

YÜKSEK YAPI TAŞIYICI SİSTEMLERİNDE YANGIN ETKİSİNE KARŞI KORUMADA SİSTEM KURULUŞU VE MALZEME KULLANIMI

ÜMIT T. ARPACIOĞLU ¹

ÖZET

Yüzyılın başından bu güne kadar yaşanan yangın deneyimleri yangın güvenlik yöntemlerini, yönetmelik ve standartları oluşturmuştur. Yüksek yapıların kaçış ve müdahale olanaklarının sınırlı olması nedeniyle yangın güvenliği yüksek yapılar için çok önemlidir. Ülkemizde yüksek yapıların gelişimi son otuz sene içinde görülmektedir. Bu sebeple ülkemizde yüksek yapılarla ilgili yangın yönetmelik ve standartları henüz yeterli seviyeye ulaşmamıştır. Yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinin yangından korunumu can güvenliği için önem teşkil eder. Bu bildiride, yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerini etkileyen yangınlara karşı yangın güvenliği önlemleri ve bunların malzeme ile ilişkileri ele alınmıştır.

1. GİRİŞ

Teknolojik imkanların gelişmesiyle inşaat yapım sistemleri gelişmiş, ihtiyaçların da etkisiyle yüksek yapılar hayatımıza her geçen gün daha fazla girmiştir. Bu hızlı gelişim beraberinde yüksek yapılarla ilgili sorunları da getirmiştir. İşte bu sorunların en önemlilerinden bir tanesi de yüksek yapılara

¹ Arş. Gör. M.S.G.S.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Fizik ve Malzeme Bilim Dalı, İstanbul

yangın etkisidir. Yüksek yapılar insanların kaçış olanaklarını sınırladıkları için yangın güvenliği açısından iyi planlanmalıdırlar. Taşıyıcı sistemin yangından daha az etkilenmesi veya etkilenmemesi kaçış sürelerini değiştirmektedir. Taşıyıcı sistem korunumunda doğru korunum yönteminin uygulanması ve malzeme kullanımı yüksek yapılarda yangın güvenliğinin sağlanabilmesi için önemlidir.

NFPA (National Fire Protection Association)'a göre yüksek katlı yapı kavramı zaman içinde kimi zaman yedi kat ve daha fazlası kimi zaman da yedi kattan fazla kat adedini tanımlamaktadır. Daha doğru bir tanımlama 1988 Los Angeles'daki The First Interstate Bank yangınından sonra çıkan yasa ile yapılmıştır. 23 metre ve daha yüksek yapılar yüksek yapı olarak kabul edilmiştir. Bu yükseklik itfaiyenin girebileceği en alt kat seviyesi ile yapının yaşanan en üst seviyesi ölçülerek alınır[1].

Bazı kaynaklar da yüksek katlı yapı tanımını itfaiye merdivenlerinin ulaşamadığı kat seviyeleri olan yapılar olarak tanımlamaktadır.

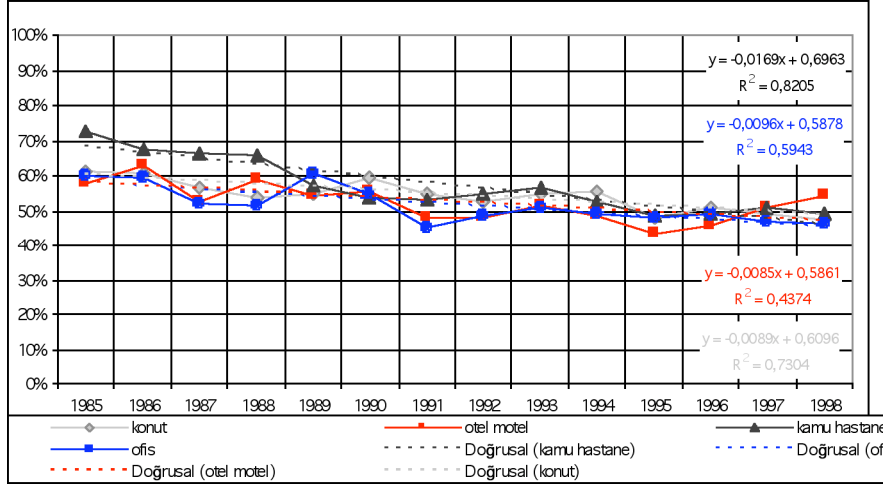
2002 yılında yürürlüğe giren Yangın Yönetmeliği [2] bina yüksekliği 21.50 m'den fazla binaları yüksek yapı olarak tanımlamaktadır.

Yüksek yapılarda yangın güvenliği tasarım aşamasında başlamalı ve taşıyıcı sistem yangın güvenliği düşünülerek oluşturulmalıdır.

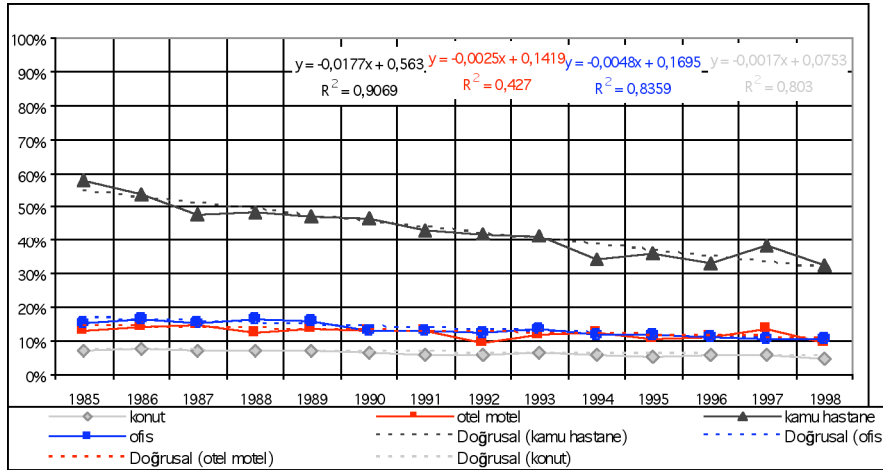
2. TAŞIYICI SİSTEMDE YANGIN GÜVENLİĞİ

Yüksek yapılarda malzemeye göre temel iki taşıyıcı sistem görülmektedir. Bu sistemler çelik taşıyıcılı yüksek yapılar ve betonarme taşıyıcılı yüksek yapılardır.

NFPA'nın (National Fire Protection Association) hazırladığı 1985-1998 yılları arasındaki istatistikler Yangın geçirmiş yapılardaki yangın dayanımlı konstrüksiyon oranlarını göstermektedir[1].



Grafik 1- 1985-1998 Yılları Arası Yangınlarında Yüksek Yapılarda Dayanımlı Konstrüksiyon Kullanım Oranları [1]



Grafik 2- 1985-1998 Yılları Arası Yangınlarında Alçak Yapılarda Dayanımlı Konstrüksiyon Kullanım Oranları [1]

NFPA'nın standartlarına göre yüksek yapılar için iki tip konstrüksiyona izin verilmektedir. NFPA 220 standardında yapı konstrüksiyon tipleri açıklanmaktadır. Tip I (443)ve Tip II (332) konstrüksiyonlar yüksek yapılar için uygundur. Aktif sistemlerin yüksek ve alçak yapılarda yaygınlaşması yangınlara müdahaleyi hızlandırmaktadır. 1985-1998 yılları arasında yangın geçirmiş yapıların istatistikleri incelendiğinde konstrüksiyon eğilimi Tip I

(443) yangın dayanımlı konstrüksiyonlardan Tip II (332) korunmuş konstrüksiyonlara geçiş yönündedir.

Yüksek ve alçak yapılarda, dayanımlı konstrüksiyon kullanım oranları tüm kategorilerde düşmektedir. Yüksek yapılarda yükseklik arttıkça konstrüksiyonda betonarme yerine çelik tercih edilmektedir. Çelik sistemlerin özel olarak yangına karşı koruma gerekliliği ve maliyetler Tip I konstrüksiyondan Tip II konstrüksiyona geçişin nedenlerindendir.

Dayanımlı konstrüksiyonlarda eğilime bakıldığında en az değişim alçak konut yapılarında görülmektedir. Bu eğilimin nedeni olarak alçak konut yapılarında betonarme sistemin yaygın olarak kullanılmasını göstermek mümkündür[1].

2.1. Beton Betonarme ve Betonarme-Çelik Karma Taşıyıcı Elemanların Yangından Korunması

Beton ve betonarme malzemenin yüksek sıcaklıklardaki davranışları göz önüne alındığında taşıyıcı elemanların yangın güvenliğinin sağlanmasında donatı çeliğinin açığa çıkmaması önemlidir. Çatlamalarla açığa çıkan çelik donatı, ısıyı hızla ileterek ısı farkını çoğaltır. Beton çatlaklar, kavlar ve donatı gücünü yitirir. Betonun taşıyıcı veya kaplama ögesi olarak ısı iletkenlik değerinin önemi büyüktür[3].

Kullanılacak betonda uygun agrega ve çimentonun seçilmesiyle betonun koruyuculuk değeri istenilen düzeye getirilebilir. Betonda portland çimentosu yerine, yüksek fırın cürufu ve alüminli çimentoların kullanılmasıyla dayanım düzeyi yüksek beton elde edilebilmektedir[4].

Son yıllarda süper akışkanlaştırıcı katkıları sayesinde dayanımları ve durabilitesi çok yüksek “yüksek performanslı betonlar” üretilmekte ve bunlar yüksek katlı yapıların inşasında kullanılmaktadır. Ancak sıcaklık 300°C’ye vardığında çeperde bir patlama ile birlikte yarılmalara ve kapak atmaları meydana gelmektedir. Jel boşluklarında serbestlik kazanan su, buhara dönüşmekte ve içinde bulunduğu dar boşluklar nedeniyle büyük basınçlar oluşturmaktadır. Problemi halletmek üzere betona polipropilen lifler katılmaktadır. Bunlar çatlak gelişimini yavaşlatmaları yanında, eriyerek beton içinde boşluklar yaratmakta, böylece yüksek basınçlı su buharının iletimini sağlamaktadır. Bu çözüm yüksek performanslı betonların yangın riskini bir oranda sınırlayan bir önlem sayılmaktadır.

Yeterli pas payının varlığı çelikleri önemli oranda korur. Yangın sırasında çelik sıcaklığı 600°C⁰ varabilir. Halbuki 3 cm. kalınlığında bir donatı beton örtüsü bulunduğu takdirde 600 °C’lik ve bir saatlik yangın yüklemesinde çeliğin sıcaklığı 350 °C’yi aşmamaktadır[5].

Taşıyıcı sistemin sıvanmış olması da çelikleri önemli oranda korur. Alçı ile taşıyıcı sistemin sıvanmış olması yangın dayanımını arttıran bir faktördür. Betonarme veya betonarme-çelik karma elemanların yangına karşı iki saat dayanıklı olabilmesi için, içindeki çelik profil veya donatının en dışta kalan kısımlarının (pas payı) en az 4 cm. kalınlığında beton ile kaplanmış olması gerekmektedir[2].

2.2. Çelik Taşıyıcı Elemanların Yangından Korunması

Yüksek yapıların hafif sistemler olma gerekliliği çelik taşıyıcı sistemleri yüksek yapılarda tercih edilen sistemler haline getirmiştir. Yangına karşı çelik sistemlerin zayıflığı ve özellikle yüksek yapılarda kaçış sürelerinin uzun olması nedeniyle koruma yöntemlerinin önemi fazladır. Bu amaçla değişik koruma yöntemleri uygulanmaktadır. Bunlardan başlıcaları aşağıda sıra ile ele alınmaktadır.

2.2.1 Korumada Sistem Kuruluşları

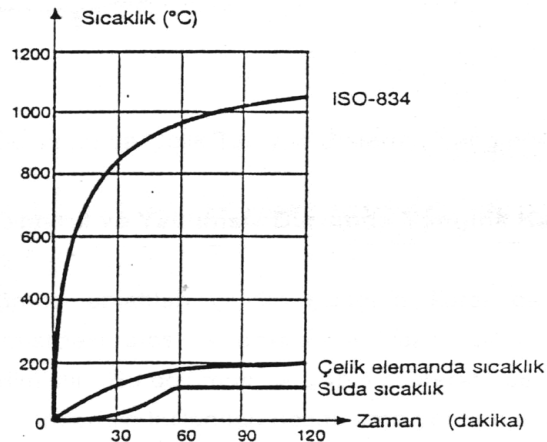
Isının Dağılımıyla Koruma

Çelik yapı elemanlarının yalıtım ürünleri kullanılmadan yangına karşı korunması isteniyorsa su dolanımı ile ısıнын dağıtılması ideal bir çözümdür. Taşıyıcı sistem elemanları boru ya da kutu en kesitli içi boş profillerden seçilir ve bu profillerin içerisinde su dolaştırılmasıyla yangında oluşan ısı enerjisinin su tarafından emilerek çeliğe olan etkisi azaltılır. Yangına maruz kalan taşıyıcı eleman içerisindeki su ısınarak aldığı enerjinin etkisiyle hareket eder ve yerini depodan gelen soğuk suya bırakır. Suyun sıcaklığı kaynama noktasına ulaşsa bile elemanın sıcaklığı 100 ile 200 °C değerlerini geçmez. Su dolanımı ile soğutma, yapının dış cephesindeki yangın tehlikesi yüksek olan bölgesindeki bazı kolonlar için veya dış cephedeki tüm kiriş ve kolonları içine alan bir sistem kurularak uygulanabilir.

Yapının dış cephesindeki sadece kolonlar için su dolaşımı sistemi uygulanacaksa suyun doğal dolaşımı kullanılarak koruma sağlanabilir. Her kolonun üzerinde kendine ait yeterli büyüklükte su deposu bulunur. Sistemde kolonların içerisinde devamlı su bulunur ve yangında su ısınınca yoğunluğu azaldığı için üstteki depoya yükselir. Isınan suyun yerini depodan gelen soğuk su doldurur ve böylece kolona etkiyen ısı düşer. Suyun ısınmasıyla ortaya çıkan buhar depoya yükselerek buradaki buhar supabından dışarıya atılır. Su devamlı dolaşım sisteminde bulunduğu için donmaya karşı içine potasyum karbonat ve oluşabilecek korozyona karşı potasyum nitrat ilave edilebilir.

Su dolaşımı kullanılarak uygulanan diğer bir sistem de bütün kolon ve kirişleri dolanarak birbirleri arasında bağlantı kuran bir dolaşım sistemidir.

Bu sistemin diğerine göre daha karmaşık yapısı vardır. Böyle bir sistemde bir tane ana su deposu ve dağıtımını sağlayan pompaya gereksinim duyulur. Dolaşım sistemindeki birleşimlerde ve diğer kısımlarda su sızdırmazlığının sağlanması zordur. Bu yüzden şebekeye suyun verilmesi otomatik bir yangın alarmı sistemine bağlı olarak gerçekleştirilir. Yüksek yapılarda bu tür bir sistem uygulanırsa suyun hidrostatik basıncı düşünülerek, sistem birkaç bölüme ayrılabilir. Bu sistem için de diğerinde olduğu gibi korozyona ve donmaya karşı katkılar kullanılmalıdır[4].



Şekil 1- Su Dolaşımli Taşıyıcılarda ISO-834 Yangını Sıcaklığı-Su Sıcaklığı Zaman İlişkisi[6]

Kolonların Dışarı Alınmasıyla Koruma

Yapının tasarımında çelik elemanların yangına karşı korunmasında alınan önlemlerden bir diğeri, kolonların yapının içerisinde değil de dış kısımda tasarlanmasıdır. Böylece kolonlar yangından uzak kalarak daha az etkilenebilirler. Kolonların yapının cephesindeki boşluklardan uzak kalması gerekir. Bu nedenle cephe boşluklarının karşısında konumlanan kolonlara bir siper tasarlanabilir [7].

2.2.2 Korumada Malzeme

Kütlesel Koruma

Çelik yapılarda, taşıyıcı yapı elemanlarının beton, tuğla vb. malzemelerle çerçevesi veya doldurulması sonucunda kütlesel koruma sağlanabilir. Beton uygulandığı elemanın üzerinde ısısal dağıtım yaparak, taşıyıcı elemanın kritik sıcaklığa ulaşmasını engeller ve diğer dış tesirlere karşı koruma sağlanır[5].

Tablo 1 Minimum Kalınlıkta Beton Korumalı I Kesit Verileri[5]

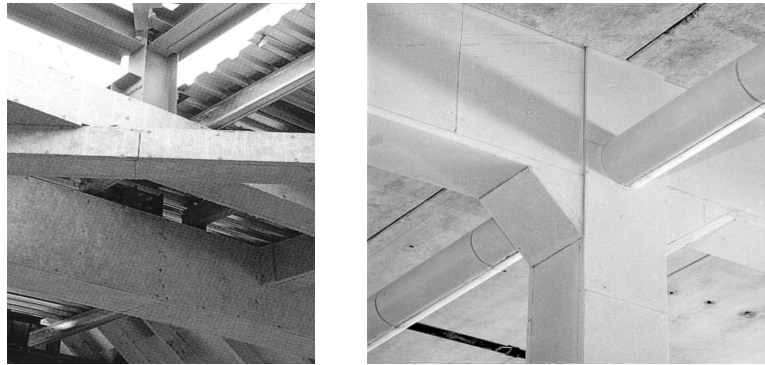
Yangın Dayanımı	60 dak.	90 dak.	120 dak.	180 dak.	240 dak.
Min.Kalınlık(mm)	25	30	40	50	60

Yapıda kullanılacak çelik yapı elemanlarının kesit şekillerine göre beton, elemanın içine veya dışına uygulanabilir. Çelik kolonlarda I profillerinin kullanılması ile profil tamamen betona gömülebilir veya çevresi sarılabilir. Çelik profil dikdörtgen veya daire kesitli ise kolonların içi veya dışı beton ile doldurularak koruma sağlanabilir. Yüksek yapılarda betondan dolayı fazladan yük oluşması istenmiyorsa hafif betonlar tercih edilebilir[5].

Levhalarla Koruma

Çelik yapı elemanlarının yangın direnimi arttırmada kullanılan yöntemlerden bir diğeri levhalar ile elemanın çevresinin sarılmasıdır. Uygulama temiz bitmiş yüzeyler sağlayabilme ve kuru metotlarla gerçekleştirilebilme gibi avantajlara sahiptir. Yapı elemanlarından istenilen yangın direnım düzeyine göre levhalar bir veya daha fazla tabaka olarak uygulanabilirler. Levha malzemelerinin özellik ve uygulamadaki yöntemlerine göre çeşitli tipleri vardır. Korumada kullanılan levhalar alçı, vermikülit, kalsiyum silikat ve mineral lif gibi inorganik malzemelerden üretilirler.

Çelik yapı elemanlarının üzerine çevreyi sarma işlemi yapıştırma, vidalama ve kaynaklı pimlere veya klipslere sabitleme ile gerçekleştirilebilir. Levhaların yerleştirilmesinde derzlerin şaşırtılmasına ve ayrıca derzlerin alçı gibi malzemelerle doldurulmasına dikkat edilmelidir. Yapı elemanlarının korunmasında 6-80 mm arasında kalınlıklara sahip levhaların kullanılmasıyla 0.5- 4 saat arasında yangın direnimi sağlanabilir[8].

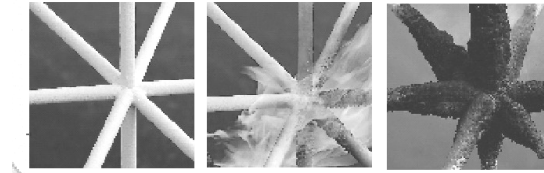


Resim 1- Levhalarla korunmuş Çelik Taşıyıcı Elemanlar[9]

Genleşen Boyalarla Koruma

Çelik yapı elemanlarının üzerine yangında oluşan yüksek sıcaklığın etkisiyle genleşerek koruma sağlayan boyalar sürülmesiyle direnimleri artırılabilir. Uygulandıkları yüzeylerin biçimlerini dışa yansıtırlar ve genellikle görünür elemanların üzerinde koruma sağlamak için kullanılırlar. Dekoratif amaçlı olarak renk verilebilir ve her türlü detayda uygulanabilir. Elemana boya püskürtülerek veya fırça ve rulolarla sürülerek koruma sağlanabilir. Bu boyaların bileşenleri:

- Ayrıştığında fosforik asit gibi bir mineral asit üreten katalizör (amonyum polifosfat).
- Mineral asitle bileşik yaparak kömürleşmiş karbona dönen bir karbonhidrat (nişasta).
- Önceden hesaplanan tepkimenin belirli bir sınır sıcaklığa (250-350 °C arasında) varmasıyla yumuşayıp dağılan bağlayıcı veya reçineden oluşur.
- Bağlayıcının ergimesiyle alevlenmeyen gazlar salarak hava keseciklerinin oluşumuna aracı olan maddeden oluşur. Bu gazlar karbondioksit, amonyak ve su buharıdır. Bunların çıkışıyla bağlayıcı şişer ve normal kalınlığının yaklaşık elli katı kalınlığa genişleyerek kömürleşen yalıtım tabakasına dönüşür[4].



Şekil 2 Yangın Koruyucu Boyaların normal zamandaki görünümü ve yangın sonrasındaki davranışı [10]

Bu boyaların uygulamada sahip olduğu kalınlığa göre iki çeşidi vardır:

•İnce tabaka oluşturan boyalar

Boyalar genellikle solvent veya su bazlıdır. 0.25 ile 1.0 mm. arası kalınlıkta kaplanırsa 30 dakikalık, daha yüksek yangın direnimi isteniyorsa ve 5.0 - 6.0 mm kalınlıklarında uygulanırsa 120 dakikalık direnim elde edilir. İnce tabaka oluşturan boyalar normal boyama teknikleriyle kolaylıkla uygulanabilir ve istenen estetik beklentileri sağlarlar. Bu boyalar en çok kullanılan boya çeşididirler.

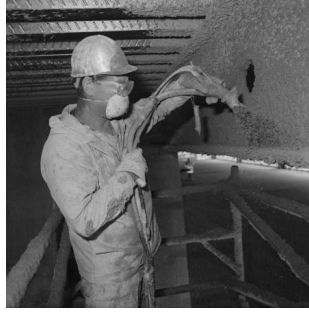
•Kalın tabaka oluşturan boyalar

Boyalar genellikle epoksi bazlıdır. 2.0 – 4.0 mm. arasında uygulanmasıyla 30 dakikalık yangın direnimi elde edilir. Eğer 120 dakika

gibi daha yüksek yangın direnimi bekleniyorsa elemanın üzerinde, 15-20 mm. arasında kalınlıklarda kullanılır[10].

Çelik yapı elemanın üzerine ayrı özelliklere sahip üç kat boya sürülür. İlk olarak astar boya uygulanır, bunun üzerine yangında korumayı sağlayan özel boya sürülür ve son kat olarak su geçirimsiz boya tabakasıyla kaplanır. Koruma sağlayan boya dış etmenlerden kolay etkilenir. Bu nedenle düzenli olarak kontrol ve bakımları yapılmalıdır[9].

Püskürtme Sıvalarla Koruma



Resim 2- Çelik taşıyıcı kirişe koruma katmanının (vermikülit ve çimento karışımı)püskürtülerek uygulanması[9]

Çelik taşıyıcı sistem elemanlarının çıplak yüzeylerine, tabancalarla, makineden gelen basınçlı sıvanın püskürtülme işlemi diğer çevreyi sarma yöntemlerinden biridir. Bu yöntem kolon, kiriş ve kafes kirişlerin her çeşit profil kesitlerinde ve karmaşık birleşim detaylarında uygulama kolaylığına sahiptir[4].



Resim 3- Dünya Ticaret Merkezi Yangını (11 Eylül 2001), uçak çarpmasıyla çıkan yangın sonucunda yıkılan yapının taşıyıcı sistemi püskürtme sıvalarla korunmaktaydı[11]

Koruma katmanı olarak uygulanan püskürtme sıvanın vermikülit, cüruf ve mineral liflerden oluşan üç çeşidi vardır. Bu malzemelerin bağlayıcılarla (çimento ve alçı v.b.) karıştırılması ile elde edilen sıvanın yüksek yoğunluklu ($450 - 750 \text{ kg/m}^3$ arasında) ve düşük yoğunluklu ($250 - 350 \text{ kg/m}^3$ arasında) püskürtülen çeşitleri bulunur. Yapı elemanına koruma katmanının 10mm -60mm arasında uygulanmasıyla 2 ile 4 saat arasında yangın direnir düzeyi elde edilebilir. Bu yöntemin avantajı yapı elemanlarının üzerinde bağlantı parçalarına gerek duymadan uygulama kolaylığına sahip olmasıdır [9].

Tablo 2 Çelik yapı elemanlarını korumada kullanılan püskürtme sıvaların özellikleri[4].

	Yoğunluk Kg/m^3	Isısal iletkenlik $\text{W/(m.}^\circ\text{C)}$	Özgül ısı $\text{J/(kg.}^\circ\text{C)}$
Mineral lif	300	0.12	1200
Vermikülit çimento	350	0.12	1200
Vermikülit çimento	550	0.12	1100
Vermikülit alçı	650	0.12	1100

Püskürtme yapılırken koruma uygulanan elemanın dışında diğer yapı eleman ve bileşenlerine de bulaşarak etrafı kirletebilirler. Bundan dolayı korumanın yapı üretilirken hangi aşamada uygulanacağı önceden dikkat edilerek planlanmalıdır. Püskürtülerek koruma yapıldıktan sonra yapı elemanı yüzeyinde estetik açıdan uygun olmayan pürüzlü ve kirli bir yüzey oluşur. Bunu engellemek amacıyla genellikle estetik açıdan mahsuru olmayan veya gözle görülmeyen kırımlarda, asma tavan altındaki döşemelerde, bodrum katlarda ve atölye gibi yapılarda uygulanması tercih edilir. Islak uygulama olarak da adlandırılan bu yöntem kaplama yapılırken, uygulama sırasında ve sonrasında kuruma evresinde kaplamanın donmaması için önlemler alınmalıdır [4].



(a)



(b)

Şekil 3- The Banker's Trust Binası yangını (a) kirişlerdeki yangın sonrası deformasyon (b) 16. katta merdiven shaftında oluşan basınç ve yüksek ısının neden olduğu deformasyon[12]

3. SONUÇ

Yüksek yapılarda kaçış olanaklarının sınırlı olması özel önlemler alma zorunluluğu getirmektedir. Yüksek yapılarda taşıyıcı sistemin korunumu yapı içindeki insanların can güvenliği ve yüksek maliyetli yüksek yapının ayakta kalması için önemlidir.

Yüksek yapılarda, aktif sistemlerin kullanımının yaygınlaştığı ve dayanımlı konstrüksiyon yerine korunumlu konstrüksiyonun her geçen gün daha fazla tercih edildiği yapılan istatistiklerden anlaşılmaktadır.

Yüksek yapıların taşıyıcı sistem korunum yöntemleri yapının fonksiyonuna, yüksekliğine, kaçış olanaklarına ve bina sakinlerinin sayısına göre değişiklik göstermektedir.

Korunum yöntemlerinden birisi daha olumlu yada daha olumsuzdur demek mümkün değildir. Bunun en başta gelen nedeni korunum yöntemlerinin yangın güvenliği planlamasının içinde bir öge olmasıdır. Korunum yöntemi mutlaka yangın güvenliği planlaması içindeki aktif, pasif tüm önlemler ile birlikte ele alınarak seçilmeli ve mimari tasarıma dahil edilmelidir. Mimar ve mühendislerin, ülkemizin kaynaklarını göz önüne alarak korunum yöntemlerini yüksek yapılar için ele almaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. John R. Hall, (2001), “*High-Rise Building Fires*”, Fire Analysis & Research Division NFPA, www.nfpa.org
2. Anonim, (2002) “*Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik*” – 2002 / 4390, 26 Temmuz 2002 – 24827 sayılı Resmi Gazete
3. Yavuz G., (1979), “*Yapılarda Yangın Korunumu Ve Mimari Tasarıma Etkileri*”, Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, İstanbul Devlet Müh. ve Mimarlık Akademisi
4. Çobanoğlu E., (2003), “*Çelik İskelet Strüktürlerde Yangın Korunumu*”, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, Yüksek Lisans Tezi
5. Akman, M..S.,(2000),“*Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı Ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığın Belirlenmesi*”, TMMOB İnşaat Müh. Odası, İstanbul
6. Kayabunar B., (1998)“*Çelik Yapı Elemanlarının Yangına Karşı Mukavemetinin ve Alınacak Önlemlerin Araştırılması*”, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , İstanbul
7. Anonim, (1991), “*Steel and Fire Safety a Global Approach*”, Eurofer, Belçika
8. Yavuz G. Balanlı A., (1997) “*Yapı Öğelerinin Yangın Direnim Değerlerinin Arttırılmasında Alçı Uygulamaları*”, II. Ulusal Alçı Kongresi Bildirileri, İstanbul.
9. Smith, R., (2002), “*Fire Rated Caldding of Structural Steel*”, International Fire Protection Magazine, s10.
10. Anonim, (2001), “*Fire Protection Systems For Architectural Steelwork*”, Teknik Bülten , unitherm, <http://www.unitherm-online.com>
11. Anonim, (2002), “*World Trade Center Building Performance Study*” FEMA 403, Washington
12. Routley J.G, (1993), “*New York City Bank Building Fire: Compartmentation Vs. Sprinkler*” Technical Report Series United States Fire Administration, No: Tr-71