

Çelik Kirişlerin Yangın Dizaynı – Excel Geliştirilmesi

Burhaneddin AYKUT

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum Teknik Üniversitesi

Özet:

Yangına dayanıklı çelik yapı tasarımı için yüksek sıcaklıklarda çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin bilinmesi gerekir. Isı altında, çeliğin ısıyla ilişkin fiziksel özellikleri çeliğin cinsine göre önemli farklar göstermemektedir.

Çelik, malzeme olarak yanıcı olmamakla birlikte ısıya karşı oldukça duyarlıdır ve ısı yükseldikçe mukavemetinde ve dayanımında hızlı düşüşler meydana gelir. Çelik, korunmasız olduğunda, yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya başlayarak mukavemetini yitirir ve şekil değiştirir. Bu nedenle, çelik yapı elemanlarının yangına karşı korunması genellikle gereklidir. Bir çelik yapı elemanının yangına karşı dayanımı, yapı önem derecesine göre standartlarda belirtilen süre olarak 60 dakika olmalıdır. Korunmamış çeliğin ısınma ve ısı emme oranı, korunmuş çeliğe göre oldukça yüksektir.

Bu makalede amaçlanan yangın esansında korumalı çelik kiriş ile korunmasız çelik kiriş arasında sıcaklık farklarını görüp olası bir yangında yapıda oluşacak hasarlardan dolayı can ve mal kayıplarını azaltmak için yapıda pasif yangın sistemlerini uygulamaktır. Bu amaçla; dizayn eşitlikleri uygulanarak, çelik bir kiriş oda sıcaklığında ve yangın sıcaklığında moment ve kesme kapasitesi kontrolleri yapılarak modellenmiştir. Diğer bir yandan, bu çalışma korumalı ve korunmasız çelik bir kirişin oda sıcaklığında veya yangın etkisinde dizaynı için kişilere yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Korunmasız çelik; Korumalı çelik; Pasif yangın koruma sistemi; Yangın dizaynı.

Fire Design of Steel Beams – Developing Excel Spreadsheets

Burhaneddin AYKUT

Engineering and Architecture Faculty, Department of Civil Engineering, Erzurum Technical University

Abstract:

The change of physical and mechanical properties of steel at elevated temperatures should be known for the design of steel structures under fire condition. The thermal properties of steel varies upon the type of steel and changes dramatically under heat. Steel is a non-flammable material but so sensitive to heat and durability and strength of a steel material reduces rapidly with the increase of the heat. Unprotected steel begins to lose its strength and suffers from strain at elevated temperatures with the increase of stresses. Therefore, structural steel members need to be protected against fire. For the fire resistant of a structural steel member, it should be 60 minutes resistance depends on the importance of structure. The heat rate and absorption of heat of unprotected steel is really high compared to the protected steel.

In this study, it is aimed to see the temperature differences between protected and unprotected steel beam under fire condition and apply the passive fire protection systems to reduce the temperature in order to decrease the loss of property and lives. Hence, steel beam is modelled applying design equations at the room temperature (cold condition) and elevated temperature (fire condition) checking the moment and shear capacity of the beam. On the other hand, this study may help to the people to design a protected or unprotected steel beam at both room temperature and under fire condition.

Keywords: Unprotected steel beam, Protected steel beam, Passive fire protection systems, Fire design.

Semboller

F_y	Çeliğin akma dayanımı
A_m	Kesitin çevresi
V	Kesitin alanı
$\frac{A_m}{V}$	Kesit faktörü [1/m]
$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b$	Dış kaplama için kesit faktörü [1/m]
C_a	Çeliğin özgül ısısı [J/kg.K]
C_p	Yangın koruma malzemesinin özgül ısısı [J/kg.K]
d_p	Yangından korunma malzemesinin kalınlığı [mm]
p_a	Çelik malzemesinin birim kütlesi [kg / m ³]
p_p	Yangından korunma malzemesinin birim kütlesi [kg / m ³]
s	Gövde kalınlığı [mm]
d	Başlıklar arası mesafe [mm]
Δ_t	Zaman aralığı [sn]
λ_p	Yangından korunma malzemesini ısı iletkenliği [W/m.K]
$\theta_{a,t}$	Çelik sıcaklığı
$\theta_{g,t}$	Yangın (gaz) sıcaklığı
$\Delta\theta_{g,t}$	Yangın (gaz) sıcaklığı birim artışı
φ	Şekil faktörü
k_{sh}	Gölge etkisi için düzeltme faktörü
h_{net}	Birim alandan geçen net ısı akışı
h_{con}	Konveksiyon yolu ile birim alandan geçen ısı akışı
h_{rad}	Radyasyon yolu ile birim alandan geçen ısı akışı
\emptyset	Dayanım düşürme faktörü
f_b	Karakteristik eğilme dayanımı
S_x	Plastik kesit modülü
M_n	Çelik profilin eğilme kapasitesi
w_c	Üniform dağılmış yük [kN/m]
M_{cold}	Oda sıcaklığında eğilme momenti
M_{fire}	Yüksek sıcaklıklarda (yangın durumunda) eğilme momenti
L	Kiriş açıklık boyu [m]
η_{fi}	Yangın durumu için tasarım yük azaltma faktörü
$M_{fire.d}$	Yangın durumunda dizayn eğilme momenti [kN.m]
ε_f	Yangın durumunda emicilik katsayısı
ε_m	Malzemenin emicilik katsayısı
U_{fire}	Yangın esnasında uygulanan yük
V_d	Tasarım kesme kuvveti
V_n	Karakteristik kesme kuvveti dayanımı
$T_{çelik.korumasız}$	Yangına karşı korumasız çelik sıcaklığı
$T_{çelik.korumalı}$	Yangına karşı korumalı çelik sıcaklığı

mümkündür.

Yangın koruması; aktif yangın koruma ve pasif yangın koruma olmak üzere ikiye ayrılır.

1. Giriş

İstenmeyen yangınlar, her yıl binlerce ölüm ve milyarlarca dolarlık maddi zarara neden olan yıkıcı bir güçtür. Ne yazık ki, yangınlar çoğu zaman beklenildiği gibi hemen hemen her türlü binada meydana gelebilir. İnsanların güvenliği, binaların tasarımında ve yapımında, çoğu kez binaların yıkılmasına neden olan ve insanların kaçışına odaklanan birçok faktöre bağlıdır. Yapının terkedilmesi ve itfaiye erişimi için binaların tamamının ve binaların bir bölümünün yangında çökmemesi veya yangının yayılmasına izin vermemesi durumunda

Aktif yangın güvenlik sistemleri yangına karşı önleyici konumda değil yangınla birlikte harekete geçen sistemlerdir. Yangına müdahale ederek kısıtlama hatta söndürme amacıyla hareket eder. Uyarıcı sistem şeklinde olur ise yangın başlangıcından sonra güvenlik birimlerini uyararak yangına en kısa sürede müdahale edilmesini sağlar.

Pasif yangın tasarımı, yangın şiddetinin ve davranışının göz önünde bulundurulmasını, yapıdaki sıcaklık gelişiminin mekanizması olarak ısı transferini ve yapının kalan yük taşıma kapasitesinin uygulanan yük ile aşılmamasını kontrol etmek için bir termo-yapısal değerlendirmeyi içerir. Bu, yangın davranışını ve ayrıca yapısal malzemelerin termal ve mekanik özelliklerini ve yangından korunma malzemelerinin termal özelliklerini bilmeyi gerektirir. Pasif yangın koruma sistemlerinin dayanıklılığı, kullanılan malzemenin kalitesine ve yapılacak olan işçiliğe bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Pasif yangın koruma sistemleri olarak kullanılacak sistemler; beton ile kaplama, sprey sistemleri, alev battaniyeleri, boya sistemleri vb. pasif sistemlerdir.

2. Çelik Kiriş Yapısal Tasarımı

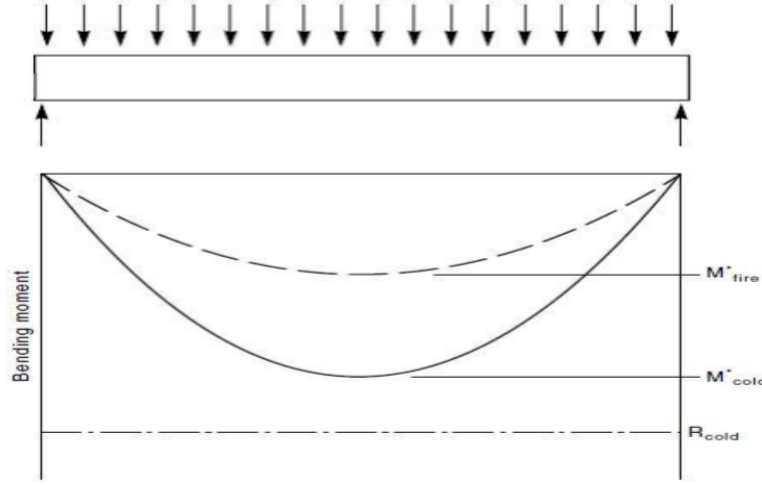
2.1. Normal (oda) Sıcaklığında Yapısal Tasarım

Yangın tasarımı için yapısal analiz aslında normal sıcaklık tasarımı için yapısal analiz ile aynı süreçtir, ancak iç kuvvetler ve malzemelerin özellikleri üzerinde yüksek sıcaklıkların etkisi ile karmaşıktır. Yangına maruz kalan birçok basit yapı elemanı için, yük taşıma kapasitesi, soğuk koşullar ile aynı teknikler kullanılarak, basit el hesaplama yöntemleri ile hesaplanabilir.

Tek açıklıklı basit mesnetli bir kirişte yangın tasarımında yapacağımız ilk aşama oda sıcaklığında çelik profilin eğilme kapasitesini bulmaktır. Bunun formülü Eurocode standardında bulunmaktadır.

$$(1) M_{cold} \leq M_n$$

Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi yangın etkisindeki eğilme momenti normal sıcaklıklardaki eğilme momentinden daha düşüktür. Bunun sebebi de sadece yangın yüklerinin diğer tüm yüklere göre çok daha düşük olduğu içindir.

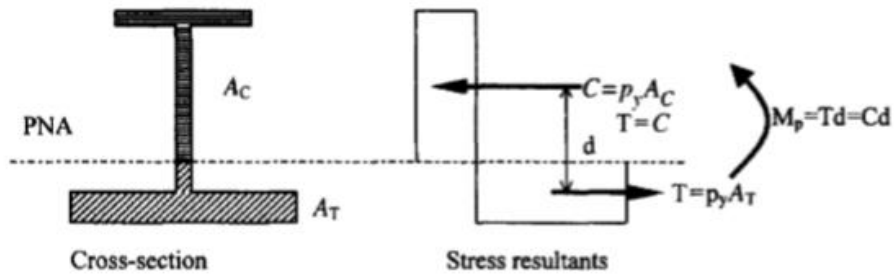


Şekil 1. Basit mesnetli bir kiriş için eğilme momenti diyagramları

Tek açıklıklı basit mesnetli bir kirişte dizayn yükleri altında (kendi ağırlığı ve hareketli yük) etkisinde, kirişin ortasında oluşacak eğilme momenti aşağıda verilmiştir (Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**)).

$$(1) M_{cold} = w_c \times L^2 / 8$$

Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi kesit profilinin plastik bükme momentinin hesaplanması bulunmaktadır.



Şekil 2. Bir çelik kesitin plastik bükme momentini kapasitesinin belirlenmesi (Wang 2002)

$$(3) M_n = \emptyset \times f_b \times S_x$$

Kesme kuvvetine karşı tasarım:

Yangında oluşacak kesme kuvvetini karşılaması için yapılacak dizayn eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$(4) V_d < V_n$$

$$(5) V_d = \frac{(G_k \times \gamma_G + Q_k \times \gamma_Q) \times L}{2}$$

$$(6) V_n = 0.6 \times F_y \times s \times d$$

Yangın durumunda yapı elemanında oluşan kuvvetlerin nedeni genelde, yapı elemanın çevreleyen başka bir elemanın sınırlamasından dolayı veya eğilmeye müsait bir elemanın büyük deformasyonlar sonucunda çekme elemanına dönüşmesinden ötürü oluşur. Bu kuvvetler çelik yapılarda daha çok görülür.

Basit yangın durumunda uygulanan yükler, normal sıcaklık durumundaki yüklerden daha düşüktür.

Eurocode standartlarında verilen yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir.

$$(7) L_f = G_k + 0.5 \times Q_k \text{ veya } L_f = G_k + 0.9 \times Q_k$$

$$\eta_{fi} = \frac{L_f}{G_k \times \gamma_G + Q_k \times \gamma_Q}$$

Yangın durumunda dizayn eğilme momenti, yangın durumu için tasarım yük azaltma faktörü ile oda sıcaklığında eğilme momentinin çarpımıdır.

$$(8) M_{fire.d} = \eta_{fi} \times M_{cold}$$

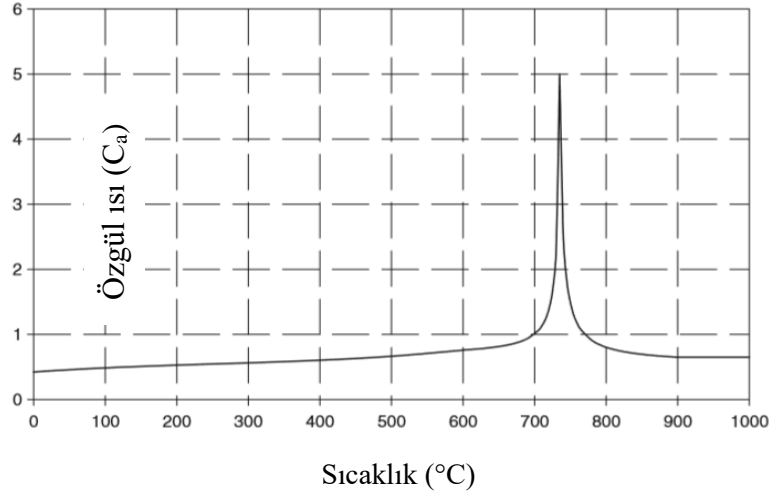
2.2. Çelik Malzemesinin Isıl Özellikleri

2.2.1. Özgül Isı

Bir kalori değeridir. Bir cismin 1 gramının sıcaklığını, 1°C artırmak için gereken ısıyı gösterir. Kalori/gram veya kilo kalori/kilogram olarak ifade edilir. Özgül ısıya, ısınma ısısı veya spesifik ısı da denir. Çeliğin özgül ısı-sıcaklık değişiminde 4 tane durum vardır ve Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Özgül ısı ve sıcaklık değişim formülleri (CEN - Eurocode 3: Design of Steel Structures 2005)

1. durum	$20^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 600^{\circ}\text{C}$	$C_a = 425 + 0.773\theta_a - 0.00169\theta_a^2 + 0.00000222\theta_a^3$
2. durum	$600^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 735^{\circ}\text{C}$	$C_a = 666 + 13002 / (738 - \theta_a)$
3. durum	$735^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 900^{\circ}\text{C}$	$C_a = 545 + 17820 / (\theta_a - 731)$
4. durum	$900^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 1200^{\circ}\text{C}$	$C_a = 650$



Şekil 3. Tipik bir özgül ısı – sıcaklık değişimi (CEN - Eurocode 3: Design of Steel Structures 2005)

2.2.2. Kesit Faktörü

Kesit faktörü; kesitin ısı alanı çevresinin (yangına maruz kalan) alanına oranıdır. Korunmalı veya korumasız bir çelik yapı elemanında, yangın durumunda sıcaklık yükselme miktarı kesit faktörüne bağlıdır.

Tablo 2. Kesit faktörü – zaman değişimi (Öven ve Parlak 2003)

$\frac{A_m}{V}$	yangın dayanımı için gerekli koruma kalınlığı (mm)					
	1/2 saat	1 saat	3/2 saat	2 saat	3 saat	4 saat
150	10	12	23	33	54	75
170	10	13	24	35	57	79
190	10	13	25	37	60	83
210	10	14	26	38	62	89

2.2.3. Yük Oranı

Yük oranı yangın boyunca yapı üzerinde beklenen yüklerin, normal sıcaklıklarda çökmesine sebep olacak yükleme oranıdır. Yük oranı genellikle 0.5 veya daha düşüktür. Bu demek oluyor ki, bir yapı elemanın dayanımının yarısına geldiğinde çökmektedir.

$$(9) \Gamma_{load} = \frac{U_{fire}}{R_{cold}}$$

2.3. Korumasız Çeliğin Yangın Tasarımı

Korumasız çelik yapı elemanı için hesaplama yöntemi; ısıya maruz kalan yüzey alanından kısa bir zaman aralığında (Δ_t) giren ısı, çeliğin sıcaklığını yükseltmek için gerekli olan ısıya eşittir.

$$(10) \varepsilon = \varepsilon_f \times \varepsilon_m$$

Emicilik katsayısı (ε), yangın durumunda emicilik katsayısı (ε_f) ile malzemenin emicilik katsayısının (ε_m) çarpımıdır.

$$(11) \varepsilon_f = 1.0 \quad \varepsilon_m = 0.5$$

$$(12) h_{con} = 25 \times (\theta_{g,t} - T_{çelik.korumasız})$$

$$(2) h_{\text{rad}} = \varepsilon_f \times \varepsilon_m \times 567 \times 10^{-10} \times ((\theta_{g,t} + 273.15)^4 - (T_{\text{çelik.korumasız}} + 273.15)^4)$$

$$(14) h_{\text{net}} = h_{\text{rad}} + h_{\text{con}}$$

$$(15) k_{\text{sh}} = \frac{0,9 \times \left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\left(\frac{A_m}{V}\right)}$$

$$(3) \Delta\theta_{a,t} = k_{\text{sh}} \times \frac{\frac{A_m}{V}}{C_a \times p_a} \times h_{\text{net}} \times \Delta t$$

2.4. Korumalı Çeliğin Yangın tasarımı

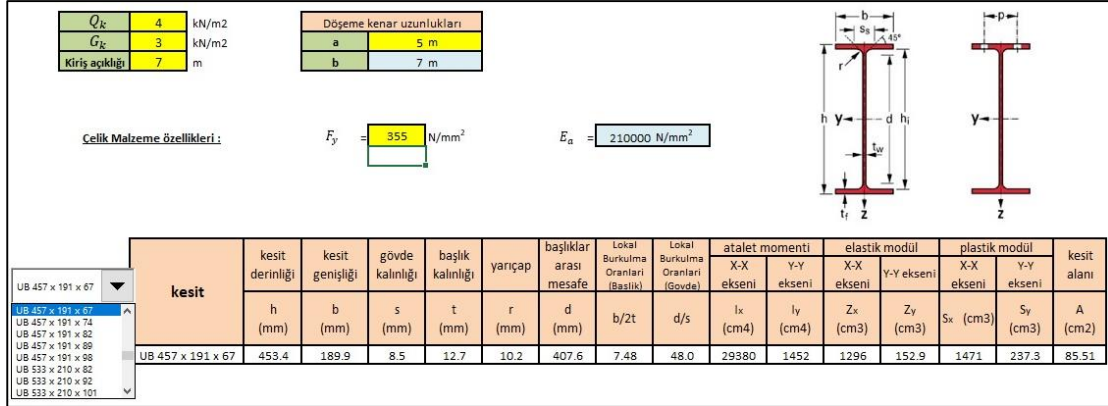
Hesap yöntemi, korumasız çeliğe benzer fakat eşitlik biraz farklıdır. Çünkü, yangın koruma malzemesinin dış yüzey sıcaklığı, yangın gaz sıcaklığı ile aynı olduğu varsayımından ötürü ısı transfer katsayıları eşitliğe dahil edilmez.

$$(17) \varphi = \frac{C_p \times p_p}{C_a \times p_a} \times d_p \times \frac{A_m}{V}$$

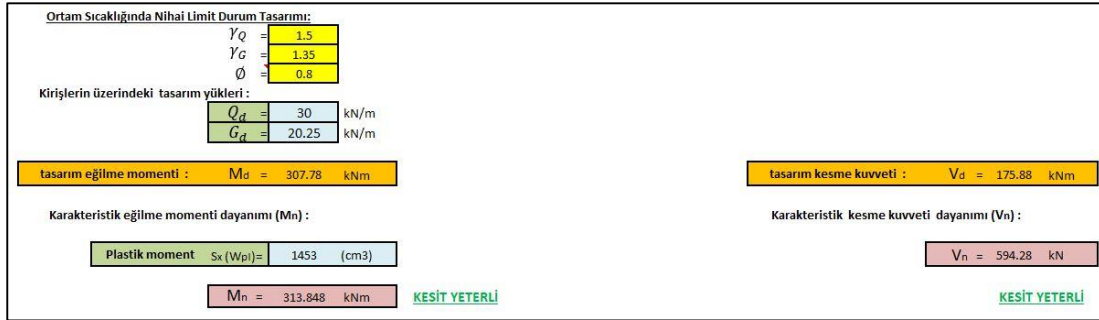
$$(4) \Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \times \frac{A_m}{V}}{d_p \times p_a \times C_a} \times \frac{(\theta_{g,t} - T_{\text{çelik.korumalı}})}{\left(1 + \frac{\varphi}{3}\right)} \times \Delta t - \left(e^{\frac{\varphi}{10}} - 1\right) \times \Delta\theta_{g,t}$$

3. Materyal ve Yöntem

Çelik yapılarda yangın tasarım hesapları el yordamı ile çok uzun ve karmaşık olduğundan dolayı Microsoft Excel programı kullanılarak yangın tasarım programı oluşturuldu. Microsoft Excel’de makrolar kısmından faydalanıldı. Programlamaya başlanırken yapılan ilk iş UB (Universal Kiriş – Universal Beam) kesit tablosunun makrolar yardımıyla oluşturulması oldu ve kirişin üzerine etki edecek yüklemeleri program üzerine eklendi. Tüm UB kirişlerin I kesit profillerin kesit özellikleri makroya eklenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kesit özellikleri ve kiriş yükleme durumunun oluşturulması



Şekil 5. Yükleme kombinasyonlarının gösterimi, oda sıcaklığında kiriş tasarım eğilme momenti ve kesme kuvveti tasarımı

Kesit özellikleri ve kiriş yüklemeleri oluşturulduktan sonra yükleme kombinasyonları programa eklendi. Denklem 2 de belirtilen formülle bulunan oda sıcaklığında tasarım eğilme momenti, denklem 3'teki kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı ile karşılaştırıldı. Denklem 1'deki koşul sağlandığı zaman program "kesit yeterli" diye uyarı vermektedir. Kesme kuvveti tasarımında ise, oda sıcaklığında yüklemelerden dolayı oluşacak olan kesme kuvveti denklem 5'e göre hesaplanmıştır. Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı (kesme kuvveti kapasitesi) ise denklem 6'ya göre hesaplanmıştır. Eğilme momenti tasarımına benzer olarak denklem 4'deki koşul sağlanırsa program "kesit yeterli" diye uyarı vermektedir ve kirişin oda sıcaklığındaki tasarımı ve eğilmeye ve kesmeye göre kontrolleri tamamlanmaktadır (Şekil 5).

Döşeme alanı	: 35 m ²	düşürme faktörü =	0,5
Cam ortalama yüksekliği	: 1,2 m	η_{fi} =	0,701
Cam ortalama genişliği	: 1 m		
Cam miktarı	: 5 adet		
Kat yüksekliği	: 3 m	Yangın durumunda dizayn eğilme momenti	$M_{fire,d} = 215,91$ kNm
Yangına maruz kalan tüm alan	142 m ²		
Açıklık (cam) alanı	: 6 m ²		
Açıklık faktörü	: 0,04629		
Çeliğe uygulanacak koruma malzeme özellikleri			
<input checked="" type="radio"/> Normal beton <input type="radio"/> Hafif beton <input type="radio"/> Diğer			
Yoğunluk	2300	kg/m ³	
Özgül Isısı	1000	J/kg.K	
Isı iletimi	1,6	w/m.K	
Kirişin kaç taraftan yangına maruz kalıyor			
3			
Çeliğin malzeme özellikleri (termal)			
Çeliğin yoğunluğu	7850	kg/m ³	
Çeliğin yangındaki ısı emiciliği	1		
Çeliğin yüzey ısı emiciliği	0,63		

Sprey boya	
Mineral fiber kaplama	
Kalınlık	12 mm
Yoğunluk	430 kg/m ³
Özgül ısı	1200 J/kg.K
Isı geçirgenliği	0,17 w/m.K

Şekil 6. Çelik kirişin yangın durumunda tasarımı

Kshadow	0,83
Kirişin yüzey çevresi	1096,700 mm
Kirişin alanı	8551 mm ²
Kesit faktörü	128,25401 1/m

Şekil 7. Çelik kirişin kesit faktörü

Şekil 6'da bulunan çelik kirişin yangın durumunda dizayn eğilme momenti denklem 8'e göre hesaplanmaktadır. Kirişin yangına maruz kaldığı kenarlara göre (yangına maruz kalan yüzey sayısı) kirişin kesit faktörü değişmektedir ve yangına maruz kaldığı kenar arttıkça sıcaklıkta artmaktadır.

Ayrıca Şekil 6'da, yangında pasif koruma yöntemlerinden olan sprej boya (intumescent coating) ve mineral fiber kaplama malzemelerinin özellikleri programa eklenmiştir. Uygulanacak koruyucu malzeme seçildiği zaman malzemenin karakteristik özellikleri (yoğunluk, özgül ısı ve ısı geçirgenlik katsayısı)

değişmektedir. Belirlenecek olan yangın koruma malzemesi kalınlığına göre korumasız çelik sıcaklığı düşmektedir.

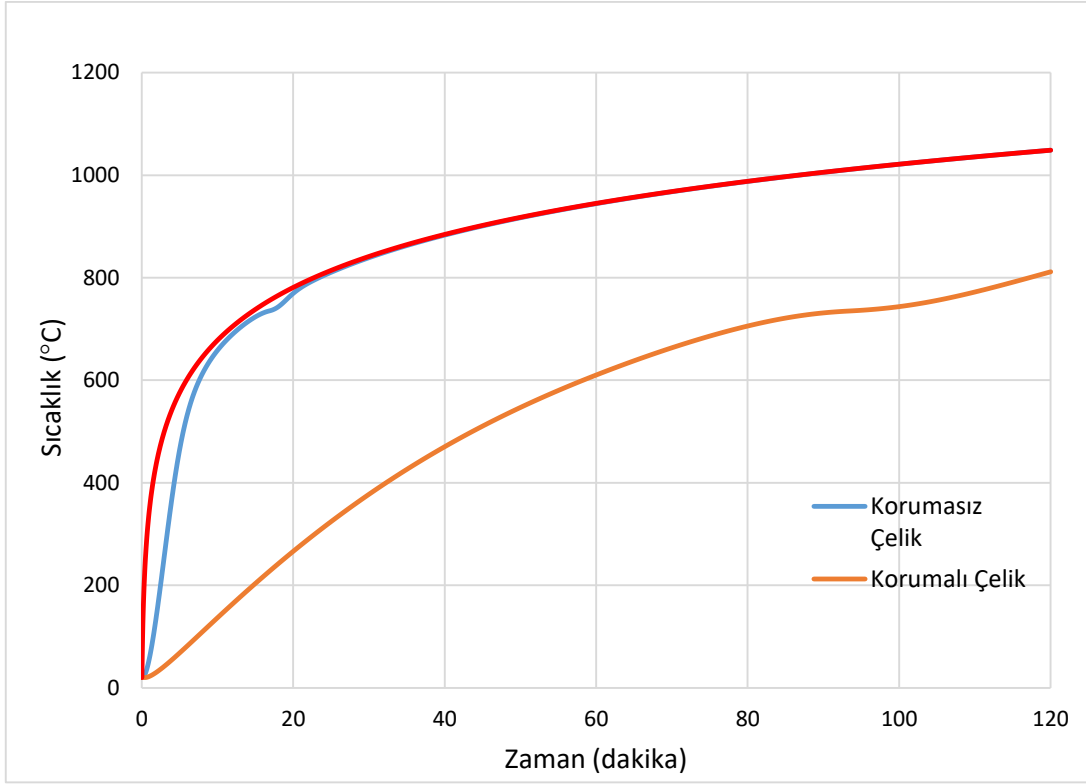
Şekil 7’de de yangın tasarımı yapılan çelik kirişin kesit faktörü hesaplanabilmesi için kirişin kesit alanı ve yangına maruz kalacağı yüzey çevresi hesaplanmış ve gösterilmiştir.

4. Araştırma Bulguları

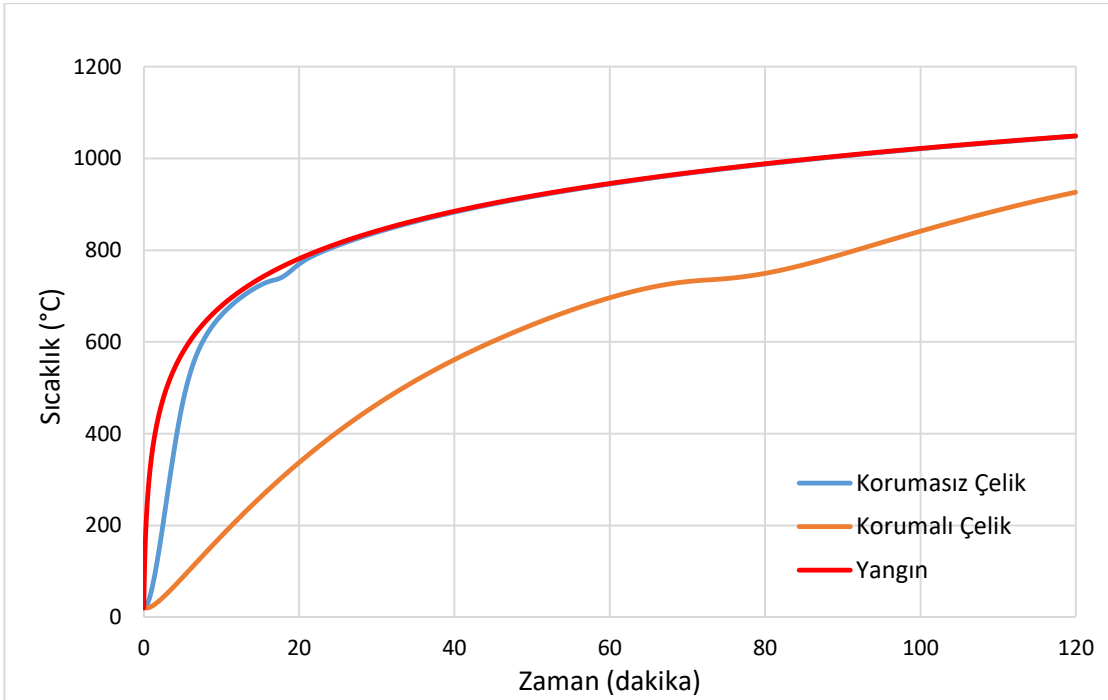
Bu çalışmada elde edilen sonuçlar grafik halinde aşağıda sunulmuştur. Şekil 8’de görüldüğü gibi spreyc boya kullanılmış ve çelik kirişin sıcaklık değişimi aşağıda verilmiştir. Görüldüğü gibi korumasız çelik 10 dakika gibi kısa bir sürede, Eurocode 3’de belirtilen ve etki ettirilen Standart Yangın sıcaklığına kavuşmaktadır ve bu nedenle de dayanımını hemen hemen tamamen yitirmiştir. Oysa 12 mm kalınlığındaki korumalı çelik ise 600°C - 650°C sıcaklığa 60 dakikada ulaşmıştır ve dayanımının %50-55’ini bu süre içerisinde kaybetmiştir. Bu süre yangına müdahale ve yapının terkedilmesi (boşaltma süresi) için standartlarla ve yönetmeliklerle belirlenen çok iyi ve gayet yeterli bir süredir.

Aynı kalınlıkta 2 farklı koruma malzemesi (spreyc boya ve mineral fiber kaplama) uygulandığı durumda çelik sıcaklıkların değişimi Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmiştir. Spreyc boya uygulanan çelik kirişin sıcaklığı 60 dakika sonunda 600°C sıcaklığa ulaşırken, mineral fiber kaplama koruma malzemesi uygulanan çelik kirişin sıcaklığının belirtilen aynı sıcaklığa ulaşması 45-50 dakika sürmüştür. Bu da bize seçilecek koruma malzemesinin türünü belirlemede bir yol göstermektedir.

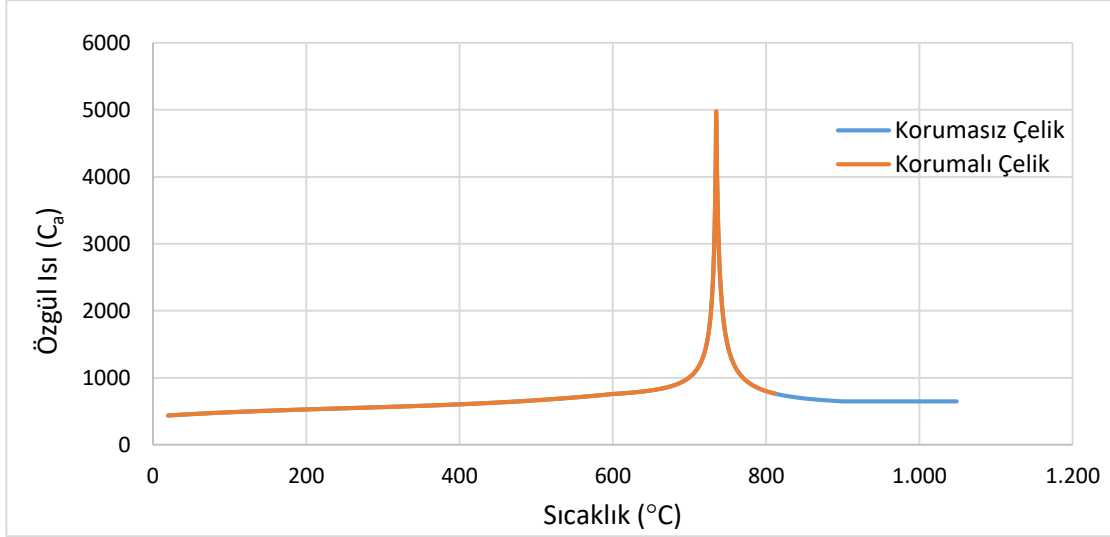
Şekil 10’de gösterilen çelik kirişin özgül ısı-sıcaklık değişimi Şekil 3’te gösterilen ve Eurocode standartlarında belirlenen değişimle benzer trendi göstermiştir.



Şekil 8. Sprey boya kullanılmış çelik kirişin sıcaklık değişimi



Şekil 9. Mineral fiber kaplama kullanılmış çelik kirişin sıcaklık değişimi



Şekil 10. Yangın tasarımı yapılan kirişin özgül ısı-sıcaklık değişimi

Sonuçlar

Bu çalışmada korumasız çelik kirişlerin kısa bir sürede yangın sıcaklığına eş değer bir sıcaklığa ulaştığını ve dayanımını hızlıca kaybettiğini gözlemledik. Bu yüksek sıcaklıklara ulaşma süresi çok kısa olacağı için yapının stabilitesi ve boşaltılması süresi açısından tehlikeli bir durum içermektedir. Bu nedenle modellenen çelik kirişe ayrı olarak 2 farklı yangın koruma malzemesiyle (sprey boya ve mineral fiber kaplama) koruma uygulanmıştır.

Aynı kalınlıktaki 2 farklı koruma malzemesi uygulandığında farklı sıcaklık değişimleri olduğu sonucuna varılmıştır. Bu da her farklı yangın koruma malzemesinin aynı yangın sıcaklığında farklı davranış sergilediğini göstermiştir. Bu nedenle de uygulanacak olan yangın koruma malzemesinin kalınlığı da farklılık gösterecektir.

Teşekkür

Bu çalışma Erzurum Teknik Üniversitesinde yapılmıştır ve değerli fikirlerinden yararlanmış olduğum Bitirme Çalışması danışman hocam Doktor Öğr. Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Öven, V. A., Parlak, İ. Y. (2003) Korumasız çeliğin yüksek sıcaklıklarda performansı Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH) Sayı 427/5 - İnşaat Mühendisleri Odası

Çırpıcı, B. K. (2018) Yapıların Yangın Tasarımı Ders Notları. Erzurum Teknik Üniversitesi

Buchanan, A. H., Abu, A.K. (2001) Structural design for fire safety, Wiley Online Library, United Kingdom

Wang, Y.C. (2002) Steel and composite structures, Spon Press, London and New York

CEN (2005), Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules – Structural fire design. EN 1993-1-2. European Committee for Standardization, Brussels.