



ISSN: 1306-3111/1308-7231  
NWSA-Engineering Sciences  
NWSA ID: 2013.8.3.1A0348

Status : Review  
Received: December 2012  
Accepted: July 2013

**E-Journal of New World Sciences Academy**

**Özlem Eren**

Mimar Sinan Fine Arts University, Istanbul-Turkey  
essiz@msu.edu.tr

**Seher Güzelçoban Mayuk**

Gebze High Technology Institute, Kocaeli-Turkey  
sgmayuk@gyte.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2013.8.3.1A0348>

## **ÇELİK YAPILARIN YANGINA KARŞI KORUNMA YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **ÖZET**

Çelik yapılarda görülen en büyük sorunlardan biri yangına karşı dayanımının az olmasıdır. Bu nedenle çelik yapıların yangın süresince insanların tahliyesinin yapılabilmesi için yapının, güvenli bir şekilde ayakta kalmasını sağlayacak yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aktif ve pasif koruma yöntemleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Aktif yöntemler, yangının başladığı andan itibaren yangını kontrol altında tutarak etkisiz hale getirmek için uygulanan söndürme sistemleridir. Pasif yöntemler ise, yangının oluşabileceği gözönüne alınarak çelik yapı elemanlarında yapılan koruma uygulamalarıdır. Bu önlemlerle birlikte bina tasarlanırken yangın oluşumu gözönünde bulundurularak yangın kaçış noktaları belirlenmelidir. Yönetmelikler; yangın merdivenlerinin yerleşim yerleri, kaçış noktalarına uzaklıkları, malzemelerin yangına dayanım süreleri, kullanım ve uygulama şekilleri vb. ile ilgili belirli kuralları ortaya koymaktadır. Yapılan bu çalışmada; Yangın Yönetmeliği'nin gerektirdiği esaslara uygun olarak, çelik yapıların yangına karşı korunma yöntemleri değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik Strüktür, Yangın Korunumu, Döşeme Sistemleri, Çelik Profil Tipleri, Aktif Ve Pasif Yöntemler

## **EVALUATION OF FIRE PROTECTION METHODS OF STEEL STRUCTURES**

### **ABSTRACT**

One of the most significant problems encountered in steel structures is their insufficient fire resistance. This problem is eliminated by protecting structural steel elements through active and passive protection methods. Active methods are fire extinguishing systems implemented to make fire ineffective by controlling the fire as of its beginning. Passive methods are protective applications designed for steel structures by considering the emergence possibility of fire. In addition to such precautions, fire escape points should be identified during design stage of the building by taking emergence of fire into consideration. Regulations arrange rules regarding locations of fire-escape, their distance to the escape points, etc. In this study, fire protection methods of steel structures are evaluated in compliance with requirements of Fire codes.

**Keywords:** Steel Structure, Fire Protection, Flooring Systems, Steel Section Types, Active and Passive Methods

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelik, ısıyı iyi ileten, ısıya maruz kaldığında enerjinin bünyesinde çok hızlı yayılması sonucu mukavemetini yitiren bir malzemedir. Yangın sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar çelik malzemenin yapısında önemli değişimlere neden olur. Deneyler sıcaklık arttıkça karbon çeliğinde akma sınırının düştüğünü ve belirli bir sıcaklıktan sonra artık akma sınırı oluşmadığını göstermiştir. Çeliğin akma sınırı 400°C civarında emniyet gerilmeleri mertebesine düşer. Çekme mukavemeti 150-300°C'de biraz arttıktan sonra, daha yüksek sıcaklıklarda hızla azalır ve yangın olayı sırasında 600°C sıcaklığında emniyet gerilmesinin altına düşer [1, 2 ve 3]. Çok sayıda avantaja sahip olan çelik yapıların bu dezavantajı çeşitli koruma yöntemleri ile ortadan kaldırılabılır.

Yapılarda yangın güvenliğini sağlamak amacıyla alınacak önlemler, her ülkede, yetkili kurumlarca düzenlenen, şartname ya da yönetmeliklerde belirtilir. Bu anlamda Türkiye'de, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), 2009" esasları uygulanır. Bu esaslara göre, öncelikle yapıların yangına karşı dayanıklı ve yapıda kullanılacak malzemelerin yangın dayanım sürelerinin dikkate alınması gereklidir[1].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Yangına karşı korunmamış yapısal çeliğin yangın direnci yaklaşık 5 dk gibi kısa bir süredir. Bu süre ise, ne çok katlı ne de büyük açıklıklı çelik yapılardan insanların güvenli bir şekilde tahliye edilmesi ve bu süreçte binanın ayakta kalması için yeterli değildir (Şekil 1 ve 2). Dolayısıyla, sürenin arttırılması için pasif ve aktif koruma yöntemleri uygulanmaktadır. Günümüzde, gelişen teknolojiyle birlikte artan yapı malzemelerinin bu yöntemlerin gelişiminde de etkili olduğu gözlenmektedir. Yapılan bu çalışmada; çelik yapıların yangına karşı koruma yöntemleri ve çelik yapı taşıyıcı elemanları, yangına dayanım süreleri açısından birbirleriyle karşılaştırılmış ve incelenerek tasarımcıya rehber olması amaçlanmıştır.



Şekil 1. World Trade Center yangını, Newyork [4]  
(Figure 1. World Trade Center fire, Newyork [4])



Şekil 2. 32 katlı Windsor Kulesi, Yangın öncesi ve sonrası durumu [5]  
(Figure 2. 32 Storey height Windsor Tower, before and after fire [5])

### 3. YANGINDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

Çelik yapılar yangına karşı şu şekillerde korunabilir:

- Özel alaşımlı yapısal çelik kullanarak,
- Çelik elemanların içinden su dolaştırılarak,
- Çelik elemanların üzerine alüminyum-silikat, çimento vb. Karışımli maddeler püskürtülerek,
- Yapısal taşıyıcı elemanların alçı, perlit vb. plakalar veya tuğla ile kaplanmasıyla,
- Çelik yapı elemanlarının beton ile kaplanmasıyla,
- Isı karşısında 70mm kalınlığa kadar hızla genişleyen özel ince boya ile boyanmasıyla [2 ve 5].

Yukarıdaki korunma yöntemleri uygulanmadan önce kullanılacak malzemelerin yangına karşı davranışlarının bilinmesi gereklidir.

Yapı malzemelerinin yangındaki davranışları açısından başlıca özellikleri şunlardır [6, 7 ve 8]:

- Yanıcılık veya yanmazlık grubu
- Isı genişmesi
- Isı iletkenlik katsayısı ve ısıl difüzyon katsayısı
- Mekanik ve ısıl deformasyon yeteneği
- Yangın dayanım sınıfı ve sıcaklığa bağlı olarak gelişebilecek yangın önleme reaksiyonları
- Mekanik mukavemetin ve elastisite modülünün sıcaklık değişimi

#### 3.1. Pasif Yangın Koruma Yöntemleri (Passive Fire Protection)

Yangın sırasında oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle, çelik yapı ürünlerinin boyu, dayanımı ve yük taşıma kapasitesi azalır. Bu olumsuzlukların geciktirilmesi, çelik taşıyıcıların yüzeyinde levha, sprey ya da şişme kaplamalar gibi yangın koruyucuların kullanılması ya da çelik taşıyıcıların yüzeyinde kullanılan ürünlerin, kalınlıklarının artırılmasıyla sağlanır.

Kullanılan bu çözümler, pasif koruma yöntemleri olarak tanımlanır. Pasif önlemler ile ısı ve dumanın yatayda yayılması engellenerek, düşeyde yayılma yönlendirilir. Bu amaçla; yangın duvarları, yangın kapıları, yangın damperleri vb. kullanılır. Aynı zamanda bu yolla, yangının diğer alanlara yayılması önlenir.

### 3.1.1. Çelik Profil Başlıklarının Aralarının Doldurulması (The Fill of Steel Profile Title Breaks)

Çelik yapı elemanlarının kısmen veya tamamen beton ile kaplanmasıyla yangına dayanıklılıkları arttırılır (Şekil 3). Kullanılan beton kalınlığı 40 mm olmalıdır. Kullanılan betonun içerisinde bulunan karışım oranlarına ve kullanılan agrega çeşidine bağlı olarak yangına dayanım süresi artmaktadır. Betonun içerisine kil, arduvaz gibi malzemeler katılarak yapılan beton, normal betondan daha fazla yangına dayanıklıdır. Ancak, bu özelliklerdeki betonun da istenen mukavemeti karşılamadığı görülebilir. Bu durumlarda, tel kafes veya tel etriye kullanılarak betonun mukavemeti arttırılabilir (Tablo 1). Bu uygulama ile kolonun üzerine etkiyen yükün miktarına bağlı olarak 120 dk veya daha fazla yangına karşı dayanıklılık sağlanır. Bu uygulama yangın sırasında yapının mukavemetini arttırdığı için de çok katlı yapılarda daha fazla uygulanmaktadır (Şekil 3) [8 ve 9].

Bütün beton kaplamalı uygulamaların bina ağırlığını önemli ölçüde arttırdığı unutulmamalıdır.

Tablo 1. Min kalınlıkta beton korumalı kesit verileri [10]  
Table 1. Min thickness of concrete sectional protection data [10]

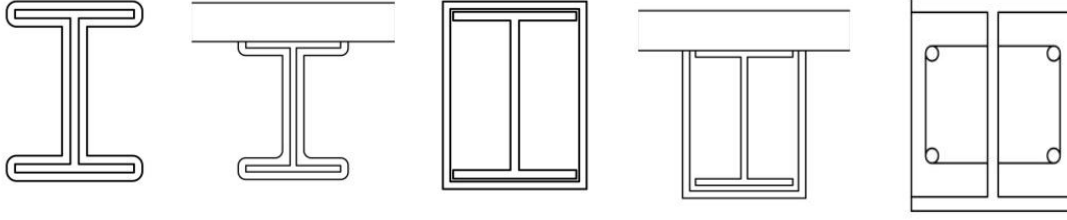
|                      |    |    |     |     |     |
|----------------------|----|----|-----|-----|-----|
| Yangın dayanımı (dk) | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 |
| Min kalınlık (mm)    | 25 | 30 | 40  | 50  | 60  |

### 3.1.2. Çelik Kutu Profillerin İçinin Betonla Doldurulması (The Steel Box Profiles by Concrete Filled)

İçi boş çelik kutu profillerden yapılan kolonlar, beton ile doldurularak yangına dayanıklı hale getirilir. Kolonların içindeki beton yangın sırasında ortaya çıkan yüksek ısı nedeni ile mukavemetini yitiren çelik kolonun üzerine gelen yükleri taşımasına yardım eder. Betonun bünyesinde bulunan su, betonun çelik gibi hızla ısınmasını önler. Bu durumsa, çeliğin daha dayanıklı hale gelmesini sağlar. Yangına dayanım daha da arttırılmak isteniyorsa, kutu kesitli çelik kolonun içine dökülen beton, donatılı yapılır. Böylece, çelik kolonun donatısız betonla kullanıldığında yangına dayanım 60 dakikaya varırken, donatılı beton kullanıldığında bu süre daha da artmaktadır [8 ve 11].

### 3.1.3. Püskürtme Sıva ile Yalıtım (Insulation with Spray Coating)

Bu koruma yönteminde, koruyucu malzeme karışımı, çelik elemanların yüzeyine özel aletlerle basınçlı olarak püskürtülmektedir (Şekil 3). Uygulaması hızlı olan bu yöntem, diğer yöntemlere göre daha ekonomiktir. Kolon, kiriş ve kafes kirişlerin, her çeşit profil kesitlerinde ve karmaşık birleşim detaylarında uygulama kolaylığına sahiptir. Ayrıca, yapı elemanlarının üzerinde bağlantı parçalarına gerek duyulmaması, uygulamanın önemli bir diğer avantajıdır. Püskürtülen malzemeler; çimento esaslı karışımlar ve mineral lifli malzemeler (vermükulit, perlit, mineral ya da cüruf lifler) olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır. Bu malzemelerin çelik yüzeyine tutunabilmeleri için, yüzeyin zımparalanmış ya da kumlanmış olması gerekir. Yapı elemanına, koruma katmanının 10-60 mm arasında uygulanmasıyla 2-4 saat arasında yangın dayanım düzeyi elde edilebilir. Yangın dayanım süresinin 4 saat olması için koruma katmanı kalınlığı 40-60 mm arasında olmalıdır. Bu durumda, koruma katmanının kalınlığı arttığı için, güvenlik açısından ince tel veya başka malzemeden hasır elemanı kolonun üzerine serilerek koruma uygulaması gerçekleştirilmelidir [8 ve 10].



Şekil 3. Kısmen veya tamamen kaplanmış kiriş ve kolon uygulamaları  
(Figure 3. Partially or completely covered beam and column applications)

#### 3.1.4. Taşıyıcı Elemanları Kaplama (Covering Load Bearing Elements)

Yapısal çeliği korumak için genelde dört çeşit levha ürünü kullanılır:

- Kalsiyum silikat ve çimento bazlı plaklar,
- Taş yünü plakalar,
- Mineral fiber levha ve
- Alçı plakalar.

Yangın plakları ile yalıtım, uygulama kolaylığı ve yangın dayanımında gösterdikleri performans nedeni ile, çelik yapı elemanlarının yangına karşı korunmasında sık uygulanan bir yöntemdir. Bu koruma yönteminde kullanılan malzemeler; alçıtaşı, taş yünü, perlit ve vermikülit gibi A1 sınıfı hiç yanmaz yapı malzemeleri olup, istenilen tüm dayanım süreleri, kalınlık ve içindeki malzeme bileşenleri aracılığı ile sağlanır [12 ve 13].

Kalsiyum silikat ve çimento bazlı plaklar; İyi bir yangın dayanımına sahip olmakla birlikte bu plakların kalınlıklarının 12 mm'den küçük seçilmesi halinde, yangın korumasında etkili olmamaktadır [13 ve 14].

*Taş yünü plakalar;* İyi bir yangın dayanımına sahip olup, ek yerlerinin doğru detaylandırılmaması halinde ise, performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Yoğunlukları en az 60kg/m<sup>2</sup>, kalınlıkları ise 40 mm'den az olmamalıdır [13,14].

*Alçı plaka;* çelik yapı elemanları plaka şeklindeki alçı yalıtım elemanları ile kaplanarak yangına dayanımları arttırılır.

Alçı plakalar, %21'i su, %79'u kalsiyum sülfat olan alçı ile üretilmektedir. Yoğunluğu 700-1000 kg/m<sup>3</sup> olup, ısı iletkenliği ise 0.24 W/Mk'dir. Alçı plakaların yangın yalıtımında kullanılmalarının en önemli nedeni; yangın sırasında levhaların bünyesindeki suyun buharlaşması ve serbest kalması için yüksek ısı enerjisine gereksinim duymalarıdır [13 ve 14].

Yangına dayanım süreleri; kullanılan kaplama türüne, kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Bu uygulamalarda dikkat edilmesi gereken plakalar arasındaki birleşim yerlerinin üst üste getirilmemesidir. Bu sebeple, plakalar şaşırtılarak yerleştirilmeli, ek yerlerine de aynı cins malzeme ile sıva yapılmalıdır [9 ve 10]. 15-50 mm kalınlığında değişen özel levha çeşitleri, kalınlıkları ile ilişkili olarak, çelik yapı elemanlarının 30-120 dk'ya kadar yangına dayanıklılık göstermesini sağlar. Alçı ve perlit karışımları, sadece 1-2 saat yangın dayanımı sağlayabilmektedir. Buna karşın, kum yerine perlit ve vermikülit kullanılan karışımlarda ise, daha yüksek yangın dayanım süreleri elde edilebilmektedir [13 ve 14].

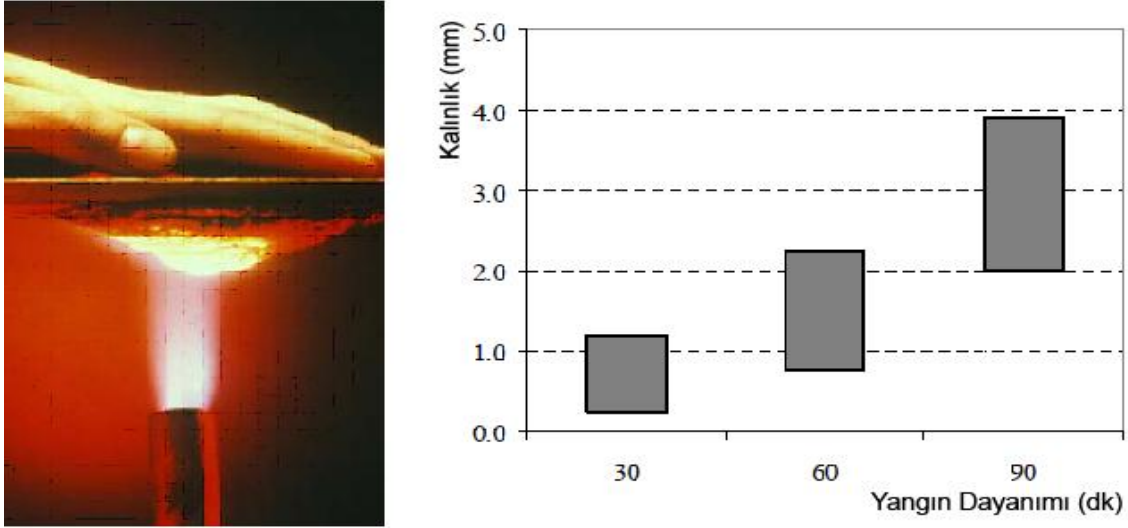
Fireboard, cam elyafı yanmayan katmanlardan meydana gelmiş, her iki yüzeyi de kalsiyum sülfat ile kaplanmış, 3 saate kadar yangın dayanımı sağlayan, üzerinde kağıt olmayan özel bir Alçıpanel çeşididir. DIN 4102-1'e göre; A1 sınıfı hiç alev almaz bir yapı malzemesi olarak diğer tüm Alçıpanel çeşitlerinden ayrılmaktadır. Bu özelliği ile, minimum kalınlıklarda maksimum yangın emniyeti sağlanabilmektedir (Table 3) [15 ve 16].

Tablo 3. 30-180dk yangına dayanım için fireboard levhaların kalınlıkları[14]  
(Table 3. Fireboard thicknesses for 30-120 mn fire resistance [14])

| Yangına dayanım süreleri | 30dk | 60dk | 90dk | 120dk | 150dk | 180dk |
|--------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Min Kalınlık             | 20mm | 30mm | 40mm | 50mm  | 60mm  | 70mm  |

### 3.1.5. Sıcakta Şişen Boyalar ile Yalıtım (Insulation by Heat-Swellable Coatings)

Çelik yapı elemanlarının üzerine yüksek sıcaklıkta şişen boyalar sürülerek de yangına dayanım süreleri arttırılabilir. Kullanılan boya, yüksek sıcaklıkta şişer ve şişen gözenekli bölüm yalıtım görevini yerine getirir. Uygulamada çelik iskelet görülmek isteniyorsa bu yöntem uygulanabilir [8]. Çelik yapı elemanlarının üzerine boya uygulanmadan önce, yüzeyin çok iyi temizlenmiş olması gereklidir. Pistole ya da rulo fırça kullanılarak yüzeye uygulanır. Levha ve püskürtme kaplamaların tam tersine, şişme kaplamalar yangın sırasında aktifleşir ve kaplamaların boyutlarında değişiklik gözlenir. Kaplama kalınlığı, ilk haline göre 50 kat daha büyür ve rengi de kömürleşir. Şişme kaplamalar, astar, şişme kaplama ve yüzey kaplaması şeklinde üç katmandan oluşur. Bu boyalar ince ve kalın tabaka oluşturan boyalar olarak iki gruba ayrılır. İnce tabakalı boyalar genellikle solvent veya su bazlıdır. 0.25 ile 1.0 mm arası kalınlıkta 30 dk, 5.0-6.0 mm kalınlıklarında 120 dk yangına direnç sağlanır. Kalın tabakalı boyalar genellikle epoksi bazlıdır. 2.0-4,0 mm arasında 30dk, 15-20 mm arasındaki kalınlıklarda 120 dk yangın dayanımı elde edilir (Şekil 4).



Şekil 4. Sıcaklıkta şişen boya uygulamaları [6]  
(Figure 4. Temperature intumescent coating applications [6])

### 3.1.6. Kolonların Su Donanımı ile Yangından Korunması (Columns Fire Protection by Water Supply)

Mimari açıdan çelik yapı elemanlarının kaplamasız kullanılması istendiğinde boru ya da kutu en kesitli içi boş elemanların içinden su geçirilerek yangına dayanım sağlanması bir diğer korunma yöntemidir. Kolonların içinden dolaşan su yangında çeliğe geçen ısının bir kısmını alarak ısınır. Bu şekilde çelik kolonların ısınması önlenir (Şekil 5) [5 ve 9].



Şekil 5. Çelik kolonların içinden su dolaştırılarak yangına dayanımın sağlanması [5]  
(Figure 5. The examples of water circulation inside steel columns [5])

### 3.2. Aktif Yangın Koruma Yöntemleri (Active Fire Protections)

Aktif önlemlerden amaç, soğutma ve söndürme çalışmaları ile taşıyıcı elemanların ısıya karşı korunması ve yangının söndürülmesidir. Sprinkler sistemi dünyada en yaygın kullanılan sistemlerdir.

#### 3.2.1. Dedektör ve Alarmlar (Detectors and Alarms)

Herhangi bir yangın sırasında dedektör ve alarmlar, ısı, duman ve alevi algılayarak, yapı kullanıcılarını uyarır ve kullanıcıların yapıdan uzaklaştırılmaları sağlanır (Şekil 6).

#### 3.2.2. Sprinklerler (Sprinklers)

Bir yapının yangına karşı korunmasında en yaygın kullanılan sistem sprinkler sistemidir. Sprinklerler, yangını, tutuşma anında ya da tutuşmadan kısa bir süre sonra etkisiz hale getirmeye yarayan araçlardır. Bu araçlarda, uçucu bir sıvı içeren ve normal koşullarda, suyun püskürmesini önleyen cam bir ampul bulunur. Yangın sırasında, ısınan sıvı genişler, camı kırar ve bu yolla aktifleşen sprinkler başlığından sıvının püskürtülmesi sağlanır (Şekil 7).



Şekil 6. Yangın dedektörü ve alarmı [5]  
(Figure 6. Fire detection and alarm [5])



Şekil 7. Sprinkler ve aktivasyonu [5]  
(Figure 7. Sprinklers and its activation [5])

### 3.2.3. Gaz, Toz ve Köpük Kullanımları (Gas, Dust and Foam Uses)

Fabrika, hangar gibi büyük açıklıklı yapılarda yangın söndürme işlemi gaz, toz ve köpük sistemi kullanılarak yapılır. Bu uygulama ile 2-3 dk gibi çok kısa bir sürede yapı köpük, toz ile doldurularak yangın önlenir.

### 3.2.4. Kompartman Oluşturulması (Creating a Compartment)

Yangın yönetmelikleri, yapının taşıyıcı sistem malzemelerinin, yangın sırasında insanların güvenli bir şekilde tahliye edilebilmesini sağlayan çeşitli yöntemler ortaya koymaktadır. Bunlardan biri yangın sırasında açığa çıkan dumanın diğer mekanlara yayılmasını önlemek için kompartımanlar oluşturulmasıdır. Bu şekilde insanların zehirli gazlardan etkilenmemeleri sağlanır. Yangın kapıları ya da biriken dumanı otomatik/manuel açılan vantilasyon kapakları ile dışarı atmaya yarayan yangın damperleri, yapıya yerleştirilmelidir. Yapı tasarımında yangın kapılarının 12 m'de bir konulmasına dikkat edilmelidir. Bu mesafe yapının güvenli bir şekilde boşaltılması açısından gereklidir [5, 9 ve 10].

## 4. DİĞER YÖNTEMLER (OTHER METHODS)

Çelik yapılarda kullanılan yangın koruma yöntemlerinden bir diğeri de, yapıların ilk yapım aşamasında yangına dayanıklı olarak üretilmesidir. Pasif yangın koruma ürünlerinin maliyetleri düşünüldüğünde ek uygulama gerektirmeyen, alternatif çelik taşıyıcı sistemlerin gelişmesini sağlamıştır. Bu sistemler; kompozit döşemeler, bütünleştirilmiş kirişler, kısmen kaplanmış kolon ve kirişler, çelik dış iskelet ve birleşik kirişler vb'dir.

### 4.1. Döşemeler (Floors)

Döşemeler, yangında en çok sıcaklığa maruz kalan yapı elemanlarıdır. Kompozit döşemelerde yangın dayanım süresi 120 dk'ya kadar çıkabilmektedir. Ancak bu süre seçilecek trapez döşeme şekline ve döşeme derinliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Basit şekilli trapez döşemelerde taşıma kapasitesine bağlı olarak yangın dayanım süresi 60 dk olmakla birlikte, özel yapım kırılma tipi kompozit döşemelerde ise çelik levhanın üst flanjlari ateşe doğrudan maruz kalmadığı için yangın dayanım süresi 90 dk'ya inebilir (Tablo 4) [17, 18, 19 ve 22].



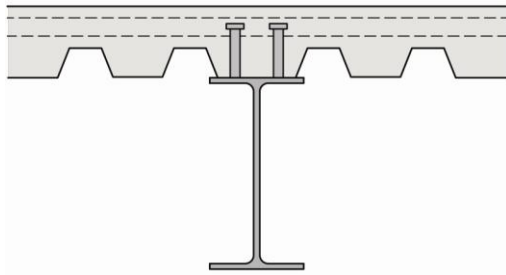
Tablo 4. Yangın sınıflarına ve farklı çelik türlerine göre taş yününün uygulama kalınlıkları [13 ve 15]

Table 4. Fire classes and types of different steel thicknesses of stone wool applications [13 ve 15]

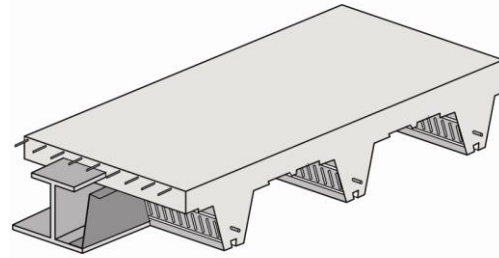
| Yangın Sınıfı | Çelik Türü             | Taş Yünü Yalıtım Kalınlığı (Mm) |
|---------------|------------------------|---------------------------------|
| F60           | HE 100A-HE 220A        | 40                              |
|               | HE 240 A ve daha fazla | 20                              |
|               | HE 100B-HE 140B        | 40                              |
|               | HE 160B ve daha fazla  | 20                              |
| F90           | HE 100 A- HE 200 A     | 60                              |
|               | HE 220A ve daha fazla  | 40                              |
|               | HE 100B- HE 140 B      | 60                              |
|               | HE 160B- HE 360B       | 40                              |
| F120          | HE 220 A-HE 360A       | 60                              |
|               | HE 400A ve daha fazla  | 40                              |
|               | HE 160 B -HE 260 B     | 60                              |
|               | HE 280B- ve daha fazla | 40                              |

#### 4.1.1. Kompozit Döşeme (Composite Floor)

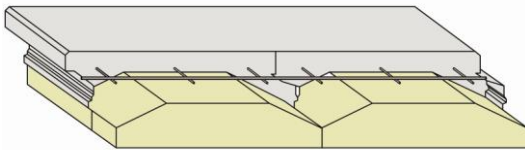
Önyapımlı betonarme döşemeler, yeterli donatı ve detay çözümünün sağlanması durumunda, hiçbir çelik yapı elemanı ile ilişkili değilken, 120 dk'nın üzerinde bir yangına dayanıklılık süresine sahiptir. Öte yandan, çelik bir kirişin üst başlığına bağlı olarak uygulanan bir önyapımlı betonarme döşemenin yangına dayanıklılık süresi daha kısadır. Bu durum, çelik ve betonarmenin yangın sırasında aynı gerilmelere sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, çok katlı yapılarda, önyapımlı betonarme döşemelere alternatif olarak, çelik tabliyeli kompozit döşemeler kullanılır. Kompozit döşemeler, trapez ya da girintili profillerden oluşan çelik tabliyelerin üzerine, beton dökülmesiyle oluşturulur. Kompozit bir döşemde kullanılan betonda, döşeme tabliyesindeki gerilmeler ve betondaki genişleme ve büzülme nedeniyle oluşabilecek çatlakları kontrol etmek üzere, döşeme lif ya da donatılarla güçlendirilir. Bu yöntemle aynı zamanda, döşemenin yangın koşullarında yıkılması ve çökmesine karşı da önlem alınmış olunur. Tablo 5 ve 6'da kompozit döşemelerdeki min beton kalınlıkları verilmiştir (Şekil 8).



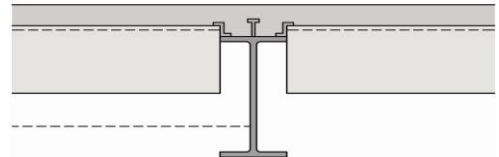
Kompozit Döşeme



Slim Döşeme



Cofradal döşeme



Hoesch döşeme

Şekil 8. Kompozit döşeme çeşitleri  
Figure 8. Composite floor types

Tablo 5. Kompozit döşemelerdeki betonun minimum kalınlığı [5]  
(Table 5. Min thickness of concrete at composite floor [5])

| Yangına Dayanım Süresi (dk) | Trapezoidal Tavan      |                       | Yivli Çelik Tavan      |                       |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|                             | Normal Ağırlıklı Beton | Hafif Ağırlıklı Beton | Normal Ağırlıklı Beton | Hafif Ağırlıklı Beton |
| 60                          | 70                     | 60                    | 90                     | 90                    |
| 90                          | 80                     | 70                    | 110                    | 105                   |
| 120                         | 90                     | 80                    | 125                    | 115                   |

Tablo 6. Kompozit döşemelerde açıklık ve derinlikler [13 ve 15].  
Table 6. Span and Width size at composite slabs [13 ve 15].

| Gerekli Yangına Dayanım Süresi (dk) | Trapezoidal Tavan |             |               |             | Yivli Çelik Tavan |             |               |             |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------|-------------------|-------------|---------------|-------------|
|                                     | Tek Açıklık       |             | Çok Açıklık   |             | Tek Açıklık       |             | Çok Açıklık   |             |
|                                     | Derinlik (mm)     | Açıklık (m) | Derinlik (mm) | Açıklık (m) | Derinlik (mm)     | Açıklık (m) | Derinlik (mm) | Açıklık (m) |
| 60                                  | 140               | 3.8         | 140           | 4.2         | 101               | 3.0         | 101           | 3.4         |
| 90                                  | 150               | 3.1         | 150           | 3.3         | 105               | 2.9         | 105           | 3.3         |
| 120                                 | 160               | 3.1         | 160           | 3.4         | 115               | 2.4         | 115           | 2.9         |

#### 4.1.2. Prekast Döşemeli Çelik Kirişli Döşeme (With Steel Beam Precast Slabs)

Prekast paneller çelik kirişlerin üst flanjlari tarafından veya köşebentler ile taşınır. Köşebentler kiriş gövdesine kaynaklı ya da bulonlanmıştır. Köşebentler tüm döşeme derinliğinin azaltılması için kullanılır. Güvenli bir şekilde üniteleri taşıyan tavsiye edilen min üst flanj-üst başlık boyutu 180 mm'dir.

En ekonomik ızgara boyutları 6-75 m uzunluklarında, genellikle 150-200 mm kalınlığındadır. Açıklıkları geçmede kullanılan kirişlerin derinlik oranı 15, min başlık genişliği 180 mm (min IPE400) kullanılmalıdır. Taşıyıcı köşebentler kiriş başlığından en az 50mm aşağıda olmalıdır. Çelik türü olarak S235-S460 kullanılması uygundur. 7.5 m'lik bir ızgarada döşeme kalınlığı asma tavan dahil yaklaşık 800 mm'dir.

#### 4.1.3. Cofradal 200 Döşeme Sistemi (Cofradal 200 Floor System)

Döşeme panelleri 600 mm genişliğinde 200 mm derinliğindedir. Elemanlar çelik kiriş ve tabla betonundan yapılır. Tabla betonu hafif betondan yapılır. Bu döşeme sistemi yapım yerinde geçici bir kalıba gerek duymaktadır. Cofradal 200 döşeme sisteminde galvanizli profilli çelik levha mineral yün ile doldurulur. Mineral yün döşemeler arasında ısı yalıtımı sağlar. 120 dakikaya kadar yangına dayanım ve akustik yalıtım sağlar. Normal beton C25/30, çelik levhalara kaynaklı güçlendirme donatıları ile dayanımları arttırılır. Bu birleşim beton ve çelik arasında kompozit davranış sağlar. Konstrüksiyon derinliği 200 mm ve döşeme ağırlığı 2kN/m<sup>2</sup>. Panel genişliği 600 mm'dir, fakat 1200 mm genişlikleride bulmak mümkündür (Şekil 8).

#### 4.1.4. Hoesch Döşeme (Hoesch Floor)

Hoesch döşeme genellikle otoparklarda ve çok katlı ticari yapılarda kullanılır. Döşeme 200 mm derinliğinde çelik tavanın güçlendirme donatıları ve tabla betonundan yapılır. Çelik tavan kiriş flanjlari arasına yerleştirilir böylece döşeme yüksekliği önemli ölçüde azalır. Bu tip döşemelerin taşıyıcı kirişleri olarak I kesitli, petek kirişler vb kullanılır. Döşeme açıklığı 5.5 m'dir. Kirişlerde S235 veya S275 çelik kullanılır. Döşeme de ilave güçlendirme yapılarak 90 dk yangına dayanım sağlanır (Şekil 8).

#### 4.1.5. Slimline Döşeme Sistemi (Slimline Floor System)

Bu sistemi ilk uygulayan Corus firmasıdır. İki çeşit Slimflor konstrüksiyon mevcuttur (Şekil 8).

- Kirişler arasını geçen tabla betonlu ya da tabla betonsuz prekast beton döşeme
- Kirişler arasını geçen monolitik kompozit döşeme oluşturan yerinde dökme beton döşeme

Kirişin alt başlıkları arasını çelik trapez levha geçer ve döşemeyi taşır. Açıklık düzenlemeleri normal olarak 6-9 m ızgaralarında düzenlenir, döşeme derinliği 280-350 mm arasında değişir. Tavan 225 mm derinlikteki asimetric (ASB) kirişler 600 mm aralıklarla yerleştirilir. Bütün döşeme derinliği genel olarak 290-350 mm arasında değişir bu kalınlık döşeme titreşim etkileri, yangına dayanımı ve akustik yalıtıma bağlı olarak belirlenir. Slimdek ekonomi ve servislerin bütünleştirilmesi kolaydır. ASB kesitli kirişlere ilave tedbir olmadan 60 dk yangına dayanım sağlar. Kenar kirişler, alta, ASBs veya flanş plakası kaynaklı dikdörtgen boşluklu kesitli (RHS) biçiminde olabilir.

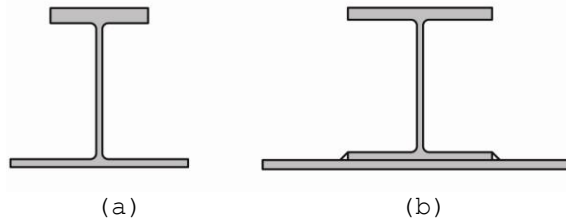
ASB kesitler 6x6 m, 7.5x6 m ve 7.5x7.5 m'lik döşeme ızgaralarına göre tasarlanır ve 60 dk'ya kadar yangına dayanıklı olduğu için ek yangın koruyuculara ihtiyaç yoktur. ASB kesitler 280-300 mm iki dizi seride yapılır.

#### 4.2. Kirişler (Beams)

Kompozit kirişlerdeki yangına dayanım süresi; uygulama çeşitliliğine göre farklılık göstermektedir. Döşemenin altında, tamamen açıkta kalan kirişlerin koruma süreleri sınırlıdır. Yangın dayanımını arttırmak için kirişi tamamen ya da kısmen betonun içine yerleştirmek dayanım süresini arttıracaktır [20,21].

##### 4.2.1. Bütünleşik Kirişler (Integrated Beams)

Bütünleşik kirişlerde, çelik kirişler, döşemeyi sadece üst başlıkları ile taşımaz. Çelik kirişler, yerinde dökme ya da önyapımlı betonarme döşemenin yüksekliğinde, döşeme içinde kalır ve döşeme sisteminin bir parçası durumuna gelir. Böylece tüm çelik kesiti, alt başlığı dışında, kendisini çevreleyen beton tarafından yangına karşı yalıtılmış olur. Öte yandan, bu şekilde çelik kirişlerin tamamının betonarme içinde kalmasıyla, döşeme ve kiriş yüksekliklerinin toplamından oluşacak olan döşeme elemanı yüksekliği de azalmış olur. Bununla birlikte; asimetric çelik kiriş (ASB) ve bütünleşik üretilmiş kiriş (IFB) olmak üzere, iki çeşit açık kesitli bütünleşik kiriş vardır (Şekil 9).



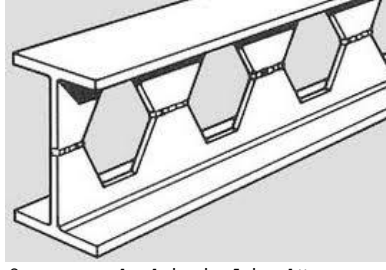
Şekil 9. Bütünleştirilmiş döşeme kirişleri a.IFB, b.SFB  
(Figure 9. Integrated floor beams a.IFB, b.SFB)

Bütünleşik kirişler, genellikle, herhangi bir yangın koruyucu kullanılmadan, 60 dk üzerinde bir yangın dayanıklılığı gösterir. Öte yandan, kirişlerin boydan boya ek bir betonarmenin içine alınması durumunda, korunmasız olarak sadece kiriş alt başlığının bulunduğu bir sistemin 90 dk yangın dayanıklılığı göstermesi mümkündür.

##### 4.2.2. Boşluklu Kirişler (Open Web Beams)

Modern kesme veya üretim teknikleri kirişlerin uzunluğu boyunca alev makinesi ile kesilip uc uca kaynaklanması ile boşluklu kirişler üretilir. Geçmişte altıgen boşluklu kastella kiriş üretimi mevcut iken günümüzdeki modern

teknikler ile dairesel boşluklu (petek) dikdörtgen kirişler yapılabilir. Bunlar boşluklu kirişler olarak bilinir ve genellikle büyük açıklıklarda kullanılır (Şekil 10).



Şekil 10. Petek kirişli döşeme sistemi  
(Figure 10. Open web floor system)

Petek kirişler doğrudan döşeme elemanlarını taşıyarak tali kirişlerin uzunluğuna diğer petek kirişleri ya da I kesitli ikincil kirişleri taşıyacak şekilde düzenlenir. Petek kirişlerin geçtikleri açıklık 10-18 m tali kirişler 3-4 m açıklık ve ana kirişler 9-12 m açıklık geçmektedir. Tali kirişler tavan döşemesinin kalıp gerektirmemesi için 2.5-4 m aralıklarda yerleştirilir. Bütün çelik kesitlerin derinliği tali kirişler için açıklık/22, ve ana kirişler için açıklık/18'dir. S355 petek kirişler için tavsiye edilir. Bu tip kirişlerde yangına dayanım, şantiyede 1.5-2 mm kalınlığında püskürtme kaplama ile sağlanır. Ek yangına dayanım önlemleri gerekebilir.

#### 4.2.3. Kısmen Kaplanmış Kiriş ve Kolonlar (Partially Encased Beams and Columns)

Kısmen kaplanmış bütünleşik kirişler ya da kolonlar, I kesitli çelik taşıyıcıların, üst ve alt başlıkları arasında kalan boşluklarının, düz ya da donatılı beton kullanılarak doldurulmasıyla yapılır. Sadece 15 dk bir yangına dayaklılığı olan korunmasız I kesitlerle karşılaştırıldığında, kısmen kaplanmış olan kirişlerin yangına dayanıklılıkları 60 dk'nın üzerindedir. Bu süre de, çoğu çok katlı yapı için gerekli olan yangına dayanıklılık süresini karşılar. Yangına dayanıklılık süresinin arttırılabilmesi, çelik taşıyıcıların daha fazla yüzeyinin, ısıya karşı dayanıklı olan betonla kaplanmasına bağlıdır. Bununla birlikte, beton içine yerleştirilmiş olan donatı miktarının artırılması ve çelik en kesitlerinin büyütülmesi ile yangın sırasında çeliğin boyunda oluşabilecek kayıpların karşılanması sağlanır.

Tablo 7'de, çeşitli kombinasyonlarla oluşturulmuş taşıyıcı sistem çözümlerinin yangına dayanıklılık süreleri verilmiştir. Bu tabloya göre, bütünleşik kirişler ve kısmen kaplanmış ya da betonla doldurulmuş kolonların kullanımı, yangına dayanıklılık süresinin uzun olması açısından daha doğru olacaktır.

Tablo 7. Çelik yapılarda bütünleşik çözümler ve yangına dayanıklılık süreleri  
[5]

(Table 7. Integrated solutions ant steel buildings and their resistance to fire[5])

|                  | Korunmasız Kiriş         | Dış Kiriş | Entegre Kiriş | Kaplanmış Kiriş |
|------------------|--------------------------|-----------|---------------|-----------------|
|                  | Yangına Dayanım Süreleri |           |               |                 |
| Korunmasız Kolon | 15                       | 15        | 15            | 15              |
| Dış Kolon        | 15                       | >30       | >30           | >30             |
| Kaplanmış Kolon  | 15                       | >30       | >60           | >60             |

#### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Gelişen malzeme teknolojisine bağlı olarak yapıların yangına karşı korunumlarında farklı uygulamalar mevcuttur. Bunların arasından seçim yaparken yangına dayanıklılık süresi, maliyet, yapının boyutları vb. özellikler gözönünde



bulundurulmalıdır. Binaların tasarımları Yangın yönetmeliğindeki kurallara uygun olarak yapılmalıdır. Yönetmelik; yangın kaçış kapılarının, yangın merdivenlerinin yeri, boyutları, koridor boyutları, kaçış yolları, havalandırma bacaları, katların, çatının tasarımı vb belirlenmesinde uyulması zorunlu kurallar getirmiştir. Günümüzde gerek çok katlı yapılar gerekse büyük açıklıklı yapıların taşıyıcı sistem malzemesi olarak çelik, çok sayıda avantajı nedeni ile tercih edilmektedir. Çeliğin avantajlarının yanısıra yangına karşı direncinin az olması, bu malzeme ile üretilmiş yapı elemanlarının korunmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, çelik yapıların yangına karşı korunmasında aktif ve pasif yöntemler uygulanmaktadır. Aktif yöntemler, yangının düşeye yönlendirilerek yatayda yayılmasını önlemeyi ve insanların tahliyesini kolaylaştırmayı amaçlar. Pasif yöntemler ise, yapının taşıyıcı sistem elemanlarının yangına karşı çeşitli yöntemlerle, yangın sırasında belirli sürelerle kadar dayanıklı hale getirilmesidir.

Yangın her zaman her türlü yapıda karşılaşılabilecek bir afettir. Yapı tasarımı sırasında, yangın anında yapının tahliyesinin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için ayakta kalma süresinin uzatıldığı koruma yöntemleri düşünülmelidir.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. <http://www.yanginsondurme.info/yangin-nedir.html> (Mayıs, 2013)
2. Kılıç, A., Betonarme ve Çelik Yapılarda Yangın Güvenliği, [www.yangin.org](http://www.yangin.org)
3. Akıncıtürk, N., İpekçi, C.A., (2008). Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Yangın Yalıtımı ve Alçının Kullanımı, Malzeme Kongresi.
4. World Trade Center attack: 9/11 10th Anniversary <http://www.google.com.tr/imgres?imgurl=http://img.ibtimes.com/www/data/images/full/2011/09/05/154969-world-trade-center-collapses-after-plane-crash-in-new-york> (Mayıs,2013)
5. International Fire Engineering Design for Steel Structures, State of the Art, International Iron and Steel Institute, Brussels, 1993
6. Berkmen, G., (2001). Endüstriyel yapılarda Yangın Yalıtımı Uygulamaları, İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş. Dilovası Mevkii Gebze Kocaeli Türkiye, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi 23-24-25 Mart 2001 Eskişehir.
7. Thomas, G. and Langdon, J., (1999). Fire Safety in Building, Principle and Practice,
8. Anon, (2002). Steel Buildings in Europe, Multi-Storey Steel Buildings, Part 6: Fire Engineering.
9. Good, J.G. and Blanc, A., (1993). The Architecture of Steel, Basic Theory of Framing, E&FN Spon,London
10. Anon, (1993). International Fire Engineering Design for Steel Structures, State of The Art, International Iron and Steel Institute, Brüksel.
11. Smith, R., (2002). "Fire Rated Caldding of Structural Steel", International Fire Protection Magazine.
12. Tama, Y.S., (2012). Çelik Yapıların Yangına Karşı Korunması, PAÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli.
13. NAON, (1993). International Fire Engineering Design For Steel Structures: State Of The Art,International Iron And Steel Instute Brussels.
14. Öner, Z.İ., (2001). Çelik Yapıların Yangına Karşı Korunması, Türk Yapısal Çelik Derneği, İstanbul.
15. Robinson, J.T., (1993). Fire Protection, Ed.Alan Blanc, Micheal Mc Evoy, Roger Plank, E&FN Spun, Londra.
16. Arda, T. ve Yardımcı, N., (1995). Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Mukavemeti, Ders Notu.
17. Kılıç, A., Betonarme ve Çelik Yapılarda Yangın Güvenliği



18. MEGEP, (2006). Yangın Yalıtımı, MEGEP Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi.
19. Corus Construction&Industrial, (2006). Fire Resistance Of Steel-Framed Building, North Lincolnshire, UK, 100.
20. Tama, Y.S. ve Kaftan, A., (2007). Çelik Yapılarda Korozyondan Korunma Maliyetinin Araştırılması. 2.Çelik Yapılar Ulusal Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir şubesi.
21. ASFP, (2004). Fire protection for structural steel in building, Association for Specialist Fire Protection Steel Construction Institute Fire Test Study Group, Hampshire.
22. Fitzgerald, R.W., (2002). Structural Integrity During Fire, Fire Protection Handbook, National Fire Protection Association Quality, Massachusetts, 16:82-105.