

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

139859

**ÇELİK İSKELET STRÜKTÜRLERDE
YANGIN KORUNUMU**


-139859-

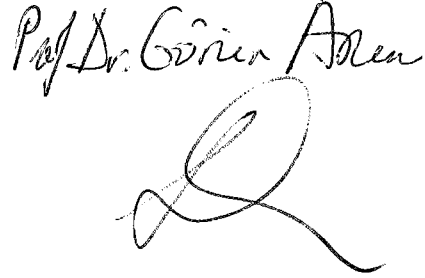
Mimar Engin ÇOBANOĞLU

**FBE Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Güner YAVUZ


Prof. Dr. Feriye AKÖR



İSTANBUL, 2003

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DOKÜMAN YAKARLIK MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	3
2.1 Yangın Bilimi	3
2.2 Yanma Süreci	3
2.3 Yangının Gelişimi	4
2.4 Yanmanın Ürünleri	6
3. YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIMI	7
3.1 Yangın Güvenliği Hedefleri ve Bileşenleri	7
3.2 Yangın Güvenliği Taktikleri	8
3.3 Önleme	9
3.4 Haberleşme	9
3.5 Kaçış	9
3.6 Sınırlama	10
3.6.1 Pasif Önlemler-Yapısal Korunum	10
3.6.1.1 Yapı Elemanlarının Korunumu	10
3.6.1.2 Yangın Direnimi	11
3.6.2 Kompartmanlama	13
3.6.3 Dış Kabuk Korunumu	14
3.6.4 Aktif Önlemler	14
3.6.4.1 Basınçlama	16
3.6.4.2 Havalandırma	16
3.7 Söndürme	16
4. ÇELİK YAPILARIN ÖZELLİKLERİ.....	18
4.1 Çelik Elemanların Mekanik Özelliklerine Yangının Etkisi	19
4.2 Çelik Yapılarda Meydana Gelen Yangınlar ve Hasarlarla ait Örnekler	21

5.	ÇELİK İSKELET STRÜKTÜRLERDE YANGIN KORUNUM YÖNTEMLERİ	29
5.1	Kütlesel Koruma	29
5.2	Levhalarla Çevreyi Sarma	32
5.3	Püskürtme Sıvalar	38
5.4	Genleşen Boyalar	41
5.5	Isının Dağıtımını ile Korunum Sağlanması	44
5.6	Kolonların Dışa Alınması ile Korunum Sağlama	50
6.	DEĞERLENDİRME VE İRDELEME	53
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	55
	KAYNAKLAR	56
	ÖZGEÇMİŞ	59



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Yangın üçgeni	3
Şekil 2.2	Isı transferi yolları	4
Şekil 2.3	Standart Kapalı Mekan Yangını	5
Şekil 2.4	Standart Yangın Gelişim Eğrisi	5
Şekil 3.1	Hedefler, taktikler, bileşenler hiyerarşisi	7
Şekil 3.2	Hedefler ve taktikler arası etkileşim	8
Şekil 3.3	Çelik taşıyıcı elemanlarının yangın koruma yöntemleri	11
Şekil 3.4	Yapı elemanlarının yangın direnime anlatımı	12
Şekil 4.1	Standart sıcaklık – zaman eğrisi	19
Şekil 4.2	Çelik akma sınırının sıcaklıkla değişimi	20
Şekil 4.3	Çelik 37 (Fe 360) için, gerilme şekil değiştirme eğrisinin yüzde iki uzamaya kadar sıcaklıkla değişimi	21
Şekil 4.4	Çelik iskeletli bir yapıda yangın sonrasında kolonda meydana gelen bozulma görülmektedir	21
Şekil 4.5	Korunmasız çelik kafes kirişlerin çökmesiyle taşıyıcı yığma duvarların birlikte göçmesi	22
Şekil 4.6	Geniş açıklıklı kafes kirişi taşıyan korunmasız çelik kolonun çökmesiyle taşıyıcı sistemin bütününde hasar meydana gelebilir	22
Şekil 4.7	Broadgate yangınında hasar gören yapının kolonlarındaki deformasyon	24
Şekil 4.8	Broadgate yangınında hasar gören binadaki döşemeler bazı yerlerde 600 mm sehim	24
Şekil 4.9	Churchill Plazanın yangın sonrası görünüşü	25
Şekil 4.10	Occidental Center Tower’ da çıkan yangının görünüşü	26
Şekil 4.11	Montel farikası yanarken dışarıdan görünümü	26
Şekil 4.12	Montel fabrikasının yangından sonra iç kısımdan görünüşü	27
Şekil 4.13	Montel fabrikasının yangından sonra ayakta kalan kolonlarından bazıları.....	27
Şekil 4.14	Montel fabrikasının yangından sonra iç kısımdan görünüşü	28
Şekil 4.15	Montel fabrikasının yangından sonra yıkılan bölümün görünüşü.....	28
Şekil 5.1	Yapı elemanlarının üretiminde I kesitli profiller kullanılırsa uygulanacak betonla koruma yöntemi.....	30
Şekil 5.2	(A) Çelik kolonun içinin betonla doldurulması, (B) Çelik kolonun dış yüzeyinin	30
Şekil 5.3	Mees Leas Ofis Binası, kolon, kiriş ve döşemelerde betonla kaplanarak F60 dakikalık yangın direnime sağlanmıştır, Amsterdam, Hollanda	31
Şekil 5.4	Avrupa Parlamentosu yönetim binası, F 90 yangın direnime sağlanmak amacıyla kolonlar ve döşemeler betonla korumaya alınmıştır, Kirchberg.....	31
Şekil 5.5	Kolonlarla kirişin birleşimine ait detayın vermikülit levhalarla (vidalı bağlantı) korunması	33
Şekil 5.6	Kirişin mineral levhalarla korunumu	33
Şekil 5.7	(A) Alçı bloklarla kolonlara yangın korunumu sağlanması	34
Şekil 5.8	Kolonun mineral lifli levhalarla (vidalarla sabitleme) korunması	34
Şekil 5.9	Türkiye’den bir örnek; kirişlere alçı levhaları vidayla sabitleyerek koruma sağlama	35
Şekil 5.10	Kolonla üç adet kirişin levhalarla korunumu	35
Şekil 5.11	Mineral lifli levhaların kirişe vidalanarak uygulanması görülmektedir.....	36
Şekil 5.12	Mineral lifli levhalar kirişe önceden kaynaklanmış pimlere, yapıştırıcı tutkal kullanarak sabitlenebilir	36

Şekil 5.13	Çelik kafes kirişlerde alçı levhaların vidalanmasıyla yangın korunumu sağlanması.....	36
Şekil 5.14	Türkiye’den bir örnek; kolonlara mineral lif (taşyünü) levha ve şilte kullanarak koruma sağlama detayı	37
Şekil 5.15	Kirişte mineral lif levhaların klipslerle sabitlenerek korunum sağlanması	37
Şekil 5.16	I Kesitli profillere tel hasır sarılıp üzerine koruma katmanı uygulanması	38
Şekil 5.17	Püskürtme sıvalarıyla korunmuş olan çelik kafes kirişleri görülüyor	39
Şekil 5.18	Çelik taşıyıcı kirişe koruma katmanının (vermikülit ve çimento karışımı) püskürtülerek uygulanması	41
Şekil 5.19	Boyaların normal zamandaki görünümü ve yangın sonrasındaki davranışı	42
Şekil 5.20	(A) Çelik elemanın üzerine uygulanan boya katmanları	43
Şekil 5.21	Çelik yapı elemanı üzerine püskürterek koruyucu boya katmanı oluşturulması..	43
Şekil 5.22	Su ile solu kolonun içindeki sıcaklık dağılımının açıklaması	44
Şekil 5.23	Marsilya’ da ofis binasının su dolanım sisteminin şematik görünümü	45
Şekil 5.24	Doğal su dolanımı ile korunan Hannover’ deki ofis binası	46
Şekil 5.25	Bush Lane House’ ın su dolaşım sistem şeması	47
Şekil 5.26	US Steel idare binası görünüşü	48
Şekil 5.27	US Steel idari binasının planı	49
Şekil 5.28	US Steel idari binası görünüşü	49
Şekil 5.29	Cephe boşluklarının karşısında konumlanan kolonların siperle korunması	50
Şekil 5.30	De Las Artes Tower otelinde kolonlar ve kirişler dış cepheye alınarak koruma	50
Şekil 5.31	De Las Artes Tower otelinden görünüş	51
Şekil 5.32	Pompidou Center’ ın dış görünüşü.....	51
Şekil 5.33	Yapıda kolonların dışa alınarak korunmasına bir örnek görülmektedir	51

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Normal binalarda yapı elemanları için aranacak yangın direnim şartları	13
Çizelge 3.2	Yapı tiplerine göre kompartman büyüklükleri ve yangın direnimleri	15
Çizelge 4.1	DİE. 2000 yılı bina sayımı.....	18
Çizelge 4.2	Sıcaklıkla elastisite modülü ve akma dayanımının değişimi.....	20
Çizelge 4.3	Çelik Yüksek yapılarda çıkan yangınlar ve yapılan onarımlar	23
Çizelge 5.1	Korumada kullanılan betonun özellikleri	30
Çizelge 5.2	Çerçevelemede kullanılan levhaların özellikleri	38
Çizelge 5.3	Çelik yapı elemanlarını korumada kullanılan püskürtme sıvaların özellikleri	40



ÖNSÖZ

Çelik iskelet strüktürlerde yangın korunumu konulu çalışmamda, beni destekleyen ve değerli bilgileriyle çalışmamı yönlendiren sayın Prof. Güner Yavuz hocama minnetim sonsuzdur. Ayrıca beni destekleyen ve her zaman yanımda olan değerli aileme teşekkürü borç bilirim.



ÖZET

Yangın yüzyıllar boyunca insanlar için önemli bir tehdit unsuru olmuştur. Yangın yanıcı, oksijen ve tutuşmayı sağlayıcı bir enerji kaynağının bir araya gelmesiyle oluşan ekzotermik bir reaksiyondur. Yanma olayının sonunda ısı ve duman açığa çıkar. Meydana gelen ısı enerjisi ortamın sıcaklığını yükselterek insanların ve yapıların zarar görmesine neden olur. Çelik yapı tasarımında yangın güvenliği taktikleri uygulanarak can güvenliği ve mal varlığı korunumu gerçekleştirilebilir. Bu taktikler; önleme, haberleşme, kaçış, sınırlama ve söndürmedir. Sınırlama taktiği kapsamında, çelik yapı elemanlarının kritik sıcaklığa (540 °C) erişmesinin engellenme ve taşıyıcı elemanların yangın korunumunu sağlama gerekliliği vardır. Kütleli koruma, levhalarla çevreyi sarma, püskürterek sıvama ve ısıyı dağıtmak için su dolanımı yöntemleri kullanılarak yapı elemanlarına yangın direnimi kazandırılabilir. Yöntemlerin uygulamasında, inorganik bazlı bağlayıcı ile üretilmiş inorganik daneli veya lifli, gözenekli kompozit malzemeler kullanılır.

Anahtar kelimeler: çelik yapı, yangın, sınırlama taktiği, yangın direnimi, yangın korunumu

ABSTRACT

Fire had been an important component of menace for centuries. Fire is an exothermic reaction that becomes reality with oxygen, fuel and combustible energy source. This fire reaction's results are heat and smoke. The heat energy, cause of fire, increase the temperature of ambience and this could be harmful for people and buildings. Life security and goods protection could realize with applying fire security tactics on the design of steel structures. These tactics are prevention, communications, escape, containment and extinguishment. Containment tactic contains preventing the steel structural element's temperature reaching critical limits (540 °C) and protecting the steel elements from fire. Mass protection, surrounding with boards, spraying plaster, intumescent paints and water circulation for thermal dissipation could apply for gaining fire resistance of structural elements. Application of these methods could use inorganic fibre or granule composites that is protected by inorganic binders.

Keywords: steel structure, fire, containment tactic, fire resistance, fire protection



1. SORUNUN BELİRLENMESİ

İlkçağlardan günümüze insanlığın bugünkü uygarlık düzeyine ulaşmasında, ateşin insanlar tarafından kullanılmaya başlanması önemli bir gelişmedir. Ateş 4000 yıldır insanlığın hizmetindedir. İnsanlar ateşin ısı ve ışık enerjisinden yararlanmışlar, ateşi kontrol altında tutabildikleri sürece, kendilerine fayda sağlamışlardır. Kaza veya kasti nedenlerle ateşin kontrol edilememesi, yangın çıkmasına neden olmuştur. Ateşin zararlı bir sonucu olan yangın, insanlar için hep bir tehdit unsuru olarak ortaya çıkmıştır. Yangın, şehirleri ve yapıları büyük hasarlara uğratmış veya yok etmiştir.

Uygarlık düzeyinin yükselmesiyle birlikte yapıda enerji kullanımı artmış ve bunun sonucu olarak yapılarda yangın çıkma riski artmıştır. Yapıdan yangın tehlikesini uzak tutabilmek için yapı tasarımında, yangın güvenliğini sağlayacak kriterleri uygulama zorunluluğu doğmuştur. Yangın güvenliği yapıyı tasarlayan mimarın varmak istediği tek hedef değildir. Estetik, işlevsel, teknolojik ve ekonomik hedeflerle birlikte deprem ve yangın güvenliğinin bir bütün oluşturacak şekilde düşünülmesi, başarılı bir yapı tasarımını ortaya çıkarır.

Bilim ve teknikte ulaşılan düzey yapılarda yapım yöntemlerinin, kullanım işlevlerinin ve kullanılan yapı ürünlerinin farklılaşmasına yol açmıştır. Yapıda, yeni gereksinmelere cevap verecek tasarımlar yapmak için yapıda yeni ürünler kullanılmaya başlanmıştır. Çeliğin mekanik dayanımının, elastisite modülünün ve sünekliğinin yüksek olması gibi avantajlara sahip olması , inşaat sektöründe alternatif yapı ürünleri arasında öncelikli olarak çelik malzemenin tercih edilmesini sağlamıştır. Dünyada uzun yıllardan beri çelik yapı üretimi yaygındır. Türkiye’de son yıllarda çelik yapı üretiminde belirgin bir artış vardır. Devlet İstatistik Enstitüsü’nün 2000 yılının eylül ayında tamamlamış olduğu bina sayımına göre; 1980 – 1989 yılları arasında üretilen çelik yapı sayısı 1042 adettir. Bu sayı 1990 – 2000 yılları arasında ikiye katlanarak 2394 adete ulaşmıştır. Fakat çelik yapı sayısı üretilen toplam bina sayısı içinde % 1’lik bir orana bile ulaşmamaktadır (DİE, 2000). Türkiye’de çeliğin özelliklerinin daha iyi bir şekilde tasarımcıya aktarılmasıyla, çelik yapı üretiminde artış sağlanabilir.

Çelik yapı tasarımında önemli bir konu da yangın güvenliğidir. Mimar, çelik yapı elemanlarının, yeni yangın yönetmeliğinde açıklanan kritik sıcaklığa ulaşarak mekanik dayanımlarını yitirmesini engellemelidir. Çelik yapı tasarımında birtakım aktif ve pasif

önlemler alınmasıyla, yapıda yangın güvenliği çözüme kavuşturulabilir. Yangın güvenliği tasarımında mimarın etkin olarak kullandığı pasif önlemlerdir. Bu önlemlerden biri, çelik yapının göçmesini önlemeyi amaçlayan, taşıyıcı elemanların yangın direnimlerinin yükseltilmesidir. Çelik yapı elemanlarının yangın direnimlerinin artırılması, kaçış ve söndürme gereklerine dayandırılır. Yapı elemanlarının direnimlerinin artırılmasıyla yangın güvenliği hedeflerine ulaşılabilir.

Bu çalışmanın amacı, “Yangında çelik yapı elemanları nasıl davranır ve hangi hasarlar meydana gelir? Çelik yapı elemanlarının yangın direnimini artırmada hangi yöntemler kullanılır?” sorularına yanıt aramaktır. Çalışmada öncelikle yangın bilimi açıklanmıştır. Çelik yapıda yangın güvenliğinin sağlanmasında kullanılan sınırlama taktiğine ve pasif önlemlerden biri olan yapısal korunuma açıklık getirilmiştir. Çelik yapılarda çıkan yangınlardan bir kısmı örnek olarak incelenmiş ve meydana gelen hasarlar belirlenmiştir. Çelik yapı elemanlarının yangın direnimlerinin artırılması için kullanılan yöntemler ele alınmış, bu yöntemlerin uygulamaya yönelik olumlu ve olumsuz yönlerine açıklık getirilerek önerilerde bulunulmuştur. Yöntemlerin uygulamasında kullanılan malzemeler ve yöntemler resim ve detaylarla desteklenerek anlatılmıştır.

Yapılan inceleme ve tespitlerden çelik yapı elemanlarında korunum sağlanmadıkça, tamamlanmış bir yangın güvenliği tasarımından söz edilemeyeceği sonucuna varılmıştır. Bunun için çelik yapı elemanlarına uygulanacak korunum yönteminin seçiminde; yönetmeliklerde istenen yangın direnim değerleri, yapının işlevi, uygulamadan sonraki görünüşü, yöntemin maliyeti ve yapının yangın yükü gibi kriterler göz önüne alınmalıdır. Tasarımda doğru bir yangın güvenliği sağlamak için çelik yapı elemanlarını korumada kullanılacak uygun yöntem ve yukarıdaki kriterler için yeterli değerler belirlenmelidir.

2. KURAMSAL BİLGİLER

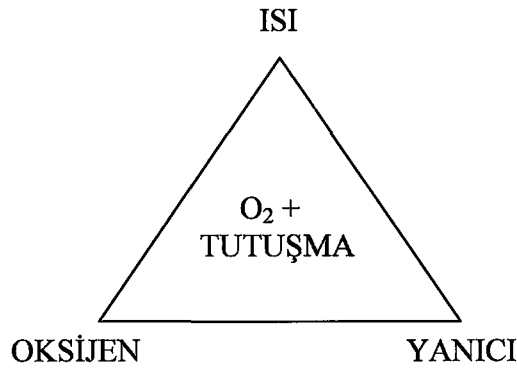
Mimarın, yangında neler olabileceğini, tasarım hedeflerinde nelerin olması gerektiğini ve bu hedefleri başarmanın yollarını bilmesi önemlidir. Mimar, çelik yapı tasarımında standart ve yönetmeliklerde belirtilen yangın güvenliğini yerine getirebilmek için yangın bilimi ve çelik yapı elemanlarına yangının etkisini bilmeli, tasarımda doğru çözümlere ulaşabilmelidir.

2.1 Yangın Bilimi

Yangın bilimi; yangının ortaya çıkışı, yangının gelişimi ve yanma ürünleri gibi kavramları kapsar. Mimarlar, tasarımlarında yangın güvenliğini sağlamak için gerekli olan yangın bilimiyle ilgili konular, bu bölümde ana hatlarıyla ele alınacaktır.

2.2 Yanma Süreci

Yanıcı madde ile birlikte oksijenin ve tutuşmayı sağlayıcı bir enerji kaynağının aynı ortamda var olması yangının başlangıcı için yeterli şartları meydana getirir. Yangını başlatan bu üç bileşene (yanıcı – oksijen – ısı) yangın üçgeni olarak adlandırılır (Şekil 2.1). Bu bileşenlerden birinin ortadan kaldırılmasıyla yangın tehlikesi önlenir. Yanıcı maddelere hidrojen, benzin ve ahşap örnek olarak gösterilebilir. Azot, su ve kireçtaşı gibi maddeler yanmazdır.



Şekil 2.1 Yangın üçgeni (Yavuz, 1996).

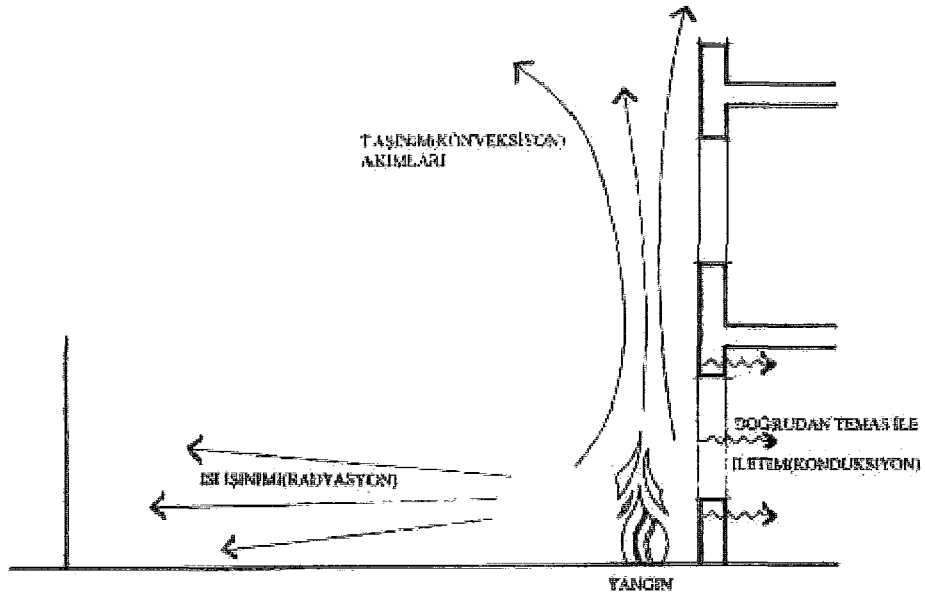
Yanma, herhangi bir maddenin oksijenle arasında ekzotermik (enerji sistemden ısı formunda açığa çıkar) kimyasal reaksiyonudur. Bu kimyasal reaksiyon yavaş ve hızlı yanma olmak üzere iki şekilde gelişebilir.

- Yavaş yanma tamamlanıncaya kadar uzun bir süre geçer. Bu tür reaksiyonlarda ısı üretimi çok yavaş olduğu için insanlar tarafında algılanamazlar. Örnek olarak kağıtta sararma ve metalde paslanma gösterilebilir.
- Hızlı yanma reaksiyonu ise çok çabuk gelişir ve ısı üretimi dağılımdan daha çabuk gerçekleşir. Sıcaklığın çok yükselmesiyle birlikte, çoğunlukla etrafına ışık yaydığı görülür. Yanma sırasında alevli ve için için yanma gözlemlenebilir. Kibritin ya da mumun yanması alevli yanmaya örnektir. Sigara, kömür, poliüretan köpük uzun süre içten içe yanabilir. Genelde gözenekli malzemelerde alevsiz yanma görülür.

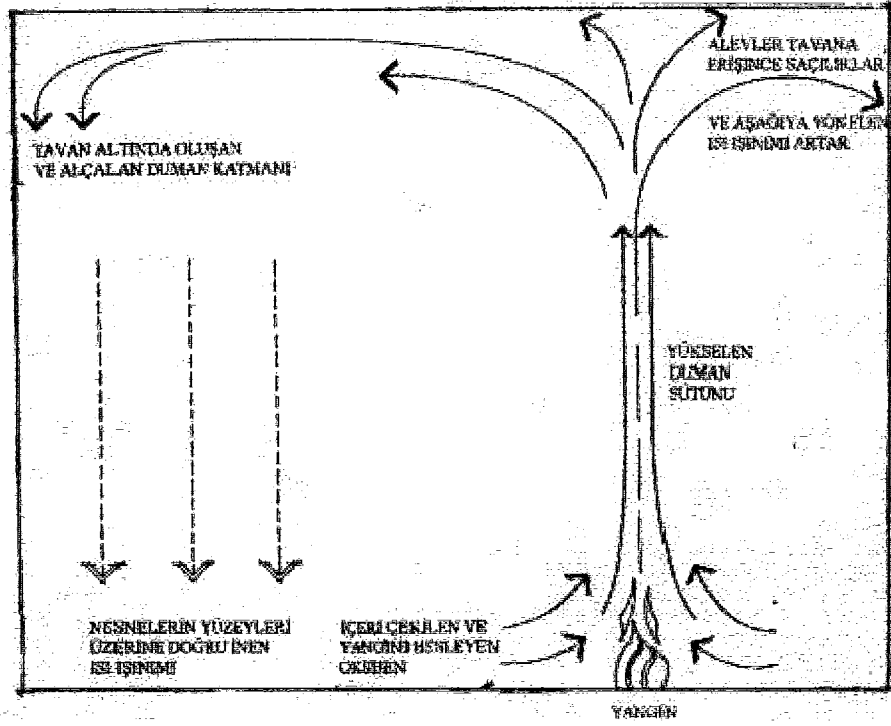
Yanmanın yayılımı yanıcının gaz, sıvı ya da katı halde olmasına bağlıdır. Gaz haldeki yanıcının yayılımı hava-gaz karışımına ve yanıcı gazın hareketliliğine bağlıdır. Yanma ince katmanlar üzerinde hızlı bir şekilde yayılır. Yanmanın yatay bir yüzey üzerinde yayılımı, hava akımlarının aynı veya ters yönde olmasıyla bağlantılıdır. Düşey yüzeyler üzerinde yayılımı yukarıya, aşağıya veya yana doğru yayılımından çok daha hızlıdır (Stollard ve Abrahams, 1991).

2.3 Yangının Gelişimi

Isı transferi iletim, taşınım ve ışınım mekanizmalarıyla gerçekleşir. İletim, ısının katılar içindeki transferidir fakat sıvılar ve gazlar içinde geçerlidir. Taşınım sıvılarda ve gazlarda görülen, ortamında etkili olduğu transfer şeklidir. Işınım, ısı kaynağı ile etki gösterdiği nesnelere arasında aracısız olarak gerçekleşen transfer çeşididir (Şekil 2.2).

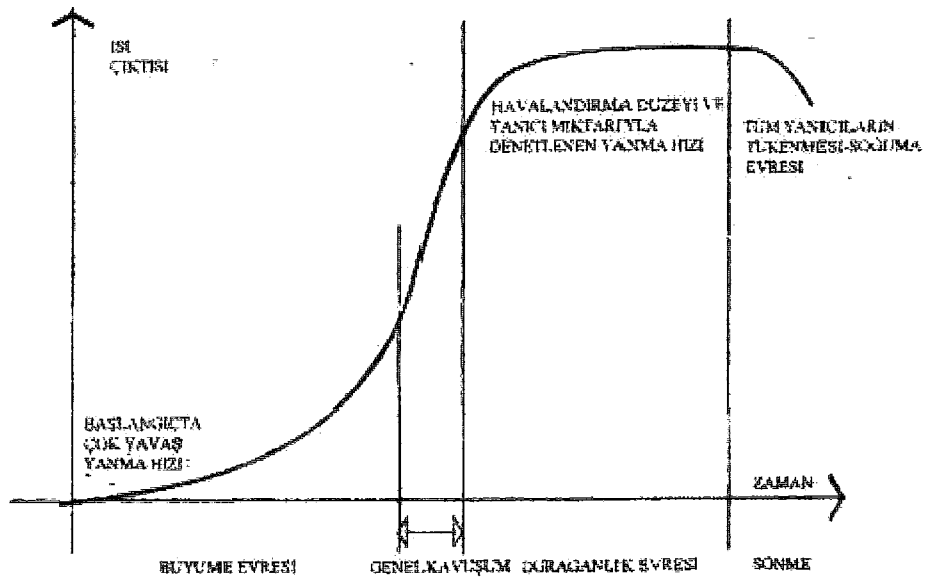


Şekil 2.2 Isı transferi yolları (Stollard ve Abrahams, 1991).



Şekil 2.3 Standart Kapalı Mekan Yangını (Stollard ve Abrahams, 1991).

Kapalı meknlarda çıkan yangınların davranışları ve yanma hızları açık meknlardakine göre farklılık gösterir. Yangının üzerinde sınırlayıcı bir tavanın bulunması, ısı ışınımlarının yüzeye geri dönüşünü artırıcı bir etkisi vardır (Şekil 2.3). Kapalı meknl yangını yeterli miktarda yanıcı ve havanın bulunmasıyla tutuşma sonrası çeşitli evreler geçirir. Bunlar büyüme, duraganlık ve soğuma evreleri olarak adlandırılırlar. Yangında tutuşmadan itibaren erişilen sıcaklık derecelerinin zamana bağlı olarak anlatımı yangın gelişim eğrisini verir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Standart Yangın Gelişim Eğrisi (Stollard ve Abrahams, 1991).

Gelişim süreci tutuşma anından başlayarak kapalı mekan içinde bulunan tüm yanıcıların alev almasına dek sürer. Gelişme evresinin süresi birçok etmene bağlıdır fakat alevlerin tavana erişmesiyle bir kritik ana erişir. Alevler tavana çarpıp saçılarak yüzey alanını artırır ve yanıcıların yüzeylerine geriye dönerler. Diğer yanıcılar da hızla kendi yangın noktalarına erişir ve 3-4 saniye içerisinde tutuşurlar. Bu ani geçişime genel kavuşum adı verilir.

Genel kavuşumdan sonra duraganlık evresi başlar. Yangının gelişim evresinde havalandırma yetersiz ise oksijen kıtlığından dolayı genel kavuşum evresi gerçekleşmeyebilir. Duraganlık evresinde alevli yanma kapalı mekanın tümünü kaplar. Yangında en çok sıcaklığa erişildiği evredir. Yapı elemanlarının yangın direnimi, erişilen yüksek sıcaklıklar ve oluşabilecek hasarlar açısından geçecek süre olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Son evre olan soğuma evresinde tüm yanıcılar tükenip küle dönmesiyle yangın sönmüş olur (Stollard ve Abrahams, 1991).

2.4 Yanmanın Ürünleri

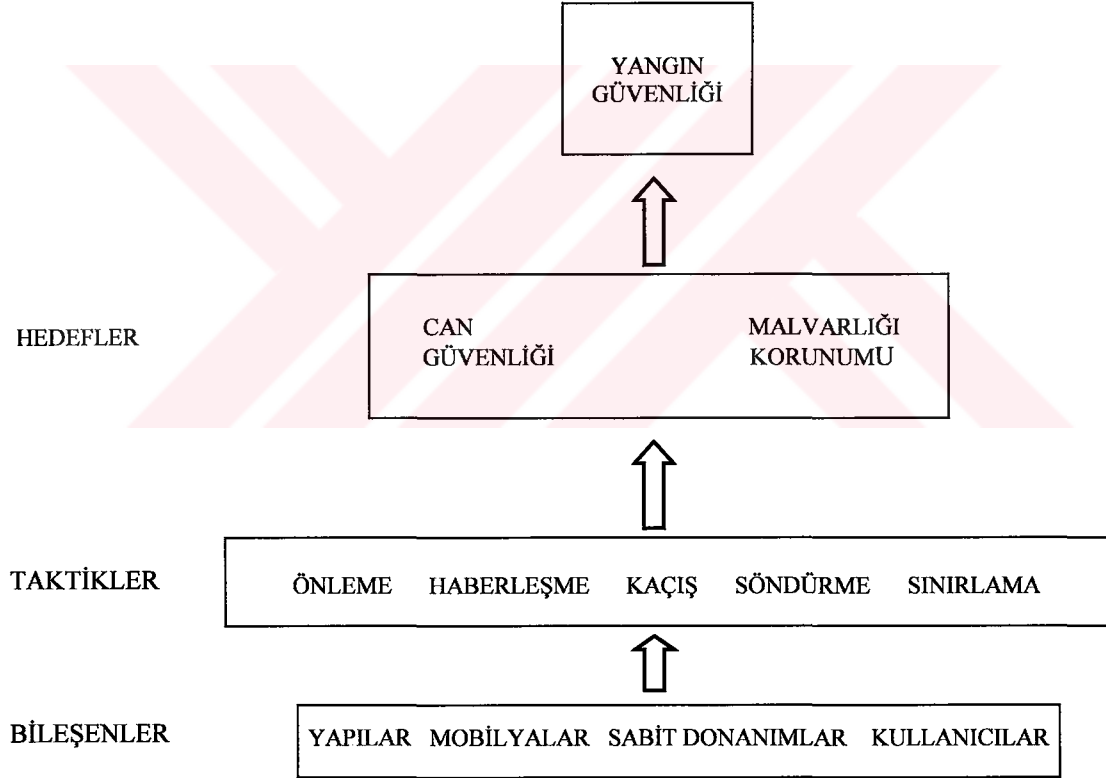
Yanmanın ürünleri ısı, ışık ve dumandır. Işık herhangi bir tehlike meydana getirmez. Bunun tam tersi olarak ısı ve duman büyük tehlikeler doğurabilir. Yapıda bu tehlikelere karşı önlemler alınmalıdır.

Yangında üretilen ısı miktarı yangın şiddetinin bir ölçüsü sayılır. Isı üretim düzeyini belirleyen etmenlerin anlaşılması bir yapıyı hasara uğratacak yangın potansiyelinin tahminine olanak sağlar. Yanıcı yük yapı içerisinde bulunan potansiyel yanıcı miktardır. Yanıcı yük hem yapıya giren ürünleri hem de yapının içerisinde yer alan sabit ve hareketli donatıları içerir. Mimar açısından yanıcı yükün, yapıya giren ürünlerle ve yapı içerisinde yer alan nesnelere değiştiğinin bilinmesi yeterlidir. Isı çıktısı sadece yanıcının doğasına ve miktarına bağlı değildir. Ayrıca yanıcıların yerleşme düzeni ve yüzey alanı büyüdükçe yangının gelişim hızı artar. Isı, bir yapının tümüyle göçmesine neden olabilir.

Dumanın yapıya hasarından çok kullanıcılara etkisi vardır. Araştırmalar, ölümlerin yarısından fazlasının yangında çıkan gazlar nedeniyle gerçekleştiğini göstermiştir. Tüm karbon esaslı ürünler karbon dioksit ve karbon monoksit çıkarırlar. Diğer zehirli gazlar ise hidrojen klorid, hidrojen siyanid ve azot oksitleridir (Stollard ve Abrahams, 1991).

3. YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIMI

Yapı tasarımında ısı ve dumandan kaynaklanan tehlikelerin azaltılması ile kullanıcıların can güvenliği ve malvarlığı korunumu sağlanabilir. Mimarın tasarım sonucunda can güvenliği ve malvarlığı korunumu hedeflerine ulaşmasında yardımcı olan çeşitli taktikler vardır. Bu taktiklerin uyguladığı önlemler yangın güvenliği bileşenlerini (yangın kapıları, sprinkler sistemi, kaçış merdivenleri v.b) meydana getirir. Tasarımcı açısından yangın güvenliğinin ana unsurları olan ilkelerin ve taktiklerin kavranmış olması, yangın güvenliği hedeflerine ulaşmada önemli rol oynar. Örneğin, kompartmanlama taktiği tasarımcı için önemli bir araçtır, fakat yangın güvenliği hedeflerine ulaşmak için tek başına uygulanması yeterli olmayabilir.



Şekil 3.1 Hedefler, taktikler, bileşenler hiyerarşisi (Yavuz, 2000)

3.1 Yangın Güvenliği Hedefleri ve Bileşenleri

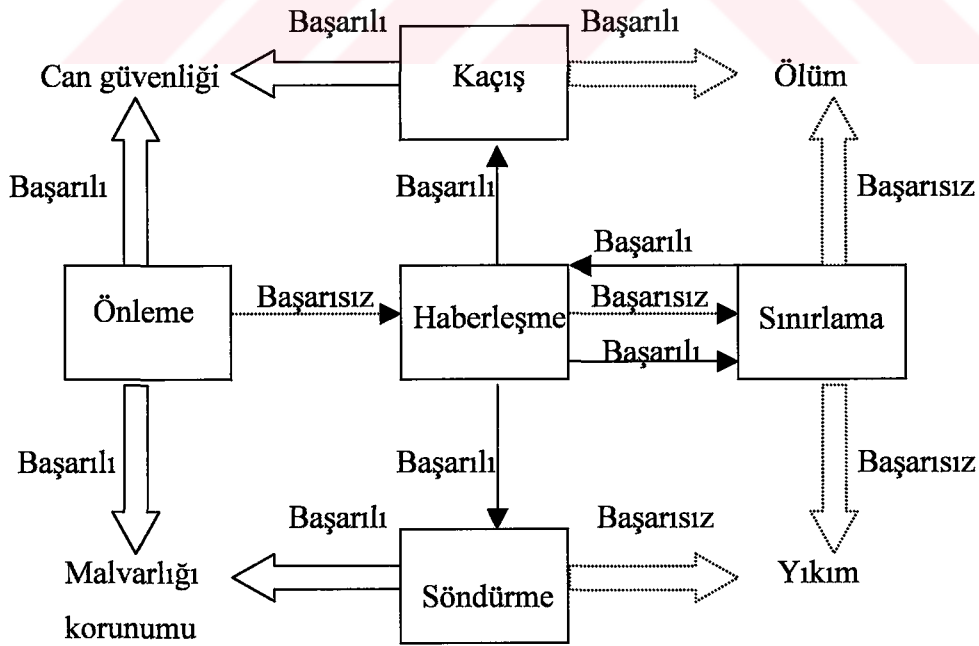
Yapı tasarımı, çeşitli çevresel etmen ve kullanıcı gereksinmelerinin karşılanması amacı ile estetik, işlevsel, teknolojik ve ekonomik boyutları içeren bazı hedeflerin gerçekleştirilmesi

olarak açıklanabilir. Bu hedefler bir bütün içerisinde düşünülmesi ve uygulanmalıdır. Yangın güvenliği, teknolojik hedeflerden birisidir. Mimar tasarım aşamasında, can güvenliği ve mal varlığı korunumunu sağlaması ile yangın güvenliği hedeflerini gerçekleştirmiş olur. Yapının yangın anında söndürme ve kurtarma çalışmaları süresince stabilitesini koruması sağlanmalıdır. Yangın güvenliği hedefleri kısaca, can güvenliği için kullanıcıların dumandan korunması ve mal varlığı korunumu içinse ısının yapıdan uzaklaştırılması olarak özetlenebilir.

Yangın güvenliği bileşenleri yapıda kullanılan mobilyalar, sabit donatılar ve kullanıcılardan meydana gelir. Bileşenler içinde kendi aralarında ve taktiklerin hepsine etkide bulunabilirler. Örneğin, mal varlığı korunumu hedefiyle kurulan sprinkler sistemi, yangının belirli sınırların dışına yayılmasını önler ve yapısal hasarı azaltabilir. (Yavuz, 2000)

3.2 Yangın Güvenliği Taktikleri

Tasarım sırasında mimar tarafından yangın güvenliği hedeflerinin yerine getirilebilmesi amacıyla uygulanan yöntemler dizinidir. Önleme, haberleşme, kaçış, sınırlama ve söndürme başlıklarında toplanan beş adet taktik vardır. Bu taktiklerin uygulanmasıyla yönetmelik ve standartlarda istenen düzeyde yangın güvenliğine sahip yapılar üretilir (Yavuz, 2000).



Şekil 3.2 Hedefler ve taktikler arası etkileşim (Yavuz, 2000).

3.3 Önleme

Mimar için yangın güvenliğinin sağlanmasında en etkili ve kolay olan taktiklerden biridir. Yangın üçgeninin elemanları ısı kaynağı, yanıcı madde ve oksijendir. Isı kaynağı ve yanıcının kontrol altında tutulmasında, tutuşmanın önlenmesi ve yanıcı miktarının kısıtlanması yöntemleri uygulanır. Önleme taktiğinin başarılı olması durumunda, diğer taktiklerin uygulanmasına gerek kalmaz.

Tutuşmanın önlenmesi için, tutuşturucu kaynakların tasarımın dışında tutulması ve doğru bir yapı yönetimiyle tutuşma riskinin ortadan kaldırılması gereklidir. Tutuşmanın oluşumunda etkili olan faktörler; doğal olaylar (yıldırım v.b.), dikkatsizlik, teknolojik kusurlar (elektrik tesisatı v.b.) ve kasıtlı yangın çıkarmadır. Yapıda alınacak önlemlerle yangın ve duman yükü azaltılabilir. Mimar yapımda ve yapı içinde kullanılacak ürünlerin seçiminde etkin rol oynar.

Çelik yapı elemanlarında kullanılacak son kat ürünlerle yangın yayıcılık azaltılabilir ve taşıyıcı elemanların yangın direnimleri artırılabilir. Bunu sağlayacak ürünler; beton bloklar, tuğlalar, alçı levhalar, vermikülit levha ve sıvıları, mineral lif levha ve sıvılar ve kalsiyum silikat levhalardır. Kullanılmasında sakınca olanlar; polistren, plastikler ve ahşap ürünlerdir (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.4 Haberleşme

Yangının erken evrelerde algılanması can ve mal kaybının düşük seviyelerde olmasını sağlar. Yapıda tutuşmayı algılayacak ve gerekli yerlerle (kullanıcılar, itfaiyeye ve yönetime) irtibata geçecek haberleşme ağı kurulmalıdır. Böylece kullanıcılar yapıdan kaçabilir ve otomatik savunma sistemleri harekete geçer. Yangın algılama, yorumlama analiz ve alarm sistemleri haberleşme ağı içinde kullanılır (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.5 Kaçış

Yangın çıkması durumunda kullanıcı duman ya da ısıya yenik düşmeden güvenli bir yere ulaşabilmelidir. Yapıda kaçış için gerekli süre yangının yayılma süresinden kısa olmalıdır. Uzun ve karmaşık kaçış yolları tasarlanmamalı, ayrıca yapıdaki dolaşım alanları içinde kaçışa çözüm bulunmalıdır. Kaçış yollarının tasarımında kullanıcının sayısı, hareket kabiliyeti ve

davranışlarının bilinmesi en uygun çözüme ulaşmada önemlidir. İki tip kaçış stratejisi uygulanır.

- Doğrudan Kaçış: Alarm verildikten sonra yapı dışına direkt olarak çıkıştır.
- Dolaylı kaçış: Yapının kompartmanlara ayrılması ve yangın olan kompartmandan yine yapı içinde diğer yapısal korunum uygulanmış bölgeye sığınmadır. Sığınılan kompartmandan, yangın olan bölüme geçmeden yapı dışına çıkma imkanı varsa bu seçenek düşünülebilir (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.6 Sınırlama

Sınırlama taktiği ile kullanıcıların can ve mal güvenliği korunumu sağlanır ve yapının çevresine yangının sıçraması önlenir. Yapı tasarımında diğer taktiklerin başarısız olabilme ihtimali vardır fakat sınırlama taktiği için böyle bir ihtimalden söz edilemez. Sınırlama taktiğinin ana prensipleri, yangının başladığı yerde hapsedilmesi ve yangın ürünleri olan duman ve ısının yayılmasının önlenmesidir. Taktik pasif ve aktif önlemlerden meydana gelir.

3.6.1 Pasif Önlemler – Yapısal Korunum

Yapısal korunumun pasif önlemler içinde önemli bir yeri vardır. Yapının bileşen ve elemanlarını yangında oluşan yüksek ısıya karşı özelliklerini belirli bir süre koruyabilecek detaylar üretilmelidir.

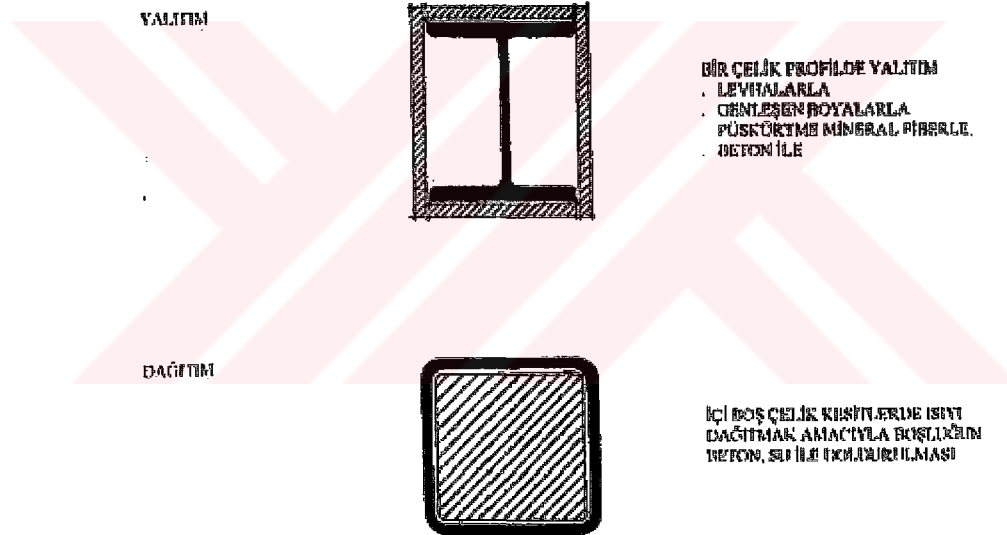
3.6.1.1 Yapı Elemanlarının Korunumu

Yapı bileşen ve elemanlarına uygulanacak korunumun düzeyi, kaçış ve söndürme gereklerine dayandırılır. Kullanıcıların kaçış süreleri ve can güvenliklerinin yapı içerisinde sığınma yerlerinin varlığına bağlılığı ile yapıda alınacak önlemlerle ilişkilidir. Ayrıca itfaiyenin söndürme ve kurtarma çalışmalarını yapı içinde gerçekleştireceği ve yapı strüktürünün yangın sonrasında onarım açısından stabil kalma gerekliliği korunumun düzeyinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Yapı strüktürüne uygulanacak korunum, sistemin en zayıf noktası olan birleşme noktaları da göz önüne alınarak yapılmalıdır (Stollard ve Abrahams, 1991)..

3.6.1.2 Yangın Direnimi

“Yangın direnimi, bir strüktür ögesinin (kolon, kiriş, döşeme v.b) önceden saptanan şiddette bir yangın sırasında aşağıda belirtilen ölçütlerin tümü ya da bazılarını, belirli bir süre için yeterli bir biçimde yerine getirebilme yeteneğinin ölçüsü olup bu sürenin dakika olarak anlatılmasıdır”. (Yavuz, 1996) Bu özellikler şunlardır:

- Duraganlık: Yapı elemanının aşırı sehim ve göçmeye karşı boyutsal yeterliliğidir.
- Bütünlük: Yapı elemanının ısı etkilerine karşı çatlamadan direnimli kalabilmesi ve sıcak gaz ve alev geçişine izin vermemesidir.
- Yalıtkanlık: Yangına bakışımı olmayan arka yüzde aşırı sıcaklık artışına direnimdir (Şekil 3.4) (Yavuz, 1996).

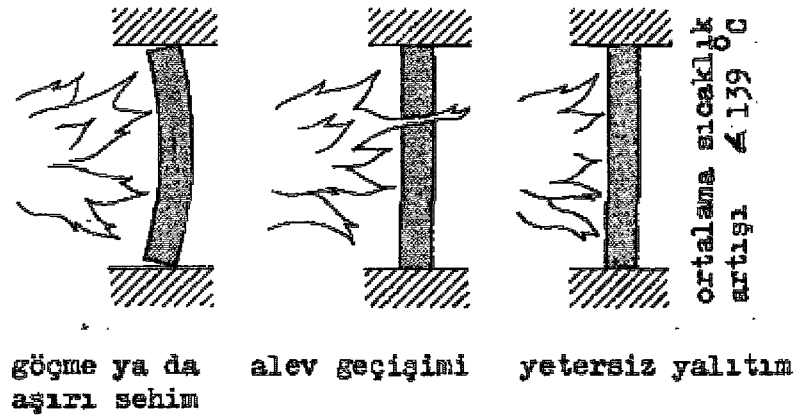
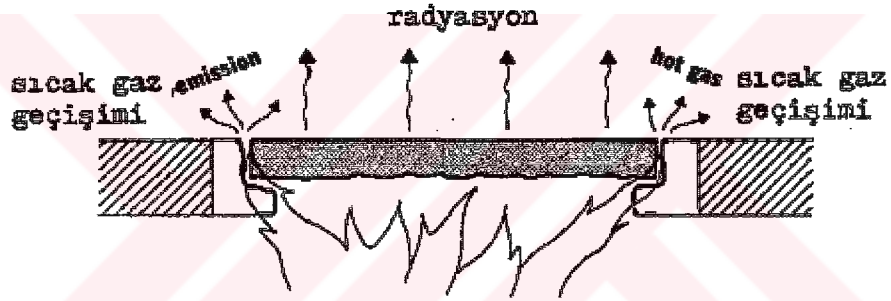
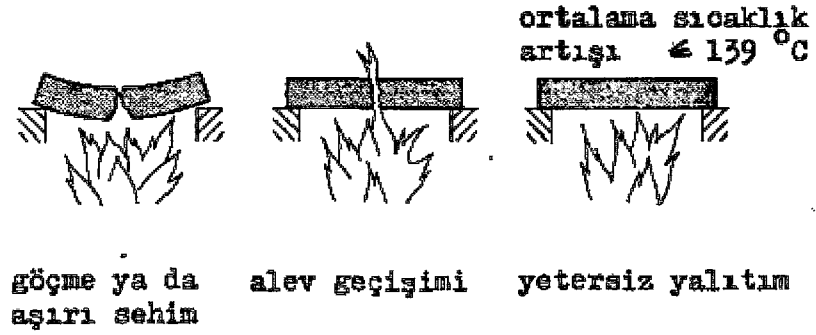


Şekil 3.3 Çelik taşıyıcı elemanlarının yangın koruma yöntemleri (Stollard ve Abrahams, 1991).

Taşıyıcı yapı elemanlarının duraganlık ve bütünlük ölçütlerini yerine getirmesi istenir. Eğer eleman yapıyı yatay ve düşey kompartmanlara ayırıyor ise yalıtkanlık özelliği de taşınmalıdır. Yukarıdaki ölçütleri gerçekleştirebilmek için aşağıdaki üç yöntem yapı elemanlarında uygulanarak önlem alınabilir.

- Boyut artırımı: Yapı elemanın boyutları büyük tutularak yangın etkisi ile boyutlarında oluşacak hasarın, elemanın tasarımda hesaplanan stabilitesini azaltmaması sağlanır.
- Yalıtım: Yapı elemanının ısı etkisine karşı elemanın üzerinde yalıtkan katmanlar oluşturulmasıdır.

- Dağıtım: Yapı elemanının stabilitesini bozacak kritik sıcaklığa ulaşmasını önlemek amacı ile elemana etkiyen ısının havaya ve diğer malzemelere dağıtılmasıdır (Şekil 3.3) (Stollard veAbrahams, 1991).



Şekil 3.4 Yapı elemanlarının yangın direnim anlatımı (Yavuz, 1996).

Çizelge 3.1 Normal binalarda yapı elemanları için aranacak yangın direnim şartları (Yeni yangın yönetmeliği).

Yapı elemanları	≥ 2	$\geq 3 - 5$	>5	Yüksek binalar
Kolonlar	F30-B	F90-A	F90-A	F90-A
Yangın duvarları ve özel sınır duvarları	F30-A	F90-A	F90-A	F90-A
Döşemeler	F30-AB	F30-A	F90-A	F90-A
Merdiven kulesi duvarı	F90-A	F90-A	F120-A	F120-A
Merdiven kulesi döşemesi	F90-A	F90-A	F90-A	F90-A

3.6.2 Kompartmanlama

Yapı tasarımında can ve mal güvenliğinin sağlanması ve söndürme çalışmalarının kolaylıkla yapılabilmesi için yangını sınırlandırma gereği duyulur. Yapı elemanlarının direnimlerinin artırılması ile beraber yapının bir veya daha fazla sayıda kompartmana ayrılması gerekir. Böylece insanlar yapıyı güvenli bir şekilde terk edebilir veya hareket kabiliyeti az olan kullanıcılar güvenli bir alana sığınabilirler. Yapıda veya her katta uygulanacak kompartman sayısı kullanıcı sayısına, yapının işlevine ve yanıcı yük miktarına bağlı olarak belirlenir. Kompartman duvarları arasındaki mesafenin belirlenmesinde, kullanıcıların kaçış yetenekleri önemli rol oynar. Kompartmanın duvar ve döşemelerinden bir saatlik yangın direnimi beklenmesi normaldir. Fakat kaçış uzaklıklarını düşürmek amacı ile kompartman içinde bölücü duvarlarla alt kompartmanlar düzenlenirse, elemanların 30 dakikalık yangın direnimine sahip olması yeterli olabilir. Ayrıca yapıda kaçış yollarının, merdiven yuvalarının ve asansör yuvalarının alt kompartmanlar gibi düşünülüp korunum sağlanması gerekebilir. Bunlar yangına ve dumana karşı direnimli hale getirilirler. Kullanıcı yangın anında bu korunumlu yollardan geçerek korunumlu shaftlara ulaşabilir ve oradan da güvenli bir şekilde aşağı katlara inerek zemin kattaki son çıkışa giderek yapıyı terk edebilir.

Kompartmanın düzenlenmesinde onların geometrisi önemli değildir. Önemli olan kompartmanları oluşturan bileşen ve elemanlardaki yangın ve duman direniminin bir bütün içerisinde sürdürülmesidir. Yangın güvenliğinin aksamaması için kompartmanı oluşturan duvar ve döşemelerdeki çeşitli servislere ait boru ve kanallarda yangın durdurucular kullanılmalıdır. Elemanlardaki bütünlüğün sürdürülmesi için kapılarda da yangına ve dumana direnimli olanlar kullanılmalıdır. Kompartmanlama yaparak yapıdaki yangın yükleri bölümlere ayrılmış olur. Böylece taşıyıcı sisteme, yangınla birlikte gelen yük miktarının azalması sağlanabilir (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.6.3 Dışkabuk Korunumu

Dış kabuk korunumu ile yapıların birbirleri arasında ve yapı dış yüzeyi boyunca yangının yayılması önlenir. Yangın anında, konveksiyon akımları yolu ile havada uçuşan yanar parçacıklardan ve yakın yapılar arasındaki ısı ışınımının etkileri nedeni ile yangının yayılımı gerçekleşebilir. Bu tehlikenin azaltılabilmesi amacı ile yapının cephe ve çatı tasarımında önlemler alma zorunluluğu doğar. Çözüm olarak çatı ve cephe kaplamalarının seçiminde yangın yayıcılık potansiyeli düşük ürünler tercih edilmelidir. Bazı yönetmelikler ile yakın konumlanmış yapılar için dış duvar kaplamalarına sınırlamalar getirilmiştir. Yapı tasarımında dışkabuk boşluklarının boyutlarına getirilen kısıtlamalara uyulması ile yangında ısı ışınımının çevredeki diğer yapılara ve diğer katlara sıçraması önlenir (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.6.4 Aktif Önlemler

Yapı tasarımında yangına karşı alınan pasif önlemler yanında aktif önlemler de düşünülmeli ve uygulanmalıdır. Aktif önlemler duman denetimi ve yapı içinde dumanın yayılımının sınırlandırılmasını kapsar. Kullanıcıların dumandan zehirlenmesini önlemesiyle birlikte, aktif önlemler ortamdaki sıcak gazların atılmasını sağlayarak, artan yapı içi sıcaklığının strüktüre verdiği zararı azaltabilir.

Yangında, yapı içinde oluşan dumanın yayılımının sınırlandırılmasında duman perdeleri ve duman haznelerinden yararlanır. Duman perdeleri sabit veya yangın anında otomatik olarak aşağıya inebilecek şekilde uygulanabilir. Duman perdeleri çatı strüktürü ile aynı direnime sahip olmalıdır.

Çizelge 3.2 Yapı tiplerine göre kompartman büyüklükleri ve yangın direnimleri (Stollard ve Abrahams, 1991).

Yapı Tipi	Kompartman Büyüklüğü	Yangın direnimi (dak.) kat adedi		
		1	3	>3
Konutlar	Her daire için ayrı	30	30	30
Apartman Daireleri	Her daire için ayrı	30	30	60
İçinde Kalınan Kuruluşlar (Hastaneler, Hapishaneler..)	900 m ²	30	60	60
Oteller ve Ahşap Evler	1600 m ²	30	30	60
Büro Ticaret ve Okul Binaları	1600 m ²	30	30	60
Dükkanlar	1600 m ²	30	30	60
Toplantı ve Eğlence Yerleri	900 m ²	30	60	60
Endüstri Yapıları				
a) Yağ, mobilya, plastik atölyeleri (Yüksek Tutuşma Riski)	400 m ²	60	60	60
b) Garaj, matbaa, tekstil atölyeleri (Orta Tutuşma Riski)	900 m ²	30	60	60
c) Metal işleri, çimento fabrikaları (Düşük Tutuşma Riski)	1600 m ²	30	30	60
Depolar		60	60	60
a) Yüksek Yakıt Riski	400 m ²			
b) Orta Yakıt Riski	900 m ²	30	60	60
c) Düşük Yakıt Riski	1600 m ²	30	30	60
Otomobil Park Yerleri	Sınırsız	30	30	30

Duman hazneleri yangın anında oluşan dumanı içlerinde toplayacak şekilde, tavanda yapılan yükseltilmiş alanlardır. Bu haznenin depolama alınının belirli bir sınırı vardır. Çünkü, dumanın soğuyarak tekrardan aşağıya inme ihtimali vardır. Dumanın atılmasında doğal ve mekanik havalandırma sistemlerinden yararlanır. Her iki sisteminde birbirleri içinde farklı avantajları vardır. Doğal havalandırmada sistemin istenilen düzeyde çalışması dış hava koşullarına bağlıdır. Havalandırma boşluğunun dış yüzeyindeki rüzgar basıncı iç duman basıncından yüksek ise duman dışarı çıkamaz ve tekrar boşluktan içeri geri dönebilir. Çok dik meyilli çatılarda rüzgarın esiş yönünde olan bacadan duman dışarı tahliyesi zorlaşabilir. Duman havalandırma sisteminin tasarımı uzmanlar tarafında gerçekleştirilmesi gereken bir konudur (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.6.4.1 Basınçlama

Yangın anında kaçış yollarına ve merdiven yuvasına ne kadar önlem alınsa da duman dolaşabilir. Koridor ve merdiven gibi küçük mekanlarda dumanın girişini önlemek için ortamın hava basıncı artırılmalıdır. Böylece koridor ve merdiven gibi mekanlara, basınç farkından dolayı yangının olduğu mekandan duman geçişi önlenir. Duman tahliye sistemlerinin ise büyük mekanlarda kurulması daha uygun olur. Çünkü koridor gibi mekanlarda duman tahliye sistemi uygulanırsa, koridora daha çok duman çekilmesine yol açabilir. Basınçlama sistemleri sadece yangın anında çalışmaya başlayacak düzenek gibi veya devamlı düşük bir devirde çalışıp, yangın anında hava üfleme temposunu artıracak sistemler olarak uygulanabilir (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.6.4.2 Havalandırma

Dumanın yapı içinde yayılımının azaltılması amacı ile dumanın yapı dışına atılması gereklidir. Az katlı yapılarda dumanın atılması için çatı havallıkları kullanılabilir. Çok katlı yapıdaysa mekanik sistemler sayesinde dumanın dışarı atılması sağlanır. Bunların uygulanması ile yangın sönmez, fakat kullanıcıların kaçması ve söndürme çalışmaları için gerekli ortam meydana gelir (Stollard ve Abrahams, 1991).

3.7 Söndürme

Yangının mutlak söndürülme gerekliliği vardır. Yangının söndürülmesinde su, köpük, kuru toz, CO₂ ve halon gazı gibi maddelerden yararlanır. Yapıda yangınla birlikte kendiliğinden

devreye girerek söndürme işlemini yapan otomatik söndürme sistemleri kullanılabilir. Bu sistemler söndürme için kullanılan madde ve sisteme göre değişiklik gösterir. Bundan başka ilk müdahalenin yapılmasında ve ileri aşamada yangınla savaşında manuel yangın söndürme sistemleri (taşınabilir yangın söndürücüler, yangın battaniyeleri ve hortum dolapları) de kullanılır (Stollard ve Abrahams, 1991).



4. ÇELİK YAPILARIN ÖZELLİKLERİ

Çelik yapıların, çelik malzemenin özelliklerinden dolayı diğer yapılara göre bazı avantajları vardır. Homojen ve izotrop bir malzemedir ve öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı çok küçüktür. Elastisite modülü, diğer yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında çok yüksektir. Bundan dolayı stabilite sorunlarına, dinamik yüklere ve titreşimlere uygun bir davranış gösterir. Çekme dayanımı basınç dayanımına eşittir. Sünek bir malzeme olduğu için büyük bir şekil değiştirme kapasitesi bulunmaktadır. Çelik taşıyıcı elemanların atölyelerde işlenmeleri, inşaatın montaj aşamasında hava koşullarından fazla etkilenmeden yapım süresi kısalmaktadır. Çelik yapı elemanlarını değiştirme ve takviye olanağı vardır. Ayrıca, elemanlar söküldükten sonra tekrara kullanılabilirler. Elemanlar yerlerine monte edildikleri anda tam yükte çalışabilirler (Yardımcı, 2001).

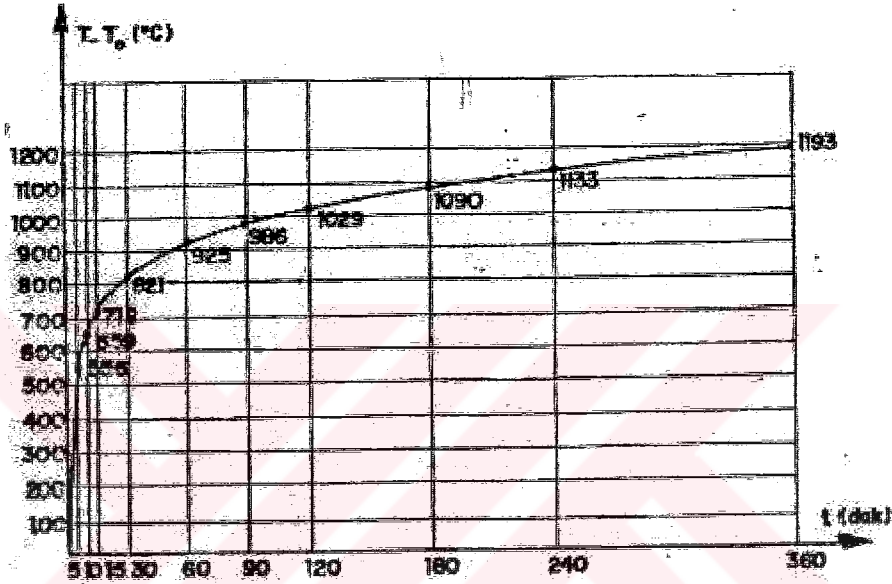
Mimarlar, yapıların taşıyıcı sistemini çelik elemanlardan üretirlerse, tasarımda istedikleri optimum çözümlere ulaşabilirler. Türkiye’ de çelik yapı üretimi dünya ortalamasına göre düşüktür. Fakat, çelik yapının yukarıda değinilen uygun özelliklerinden dolayı üretimi günden güne artmaktadır. Çelik yapı üretimindeki bu artış aşağıdaki çizelgeden izlenebilir (Çizelge 4.1) (DİE, 2000).

Çizelge 4.1 DİE. 2000 yılı bina sayımı (DİE, 2000).

Tarihe göre yapı sayısı		Yapı sınıfına göre yapı sayısı	
Yapı bitiş tarihi	Çelik yapı sayısı	Yapı sınıfı	Çelik yapı sayısı
- 1929	106	Konut	532
1930-1939	15	Ticari	1556
1940-1949	74	Sanayi	1626
1950-1959	231	Eğitim	18
1960-1969	362	Kültür	6
1970-1979	541	Sağlık	11
1980-1989	1042	Sosyal	21
1990-2000	2394	Spor	36
Bilinmeyen	110	Resmi daire	454
		Dini	12
		Diğer	603

4.1 Çelik Elemanların Mekanik Özelliklerine Yangının Etkisi

Yeni yangın yönetmeliğine göre; “çevreye yangın yayma tehlikesi olmayan ve yangın sırasında içindeki yanıcı maddeler çelik elemanlarında 540 °C üzerinde bir sıcaklık artışına sebep olmayacak bütün çelik yapılar, çelikte yangına karşı herhangi bir önlem alınmaksızın yangına karşı dayanıklı kabul edilir. Bunun dışında kalan çelik yapılarda, çeliğin sıcaktan uygun şekilde yalıtılması gerekir”.



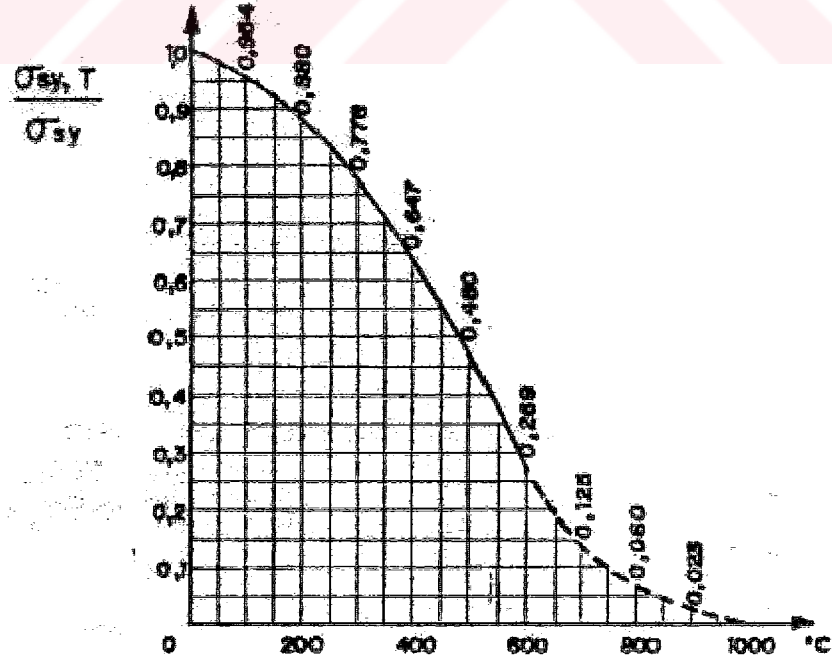
Şekil 4.1 Standart sıcaklık – zaman eğrisi (Arda ve Yardımcı, 1995).

Yukarıdaki standart sıcaklık – zaman eğrisinde yangında yapı için ulaşılabilecek sıcaklık miktarları incelenebilmektedir. Eğriye göre 10 dakika içinde ortamın sıcaklığı 659 °C'ye varmaktadır. Bu değer yönetmelikte belirtilen kritik sıcaklığı aşmaktadır. Yapıyı kullanıcıların kısa sürede terk etmesi ve itfaiyenin yapıyı söndürebilmesi için yapı ayakta kalmalıdır. Sıcaklığın 100 °C'ye ulaşmasıyla akma sınırı ve elastisite modülü gibi dayanımına birinci derecede etkili olan özelliklerinde değişmelerin başladığı gözlemlenir (Arda ve Yardımcı, 1995).

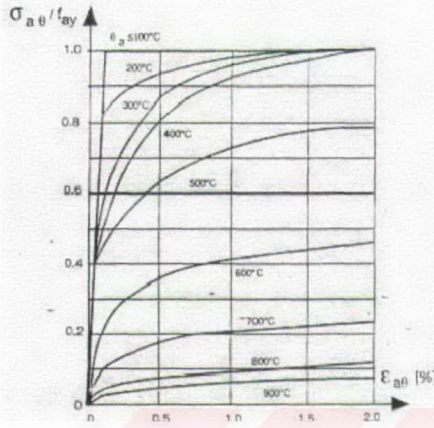
Yangında 538 °C'deki çelik elemanın akma dayanımı, normal oda sıcaklığındaki dayanım değerinin %60'ı kalır. Yapı çeliğinin kristal iç yapısı 600 ile 650 °C'ye kadar önemli bir değişiklik görülmez. Daha yüksek sıcaklıklarda çeliğin kristal yapısı değişir. Çeliğin 600 ile 650 °C arasındaki akma dayanımı, normal oda sıcaklığındaki akma dayanımı değerinin %30 ile %40'ına azalır (Milke, 1988).

Çizelge 4.2 Sıcaklıkla elastisite modülü ve akma dayanımının değişimi (Eurocode 3, 1993)

Sıcaklık (C°)	Elastisite modülü (N/mm ²)	Akma dayanımı (N/mm ²)
20	210000	355
100	210000	355
200	189000	355
300	168000	355
400	147000	355
500	126000	276.9
600	65100	166.85
700	27300	81.65
750	23100	60.35
800	18900	39.05
850	16537.5	30.175
900	14175	21.3
950	11812.5	17.75
1000	9450	14.2



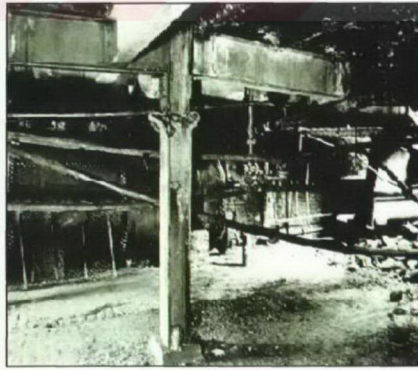
Şekil 4.2 Çelik akma sınırının sıcaklıkla değişimi (Arda ve Yardımcı, 1995).



Şekil 4.3 Çelik 37 (Fe 360) için, gerilme şekil değiştirme eğrisinin yüzde iki uzamaya kadar sıcaklıkla değişimi (Arda ve Yardımcı, 1995).

4.2 Çelik Yapılarda Meydana Gelen Yangınlar ve Hasarlara ait Örnekler

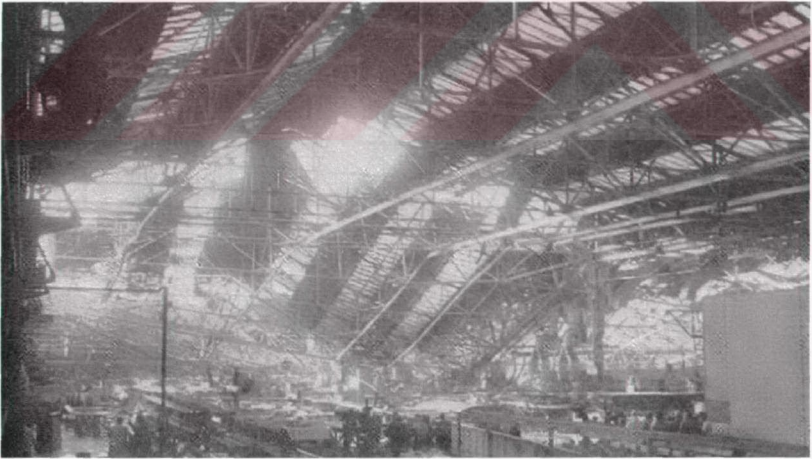
Çelik yapılarda meydana gelen yangınlar ve meydana gelen hasarlardan bazıları örnek olarak incelenecektir. Bu örnekler, çok katlı ofis binaları ve tek katlı fabrika yapılarını içermektedir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.4 Çelik iskeletli bir yapıda yangın sonrasında kolonda meydana gelen bozulma görülmektedir (Smith, 2002).



Şekil 4.5 Korunmasız çelik kafes kirişlerin çökmesiyle taşıyıcı yığma duvarların birlikte göçmesi (Thomas, 1972).



Şekil 4.6 Geniş açıklıklı kafes kirişi taşıyan korunmasız çelik kolonun çökmesiyle taşıyıcı sistemin bütününde hasar meydana gelebilir (Thomas, 1972).

Çizelge 4.3 Çelik yüksek yapılarda çıkan yangınlar ve yapılan onarımlar (Dexter ve Lu, 2000).

Yapı Adı	Yangının Çıktığı kat	Yangının Süresi (saat)	Yangının Etkilediği Kat Adedi	Tamiratın Kapsamı
Alexis Nihon Plaza	15	14	4	Yangın olan kattaki duvarlar, kirişler ve döşeme değiştirildi.
One New York Plaza	50	5	3	Döşemeler ve 100 adet kiriş değiştirildi.
Broadgate	13	5	2	Döşemeler, 51 kiriş ve 5 kolon değiştirildi.
First Interstate Bank	62	4	5	Az hasar oldu.
Westvco Ofis Binası	42	2	2	Döşeme ve döşeme kirişlerinin %40 değiştirildi.

- Broadgate Yangını : 1990 yılında Broadgate' te kısmen tamamlanmış olan 14 katlı ofis binasında yangın çıkmıştır. Yangında sıcaklık 1000 °C' ye ulaşmıştır. Yapıda kompozit döşeme ve kirişler tasarlanarak 90 dakikalık yangın direnimi sağlanmıştır. Yapının inşası sürdürüğü için kolonlardaki yangın koruma katmanı uygulanmamıştı. Diğer aktif önlemler de henüz faaliyete geçmemişti. Yapının kolonları deforme olmuş fakat çökme belirtisi göstermemiştir. Taşıyıcı sistemin tamirâtı 30 gün içerisinde tamamlanmıştır (Newman, Robinson, Bailey, 2000).



Şekil 4.7 Broadgate yangınında hasar gören yapının kolonlarındaki deformasyon (Smith, 1992).



Şekil 4.8 Broadgate yangınında hasar gören binadaki döşemeler bazı yerlerde 600 mm sehim yapmıştır (Smith, 1992).

- Churchill Plaza Yangını: 1991 yılında Basingstoke' taki 12 katlı binada yangın çıkmıştır. Kolonlar levhalarla korunmuş ve kompozit kiriş ve döşemeler ise püskürtme sıvılarla 90 dakikalık yangın direnimi sağlamak için korunmuştur. Yangında koruma tabakaları görevlerini yapmışlar ve çelik taşıyıcı elemanlarda önemli bir hasar olmamıştır. Yapının kritik noktasındaki döşemeye test uygulanmış ve tamirata gerekli olmadığı sonucuna varılmıştır (Newman, Robinson, Bailey, 2000).



Şekil 4.9 Churchill Plazanın yangın sonrası görünüşü (Newman, Robinson, Bailey, 2000).

- Occidental Center Tower yangını : 19 kasım 1976 yılında 32 katlı Occidental Center Tower binasının 20. katında yangın çıkmıştır. Gece saat 3'te çıkan yangın bir saat içinde kontrol altına alınmıştır. Yapıda can kaybı olmamıştır. Yapının döşeme ve kirişleri kompozit olarak üretilmiştir. Yangının çıktığı 20. katın %40' ı yangından etkilenmiş ve büyük bölümü yanmıştır. Yapının taşıyıcı sisteminde kiriş ve döşemelerde vermiculit püskürtme sıvıları, kolonlardaysa vermiculit-alçı karışımı sıva uygulanmıştır. Yanan kattaki bölücü duvarlar, tavanlar, mekanik ve elektrik tesisatları, dış cephedeki alüminyum paneller ve taşıyıcı elemanların üzerindeki yangın koruyucu kaplamalar hasarlanmıştır. Yapının taşıyıcı sistem elemanlarında herhangi bir tamirat yapılmamıştır. Yangının etkili olduğu 20. ve 21. katlardaki onarım işleri sekiz ayda tamamlanmıştır (Şekil 4.10) (SCC, 1979).



Şekil 4.10 Occidental Center Tower' da çıkan yangının görünüşü (gece) (SCC, 1979).

- Montel Yangını: 2002 yılının mayıs ayında İzmit'te deri mobilya üreten fabrikada yangın çıktı. Yapının ağır yanıcı yükünden dolayı yapı kısmen çökmüş ve kullanılamaz hale gelmiştir. Yapıda aktif ve taşıyıcı sisteminde pasif koruma yöntemleri uygulanmamıştı.



Şekil 4.11 Montel farikası yanarken dışarıdan görünümü.



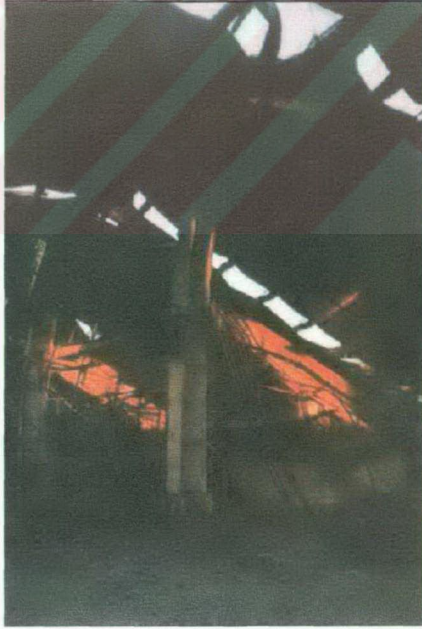
Şekil 4.12 Montel fabrikasının yangından sonra iç kısımdan görünüşü.



Şekil 4.13 Montel fabrikasının yangından sonra ayakta kalan kolonlarından bazıları.



Şekil 4.14 Montel fabrikasının yangından sonra iç kısımdan görünüşü



Şekil 4.15 Montel fabrikasının yangından sonra yıkılan bölümün görünüşü.

5. ÇELİK İSKELET STRÜKTÜRLERDE YANGIN KORUNUM YÖNTEMLERİ

Yangında, çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarına ait mekanik özelliklerin azalarak kritik değerlere ulaşması engellenmelidir. Taşıyıcı sistem elemanlarının dayanımlarını kaybetmesi, yapının çökmesine kadar varan istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Çeşitli yangın korunum yöntemlerinin uygulanması ile yapının çökmesi önenebilir. Yeni yangın yönetmeliğinde (İkinci Kısım- İkinci Bölüm) bu yöntemlerin tarifleri aşağıdaki gibidir:

“.....çelik yapılarda, çeliğin sıcaktan uygun şekilde yalıtılması gerekir. Yalıtım, yangına dayanıklı püskürtme sıva ile sıvama, yangına dayanıklı boya ile boyama, yangına dayanıklı malzemeler ile çevreyi sarma, kutuya alma ve kütleli yalıtım şeklinde yapılabilir.”

Yönetmelikte çelik yapı elemanlarının yangın direnimsizliklerinin artırımında yalıtım ilkesinin uygulanacağı belirtilmektedir. Yalıtımın gerçekleştirilmesi amacıyla kütleli koruma, çevreyi sarma ve kutuya alma yöntemleri kullanılır. Bu bölümde kullanılacak olan yöntemler ile malzemeler incelenecektir.

5.1 Kütleli Koruma

Çelik yapılarda, taşıyıcı yapı elemanlarının betonla çerçevesizlenmesi veya doldurulması sonucunda kütleli koruma sağlanabilir. Beton uygulandığı elemanın üzerinde ısısal dağıtım yaparak, taşıyıcı elemanın kritik sıcaklığa ulaşmasını engeller ve diğer dış tesirlere karşı koruma sağlar. Beton içerisine demir donatının döşenmesi ile betonun dayanımı artırılabilir (Özgen ve Aşkar, 1983). Kullanılacak betonda uygun agrega ve çimentonun seçilmesiyle betonun koruyuculuk değeri istenen düzeye getirilebilir. Betonda portland çimentosu yerine, yüksek fırın cürufu ve alüminli çimentoların kullanılmasıyla dayanım düzeyi yüksek beton elde edilebilir. Beton üretilirken silisli agregalardan farklı olarak kalker, dolomit ve bazalt gibi hafif agregaların tercih edilmesi yangına karşı yüksek dayanım sağlanması için faydalıdır (Akman, 2000).

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 (Şekil 5.1). Çelik profil dikdörtgen veya daire kesitli ise

kolonların içi veya dışı beton ile doldurarak koruma sağlanabilir (Şekil 4.2).



Şekil 5.1 Yapı elemanlarının üretiminde I kesitli profiller kullanılırsa uygulanacak betonla koruma yöntemi (Milke, 1988).

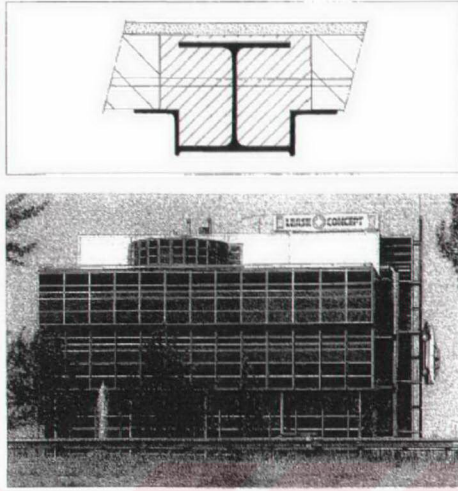


Şekil 5.2 (A) Çelik kolonun içinin betonla doldurulması, (B) Çelik kolonun dış yüzeyinin betonla kaplanması (Eurofer, 1990) [5].

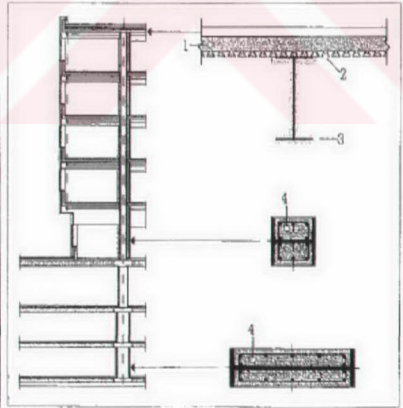
Çelik yapı elemanında F90 dakikalık yangın direnimi isteniyorsa B 160 kalitesinde en az 40 mm' lik beton kaplama yapılmalıdır. Yapıda betondan dolayı fazladan yük oluşması istenmiyorsa hafif betonlar tercih edilebilir. Betonun kaplanmasında düşey kalıplar kullanılıyorsa çelik elemanın montajından önce veya sonra beton dökülebilir. Yatay kalıp kullanılacaksa çelik elemanın montajından önce betonun dökülme gerekliliği doğar (Özgen ve Aşkar, 1983). Bunun yanında korumada beton kullanımının (kolon - kiriş birleşimleri gibi) detay çözümlerinde ve kafes kirişlerde uygulama zorlukları vardır.

Çizelge 5.1 Korumada kullanılan betonun özellikleri (Arda ve Yardımcı, 1995).

	Yoğunluk Kg/m ³	Isısal iletkenlik W/(m.°C)	Özgül ısı J/(kg.°C)
Boşluklu Beton	600	0,30	1200
Hafif Beton	1600	0,80	1200
Normal Beton	2300	1,70	1200



Şekil 5.3 Mees Leas Ofis Binası, kolon, kiriş ve döşemelerde betonla kaplanarak F60 dakikalık yangın direnimi sağlamıştır, Amsterdam, Hollanda (Eurofer, 1990) [5].



Şekil 5.4 Avrupa Parlamentosu yönetim binası, F 90 yangın direnimi sağlamak amacıyla kolonlar ve döşemeler betonla korumaya alınmıştır, Kirchberg (Eurofer, 1990) [5].

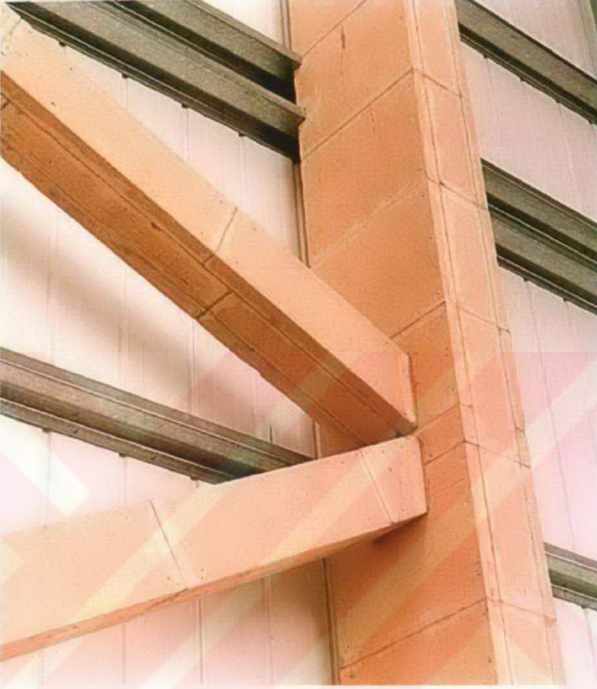
5.2 Levhalar ile Çevreyi Sarma

Çelik yapı elemanlarının yangın direnimi artırmada kullanılan yöntemlerden bir diğeri levhalar ile elemanın çevresinin sarılmasıdır. Uygulama temiz bitmiş yüzeyler sağlanabilme ve kuru metotlarla gerçekleştirilebilme gibi avantajlara sahiptir. Yapı elemanlarından istenilen yangın direnim düzeyine göre levhalar bir veya daha fazla tabaka olarak uygulanabilirler. Levhalarla çevrelemenin kolonlarda, kirişlerde ve kafes kirişlerde uygulama olanağı vardır. Levhalar malzemelerinin özellik ve uygulamadaki yöntemlerine göre çeşitli tipleri vardır. Korumada kullanılan levhalar alçı, vermikülit, kalsiyum silikat ve mineral lif gibi inorganik malzemelerden üretilebilirler (Milke, 1988).

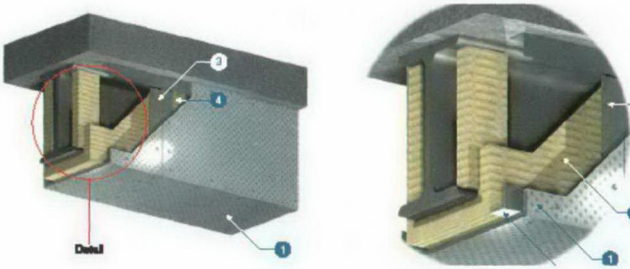
- Alçı levha: Alçının yapısındaki serbest su 100 °C civarında açığa çıkar ve sıcaklık arttıkça kristal suyunu da kaybeder. Ortamdaki ısının suyun buharlaşma ve alçıdan ayrışmasında yitireceği için yapı elemanına etkileyen sıcaklıkta azalma olur. Alçı, inorganik ve yanmayan (A1 sınıfı) malzemedir. Alçı levhaların yüzeyleri yanmaz malzemelerle (alüminyum folyo v.b.) kaplanabilir ve perlit, vermikülit ve mineral liflerle karıştırılarak güçlendirilebilirler (Yavuz ve Balanlı, 1997).
- Mineral lifli levha: Bu levhaların ısısal iletimlerinin düşük olmasından dolayı çelik yapı elemanlarının korumasında kullanılırlar (taşünü gibi).
- Vermikülit levha: Vermikülit, 1350 °C ' ye kadar yapısını koruyabilir ve ısısal iletimi düşük bir malzemedir. Bu özelliklerinden dolayı yangın korumada kullanılacak ürünlerin yapımında vermikülit malzemenin kullanılması uygundur.

Çelik yapı elemanlarının üzerine çevreyi sarma işlemi yapıştırma, vidalama ve kaynaklı pimlere veya klipslere sabitleme ile gerçekleştirilebilir (Blanc ve diğerleri, 1993) . Levhaların yerleştirilmesinde derzlerin şaşırtılmasına ve ayrıca derzlerin alçı gibi malzemelerle doldurulmasına dikkat edilmelidir. Çelik elemanda koruma uygulaması yapıldıktan sonra temiz yüzey elde etmek amacıyla alçı, perlit gibi malzemelerden oluşan sıva yapılabilir. Yapı elemanlarının korunmasında 6 – 80 mm arasında kalınlıklara sahip levhaların kullanılmasıyla 0.5 ila 4 saat arasında yangın direnimi sağlanabilir. Kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve sabitleme yöntemi de istenilen yangın direnim düzeyine ulaşmada önemli rol oynar. Yapı

elemanından 2 saat veya daha fazla yangın direnimine sahip olması isteniyorsa, levhaların sabitlenmesinde mekanik yöntemler kullanılmalıdır (British Steel, 1991) [2].

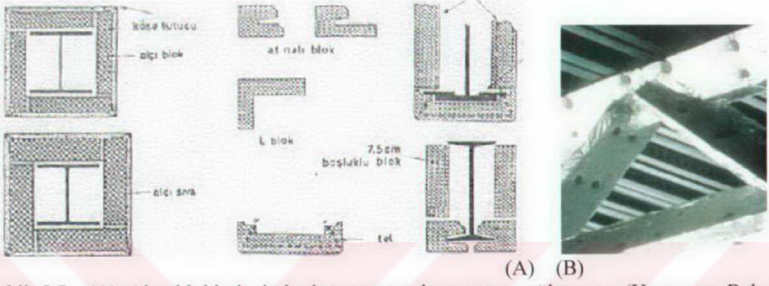


Şekil 5.5 Kolonlarla kirişin birleşimine ait detayın vermikülit levhalarla (vidalı bağlantı) korunması (Smith, 2002) [7].

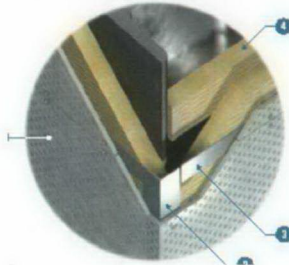
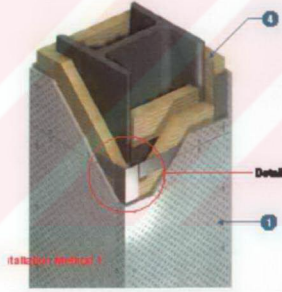


Şekil 5.6 Kirişin mineral levhalarla korunumu [10].

Çerçeveleme yöntemi kapsamında rijit levhalardan farklı olarak mineral lifli şilteler ve alçı bloklar kullanılabilir. Çelik taşıyıcı elemanın kesitine bağlı olarak dikdörtgen kesitli veya nal, L ve U biçimli özel bloklar kullanılabilir (Şekil 5.7) (Yavuz ve Balanlı, 1997). Mineral lifli şilteler esnek yapılarıyla karışık detaylarda değişik kesitli profillerin etrafını sararak yangına karşı korunmasını sağlarlar (Şekil 5.7).

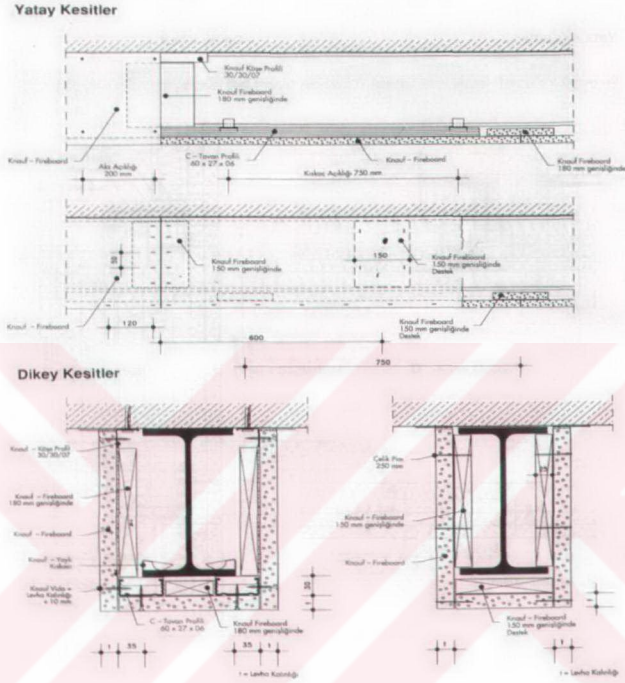


Şekil 5.7 (A) Alçı bloklarla kolonlara yangın korunumu sağlanması (Yavuz ve Balanlı, 1997). (B) Mineral lif esnek şiltelerle kafes kirişin korunması [9].

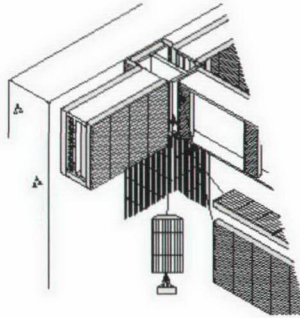


Şekil 5.8 Kolonun mineral lifli levhalarla (vidalarla sabitlenme) korunması [10].

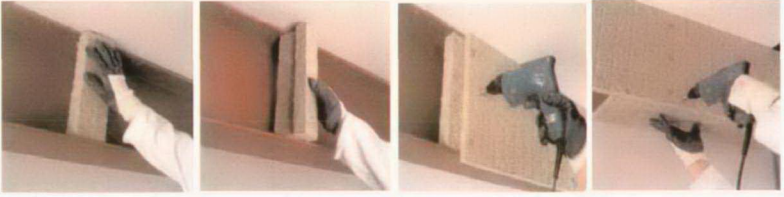
Türkiye'de çeşitli firmaların ürettiği alçı ve mineral liflerden (taşyünü) oluşan levhalar ve geliştirdikleri uygulama detayları vardır. Bunlara örnek olarak iki firmanın uyguladığı detaylar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 5.9) (Şekil 4. 14).



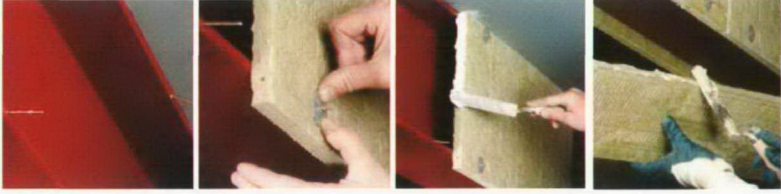
Şekil 5.9 Türkiye'den bir örnek; kirişlere alçı levhaları vidayla sabitleyerek koruma sağlama detayı (Knauf Ltd. şti.) [13].



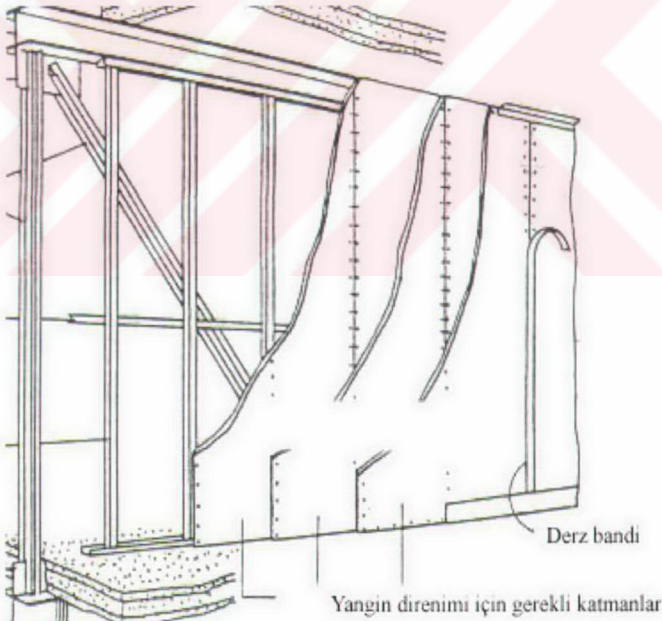
Şekil 5.10 Kolonla üç adet kirişin levhalarla korunumu (Albi Ltd. şti) [12].



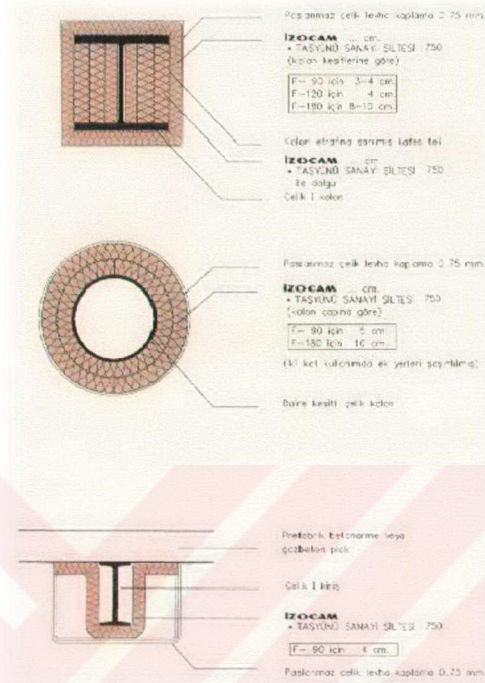
Şekil 5.11 Mineral lifli levhaların kirişe vidalanarak uygulanması görülmektedir [6].



Şekil 5.12 Mineral lifli levhalar kirişe önceden kaynaklanmış pimlere, yapıştırıcı tutkal kullanılarak sabitlenebilir [6].



Şekil 5.13 Çelik kafes kirişlerde alçı levhaların vidalanmasıyla yangın koronumu sağlanması (Milke, 1988).



Şekil 5.14 Türkiye'den bir örnek; kolonlara mineral lif (taşyünü) levha ve şilte kullanarak koruma sağlama detayı (Izocam Ltd. Şti.) [1].



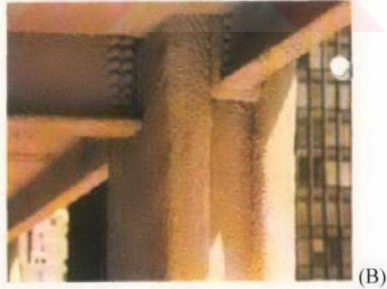
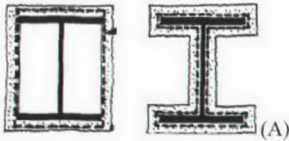
Şekil 5.15 Kirişte mineral lif levhaların klipslerle sabitlenerek korunum sağlanması (Cafco Ltd.Şti) [8].

Çizelge 5.2 Çerçevelemede kullanılan levhaların özellikleri (Arda ve Yardımcı 1995)

	Yoğunluk Kg/m ³	Isısal iletkenlik W/(m.°C)	Özgül ısı J/(kg.°C)
Vermikülit levha	300-800	0,15	1100
Kalsiyum- silikat levha	450-900	0,15	1100
Alçı levha	800	0,20	1700
Mineral lif levha	120-150	0,25	1100

5.3 Püskürtme Sıvalar

Çelik taşıyıcı sistem elemanlarının çıplak yüzeylerine tabancalarla, makineden gelen basınçlı sıvanın püskürtülme işlemi diğer çevreyi sarma yöntemlerinden biridir. Sıvanın püskürtülmesi ile koruma yönteminin, uygulaması hızlı ve maliyeti diğer yöntemlere göre ekonomiktir. Ayrıca kolon, kiriş ve kafes kirişlerin her çeşit profil kesitlerinde ve karmaşık birleşim detaylarında uygulama kolaylığına sahiptir (Blanc ve diğerleri, 1993).



Şekil 5.16 (A) I Kesitli profilere tel hasır sarılıp üzerine koruma katmanı uygulanması
(B) Kolon, kiriş ve döşemenin birleşimine uygulanan püskürtülmüş yangın korunumu (Smith, 200) [7].

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 (Çizelge 5.3). Yapı elemanına koruma katmanını 10mm –60 mm arasında uygulanmasıyla 2 ile 4 saat arasında yangın direnim düzeyi elde edilebilir. Yangın direnim düzeyinin 4 saat olması için uygulanması gerekli koruma katmanı 40 mm ile 60 mm arasındadır ve koruma katmanının kalınlığı arttığı için güvenlik açısından ince tel veya başka malzemeden hasır elemanın üzerine serilerek koruma uygulaması gerçekleştirilmelidir. Bu yöntemin avantajı yapı elemanlarının üzerine bağlantı parçalarına gerek duymadan uygulama kolaylığına sahip olmasıdır (Smith, 2000).



Şekil 5.17 Püskürtme sıvalarıyla korunmuş olan çelik kafes kirişleri görülüyor (Smith, 2000) [7].

Çizelge 5.3 Çelik yapı elemanlarını korumada kullanılan püskürtme sıvalarının özellikleri (Orbay, 1997).

	Yoğunluk Kg/m ³	Isısal iletkenlik W/(m.°C)	Özgül ısı J/(kg.°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 kirlişlerde, asma tavan altındaki döşemelerde, bodrum katlarda ve atölye gibi yapılarda uygulanması tercih edilir (Şekil 5.17). Gözle görülür kolon ve kirlişlerde uygulama gerekliliği doğarsa, yapı elemanına korunum sağlandıktan sonra üzerine başka bir katman kaplanarak istenen estetik görünümü yüzey elde edilir. Bu ikinci katmanın diğer bir yararı da uygulama sonunda püskürtülen koruma katmanının dış etkilere karşı zayıf olan yüzeyini de korumasıdır. Islak uygulama olarak da adlandırılan bu yöntem kaplama yapılırken uygulama sırasında ve sonrasında kuruma evresinde kaplamanın donmaması için önlemler alınmalıdır (Blanc ve diğerleri, 1993).



Şekil 5.18 Çelik taşıyıcı kirişe koruma katmanının (vermikülit ve çimento karışımı) püskürtülerek uygulanması (Smith, 2000) [7].

5.4 Genleşen Boyalar

Çelik yapı elemanlarının üzerine yangında oluşan yüksek sıcaklığın etkisiyle genişerek 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. (Şekil 5.21) Bu boyların bileşenleri:

- Ayrıştuğunda 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.

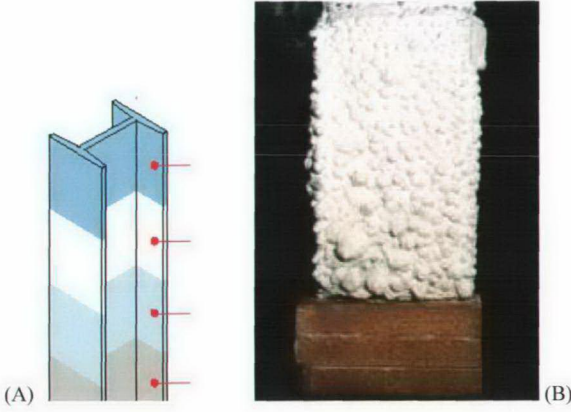
- Bağlayıcının ergimesiyle alevlenmeyen gazlar salarak hava keseciklerinin oluşumuna aracı olan maddeden oluşur (Şekil 5.20). Bu gazlar karbon dioksit, amonyak ve su buharıdır. Bunların çıkışıyla bağlayıcı şişer ve normal kalınlığının yaklaşık elli katı kalınlığa genişleyerek kömürleşen yalıtım tabakasına dönüşür (Şekil 5.19) (Asfp, 2001) [4].



Şekil 5.19 Boyaların normal zamandaki görünümü ve yangın sonrasındaki davranışı (Unitherm ltd.) [11] .

Bu boyaların uygulamada sahip olduğu kalınlığa göre iki çeşidi vardır:

- İnce tabaka oluşturan boyalar solvent veya su bazlı tipleri vardır. Bu boyalar 0,25 ile 1,0 mm arası kalınlarda kaplanırsa 30 dakikalık, daha yüksek yangın direnimi isteniyorsa 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 sağlar. Bu boyalar en çok kullanılan boya çeşididir.
- Kalın tabaka oluşturan boyalar epoksi bazlıdır ve 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 (Asfp, 2001)[4].



Şekil 5.20 (A) Çelik elemanın üzerine uygulanan boya katmanları.

(B) Boyanın sıcaklık etkisiyle şişerek hava kesecikleri oluşturması (Smith, 2000).

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 yüzden düzenli olarak kontrol ve bakımları yapılmalıdır (Şekil 5.20) (Smith, 2000).

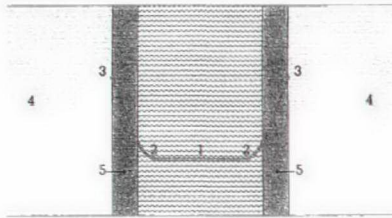


Şekil 5.21 Çelik yapı elemanı üzerine püskürterek koruyucu boya katmanı oluşturulması (Smith, 2000) [7].

5.5 Isının Dağıtımı ile Korunum Sağlanması

Çelik yapı elemanlarının yalıtım ürünleri kullanılmadan yangına karşı korunması isteniyorsa su dolanımı ile ısının dağıtılması ideal bir çözümdür. Taşıyıcı sistem elemanları boru ya da kutu en kesitli içi boş profillerden seçilir ve bu profillerin içerisinde su dolandırılmasıyla 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 (Şekil 5.22) 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. (Arda ve Yardımcı, 1995)

Yapının dış cephesindeki sadece kolonlar için su dolanımı sistemi uygulanacaksa suyun doğal dolaşımı kullanılarak koruma sağlanabilir. Uygulaması basit olduğu için daha yaygın kullanıma sahiptir. 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 süpürülür dışarıya atılır. Dolaşım sisteminde su devamlı bulunduğu için donmaya karşı suya potasyum karbonat ve oluşabilecek korozyona karşı potasyum nitrat ilave edilebilir (Arda ve Yardımcı, 1995).

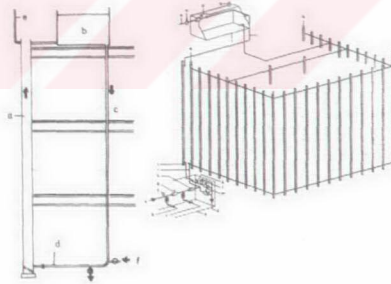


Şekil 5.22 Su ile dolu kolonun içindeki sıcaklık dağılımının açıklaması:

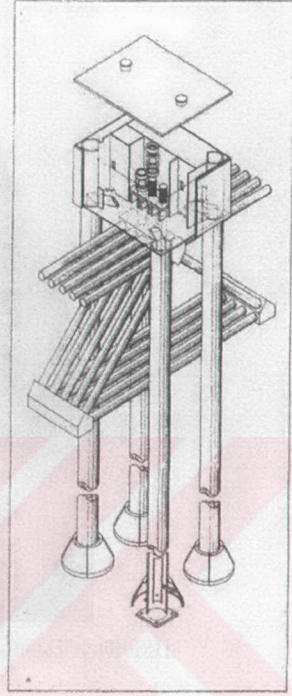
1. Suyun sıcaklığı 170 °C 2. Çeliğin iç yüzey sıcaklığı 190 °C 3. Çeliğin dış yüzey sıcaklığı 190 °C 4. Yangın alanı 1090 °C 5. Kolon duvarının kalınlığı 25,4 mm (Eurofer, 1990) [5].

Hannover' de doğal su dolaşımı kullanılarak yangına karşı korunan bir yapı (Norconhaus) inşa edilmiştir. Taban alanı 1200 m² olan bu yapı beş katlıdır. Yapıda kompozit döşemelerle birlikte dış kolonlarında su dolanımı yapılarak 90 dakikalık yangın direnimi sağlanmıştır. Döşemeler dışarıdaki yuvarlak kesitli kolonlara ve kafes kirişlere bağlanmıştır. Kirişler dışarıdaki dört adet kutu kesitli kolon tarafından desteklenmiştir. Kirişler, ara bağlantılar ve kolonlar su ile doldurulmuştur. Koruma için gerekli olan su depoları mimari bir eleman gibi tasarlanmışlardır (Şekil 5.24) (Eurofer, 1990) [5].

Su dolaşımı kullanılarak uygulanan diğer bir sistemde bütün kolon ve kirişleri dolanarak birbirleri arasında bağlantı kuran bir dolaşım sistemi oluşturulmasıdır. Bu sistem diğerine göre daha karmaşık yapısı vardır. Böyle bir sistemde bir tane ana su deposu ve dağıtım 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 (Arda ve Yardımcı, 1995).



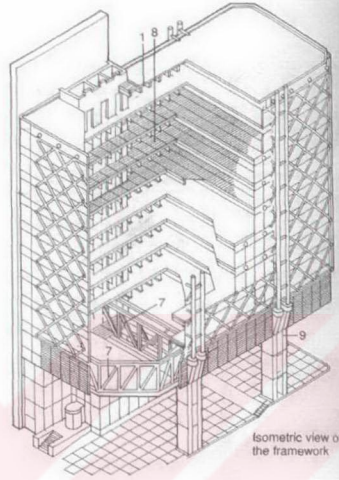
Şekil 5.23 Marsilya' da ofis binasının su dolanım sisteminin şematik görünümü (Özgen, 1983).



Şekil 5.24 Doğal su dolanımı ile korunan Hannover' deki ofis binası (Norconhaus) (Eurofer, 1990) [5].

Marsilya' da bir ofis binasında yangına karşı su dolanım sistemi kullanılarak koruma sağlanmıştır. Sistemde kolonlar hem yukarıda hem de tabandan bağlantı hattı kurularak birbirlerine bağlanılmışlardır. Sadece bir kolon ısınırsa komşu kolonlar arasında su dolanımı başlar ve ısınan su o kolonda yükselerek diğer komşu kolonda ise aşağıya inecektir. Böylece sıcak kolonun tabanı, devamlı soğuk su ile beslenerek kritik sıcaklığa ulaşması engellenir. Yangın geniş alanlara yayıldığında ana depodan fazla su dolanımı ile kolonlar yangın direnimlerini kaybetmezler (Şekil 5.23) (Arda ve Yardımcı, 1995).

Dünyadaki su dolanımı uygulanarak koruma sağlanmış olan yapılara örnek olarak Londra' da Bush Lane House (1976) (Şekil 5.25) gösterilebilir (Blanc ve diğerleri, 1993).

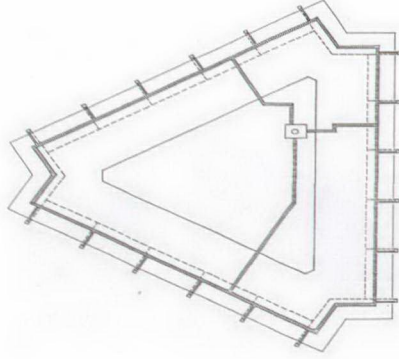


Şekil 5. 25 Bush Lane House' in su dolaşım sistem şeması (Blanc ve diğerleri, 1993).

US Steel idari binası yangın korumada su dolanımı kullanılmış olan en yüksek yapılardan birisidir. Yapı Pittsburgh' da 1970 yılında 64 katlı olarak inşa edilmiştir. Çelik taşıyıcı sistem kolonları 18 adet olup 610 x 914 mm ebatlarında kutu profillerden seçilmiştir. Kolonların korumasını sağlayan su dolanım sisteminde hidrostatik basıncın oluşmasını önleyebilmek için su dolanım sistemi kendi içinde her biri 16'şar kattan oluşan 4 adet bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerin her biri için ayrı su depoları ve pompaları vardır. Sistemin içine pasa ve donma olayına karşı katkılar eklenmiştir. Koruma sadece kolonlar için düşünülmüş ve kirişler genişlen boyaların püskürtülmesiyle korunmuştur (Şekil 5.26-28) (Bennetts ve diğerleri, 1995).



Şekil 5. 26 US Steel idare binası görünüşü [3].



Şekil 5.27 US Steel idari binasının planı [3].



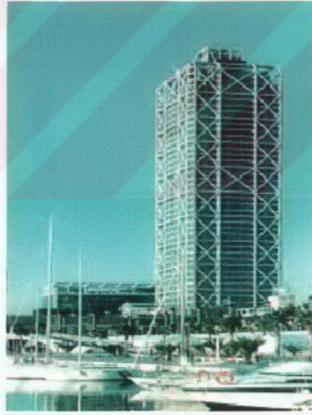
Şekil 5.28 US Steel idari binası görünüşü [3].

5.6 Kolonların Dışa Alınması ile Koruma Sağlanması

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. Kolonlar yapının cephesindeki boşluklardan uzakta kalması gerekir. Bunun nedeniyle cephe boşluklarının karşısında konumlanan kolonlara bir siper tasarlanabilir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 Cephe boşluklarının karşısında konumlanan kolonların siperle korunması (Eurofer, 1991) [5].



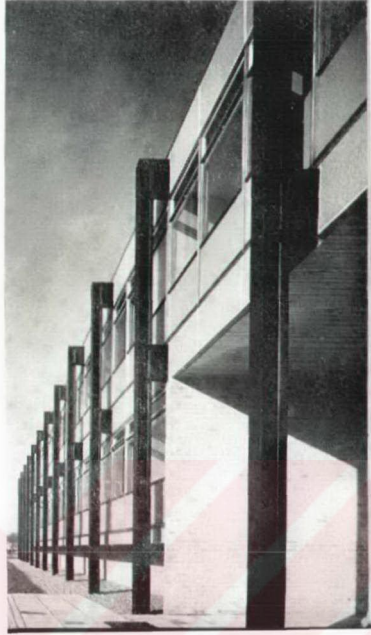
Şekil 5.30 De Las Artes Tower otelinde kolonlar ve kirişler dış cepheye alınarak koruma sağlanmıştır (Barcelona) (Bennetts ve diğ.leri, 1995).



Şekil 5.31 De Las Artes Tower otelinden görünüş.



Şekil 5.32 Pompidou Center' in dış görünüşü (Blanc ve diğerleri, 1993).



Şekil 5.33 Yapıda kolonların dışa alınarak korunmasına bir örnek görülmektedir.

6. DEĞERLENDİRME VE İRDELEME

Çeliğin mimarlar ve inşaat mühendisleri tarafından yapı tasarımında tercih edilmesinin nedeni, bu malzemenin mekanik dayanımının, elastisite modülünün ve sünekliğinin yüksek olmasından dolayı tasarıma esneklik kazandırmasıdır. Yangında meydana gelen ısı, taşıyıcı sistem elemanlarında hızla yayılır ve yangının çıktığı mekanın dışında kalan diğer çelik yapı elemanlarını etkiler. Çelik yapı elemanları, ısıl genleşme katsayılarının yüksek olması ve genleşmenin engellenememesi sonucu doğan gerilmeler nedeni ile hasara uğrar. Yangın güvenliği tasarımında çıplak durumdaki çelik yapı elemanlarının yangın güvenliği hedeflerini yerine getirmesi beklenmemelidir. Çelik yapıların yangın güvenliği tasarımında doğru sonuçlara ulaşabilmek için çelik taşıyıcı elemanlara yangın direnimlerini artırıcı önlemler uygulanmalıdır.

Çelik yapı elemanlarının yangın direnimlerini artırmak için kütleli koruma, levhalarla çevreyi sarma, su dolanımı ile ısıyı dağıtma, genleşen boya ve sıva püskürtme yöntemleri kullanılır. Çelik yapı elemanlarında, kütleli koruma yöntemini uygulayarak 4 saate ulaşan yangın direnimi elde edilir. Fakat, çelik yapı elemanlarının korunmasında beton malzemenin kullanılması yapıya ilave bir yük getirir. Ayrıca bu koruma yönteminin kolonla kirişin birleşim detayında ve kafes kirişlerde uygulama zorluğu vardır. Yöntemin uygulama maliyeti m^2 başına yaklaşık olarak 52.000.000 TL ile 91.000.000 TL arasındadır (British Steel, 1991).

Levha ile çevreyi sarma yöntemi kullanılarak, çelik yapı elemanlarında 0.5 ile 4 saat arasında yangın direnimi elde edilir. İnorganik bağlayıcıyla, lifli ve daneli yapıya sahip alçı, vermikülit ve taşıyıcı gibi inorganik malzemelerin birleşiminden meydana gelen levhalar kullanılır. Levhalar, yapıştırma ve vidalama gibi montaj yöntemleri kullanılarak çelik yapı elemanlarının üzerine sabitlenir. Yöntemin uygulanmasıyla istenilen estetik görünüme sahip son katlar elde edilir. Yöntem, her türlü detayda uygulanabilir. Çevreyi sarma yönteminde bir kişi haftada $100 m^2$ 'lik uygulama yapabilir. Yöntemin m^2 başına uygulama maliyeti yaklaşık olarak 28.600.000 TL ile 78.000.000 TL arasındadır (British Steel, 1991).

Çelik yapı elemanlarının 10 –60 mm kalınlığında sıvanması ile elemanlarda 2 ile 4 saat arasında yangın direnimi elde edilir. İnorganik bağlayıcılarla vermikülit, taşıyıcı gibi inorganik malzemeler birleştirilerek, çelik yapı elemanlarının üzerine makine vasıtasıyla püskürtülür. Uygulamada bir kişi haftada $300 m^2$ 'lik iş yapabilir. Yöntemin m^2 başına

uygulama maliyeti yaklaşık olarak 20.800.000 TL ile 52.000.000 TL arasındadır (British Steel, 1991). Yöntem her türlü birleşim detayında uygulanabilir. Fakat, koruma katmanının don ve darbe gibi dış etkilere karşı dayanımı azdır. Uygulama sonunda estetik görünüm sağlamayan bir yüzey ortaya çıkar. Ayrıca uygulama sırasında taşıyıcı sistem elemanları dışında diğer elemanlara da sıva bulaşır ve elemanlarda kirlilik oluşabilir.

Çelik yapı elemanlarına 5 ile 20 mm arasında genişleyen boya katmanı uygulanması ile yapı elemanlarında 1 veya 2 saatlik yangın direnimi elde edilir. Estetik görünüme sahip düzgün yüzeyler elde edilir ve her türlü detayda uygulanabilir. Koruma katmanının darbe ve nem gibi dış etkilere karşı dayanımı azdır. Yöntemin uygulama maliyeti m^2 başına yaklaşık olarak 65.000.000 TL ile 156.000.000 TL arasındadır (British Steel, 1991).

Su dolanımı yaparak ısıyı dağıtma yöntemi, uygulanma sayısı az olan bir yöntemdir. Koruma sisteminde korozyona ve donmaya karşı önlem alınmalıdır. Yöntemin uygulama maliyeti yüksektir. Bu koruma yöntemi sadece kutu ve daire kesitli profillerden oluşan taşıyıcı sistemlerde uygulanabilir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırma ve incelemelerden elde edilen verilere göre, çelik iskelet strüktürlerde yangın korunumu için;

- Kütleli korunum yöntemi, maliyetinin yüksek olması ve detaylardaki uygulama zorluklarından dolayı yangın yükü yüksek olan yapılarda,
- Su dolanımı ile korunum sağlama yöntemi, maliyetinin yüksek olması nedeniyle özel ve prestijli yapılarda,
- Genleşen boya ların nem gibi dış etkilere karşı dayanımı az olduğu için yapıların iç kısımlarında kullanılması tercih edilmelidir.
- Yangın güvenliği tasarımında yapısal korunumun sağlanmasında; maliyetlerinin az olması, her türlü detayda uygulanabilmeleri, yapıya ilave yük getirmemeleri ve yüksek yangın direnimi sağlamaları gibi nedenler ile levhalarla çevreyi sarma ve püskürterek sıvama yöntemleri birlikte kullanılabilir. Bu uygulamada yapının bodrum kat ve asma tavan altı gibi gözle görülmeyen ve dış etkilere uzak bölümlerindeki yapı elemanlarında püskürterek sıvama yöntemi, aynı yapının diğer yapı elemanlarının çevresini levhalarla sarma yöntemi uygulanmalıdır. Yangın güvenliği tasarımında, bu iki yöntemin bir arada kullanılması ile yapısal korunum uygulamalarında optimum çözüme ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

- Akman, M. S., (2000), Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri, TMMOB İnşaat Müh. Odası, İstanbul.
- Anonim, (2002), Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik.
- Arda, T. S., (1987), "Çelik Yapılarda Yangın ve Yangın Mukavemeti", 3. Çelik Yapılar Seminer Notları Cilt 2, İTÜ. Vakfı İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Arda, T.S., Yardımcı, N., (1995), Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Mukavemeti, Akbasım Matbaası, İstanbul.
- Asfp, (1994), TGN 002: Part 1: Spray Coatings for the Fire Protection of Structural Steel, Association for Specialist Fire Protection, Farnham.
- Asfp, (2001), TGN 007: On Site Guidance Note for the Specification and Use of Site Applied Intumescent Coating Systems, Association for Specialist Fire Protection, Farnham.
- Blanc, A., Evoy, M.M., Plank, R., (1993), Architecture and Construction in Steel, The Steel Construction Institute, Chapman & Hall, London.
- Bennetts, I. D., Thomas, I. R., Poh, K.W., (1995), "Develpments in the Design of Buildings for Fire Safety", 4 th Pacific Structural Steel Conference V:1 Steel Structures, Singapore.
- British Steel, (1991), Fire resistant Design - A Guide to Design of Structural Hollow Sections Using BS 5950 Part 8, Corus Construction Co. Handbook, London.
- Callender, J. H., (1982), Time- Saver Standards for Architectural Design Data, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Dexter, R., Lu, L.W., (2000), "Steel High-Rise Outlasts Blaze", North American Steel Costruction Conference, Las Vegas.
- Die, (2000), Bina Sayımı 2000, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
- Eurocode 3, (1993), Design of steel structures, Part 1.2 : Structural fire design, European Committee for Standardisation (CEN), Brussels.
- Eurofer, (1990), Steel and Fire Safety – A Global Approach, Steel Promotion Committee of European Confederation of Iron and Steel Industries (EUROFER), Brussels.
- Milke, J., (1988), Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Steel Members, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.
- Newman, G.M., Robinson, J.T., Bailey, C.G., (2000), Fire Safe Design: A New Approach to Multi-Storey Steel-Framed Buildings, The Steel Construction Institute, Berkshire.
- Orbay, Y. K. A., (1997), "Çelik Bir Binanın Taşıyıcı Sisteminin, Alçı ile Yangın Korunumu", II. Ulusal Alçı Kongresi Bildirileri, 02-03 Mayıs 1997, İstanbul.

Özgen, A., Aşkar, G., (1983), "Çelik Karkas Yapılar", I. Çelik Yapılar Seminer Notları Cilt 1, İTÜ. Vakfı İnşaat Fakültesi, İstanbul.

SCC, (1979), Steel High-Rise Building Fire (Occidental Tower on Night of Fire), The Steel Committee of California, Los Angeles.

Smith, C.I., (1992), "The Broadgate Phase Eight Fire on Twent-third June", Materials and Design Against Fire International Conference, 27-28 October 1992, London.

Smith, R., (2000), "Sprayed Mineral Coatings and Intumescent Coatings for the Fire Protection of Structural Steel", International Fire Protection Dergisi, 3.

Smith, R., (2002), "Fire Rated Caldding of Structural Steel", International Fire Protection Dergisi, 10.

Stollard, P., Abrahams, J., (1991), Fire From First Principles, Chapman & Hall, Londra.

Thomas, G.J.L., (1972), Fire Safety in Buildings, Adam & Charles Black, London

Yardımcı, N., (2001), "Çeliğin Yapısal Özellikleri ve Kullanılma Alanları", Yapısal Çelik ve Mimari Tasarım Semineri, 16 Nisan 2001, İstanbul.

Yavuz, G., (1996), "Yapılarda Yangın Korunumu ve Mimari Tasarım Etkileşimi", Bina Yangın Güvenliği Semineri Bildirileri, 28 Mart 1996, İstanbul.

Yavuz, G., Balanlı, A., (1997), "Yapı Öğelerinin Yangın Direnim Değerlerinin Artırılmasında Alçı Uygulamaları", II. Ulusal Alçı Kongresi Bildirileri, 02 - 03 Mayıs 1997, İstanbul.

Yavuz, G., (2000), "Yapılarda Yangın Güvenliği ve Yasal Sınırlılıklara Yansımaları", Yangın ve Güvenlik Dergisi, 51: 68-74.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.izocam.com.tr>

[2] <http://www.corusconstruction.com>

[3] <http://www.skyscrapers.com>

[4] <http://www.asfp.org.uk>

[5] <http://www.eurofer.org>

[6] <http://www.british-gypsum.bpb.com>

[7] <http://www.ifpmag.com>

[8] <http://www.cafcoint.com>

[9] <http://www.rockwool.com>

[10] <http://www.promat.co.uk>

[11] <http://www.unitherm-online.com>

[12] <http://www.albi.com>

[13] <http://www.knauf.com.tr>



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	22.08.1975	
Doğum yeri	Sakarya	
Lise	1987 – 1993	Sakarya Anadolu Lisesi
Lisans	1994 – 1998	Trakya Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fak. Mimarlık Bölümü
Yüksek Lisans	2000 –	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı