

## ENDÜSTRİYEL ÇELİK YAPILARDA FIREPROOF UYGULAMALARI

**Burhan UZBAŞ**

Tüpraş Kırıkkale Rafinerisi, Proje ve Yatırımlar Müdürlüğü, 71001 KIRIKKALE

**ÖZET:** Betonun yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olduğu herkes tarafından bilinmektedir. Betonun kullanım alanlarından birisi de endüstriyel çelik yapılarda yangına karşı dayanımının artırılması amacıyla koruyucu malzeme olarak (fireproof) kullanılmasıdır.

Bilindiği gibi çelik yapı elemanlarının üstün yapısal özelliklerinin yanı sıra, yüksek sıcaklıkta, mekanik özelliklerinde önemli ölçüde kayıplar olmaktadır. Çelik elemanların yüksek sıcaklık etkilerine maruz kaldıklarındaki davranışlarının tam olarak bilinmemesi, boyutlandırma esnasında ya eksik ya da gereğinden fazla malzeme kullanılması gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, çelik yapıların yangın etkisine karşı korunması gerekmektedir. Yangına karşı koruma yöntemlerinin de maliyetlerini artırdığı göz önüne alınırsa bunun ne derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda, çeliğin yüksek sıcaklıklarda davranışının iyileştirilmesi doğrultusunda yapılan çalışmalar oldukça önemli olmaktadır.

Bu çalışmada, çelik yapı elemanlarının yangın etkisine karşı koruma yöntemlerinden biri olan fireproof uygulaması ile ilgili bilgi verilmekte ve uygulama örnekleri sunulmaktadır.

*Anahtar Kelimeler:* Çelik, yangın dayanımı, fireproof.

### Fireproof Applications in Industrial Steel Structures

**ABSTRACT:** It is known by everyone that concrete is commonly used as a construction material. One of the usage areas of concrete is using as protective material in fire resistance applications (fireproof) of industrial steel structures.

As it is known that besides their excellent structural properties, significant losses occur in mechanical properties of steel structure elements at high temperatures. Unknown behavior of steel elements exposed to high temperatures causes problems such as using inadequate or excessive material during design. Because of this steel structures need to be protected against the effects of fire. When it is considered that fireproof applications increase construction costs, its degree of importance comes out. In this regard, studies for improving the behavior of steel at high temperatures are becoming very important.

In this study, information about fireproof application, one of the methods for protecting steel structure elements against effects of fire, is given and application examples are presented.

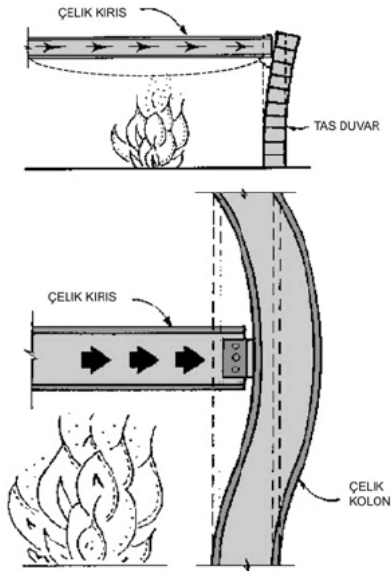
*Keywords:* Steel, fire resistant, fireproof.

### GİRİŞ

Endüstriyel gelişim, daha çok enerji kullanımını, fazla enerji kullanımı da yangın riskini beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla, binalarımız sürekli yangın tehdidi altındadır. Ne kadar önlem alınırsa alınsın, yangın çıkma

olasılığı her bina için söz konusudur (Demirel; Özkan, 2003). Özellikle patlayıcı ve yanıcı maddelerin yoğun olarak bulunduğu endüstriyel tesislerde bu risk daha da artmaktadır.

Herhangi bir malzemeyi kullanırken onun tüm özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Malzemeye ilişkin avantajlı ve sakıncalı karakteristikler gerçekçi bir biçimde ortaya konulabilmelidir. Çeliğin çok sayıda avantajının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan önemli olanı ise, yanıcı olmamakla beraber, ısı yükseldikçe mukavemetinde ve elastiklik modülünde hızlı düşüşler olmasıdır (Yardımcı, 2005; Odabaşı, 1997). Çeliğin yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya başlayarak mukavemetini yitirmesi ve plastikleşmesi (Şekil 1), malzemenin olumsuz yönünü ortaya koymaktadır (Demirel; Özkan, 2003).



**Şekil 1.** Çelik Yapı Bileşenlerinin Yangın Sırasında Davranışı (Demirel; Özkan, 2003).

**Figure 1.** The Behavior of Steel Structural Components under Fire (Demirel; Özkan, 2003).

## KURAMSAL TEMELLER

Çelik, sıcaklığın artmasına paralel olarak dayanımını ve sertliğini kaybetmektedir. Bu konuyla ilgili olarak yapılan deneylere ait sonuçlar Şekil 2 ' de verilmiştir. Bu grafiğe göre, dayanımdaki azalmaların 400 C° ye kadar çok az olmasına karşın, 400–700 C° arasında çok hızlı bir düşüş gösterdiği görülmektedir (Constructing The Future,1996).

Çeliğin bu olumsuz özelliğinden dolayı, çelik yapılar çeşitli yöntemlerle yangına karşı dayanıklı hale getirilmektedir. Bu yöntemlerden

en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de çelik yapının beton malzemesi ile belli bir örtü kalınlığında kaplanmasıdır. Proje tasarımı esnasında bu fireproof betonu hesaplara katılarak boyutlandırmalar buna göre yapılmaktadır. Bu durum, yapılarda ek maliyetler getireceğinden dolayı, bu konuyla ilgili alternatif metotlar ve malzemeler de araştırılmaktadır.

Yangına karşı herhangi bir koruyucu önlem alınmamış bir çeliğin yangın dayanımı yaklaşık olarak 1 saat ile sınırlıdır. Bu değer genellikle maksimum değer olarak alınmakta ve normalde yangın dayanımı daha düşük olmaktadır. Fakat çeliğe çeşitli katkı malzemeleri katılarak bu dayanım artırabilmektedir (Demirel; Özkan, 2003).

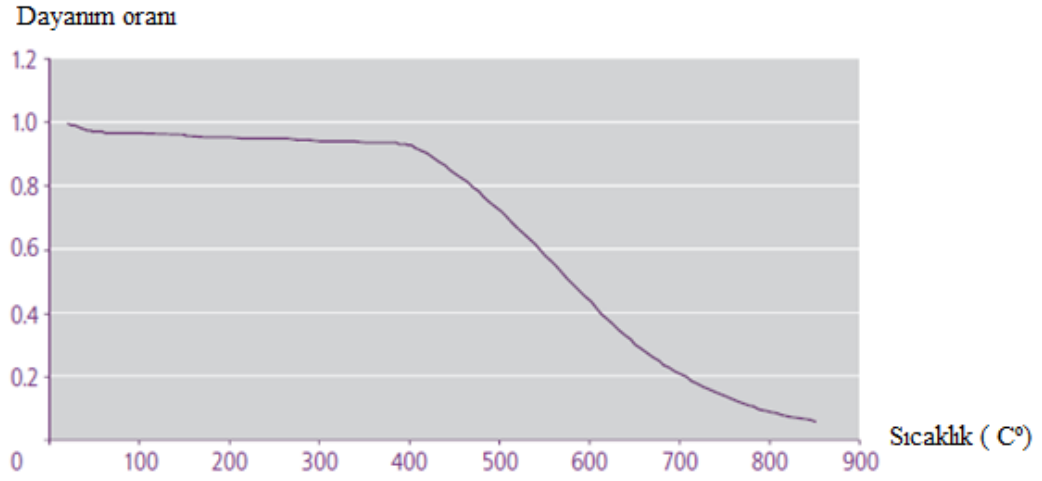
Çeliğin yangına karşı dayanımını artırmak için uygulanan yöntemler genellikle; çevreyi sarma, kutu içine alma, kütleli (gömme kompozit) ve çelik bileşenlerin su dolaşımıyla soğutulması şeklinde yapılmaktadır (Şekil 3).

Kütleli yalıtım genelde çelik profillerin betona gömülmesi suretiyle yapılan yalıtım türüdür (Şekil 3a). Ancak yarı gömme kompozit elemanlar gibi farklı uygulama şekilleri de bulunmaktadır.

Çeliği saran betonun yangın dayanım süresi; betonun içerisine katılan malzemelerin karışım oranlarına ve kullanılan agregaların tipine göre değişmektedir. Karışım olarak içerisinde kil, arduvaz gibi malzemeler kullanılarak elde edilen beton, normal betona göre daha yüksek yangın dayanımına sahiptir (Çizelge 1) (Anon,1993).

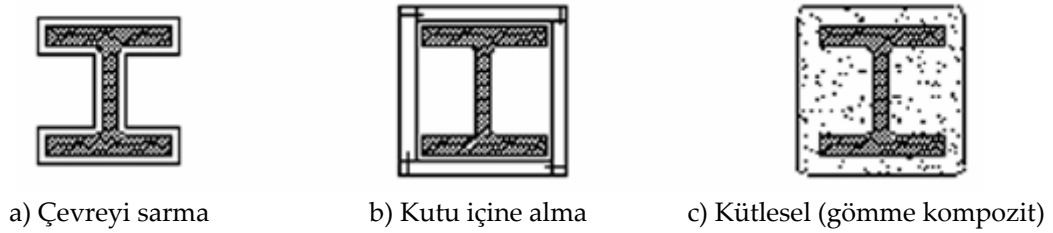
Boşluklu ve hafif agrega ile üretilmiş olan hafif betonların yangına karşı dayanım gösterdiği bilinmektedir. Boşluklu ve hafif agrega ile üretilen hafif betonların sıcaklık artışlarında, kütlelerinde bir hasar olmamasına karşın, normal ağırlıktaki betonlarda 500–600°C sıcaklıklarda, kütlelerinde çöküntüler meydana gelmektedir (Demirel; Özkan, 2003).

Çevreyi sarma türü yalıtım uygulamalarında, çelik yapı elemanlarının ısı ile temas edecek yüzeyleri ısıya karşı dayanıklı bir yalıtım malzemesi kaplanmaktadır. Bu tür uygulamaların başında, nanoteknik ürünlerle yüzeyin kaplanması, ısı karşısında şişen özel boyalarla yüzeyin boyanması ve yüzeye sıva yapılması gelmektedir.



Şekil 2. Çelik Dayanımının Sıcaklıkla İlişkisi (Constructing The Future,1996).

Figure 2. Relationship between Temperature and Steel Strength (Constructing The Future,1996).



Şekil 3. Çelik Yapı Bileşenlerine Uygulanan Yalıtım Türleri (Anon,1993).

Figure 3. Relationship between Temperature and Steel Strength (Anon,1993).

Kutu içine alma türü yalıtım uygulamalarında, çelik yapı elemanları plaka şeklinde ısıya dayanıklı malzemeler ile kaplanmaktadır. Plakların birkaç kat üst üste uygulanmasıyla çeliğin yangına karşı dayanımı artırılabilir. Bu yöntem, uygulama kolaylığı bakımından sıkça tercih edilen yangın koruma metotlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çelik yapı elemanlarının üzerinde, su dolaşımıyla soğutularak yangından korunması metodunda, yangında çeliğe gelen ısı suyu ısıtarak, dolaşım ile çelik elemandan uzaklaştırılmaktadır. Isısını suya veren çeliğin sıcaklığı ise 100-200 °C 'yi geçmemekte ve çelik eleman özelliklerini koruyabilmektedir. Su dolaşımı ile alınan bu yangın güvenlik önleminde, çelik elemanların hesabında, hidrostatik iç su basıncının da dikkate alınması gerekmektedir (Demirel; Özkan, 2003).

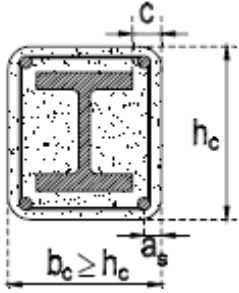
Çelik yapıların yangın dayanımı için en yaygın olarak uygulanan yöntem çelik profilin

tamamen betonla kaplanmasıdır. Bu tür uygulamalarda kompozit elemanın çelik ve beton kısmı, yangın sırasında birlikte çalışmaya başlamaktadır. Betondaki sıcaklığın 300°C'ye çıkmasıyla birlikte dış yüzeydeki beton mukavemetini ve rijitliğini kaybedecek, çelikteki gerilme de artacaktır. Bu nedenle çelik profil, yüksek taşıma kapasitesine sahip olmalıdır. Ancak bu sorun, kompozit elemanda kullanılacak betona belirli sayıda donatı ve etriye konularak çözülebilmektedir. Bu şekilde dış katmandaki betonun dökülmemesi ve çelik ile beton arasında aderans oluşması sağlanacak, dolayısıyla, çok kalın çelik profillerin kullanılması da engellenecektir.

Çizelge 1'de gömme kompozit yapı elemanlarında çeliği çevreleyen beton kalınlığına bağlı olarak belirlenen yangın sınıfları görülmektedir.

**Çizelge 1.** Beton kompozit sistemlerle, yalıtımda kolondaki beton kaplama kalınlıklarının yangın sınıflarına göre belirlenmesi (Anon,1993).

**Table 1.** Determination of column concrete insulation thickness according to fire classifications type for Concrete Composite Systems (Anon, 1993).

	YANGIN SINIFLARI				
	F30	F60	F90	F120	F180
Minimum Kalınlık hc (mm)	150	180	220	300	350
Çeliği Kaplayan Minimum Beton Kalınlığı c (mm)	40	50	50	75	75
Donatı Çeliklerinin, Beton Kaplama Kalınlığı as(mm)	20	30	30	40	50

## MATERYAL VE METOT

Çelik, yangına karşı dayanımı az olmasına rağmen endüstriyel yapılarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, çeliğin

yangına karşı dayanımını artırmak için çeşitli yöntemler araştırmaya ve geliştirmeye yöneltmiştir. Aşağıdaki çizelgede, yangın yalıtım türlerinin sağladıkları yangın dayanım süreleri görülmektedir.

**Çizelge 2.** Yangın yalıtım türleri ve yangın dayanım süreleri (Demirel; Özkan, 2003).

**Table 2.** Types of fire isolation and times of fire resistant (Demirel; Özkan, 2003).

YANGIN YALITIM TÜRLERİ	YANGIN DAYANIM SÜRELERİ				
	F30	F60	F90	F120	F180
KORUMASIZ ÇELİKLER					
BETON KOMPOZİT SİSTEMLER					
SU DOLAŞIMI İLE KORUMA					
TAŞ ve TUĞLA İLE KORUMA					
SIVA İLE KORUMA					
SİSTEMLER					
BOYA İLE KORUMA					
PLAKALAR İLE KORUMA					
KOMPOZİT PANELLER					



Yalıtım türünün rahatlıkla sağladığı koruma.

Yalıtım türünün koruma sağlayamadığı sıcaklık aralığı.

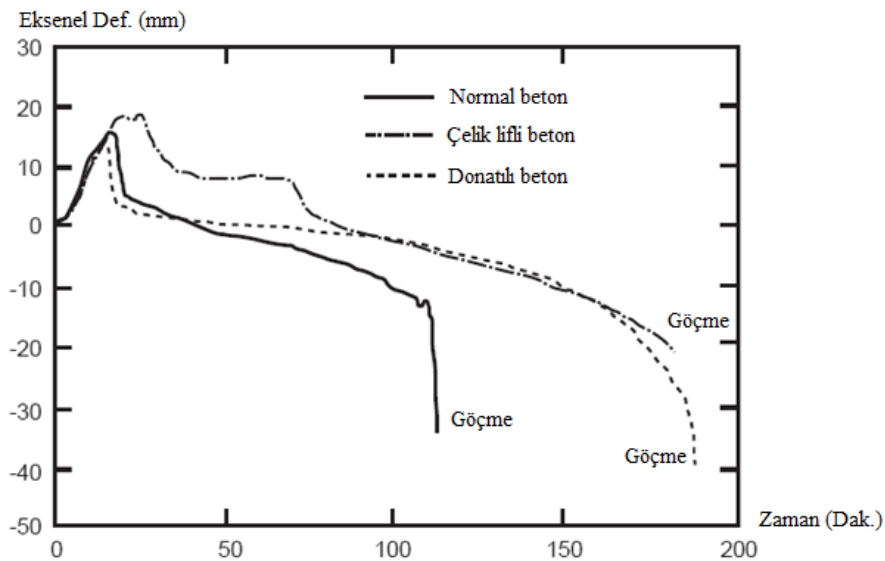
Beton ile sarılmış gömme çelik kompozit kolonların performansının, normal kolonlara göre yüksek olduğu bilinmektedir. Normal oda sıcaklığında yük beton ve çelik tarafından karşılanmaktadır. Kolon yangına maruz kaldığında ilk zamanlarda, çeliğin betona göre daha hızlı genişlemesinden dolayı kolona etki eden yükler çelik tarafından karşılanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yangına maruz kalan çeliğin yaklaşık olarak 20–30 dakika sonra dayanımı azalmakta ve çelik akmaya ve bu noktadan sonra beton yavaş yavaş yükü üzerine almaya başlamaktadır. Beton, bu şartlar altında çeliğin yangına karşı dayanımının artmasına yardımcı olmaktadır (Kodur, 1997).

Normal betonla yapılan fireproof uygulamalarında yangına karşı dayanım genellikle 1–2 saat arasında sınırlı kalmaktadır. Daha uzun süreli bir dayanım ise yük seviyesinin azaltılması ile mümkün olabilmektedir (Kodur, 1997). Ayrıca, betonun içerisine ilave katkı maddeleri (çelik lif vb.) katılarak yangın dayanımını artırmak mümkün olabilmektedir. Şekil 4’de çeşitli beton türlerinin yangına karşı dayanımları görülmektedir (Kodur, 1997).

Fireproof uygulamalarının yaygın olarak uygulandığı endüstriyel tesislerden birisi de,

çelik yapı yönünden zengin olan petrol rafinerileridir. Bu bağlamda fireproof uygulaması, TÜPRAŞ Kırıkkale Rafinerisinde yeni yapılmakta olan Dizel Kükürt Giderme ve Reformer Ünitesi (DHP-CCR) Projesi kapsamında çelik yapılarda ve ekipmanların taşıyıcı etek kısımlarında uygulanmıştır. Uygulama projelerinde, çelik yapıların ve ekipman temellerinin tasarımında, hesap yüklerinde yangına karşı dayanım yükleri de göz önünde bulundurulmuştur. Profil yüksekliği (H) 300 mm den büyük olan kesitlerde profilin kesiti şeklinde bir beton kaplama (çevreyi sarma), 300 mm den küçük profillerde ise dikdörtgen kesit (kütle) şeklinde bir yangın dayanımı artırma sistemi tasarlanmıştır.

Fireproof betonu olarak, Kırıkkale civarındaki bir hazır beton tesisinden temin edilen BS16 kalitesinde beton kullanılmıştır. Beton kalıplar hazırlanmadan önce yangın dayanımı artırılacak çelik yapı elemanı, ilk olarak 2" x 2" lik kaynaklı galvanizli çelik hasırlar vasıtasıyla sarılmıştır. Hasırların çelik elemana montajı, önceden mevcut elemana kaynakla tutturulmuş somunlara bağlantı yapılarak uygulanmıştır.



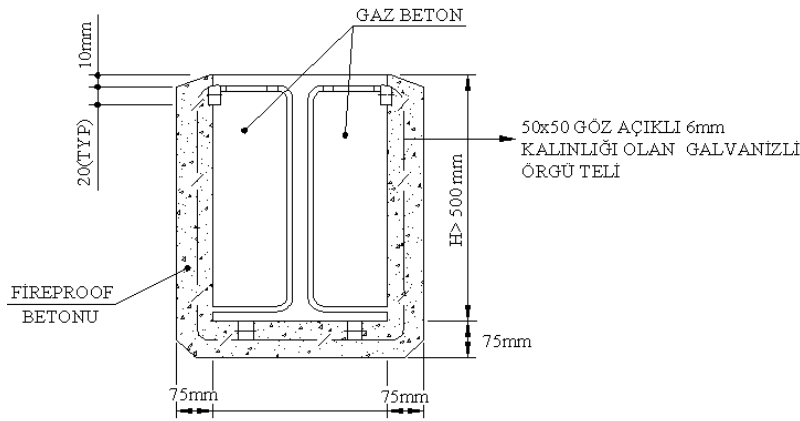
Şekil 4. Çeşitli Betonların Yangına Karşı Dayanımları (Kodur, 1997).

Figure 4. Fire resistants of Various Concretes (Kodur, 1997).

Hasır sarılması işlemi tamamlandıktan sonra kalıplar hazırlanmış ve fireproof betonu dökülmüştür. Teknik şartnamelere göre betonun minimum 28 günlük basınç dayanımının  $140 \text{ kg/cm}^2$  olması istenmektedir (TGPS,2002). Burada fireproof uygulamasında kullanılan beton  $160 \text{ kg/cm}^2$  basınç dayanımına sahiptir.

Uygulamada profilin çevresini sararak kesit şekline uygun bir kalıp yapıp fireproof betonun dökülmesinin zor ve uzun zaman alması gibi sorunlar yaşanmıştır. Bundan dolayı, tüm profillerde çevreyi sarma uygulaması yerine kütle (dikdörtgen kaplama) şeklinde uygulama yapılması yoluna gidilmiştir. Uygulama metodunun değişmesi, çelik elemanlarda yeniden bir tahkik yapılması gerekliliği ortaya çıkarmıştır. Yeni uygulama sistemine göre yapılan hesaplarda, çevreyi sarma uygulaması

yerine kütle uygulamasının yapılması durumunda 500 mm den büyük profillerde kesitlerin yetersiz olduğu ortaya çıkmıştır. Projeleri, yeniden tasarlanmanın imkânsız olması ve çevreyi sarma şeklinde uygulamanın zor olmasından dolayı başka bir çözüm bulunması yoluna gidilmiştir. Bu durumda,  $H=500 \text{ mm}$  ye kadar olan profillerde kütle uygulaması yapılmıştır.  $H=500 \text{ mm}$  den daha büyük kesitlerde ise Şekil 5’ de görüldüğü gibi profilin iç kısmına normal beton yerine gaz beton konularak ağırlığın azaltılması sağlanmıştır. Daha sonra çelik tel sarılmış ve kalıplar hazırlanarak fireproof betonu dökülmüştür. Mevcut problem bu şekilde bir çözüm yoluna gidilerek çözülmüş ve bu uygulama ile kesitlerde yetersizlik sorunu ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 5. Fireproof Uygulaması ( $H > 500 \text{ mm}$ ).

Figure 5. Fireproof application ( $H > 500 \text{ mm}$ ).



Resim 1. Çelik Profillerin Çelik Hasırla Sarılması.



**Resim 2.** Fireproof Uygulanmış Çelik Yapı.



**Resim 3.** Fireproof Uygulanmış Çelik Yapı.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Çeliğin dayanımının yüksek ve depreme karşı dayanıklı olması gibi avantajlarından dolayı gün geçtikçe kullanımı giderek artarak daha da yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte çeliğin en büyük dezavantajlarından biri olan yangına karşı dayanımın az oluşu da büyük önem arz etmektedir ve göz ardı edilmemelidir.

Çelik yapıların yangına karşı dayanımlarının artırılmasında betonla kaplama yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu tip uygulamalarda çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır, bu nedenle daha pratik çözüm yöntemleri bulunabilir.

Çelik yapılar ve ekipman temelleri tasarlanırken mutlaka fireproof yükleri göz önünde bulundurulmalıdır. Fireproof betonu olarak hafif betonların kullanılması yüklerin azaltılmasında faydalı olacaktır. Normal beton uygulanarak yapılan fireproof uygulamasında yetersiz olan kesit hafif beton kullanılarak yeterli hale gelebilmektedir.

Yangına karşı dayanım süresinin artırılmasının (2 saatten daha fazla) gerektiği durumlarla karşılaşıldığında, beton içerisine çelik lif gibi çeşitli katkı malzemeleri katılabilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Anon,1993; International Fire Engineering Design for Steel Structures: State Of the Art. International Iron and Steel Institute, Brussels.
- API, 1996, Publication 2510 A Second Addition.
- Constructing The Future, Issue 29, Summer 2006
- Demirel, Füsün; Özkan, Enis; Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Cilt 18, No 4, 89–107, 2003
- Kodur, V.K.R.; Fire Resistance of Concrete-Filled Steel Columns, National Research Council of Canada, ISSN 1206-1220, May 1997
- Odabaşı, Yalman; Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Betaş Yay., ISBN 975-486-1
- TGPS (TÜPRAŞ General Project Specifications), Rev.0, July 2002
- Yardımcı, Nesrin, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 435 – 2005/1

