \omega_{k1}) \quad (V.19)$$

$$\omega_{k1} = \frac{A_{s1} \cdot \sigma_{s,crit}}{b' \cdot d' \cdot f_{cd}} \quad (V.20)$$

Çekme donatısı kritik gerilmesi, $\sigma_{s,crit}$, denklem (V.13)`den elde edilen çekme donatısı ortalama sıcaklığı, T_m ve (V.21) bağıntısındaki enkesit parametresi, μ_1 `ne karşılık, şekil V.17`deki diyagramlardan elde edilir.

$$\mu_1 = \frac{A_{s1}}{b' \cdot d' \cdot f_{cd}} \quad (V.21)$$

M_{u2} eğilme momenti aşağıdaki bağıntıyla belirlenir;

$$M_{u2} = F_s \cdot z' \quad (V.22)$$

$$F_s = A'_s \cdot \sigma_{0,5}(T'_m) = A_{s2} \cdot \sigma_{s,crit}(T_m, \mu_1) \quad (V.23)$$

(V.18)`den (V.23)`e kadar olan denklem takımları $\sigma_{s,crit}$, A_{s2} değerleri baştan bilinmiyorsa iterasyon yapılarak çözülmelidir.

Ek çekme kuvveti, N , bir ekstra çekme donatı alanı, A_{sn} 'i gerekli kılar. Ek çekme kuvveti, N , çekme donatısı seviyesine etki yapar. A_{sn} aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

$$A_{sn} = N / \sigma_{s,crit} \quad (V.24)$$

bu durumda, denklem (V.18) şu şekilde yeniden düzenlenebilir;

$$A_{sn} = A_{s1} + A_{s2} + A_{sn} \quad (V.25)$$

V.2.3. Basit Mesnetlenmiş Betonarme Kiriş ve Döşemelerin Son Limit Yük Taşıma Kapasitesi

Düşey yükle yüklenmiş basit mesnetli kiriş ya da döşemenin çekme bölgesi yangından etkilenirse, ısıl eğim ek düşey genişlemeye neden olacaktır. Bu, verilen bir maksimum beton basınç birim deformasyonunda basınç alanının azaltılmasına ve enkesit tarafsız ekseninin yükseltilmesine yol açar. Bu bağlamda, betonda basınç kırılması riski bu ek genişleme nedeniyle artar. Basınç bölgesindeki beton mukavemetinin esas olarak etkilenmemesine karşın, eşzamanlı olarak çekme bölgesinin ısınması, çekme donatısının yük taşıma kapasitesini azaltır.

Yangından etkilenen basit mesnetli betonarme kiriş ya da döşemenin son limit yük taşıma kapasitesinin yapının kesin enkesitinde bölüm V.2.2'deki bağıntının kullanılmasıyla hesaplanabilmesi, uygulama için önemlidir.

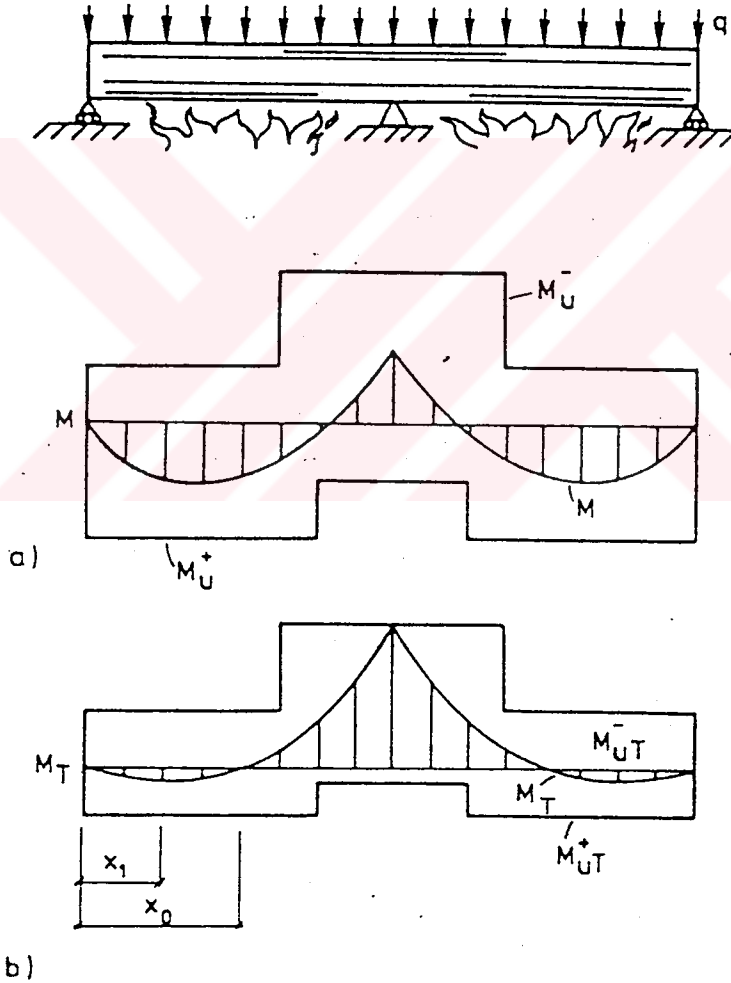
V.2.4. Betonarme Sürekli Kiriş ve Döşemelerin Son Limit Yük Taşıma Kapasitesi

Süreklilik, betonarme kiriş ya da plağın yangına karşı mukavemetini genellikle olumlu etkiler. Bu yangın süresince çok etkilenenden, az etkilenene doğru kuvvet ve momentlerin yeniden dağılımından dolayıdır (bölüm III.2.2.2'e bakınız).

Eğilme momenti yeniden dağılımının prensibi, alttan yangın etkisinde kalan iki açıklıklı sürekli bir kiriş için şekil V.20'de gösterilmiştir. Şekil a), yangından önce kirişin pozitif ve negatif eğilme momenti kapasiteleri (M_u^+ ve M_u^-) ile q hareketli yükü için M eğilme momenti diyagramını göstermektedir. Şekil b) ise, belirli bir süre sonra, yangın etkisi için kirişin son limit eğilme momenti kapasiteleri (M_u^+ ve M_u^-) ve enkesit içindeki ısıl eğimin ve q hareketli yükünün neden olduğu, M_T eğilme momenti dağılımını göstermektedir. Orta mesnette oluşan ve kiriş üzerinde zorlamalara neden olan dönmeden dolayı, enkesitteki ısıl eğim mesnetteki negatif eğilme momentini hızla artırır. Sıcaklık artışı kirişin üst kenarında alt kenarında olduğundan daha az artacağı için pozitif son limit eğilme momenti kapasitesi, M_{uT}^+ , negatif moment, M_{uT}^- 'ye nazaran daha çok etkilenecektir. Sonuç olarak, pozitif eğilme momenti kapasitesi, M_{uT}^+ , yangın

etkisinin meydana geldiği kirişte herhangi bir kırılma olmaması şartıyla, ilk pozitif eğilme momentinden (M) daha küçük bir değere indirgenebilir.

Uygulamada yangın etkisinde kalan sürekli betonarme kiriş ya da döşemenin çözümsel tasarımında bir son limit durum yaklaşımının kullanılabilir olup olmadığının bilinmesi gerekir. Bu şunu gerektirir; ısının neden olduğu gerilme ve momentler yapının kırılmasıyla sıfıra inerler ya da başka bir deyişle, ısıl eğimin neden olduğu enkesitteki dönmeler yangının etkilediği yapının dönme kapasitesinden daha az olmalıdır. Birleştirilen kapsamlı deneysel ve çözümsel çalışmada normal dönme kapasitesinin yeterli olduğunu gösterir. Bununla birlikte, bir son limit durum yaklaşımı, eğer iyi aderans fakat düşük duktiliteli yüksek kalitede çelikler mesnetler üzerindeki negatif donatı için kullanılırsa büyük dikkatle uygulanmalıdır (bölüm V.1.6.3'e bakınız).



Sekil V.20 ;İki açıklıklı sürekli bir betonarme kiriş için (şekil a) yangın etkmeden önce son limit eğilme momenti kapasitesi M_u^+ ile M_u^- ve eğilme momenti M in dağılımı ve (şekil b) yangın etkidikten belli bir süre sonra son limit eğilme momenti kapasitesi M_{uT}^+ ile M_{uT}^- ve eğilme momenti M_T 'ye karşılık gelen dağılım

Şekil V.20 yangın süresince eğilme momenti yeniden dağılımlarından doğan sıfır eğilme momentleri için enkesitlerin nasıl düzeltileceğini göstermektedir. Sürekli kiriş ve döşemeler, son limit, limit durum yaklaşımına göre tasarlanırsa, plastik mafsalların dışında enkesitlerin kırılmasını önlemek için, yapının üst donatısının tasarımı ve düzenlemelerinde karşılaşılan sıfır eğilme momenti nedeniyle kesitlerin bu hareketlerini dikkate almak bu durumda zorunludur. Şekil V.1.5.3'de bu konuda tavsiye edilen tasarım kuralları verilmiştir.

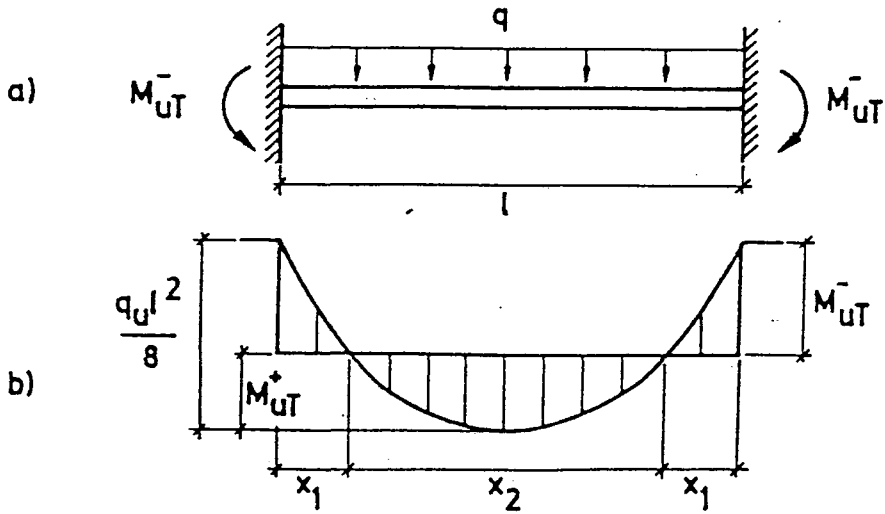
Şekil V.21'de yapısal yangın davranışı ve birleştirilmiş tasarım daha iyi şekilde gösterilmektedir. Şekil V.21, bir betonarme kirişte son limit, limit durumunda eğilme momenti dağılımını gösterir. Şekil V.21'deki betonarme kiriş sürekli bir yapının iç açıklıklarından biri ya da mesnetlerle beraber inşa edilmiş bir kiriş olarak düşünülmüştür. Bu kirişin alt yüzeyinden yangına maruz kaldığı ve q üniform yayılı yükünün etki ettiği kabul edilmiştir. Ayrıca bu kirişin boyuna doğrultuda oluşacak ısıl genişlemeye karşı mesnetlerden tutulmadığı farz edilmiştir.

Son limit, limit durum kirişin orta kesitinde son limit eğilme momenti kapasitesi M_{uT}^+ ve mesnet bölgelerindeki son limit eğilme momenti kapasitesi M_{uT}^- 'ye ulaşmasıyla oluşan plastik mafsallarla açıklanabilir. M_{uT}^- ve M_{uT}^+ bölüm V.2.2'de verilen denklemin yardımıyla hesaplanabilir. Son limit yük taşıma kapasitesi q_u , aşağıdaki denklemlerinden alınabilir;

$$M_{uT}^+ + M_{uT}^- = q_u \cdot \ell^2 / 8 \quad (V.26)$$

$$q_u = \frac{8}{\ell^2} (M_{uT}^+ + M_{uT}^-) \quad (V.27)$$

Tasarım kriteri $q \leq q_u$ olmalıdır, burada kullanılan q , servis yüküdür.



Sekil V.21 ; Alt yüzeyinden yangın etkisinde kalan ve q üniform yayılı yüküyle yüklenmiş sürekli bir yapının iç açıklıklarından biri ya da mesnetlerle beraber düşünülen bir betonarme kiriş

Son limit durumda ortaya çıkan sıfır eğilme momentinin enkesit üzerindeki yeri Şekil V.21`den türetilen şu denklemle hesaplanabilir;

$$x_2 = \sqrt{8 \cdot M_{uT}^+ / q_u} ; x_1 = 0,5 \cdot (1 - x_2) \quad (V.28)$$

Mesnet donatısını kesen nokta şu şekilde bulunur;

$$x_0 = 0,5 - 0,5 \cdot \sqrt{(q_u \cdot \ell^2 - 8 \cdot M_{uT}^-) / q_u} = 0,5 \cdot (1 - x_2 \cdot \sqrt{q_u / q_u}) \quad (V.29)$$

$$x_0 = \max x_1 \quad (V.30)$$

$$q_u' = \frac{8}{\ell^2} (M_{uT}^+ + M_{uT}^-) \quad (V.31)$$

Güvenli tarafta kalınacak şekilde verilen x_0 değerine karşılık q_u değeri değiştirilerek q_u' bulunur. M_{uT}^- yangın etkimeden önce kirişin son limit negatif eğilme momentidir.

V.2.5. Açıklamalar ve Yorumlar

V.2.5.1. Kritik Gerilmeyi Belirleme ($\sigma_{s,crit}$)

Çekme donatısının $\sigma_{s,crit}$ gerilmesini belirleme, artan sıcaklıktaki $\sigma - \epsilon$ ilişkisine ve şekil V.16'da görülen birim deformasyon ve gerilme dağılımına bağlıdır. Şekil V.16'da görülen son limit eğilme momenti kapasitesi durumunda, indirgenmiş enkesitteki birim deformasyon-gerilme dağılımından denklemler türetilmiştir. Birim deformasyon dağılımı betonun maksimum basınç birim deformasyonu ($\epsilon_{cu} = 0,0035$) verilmiştir. Bu kabul ile şu bağıntı elde edilir;

$$\frac{\epsilon_s}{3,5 \times 10^{-3}} = \frac{d' - x}{x} \quad (V.32)$$

Gerilme dağılımı denge denklemi şeklinde yazılırsa;

$$0,8 \cdot b' \cdot x \cdot f_{cd} = \sigma(\epsilon_s, T_m) \cdot A_s \quad (V.33)$$

Burada, donatıda oluşan gerilme, ϵ_s birim deformasyonu ve T_m ortalama sıcaklığıyla belirlenir. μ enkesit parametresi aşağıdaki gibi alınırsa;

$$\mu = \frac{A_s}{b' \cdot d' \cdot f_{cd}} \quad (V.11)$$

ve μ denklem (V.33)'de yerine konursa, denklem aşağıdaki şekli alır;

$$x = \frac{\sigma(\epsilon_s, T_m)}{0,8} \cdot \frac{A_s}{b' \cdot f_{cd}} = \frac{\sigma(\epsilon_s, T_m)}{0,8} \cdot d' \cdot \mu \quad (V.34)$$

Denklem (V.32) ve (V.34) birleştirildiğinde aşağıdaki değer bulunur;

$$\epsilon_s = 3,5 \times 10^{-3} [(0,8 / \sigma(\epsilon_s, T_m) \cdot \mu) - 1] \quad (V.35)$$

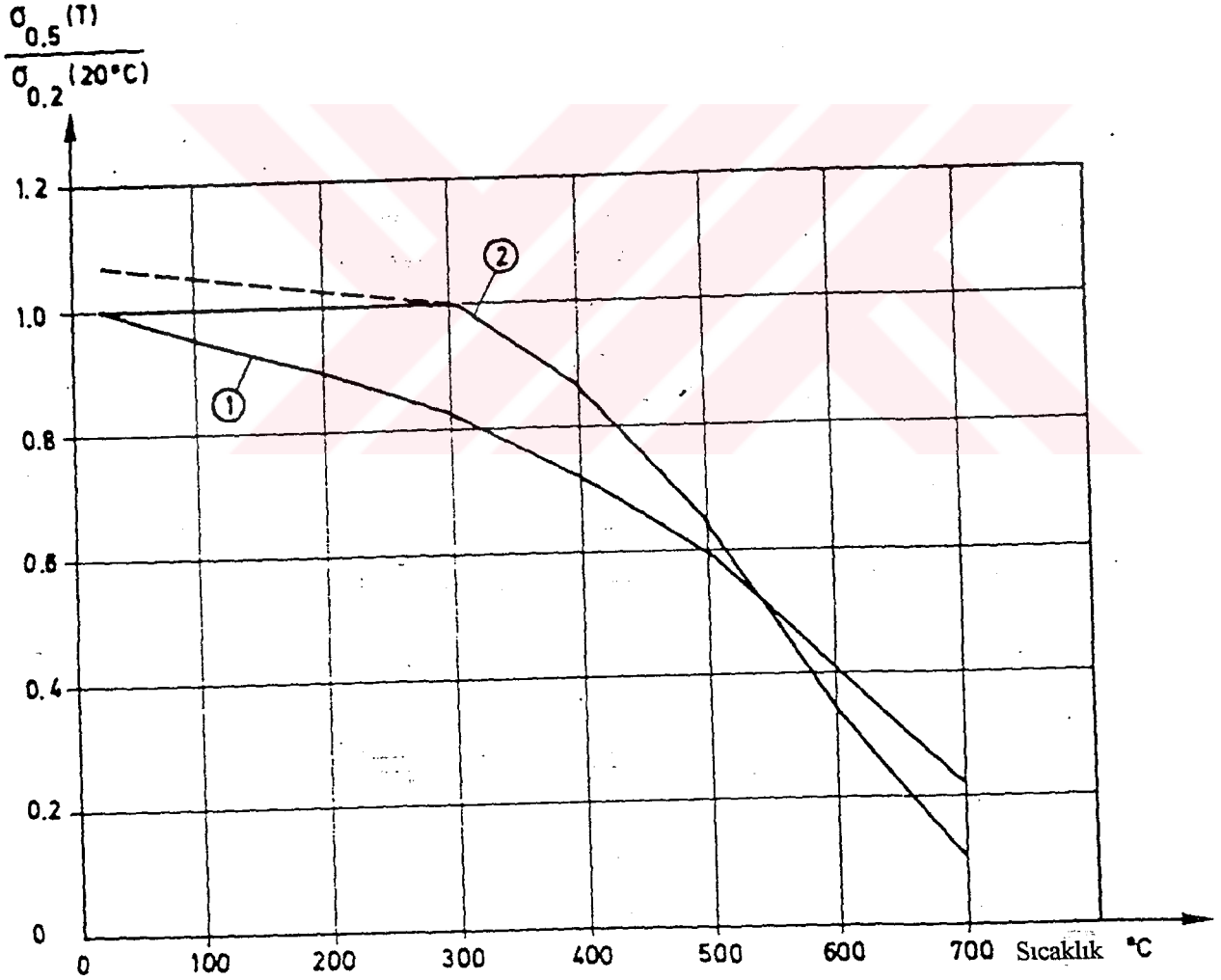
Bu denklem farklı çeliklerin $\sigma - \epsilon$ bağıntılarından iterasyonla çözülebilir. Bu şekilde bir yöntem (T_m ve μ 'nün bir fonksiyonu olan) kritik gerilme diyagramlarıyla sonuca ulaşır. A_s ve ϵ_s , μ 'nün bir fonksiyonudur ve aşağıdaki formülden elde edilir;

$$\sigma(T_m, \mu) = \sigma(\varepsilon_s, T_m) \quad (V.36)$$

kritik gerilmesinin hesabı her bir çelik kalitesi için ayrı ayrı yapılmalıdır. Şekil V.17'de, sırasıyla, sıcakta çekilmiş ve soğukta işlenmiş çelikler için iki tasarım diyagramı verilmiştir.

V.2.5.2. % 0,5 Deneysel Gerilmesinin Belirlenmesi $\sigma_{0,5}(T)$

Beton enkesitin basınç donatısıyla tasarımda $\sigma_{0,5}(T_m)$ 'nin bilinmesi gereklidir. Şekil V.22'de $\sigma_{0,5}(T)$, sırasıyla, sıcakta çekilmiş ve soğukta işlenmiş çelikler için gösterilmiştir.



BÖLÜM VI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, ülkemizde beton yapıların yangına karşı tasarımıyla ilgili henüz yürürlüğe girmiş ve projelendirme aşamasında zorunluluklar getiren bir standart bulunmaması, Türkiye'de bu konunun fazla araştırılmaması ve Türkçe yayınlanmış yeterli döküman bulunmamasından dolayı, yangın deneyleri ve çözümsel olarak yapılan araştırmalar sonucunda beton yapıların yangına karşı tasarımıyla ilgili bir yaklaşım getirmektir.

Bu şekilde birinci bölümde verilen giriş bilgileri ve sonrasında ikinci bölümde yapısal yangın tasarımının amacı genel hatlarıyla belirtilerek çalışmadan ne beklendiği belirtilmektedir. Malzemeye ve yapısal elemanların yük taşıma kapasitesiyle ilgili limit durumlar için kriterler belirlenerek, beton ve çelik için bir kritik sıcaklık, eğilme elemanları için bir sehim hızı ve eksenel yüklenmiş elemanlar için bir eksenel kısalma oranı tanımlanmaktadır. Bu şekilde bir limit tasarım yaklaşımı yapılmakta ve tasarımda güvenli tarafta değerler alınabilmektedir.

Üçüncü bölüm içerik olarak üç değerlendirme yöntemini kapsamaktadır. Gerekli güvenlik düzeylerinin gerçekleştirildiğini kanıtlamak için uygun ve güvenilir hesap modelleriyle ilgili değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Birinci değerlendirme yöntemi bir tasarım yönteminden çok bir sınıflandırma sistemidir ve yılların deneyimine dayanmaktadır. Uygulamada kolaylık sağlamasına karşılık yapısal tasarımda yapısal sistemin davranışı izlenmeye çalışıldığında ihtiyaca cevap vermemektedir. Bu amaçla daha işlevsel temellere bağlı olan ikinci ve üçüncü değerlendirme yöntemleri kullanılır. Üçüncü değerlendirme yöntemi tamamen işlevsel bir yöntemdir ve standart olmıyan bölme yangınına temel olarak doğrudan çözümsel yolla bir yapısal tasarım önermektedir. İkinci değerlendirme yöntemi ise bir ara yöntem olarak kullanılabilir. Bu yöntemdeki standart olmıyan bölme yangını etkisi yapısal elemanda aynı etkiye sahip standart yangın ısıtma koşullarıyla ilişkilidir. Dördüncü bölümden uygulama için gerekli temel bilgiler, tamınlar ve çalışmada geçen bazı kavramlar verilmektedir. Bu sayede uygulamayı tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Diğer bir konu olarak beton ve çelik malzemelerin mekanik özellikleri deney yöntemlerine bağlı olarak belirlenmektedir. Farklı laboratuvarlardan alınan deney sonuçları incelenerek beton ve çeliğin malzeme özellikleriyle ilişkin tasarım eğrileri kurmak mümkün olmuştur. Bu bölümde beton yapı elemanlarının kesitlerinde sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi üzerinde de durulmuştur.

Bu şekilde beton enkesitlerin davranışı hakkında bilgi edinmede ve beşinci bölümde verilen doğrudan çözümsel tasarım yolunun ihtiyaçlarına cevap vermektedir.

Beşinci bölümde, yapılan yangın deneyleri sonuçları analiz edilerek eldeki bilgiler ışığında tablolar hazırlanmaktadır. Bu tabloların ve önerilen tasarım yardımlarına uyulmasıyla yük taşıma kapasitesi, yangına karşı bütünlük ve ısı yalıtımı kapasitesine ilişkin istemler karşılanmakta ve son limit durumlara erken ulaşılmaktadır. Bu bölümde verilen bir diğer tasarım yönteminde yangından etkilenen betonarme elemanların son limit eğilme kapasitesinin çözümsel yolla belirlenmesine ilişkindir. eğilme kırılmasının meydana gelme olasılığının diğer kırılma çeşitlerinden fazla olduğu düşünülerek bir pratik yaklaşım ileri sürülmüştür. Çalışmada detaylı olarak verilen doğrudan işlevsel esaslara dayalı yöntemde amaç, bulunan tasarım yükü etkisiyle son limit yük taşıma kapasitesini ya da alternatif olarak gerekli mukavemet ile belirlenen yangın mukavemeti karşılaştırılmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma şunu göstermiştir; sunulan bu iki tasarım yoluyla güvenli tarafta kalacak sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır. Bu şekilde yapılacak bir ek yangın tasarımıyla yangından etkilenen bir binada yapısal hasarın minimuma indirilmesi ve yangın sonrası binanın yeniden onarılarak kullanıma açılmasına imkan vermektedir.

KAYNAKLAR

- 1.Arda, T.S. (1993):Çelik Yapılarda Yangın ve Yangın Mukavemeti, Ders Notları, İTÜ, İstanbul
- 2.Ataman, R. (1991): Beton Yapıların Yangın Dayanımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- 3.C.E.B. D'Information No 208 (1991): Fire Design of Concrete Structures
- 4.C.E.B. Model Code No 203-204-205(1990)
- 5.C.E.B. Model Code No 145,(1985): Design of Concrete Structures for Fire Resistance
- 6.CIB W14 (1986): Design Guide, Structural Fire Safety, Fire Safety Journal 9
- 7.Kocataşkın, F. (1990): Yapısal Yangın Güvenliği Ders Notları, İTÜ, İstanbul
- 8.Magnusson, S.E. and Thelandersson (1970): Temperature-Time Curves for The Complete Process of Fire Development, Acta Polytechnica Scandinavica, Ci 65, Stockholm (1970)
- 9.Model Code Draft (1979): ISO/TC 92 N, Structural Fire Protection
- 10.Yangından Korunma Yönetmelikleri (1992): İ.B.B. Yangından Korunma Yönetmeliği ve Parlayıcı, Patlayıcı, Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tüzüğü
- 11.Yapıda Yangından Korunma Bildiriler (1992): Sempozyum, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul

EK.1

A tipi yangın bölmesini esas alarak, gerçek yangın yükü yoğunluğu q_t gerçek boşluk katsayısı $A\sqrt{h}/A_t$ 'yi fiktif yangın yükü yoğunluğu, q_{tf} ve fiktif boşluk katsayısı $(A\sqrt{h}/A_t)_f$ 'e dönüştürmek için kullanılan K_f katsayıları;

$$q_{tf} = K_f \cdot q_t \quad , \quad (A\sqrt{h}/A_t)_f = K_f \cdot A\sqrt{h}/A_t$$

Yangın Bölmesi Tipi	Boşluk Katsayısı $A\sqrt{h}/A_t \text{ m}^{1/2}$					
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12
Tip A	1	1	1	1	1	1
Tip B	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Tip C	3	3	3	3	3	2,5
Tip D	1,35	1,35	1,35	1,5	1,55	1,65
Tip E	1,65	1,5	1,35	1,5	1,75	2
Tip F(*)	1,00-0,50	1,00-0,50	0,80-0,50	0,70-0,50	0,70-0,50	0,70-0,50
Tip G	1,5	1,45	1,35	1,25	1,15	1,05
Tip H	3	3	3	3	3	2,5

Farklı yangın bölmesi tipleri aşağıda görüleceği gibi tanımlanır;

A tipi : $\lambda = 0,81 \text{ (W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}\text{)}$ ısı iletkenlik katsayısı ve $\rho \cdot c_p = 1,67 \text{ (MJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}\text{)}$ ısısal sığaya sahip bir malzemeyle kuşatılan yapılar.

B tipi : Betonla kuşatılan yapılar.

C tipi : Yoğunluğu $\rho = 500 \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{)}$ olan gevşek betonla kuşatılan yapılar.

D tipi : % 50'si normal beton ve % 50'si yoğunluğu $\rho = 500 \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{)}$ olan gevşek betondan oluşan kuşatma yapıları.

E tipi : Kuşatma yüzeyi alanı aşağıda verilen yüzdelerden oluşan malzemelerle kuşatılan kuşatma yapıları; % 50'si gevşek beton ($\rho = 500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), % 33'ü normal beton ve % 17'si içten dışa 13 mm kalınlığında alçı panel ($\rho = 790 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), 10 cm kalınlığında diyabaz yünü ($\rho = 50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ve 20 cm kalınlığında briket duvar ($\rho = 1800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

F tipi : % 20'si normal beton ve % 80'i çelik sacdan oluşan kuşatma yapıları. Bölme, çelik sacdan oluşan bir çatı, çelik duvarlar ve beton döşemesi ile bir depoyu andırır.

G tipi : Kuşatma yüzeyi alanı aşağıda verilen yüzdelerden oluşan malzemelerle kuşatılan kuşatma yapıları; % 20'si beton, içten dışa % 80'i; 2x13 mm kalınlıkta çift alçı panel ($\rho =$

790 kg · m⁻³), 10 cm kalınlıkta hava boşluğu ve 2x13 mm kalınlıkta çift alçı panel ($\rho = 790 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

H tipi : 10 cm kalınlığında diyabaz yününün her iki tarafından, çelik sacıa kuşatılan yapılar.

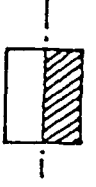
Tabloda doğrudan verilmeyen yangın bölmeleri için K_f katsayıları, tabloda verilen uygulanabilir yangın bölmesi tipleri arasında doğrusal enterpolasyon yapılarak ya da güvenli tarafta kalacak sonuçlar verebilen bir yol seçilerek belirlenebilir. K_f katsayılarının farklı değeri, beton ve hafif betonun her ikisiyle yangın bölmesi kuşatılan yapılar için, B,C ve D yangın bölmesi tipleri arasında enterpolasyon sırasındaki seçime bağlı olarak elde edilebilir. Bununla birlikte, tablodaki K_f değeri seçilen enterpolasyonun alternatifi ne olursa olsun doğrusal enterpolasyonda daima güvenli tarafta sonuçlar vermelidir. K_f 'nin gereksiz büyük tahminlerinden kaçınmak için K_f 'nin en küçük değeri veren enterpolasyonun alternatifi alınması tavsiye edilir. K_f 'yi belirlerken, K_f 'ye negatif yarar sağlayan bir yolla yangın bölmesi tiplerinin belirlenmesine izin verilmelidir.



EK.2**Enkesit Sıcaklık Dağılımı Örnekleri**

Kiris; Silisli, Dikdörtgen

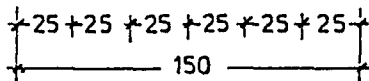
$b/h = 300/600$

Üç yüzünden ISO 834'le etkilenmiş
Süre

30 dak.

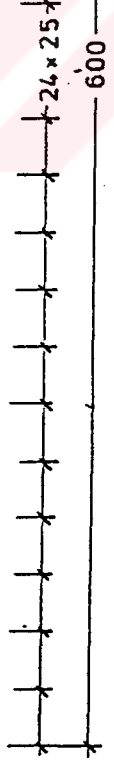
60 dak.

21.	21.	25.	34.	61.	210.	652.
21.	22.	26.	38.	77.	225.	653.
21.	22.	27.	40.	80.	228.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
21.	22.	27.	41.	81.	229.	655.
22.	23.	29.	41.	82.	230.	655.
23.	24.	29.	43.	83.	230.	656.
29.	23.	33.	46.	86.	234.	657.
42.	43.	46.	57.	97.	247.	661.
82.	83.	86.	97.	141.	288.	676.
230.	230.	234.	247.	288.	405.	701.
655.	656.	657.	661.	676.	701.	821.



a)

29.	30.	41.	63.	129.	369.	834.
30.	34.	48.	81.	183.	419.	838.
32.	36.	52.	91.	200.	434.	843.
33.	38.	54.	94.	205.	439.	844.
33.	38.	55.	96.	206.	440.	844.
34.	38.	55.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	55.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
34.	39.	56.	96.	207.	440.	844.
35.	39.	56.	97.	207.	440.	845.
36.	41.	57.	97.	208.	441.	845.
35.	44.	60.	100.	210.	442.	845.
47.	51.	66.	106.	217.	445.	845.
64.	67.	80.	121.	236.	457.	848.
104.	107.	121.	163.	281.	485.	854.
213.	218.	236.	281.	372.	543.	870.
444.	445.	457.	485.	543.	654.	883.
845.	846.	848.	854.	870.	883.	930.



b)

Kiriş, Silisli, Dikdörtgen

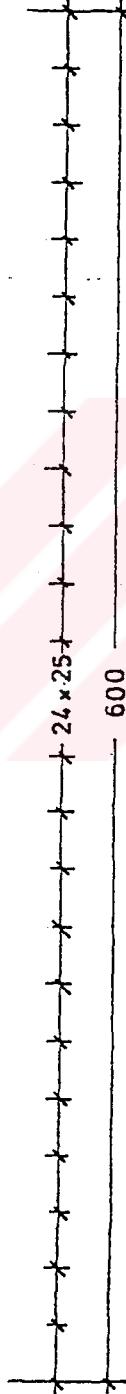
b/h = 300/600

Üç yüzünden ISO 834'le etkilenmiş
Süre

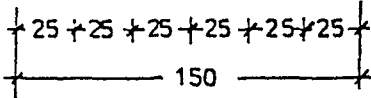
180 dak.

240 dak.

73.	-92.	-109.	-164.	-243.	-522.	-1042.
99.	-111.	-157.	-243.	-390.	-645.	-1051.
114.	-134.	-194.	-298.	-459.	-703.	-1061.
128.	-151.	-220.	-323.	-494.	-730.	-1063.
137.	-163.	-235.	-347.	-511.	-743.	-1065.
144.	-170.	-243.	-356.	-519.	-749.	-1066.
147.	-174.	-248.	-361.	-523.	-752.	-1066.
149.	-176.	-250.	-363.	-525.	-753.	-1066.
150.	-177.	-251.	-364.	-526.	-754.	-1066.
151.	-178.	-252.	-365.	-527.	-754.	-1067.
151.	-178.	-252.	-365.	-527.	-754.	-1067.
151.	-178.	-252.	-365.	-527.	-754.	-1067.
152.	-179.	-253.	-366.	-528.	-755.	-1067.
153.	-180.	-254.	-367.	-528.	-755.	-1067.
156.	-183.	-257.	-369.	-530.	-756.	-1067.
164.	-191.	-262.	-374.	-533.	-759.	-1067.
180.	-205.	-273.	-382.	-539.	-762.	-1067.
207.	-228.	-292.	-397.	-550.	-768.	-1068.
243.	-263.	-321.	-421.	-568.	-780.	-1070.
294.	-312.	-365.	-458.	-597.	-797.	-1072.
365.	-381.	-429.	-512.	-639.	-824.	-1073.
463.	-478.	-519.	-591.	-701.	-863.	-1073.
604.	-615.	-647.	-703.	-791.	-919.	-1087.
802.	-809.	-823.	-863.	-919.	-994.	-1092.
1072.	-1073.	-1076.	-1079.	-1088.	-1092.	-1106.

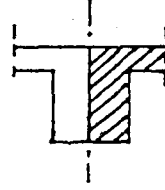


97.	-108.	-140.	-192.	-253.	-357.	-1091.
141.	-158.	-207.	-291.	-438.	-699.	-1100.
186.	-205.	-263.	-364.	-524.	-769.	-1111.
222.	-242.	-303.	-409.	-570.	-804.	-1114.
247.	-267.	-329.	-436.	-596.	-822.	-1116.
264.	-284.	-346.	-452.	-610.	-831.	-1117.
274.	-294.	-356.	-461.	-617.	-836.	-1118.
280.	-300.	-361.	-466.	-621.	-839.	-1118.
284.	-304.	-365.	-469.	-624.	-840.	-1118.
286.	-306.	-367.	-471.	-625.	-841.	-1118.
288.	-308.	-368.	-472.	-626.	-842.	-1118.
290.	-309.	-370.	-473.	-627.	-842.	-1118.
292.	-312.	-372.	-475.	-629.	-843.	-1119.
296.	-316.	-375.	-478.	-630.	-844.	-1119.
303.	-323.	-381.	-483.	-634.	-846.	-1119.
314.	-333.	-391.	-491.	-640.	-850.	-1119.
331.	-349.	-405.	-503.	-649.	-856.	-1120.
355.	-373.	-427.	-522.	-663.	-864.	-1121.
389.	-406.	-458.	-549.	-684.	-877.	-1122.
438.	-454.	-502.	-587.	-714.	-896.	-1124.
506.	-520.	-564.	-641.	-756.	-921.	-1127.
599.	-612.	-643.	-715.	-815.	-957.	-1131.
728.	-737.	-767.	-819.	-897.	-1003.	-1137.
903.	-911.	-923.	-959.	-1004.	-1064.	-1140.
1125.	-1126.	-1128.	-1131.	-1137.	-1140.	-1153.



e)

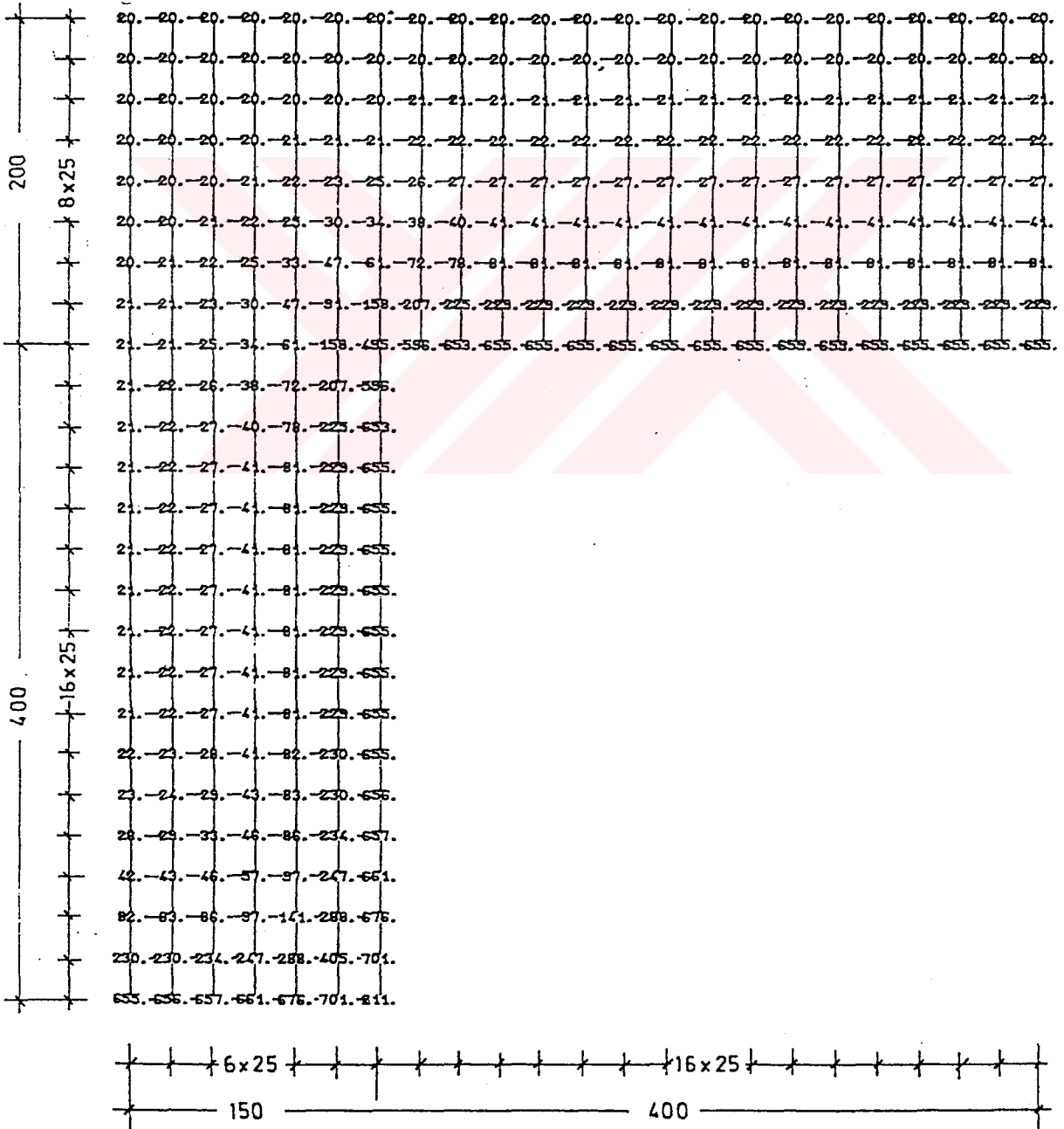
f)



Kiris; Silisli, T-kesitli

$$b/h = 300/600$$

Kenarlarından ve altından ISO 834'le etkilenmiş
Süre
30 dak.



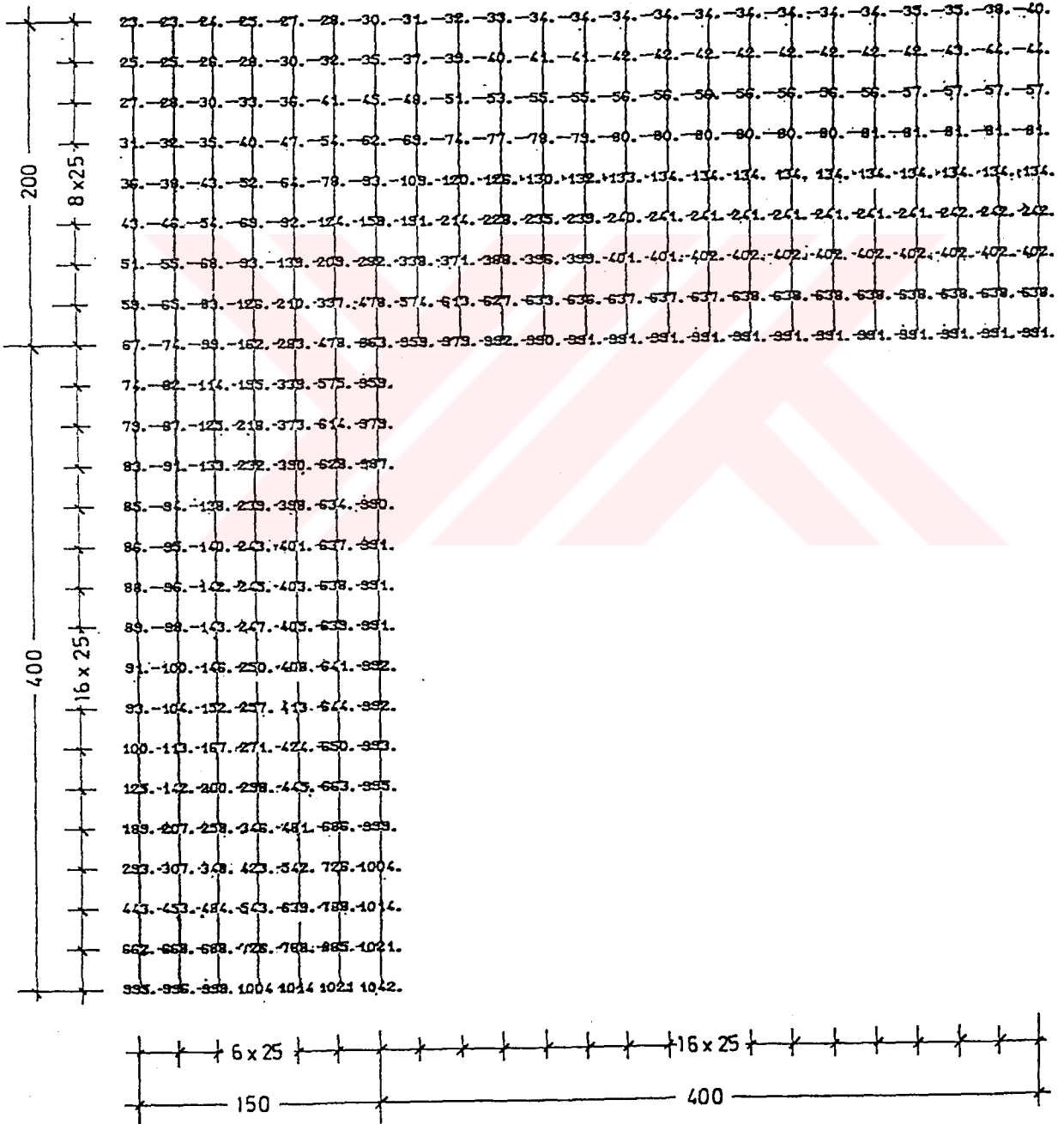
Kiriş; Silisli, T-kesitli

$$b/h = 300/600$$

Kenarlarından ve altından ISO 834'le etkilenmiş

Süre

120 dak.



d)

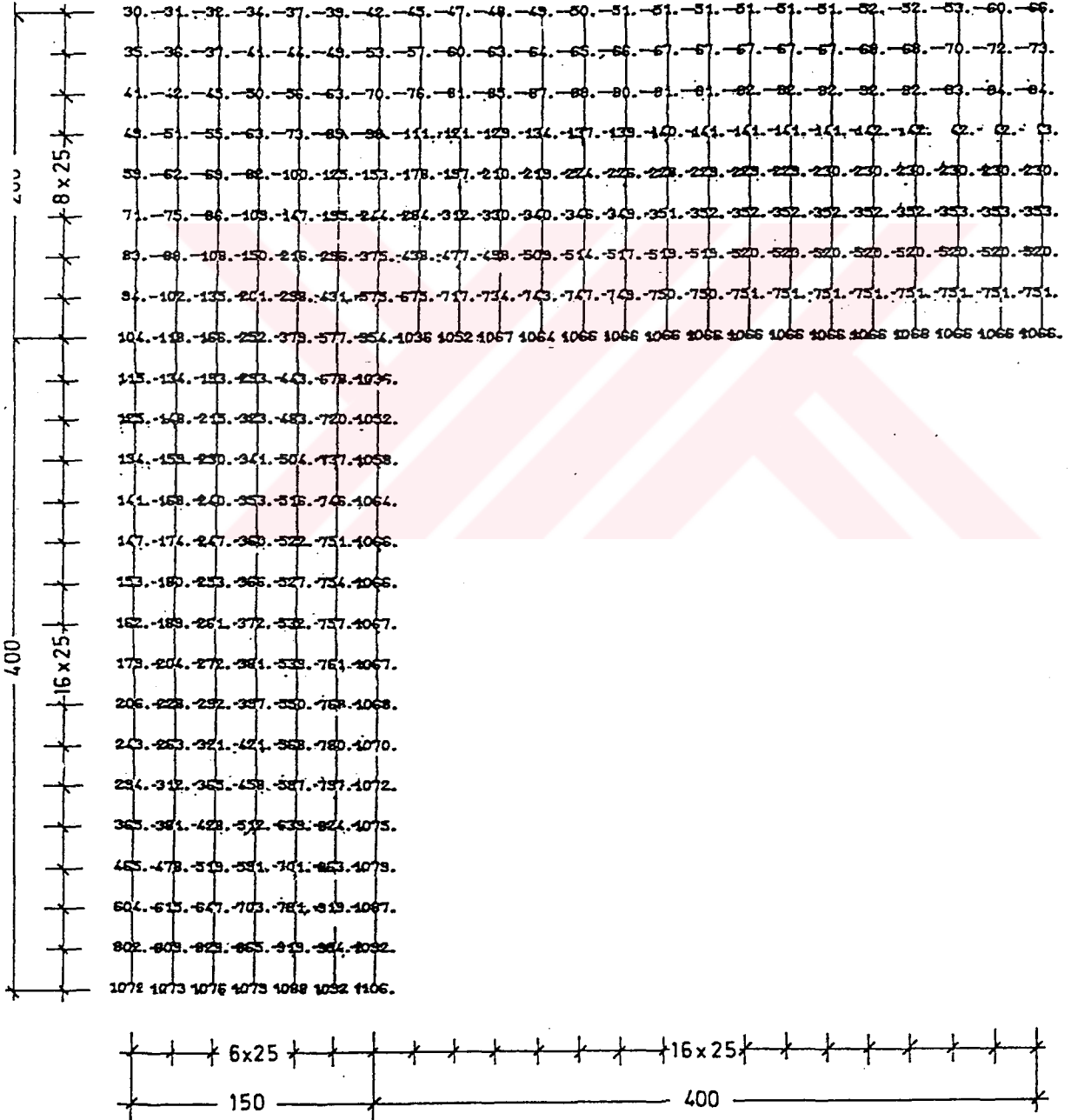
Kiris; Silisli, T-kesitli

$b/h = 300/600$

Kenarlarından ve altından ISO 834'le etkilenmiş

Süre

180 dak.

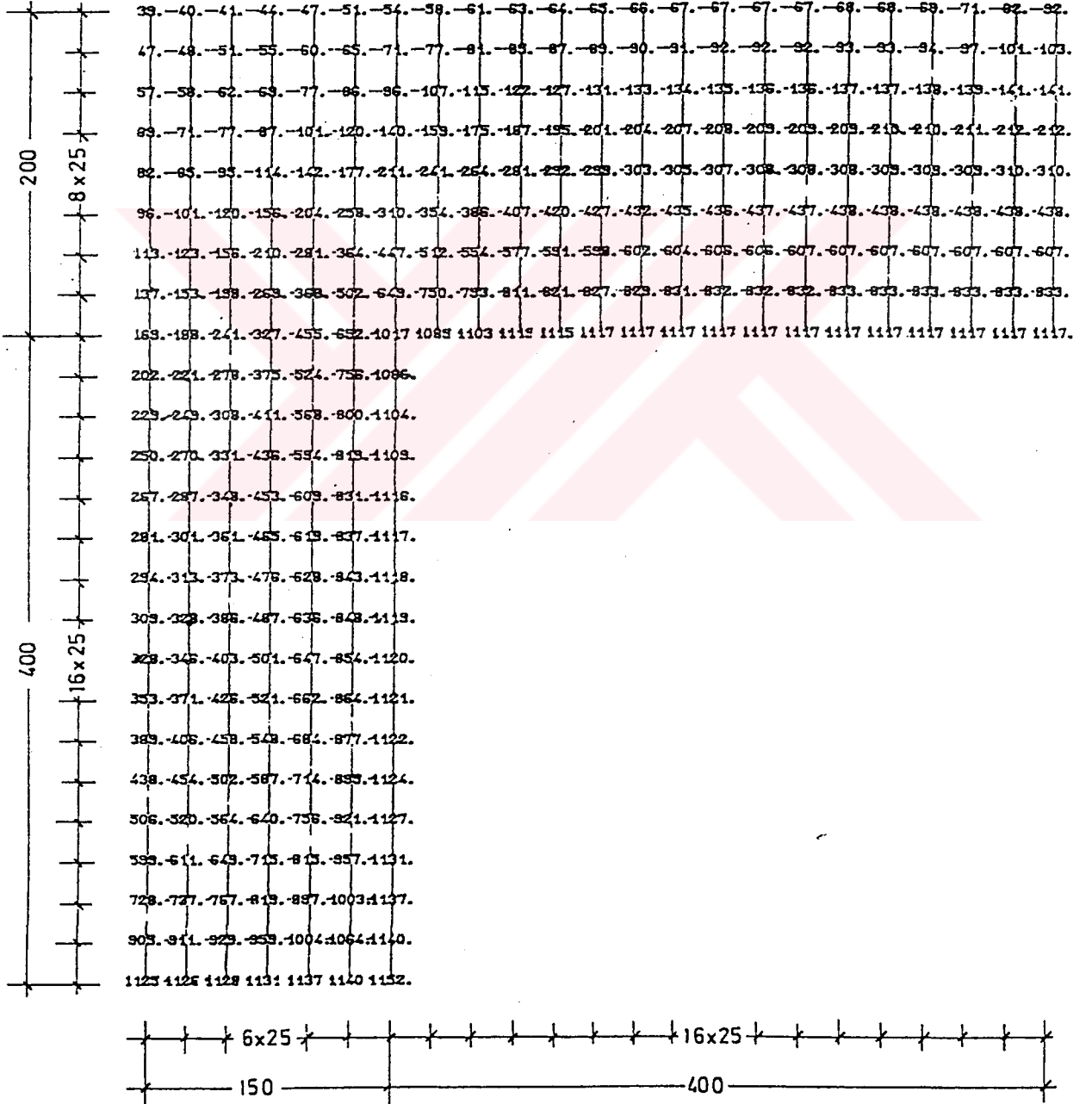


e)

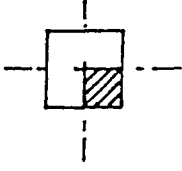
Kiriş; Silisli, T-kesitli

$$b/h = 300/600$$

Kenarlarından ve altından ISO 834'le etkilenmiş
Süre
240 dak.

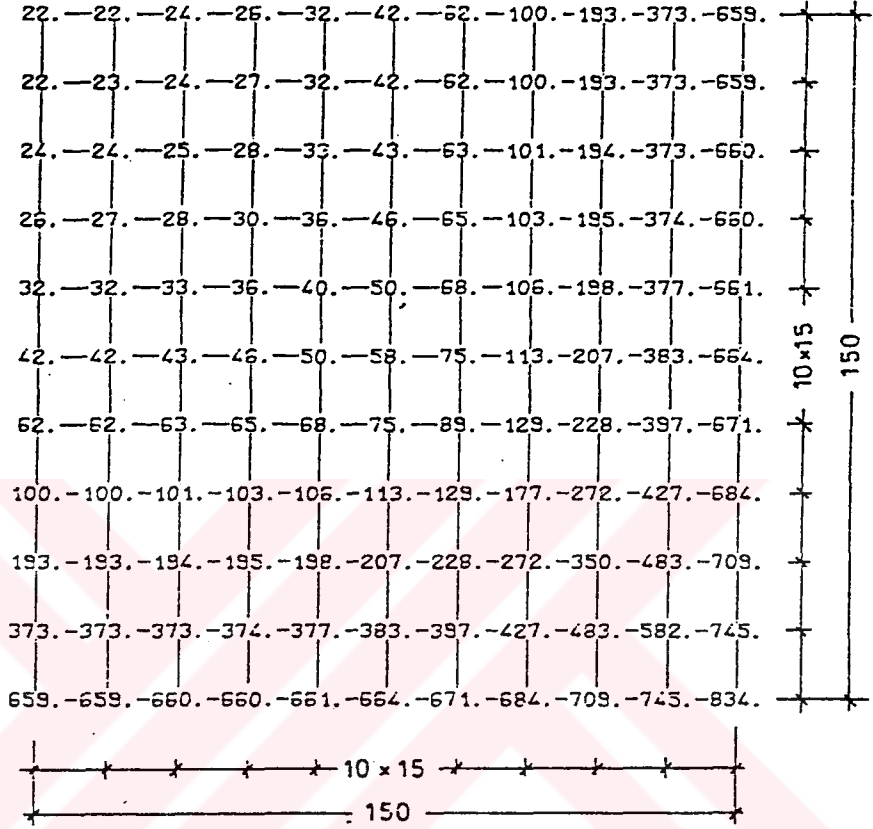


Kolon; Silisli, Kare, $d = 300$ mm

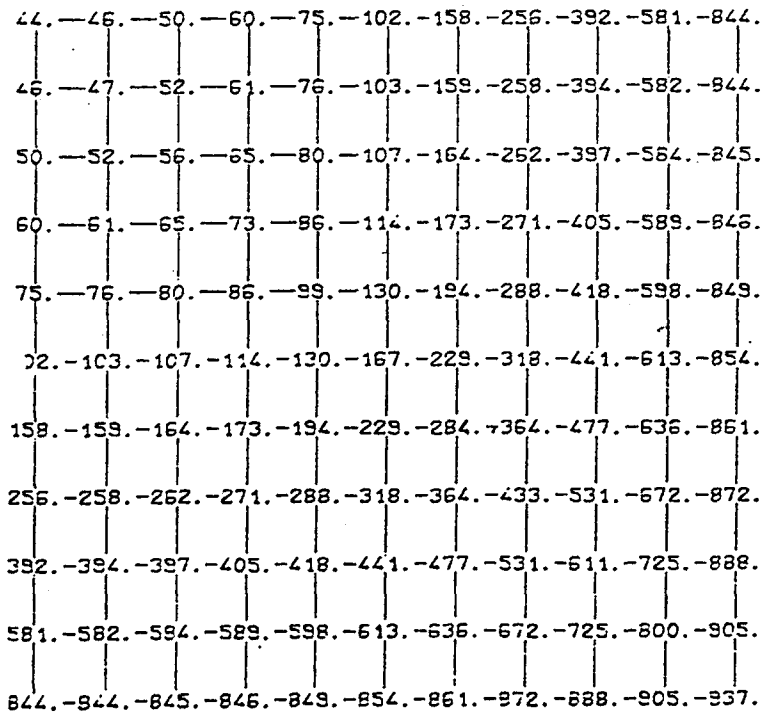


Bütün kenarlarından ISO 834'le etkilenmiş

30 dak.



60 dak.

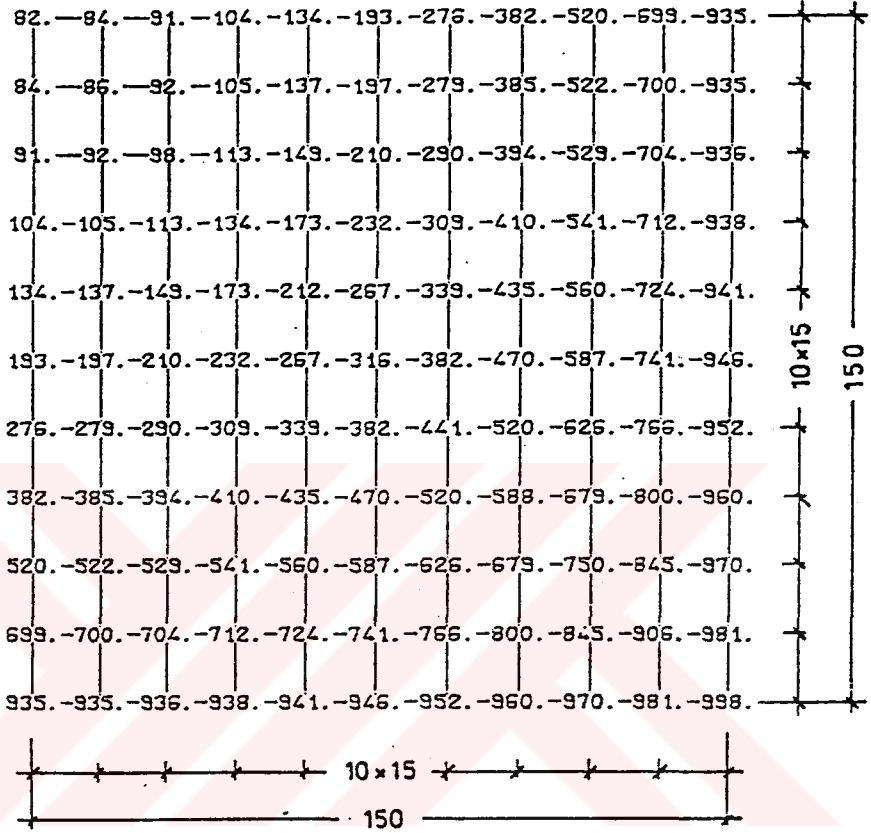


a)

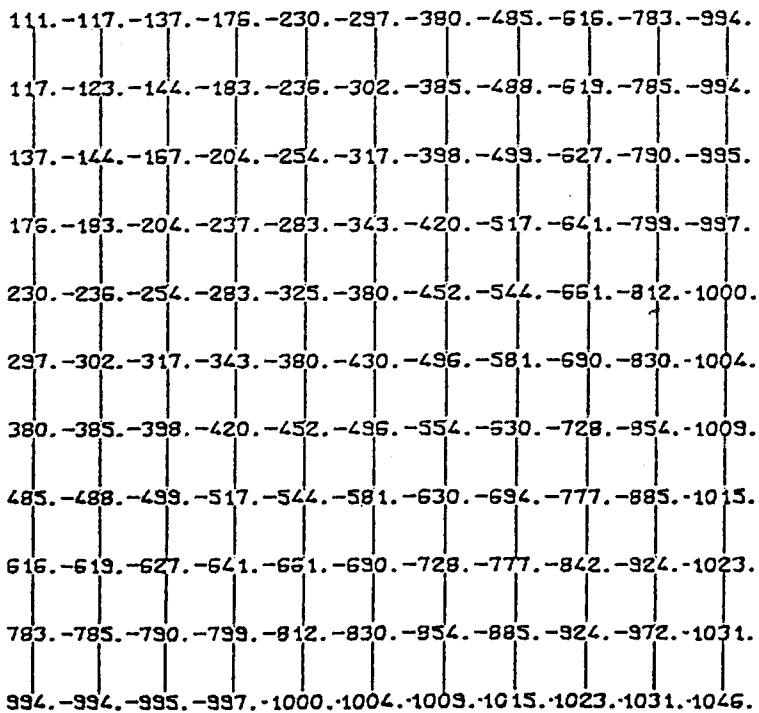
Kolon; Silisli, Kare, $d = 300$ mm

Bütün kenarlarından ISO 834'le etkilenmiş

90 dak.



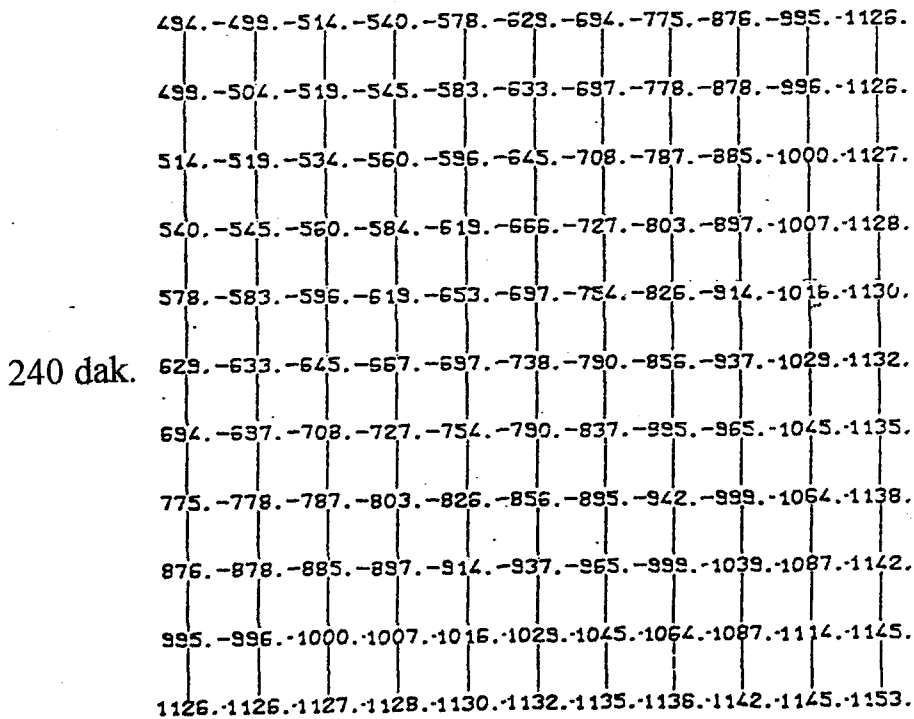
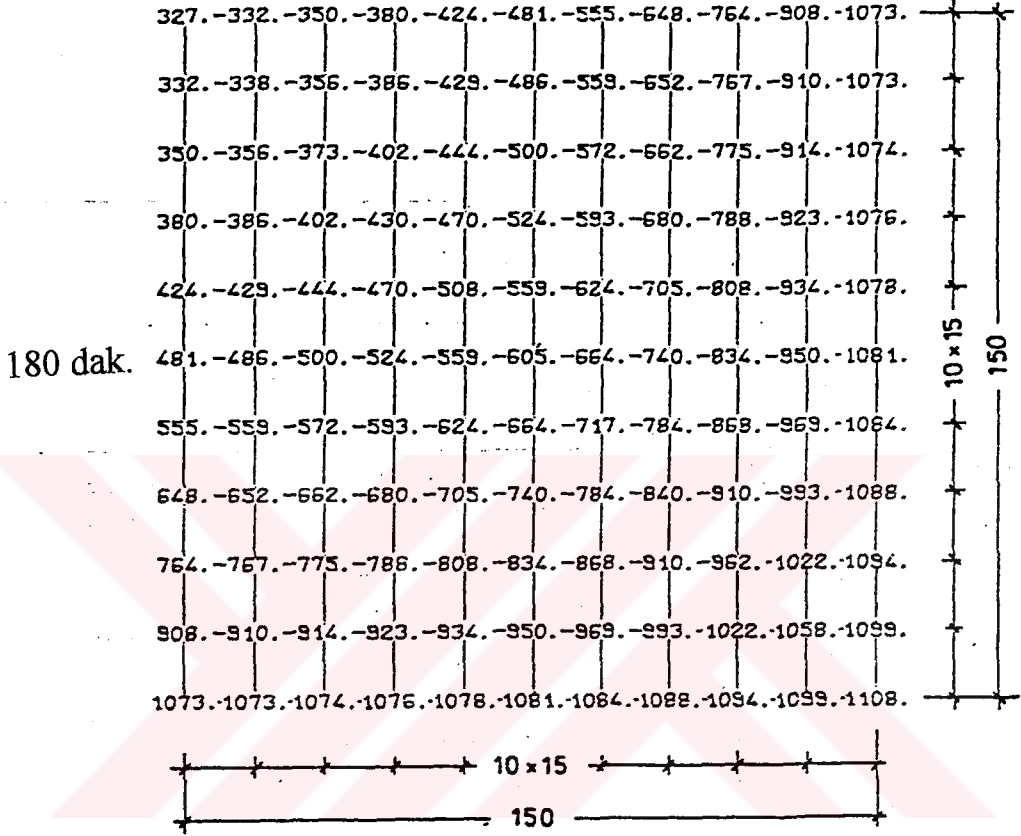
120 dak.



b)

Kolon; Silisli, Kare, $d = 300$ mm

Bütün kenarlarından ISO 834'le etkilenmiş



Kiriş; Silisli, Dikdörtgen

$$b/h = 300/600$$

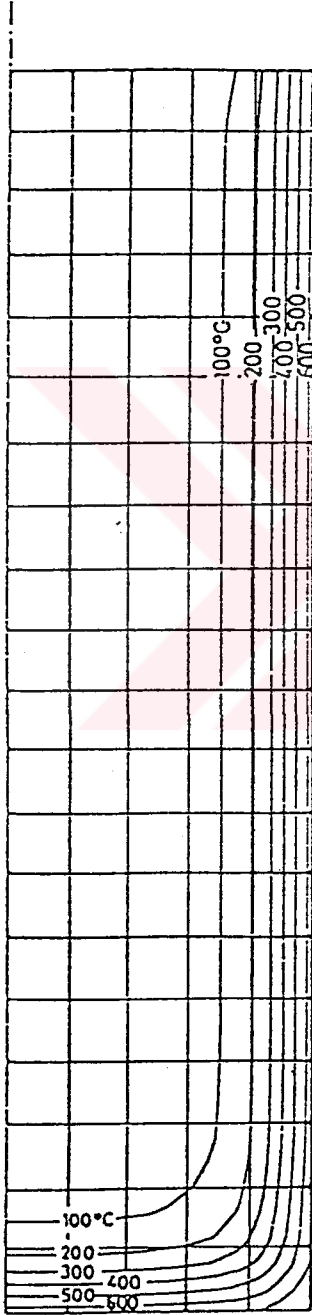
Üç yüzünden ISO 834'le etkilenmiş

Süre

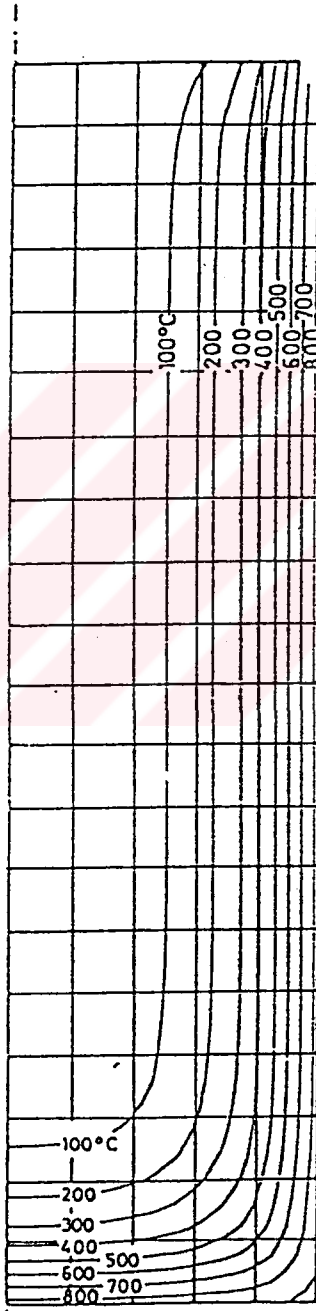
30 dak.

60 dak.

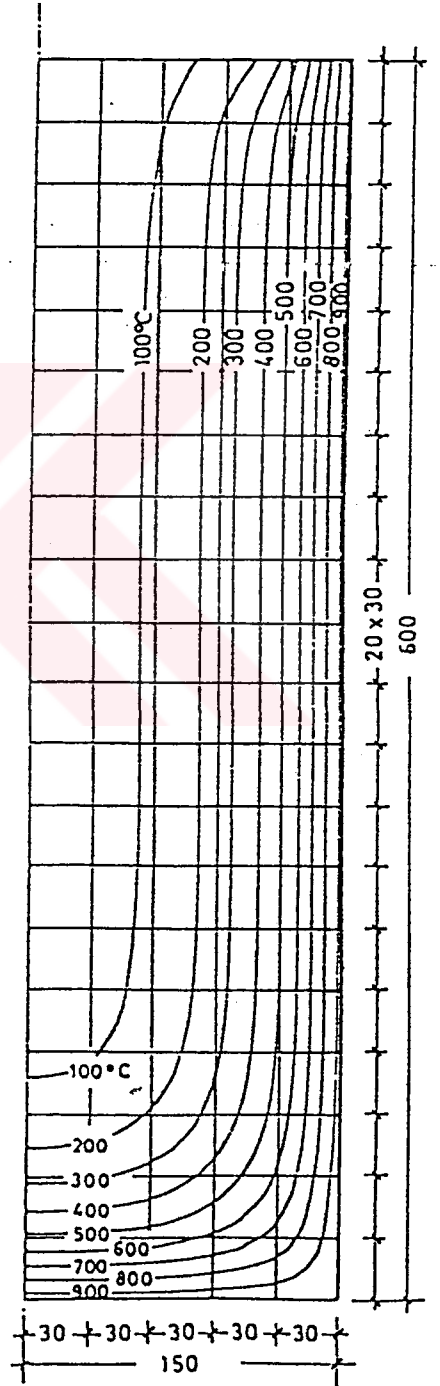
90 dak.



a)



b)



c)

Kiris; Silisli, Dikdörtgen

$$b/h = 300/600$$

Üç yüzünden ISO 834 le etkilenmiş
Süre

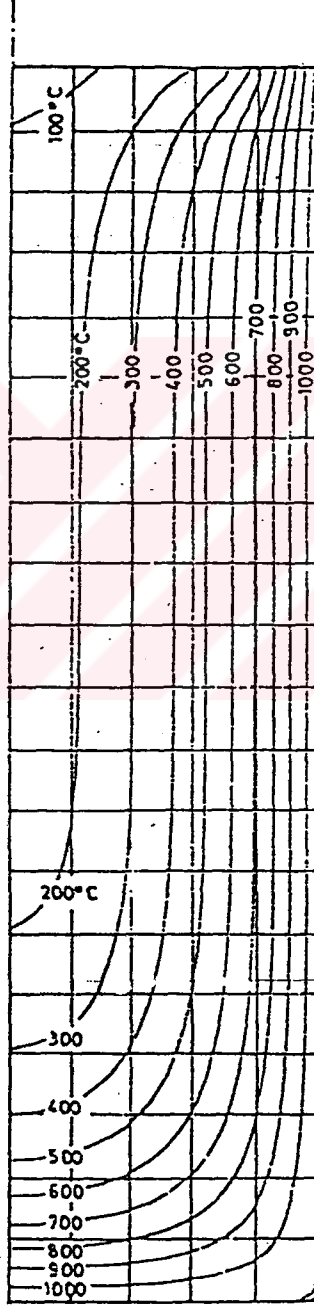
120 dak.

180 dak.

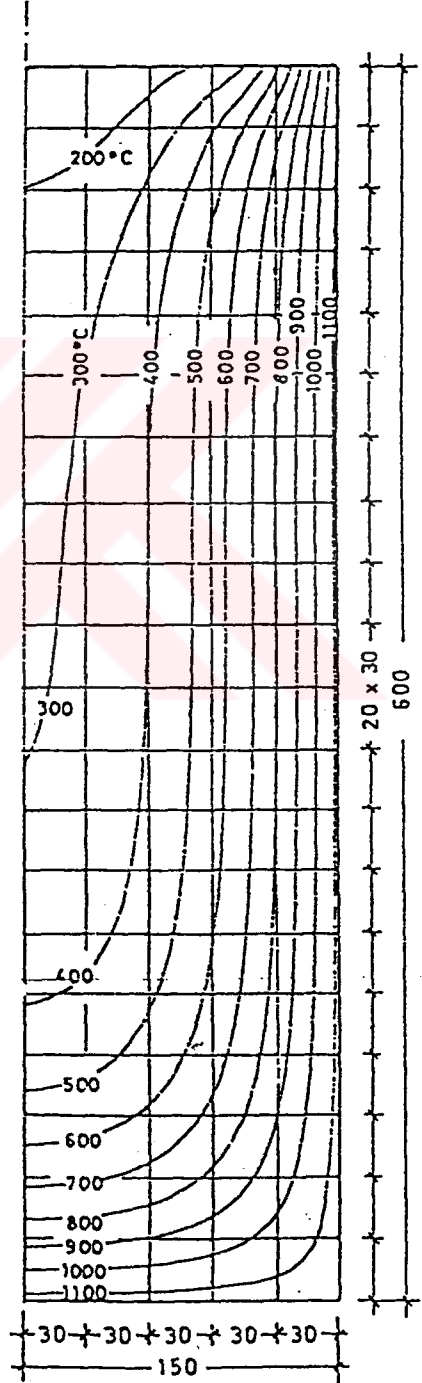
240 dak.



d)



e)



f)

Kolon: Silisli, Kare, $d = 300$ mm

Bütün kenarlarından ISO 834'le etkilenmiş

