

Yüksek Sıcaklığa Maruz T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Eğilme Taşıma Gücü

Hakan ERDEM*

ÖZ

Can ve mal kaybına neden olan yangınlar, hem beton ve çeliğin malzeme dayanımının ve hemde betonarme elemanların moment taşıma kapasitelerinin azalmasına neden olurlar. Betonarmeden yapılan kirişler de sıcaklıktan etkilenmekte ve taşıma gücünde büyük azalmalar meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklığın zararlı etkilerinin araştırılabilmesi için ele alınan kesitlerde, sıcaklık dağılımı ve kuvvetlerin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada, ISO834'de verilen bağıntı ile kesit yüzeylerine etkiyen sıcaklık hesaplanmıştır. Laplace ısı iletim bağıntısı kullanılarak kesit içindeki sıcaklık dağılımı ve Eurocode2'de verilen bağıntılarla malzeme dayanımlarındaki kayıplar belirlenmiştir. Isı iletim bağıntısı sonlu farklar yöntemi ile çözümlenerek küçük parçalara bölünen kesit içindeki sıcaklık dağılımı bulunmuştur. Kesit içindeki küçük parçalarda oluşan azalan malzeme dayanımları kullanılarak çekme ve basınç kuvvetleri elde edilmiş ve daha sonra kuvvetlerin dengesinden moment taşıma kapasiteleri bulunmuştur. Ayrıca, T-kesitli betonarme kirişlerdeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi için de pratik bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada, önerilen pratik yöntemin yeterliliği ve yüksek sıcaklığın kirişlerin taşıma gücüne olumsuz etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen pratik yöntemin tablalı kesitlerde sıcaklık dağılımının hesaplanmasında oldukça etkili olduğu ve yangın etkime süresinin uzamasıyla kesit taşıma gücünde büyük kayıplar meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yangın, betonarme, tablalı kesit, ısı transferi, taşıma gücü momenti

ABSTRACT

Bending Capacity of T-Shaped Reinforced Concrete Beams Subjected to High Temperatures

Fires, which cause life and material loss, result in a decrease both in strength of concrete and steel and moment capacity of reinforced concrete (RC) members. Reinforced concrete (RC) beams are also affected by heat and a decrease in the moment capacity occurs. To investigate hazardous effects of high temperature, temperature distribution, and internal forces in the investigated cross-sections are required. In the present study, the temperature

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 12.11.2008 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Niğde Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde- herdem@nigde.edu.tr

acting on section surfaces is calculated by the equation given in ISO834. The temperature distribution within the section is defined using Laplace temperature transmission equation and losses in the strengths of materials are determined using the given formulation in Eurocode2. The heat conduction equation is solved by finite difference method, and the temperature distribution in small pieces inside the cross-section is obtained. The tensile and compressive forces are calculated using the decreased strengths of materials in small pieces inside the cross-section. Later, the moment capacity is calculated using equilibrium equations. Additionally, a practical method is suggested to determine temperature-distribution in RC beams with T-section. Efficiency of the suggested practical method and negative effects of high temperature on moment capacity of beams are investigated. According to the obtained results, it is observed that the suggested practical method is quite effective to determine temperature-distribution in T-sections, and bending capacity of the cross-section decreases significantly with increasing fire exposure time.

Keywords: Fire, reinforced concrete, T-shaped, heat transfer, bearing moment capacity

1. GİRİŞ

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan betonarme binalarda, zaman zaman yangınlar çıkmakta ve bu da can ve mal kaybına neden olabilmektedir. Yangının etkime süresine bağlı olarak ortaya çıkan yüksek sıcaklık, betonun ve çeliğin malzeme dayanımlarını azaltmakta ve malzeme dayanımlarının azalmasıyla taşıyıcı elemanların taşıma gücü azalmaktadır. Bunun sonucu olarak yapıda kısmi ya da toptan göçmeler meydana gelebilmektedir. Taşıyıcı elemanlardan biri olan kirişlerde sıcaklıktan etkilenmekte ve taşıma gücünde büyük azalmalar meydana gelmektedir. Açıklıktaki kirişler hesaplarda tablalı kesit olarak düşünülmekte ve bu kesit için taşıma gücü momenti hesaplanmaktadır [1]. Öncelikle bu kesit içindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi gerekir.

ACI komitesi beton elemanların yangın direncini belirlemek için bir rapor yayınlamıştır [2]. Bu rapor mühendislerin kullanabileceği pratik bilgiler içermektedir. Nadjai ve ark. FRP ve çelik donatılarla güçlendirilen betonarme kirişlerin yüksek sıcaklıktaki yapısal davranışını dilimlere ayırma yöntemini kullanarak incelemiştir [3]. Hsu ve Lin yangından sonra betonarme kirişlerin taşıma kapasitelerini hesaplamak için kiriş içindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesinde sonlu farklar yöntemini kullanmışlardır [4]. Desai beton kesitin dayanımını yaklaşık olarak hesaplamak için bir yol önermiştir [5]. Erdem yüksek sıcaklık etkisinde olan betonarme döşemenin taşıma gücünün değişimini incelemiştir. Birim genişlikte bir kiriş gibi düşünülerek hesaplanan taşıma gücünün hesabında kesit dilimlere ayrılmış, her bir dilimdeki sıcaklık ve malzeme dayanımındaki değişiklikler kullanılarak taşıma gücü momenti hesaplanmıştır [6].

Bu çalışmada, literatürde rastlanmayan yüksek sıcaklık etkisi altındaki tablalı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentindeki değişim incelenmekte ve tablalı bölgedeki sıcaklık dağılımı için yine literatürde karşılaşılmayan kata ait tüm kesit yerine sadece tablalı kesitin sıcaklık dağılımının hesaplanmasını mümkün kılan bir çözüm önerilmiştir. Kesit içindeki ısı transferinin sürekli ortamda ve iki boyutlu olduğu kabul edilmiş ve sonlu farklar yöntemi kullanılarak kesit içindeki sıcaklığın belirlenmesi için excelde bilgisayar programı yazılmıştır. Tablalı kısmın sol ve sağ kenarındaki sınır sıcaklıkları olarak bir boyutlu ısı transferinden bulunan değerler kullanılmıştır. Küçük parçalara bölünen kesitteki her bir

parçada oluşan kuvvetler hesaplanmış ve basınç ve çekme kuvvetinin dengede olduğu andaki kesitin taşıma gücü momenti hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar şekiller ve çizelge üzerinde verilmiş ve sıcaklığın olumsuz etkisi gösterilmiştir.

2. YANGININ MALZEME DAYANIMINA ETKİSİ

2.1. Beton Basınç Dayanımındaki Değişim

Yüksek sıcaklıklarda azalan beton basınç dayanımı σ_{cT} , Eurocode2’de verilen beton basınç dayanımı azaltma faktörü k_c kullanılarak hesaplanabilir [7]:

$$\frac{\sigma_{cT}}{\sigma_{c20^\circ C}} = k_c$$

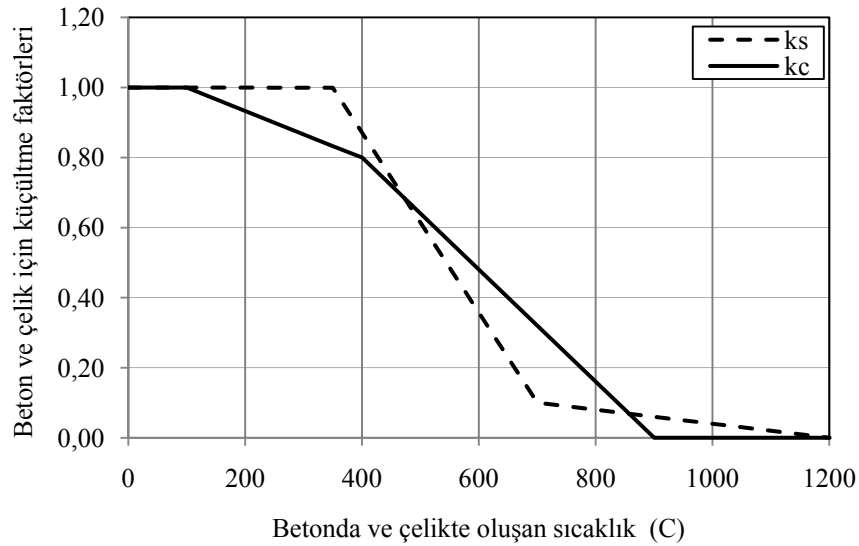
$$k_c = 1 \quad T \leq 100$$

$$k_c = (1.067 - 0.00067T) \quad 100 \leq T \leq 400$$

$$k_c = (1.44 - 0.0016T) \quad 400 \leq T \leq 900$$

$$k_c = 0 \quad 900 \leq T$$
(1)

Burada $\sigma_{c20^\circ C}$ normal ortam sıcaklığındaki beton basınç dayanımıdır. Şekil 1’den de görüleceği üzere beton basınç dayanımı, 100°C den sonra azalmaya başlamakta ve 400°C de ortam sıcaklığındaki değerinin % 80 ine kadar düşmektedir. Sıcaklığın artmasıyla devam eden bu azalma sonucu dayanım 900°C de sıfır olmaktadır.



Şekil 1. Beton ve çelik için malzeme dayanımı küçültme faktörleri

2.2. Donatı Akma Dayanımındaki Değişim

Sıcaklık nedeniyle azalan donatı akma dayanımı ise aşağıdaki Eurocode2’de verilen bağıntılardan bulunabilir:

$$\frac{f_{suT}}{f_{su20^{\circ}C}} = k_s$$

$$k_s = 1 \quad 0 \leq T \leq 350$$

$$k_s = 1.899 - 0.00257T \quad 350 \leq T \leq 700 \quad (2)$$

$$k_s = 0.24 - 0.0002T \quad 700 \leq T \leq 1200$$

$$k_s = 0 \quad 1200 \leq T$$

Burada $f_{su20^{\circ}C}$ ve f_{suT} sırasıyla 20°C deki ve artan sıcaklık altındaki donatının akma dayanımıdır. k_s ise akma dayanımı küçültme faktörüdür. Akma dayanımı 350°C ye kadar sabit kalmakta, 700°C de ilk dayanımının % 10 seviyesine düşmekte ve 1200°C de ise tamamen kaybolmaktadır (Şekil 1).

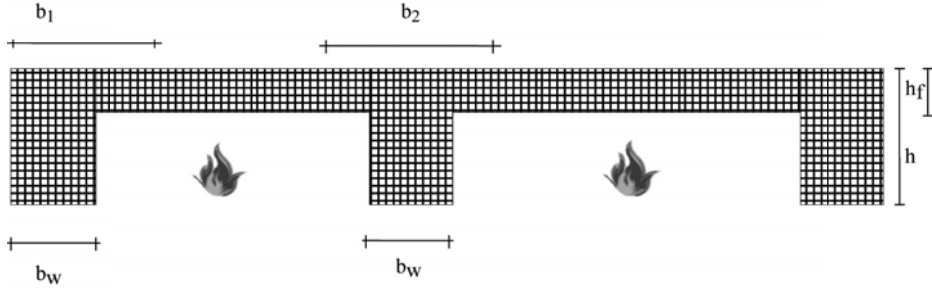
2.3. Kiriş İçindeki Sıcaklık Dağılımı

İçinde ısı üretimi olmaması ve ısı iletkenlik katsayısının sabit olması durumunda, iki boyutlu sürekli ortamdaki Laplace ısı iletimi bağıntısı kullanılarak sıcaklık bulunabilir [8, 9]:

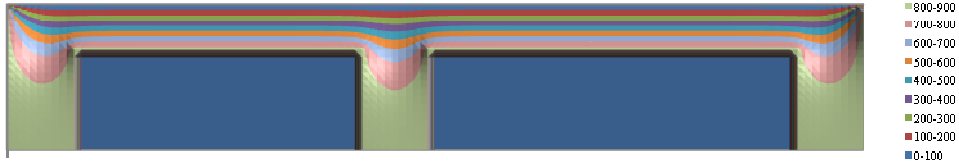
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (3)$$

Bu denklemin çözümünde, basit geometri ve sınır şartlarında analitik yöntemler kullanılabilir. Ancak karmaşık kesit ve/veya sınır şartları için analitik çözüm yerine nümerik çözüm yöntemleri daha uygun olur. Bu çalışmada, sonlu farklar yöntemi kullanılarak tablalı kesitteki iki boyutlu sürekli ortamdaki sıcaklık dağılımı bulunacaktır (Şekil 2). Sonlu farklarla analizde, basitlik için kare ağ kullanılmakta ve bir düğümdeki sonlu fark formülasyonu, düğümün dört komşu düğümünün sıcaklıklarının toplamından düğümün sıcaklığının dört katının çıkarılmasıyla elde edilmektedir:

$$T_{sol} + T_{sağ} + T_{üst} + T_{alt} - 4T_{düğüm} = 0 \quad (4)$$

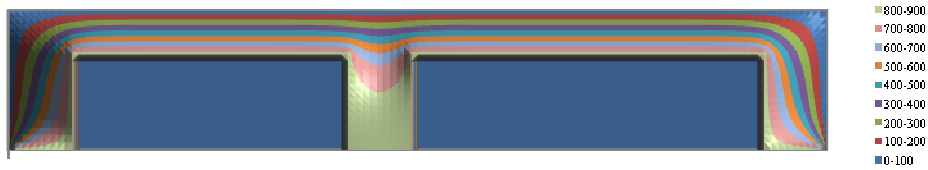


Şekil 2. Kat planı kesitinde sonlu elemanlardan oluşan ağların gösterimi



Şekil 3a. Döşeme üst yüzünün 20°C olması için sıcaklık dağılımı

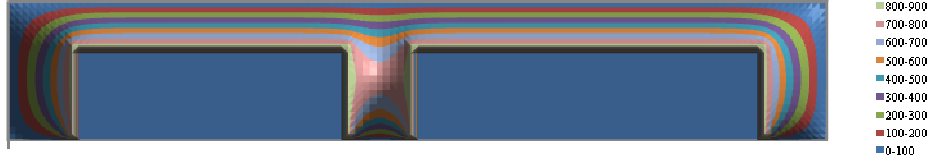
Yapı içindeki herhangi bir katın üst katında yangın olmamasını temsil eden, üst kat sıcaklığının 20°C olması için tüm kat kesitindeki sıcaklık dağılımı excelde hazırlanan program ile hesaplanmış ve değerleri Şekil 3a'da gösterilmiştir. Burada yangın etkime süresi olarak 30 dakika alınmıştır.



Şekil 3b. Döşeme üst yüzünün ve dış kenarların 20°C olması için sıcaklık dağılımı

Yapı içindeki herhangi bir katın üst katının ve dış ortamı temsilen binanın dış kenarlarındaki sıcaklığın 20°C olması için sıcaklık dağılımı hesaplanmış ve Şekil 3b'de gösterilmiştir.

Yüksek Sıcaklığa Maruz T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Eğilme Taşıma Gücü

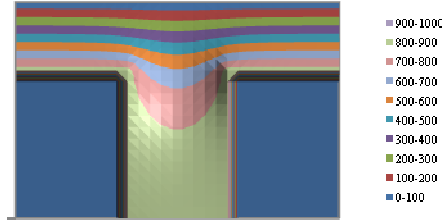


Şekil 3c. Döşeme üst yüzünün, dış kenarlarının ve kiriş alt yüzlerinin 20°C olması için sıcaklık dağılımı

Yapı içindeki herhangi bir katın üst katının, binanın dış kenarlarının ve kiriş altlarında duvar bulunmasını ve bununda kiriş altlarında izolasyon görevi yaptığını kabul ederek buradaki sıcaklığın 20°C olması için sıcaklık dağılımı hesaplanmış ve Şekil 3c'de gösterilmiştir.

Yukarıda Şekil 3a, 3b ve 3c'deki gibi, tüm kat kesitinin birlikte düşünülerek sıcaklık dağılımının hesaplanması durumunda düğüm noktası sayısı artacağından yapılması gereken işlem sayısı da artacaktır. Uygulamada kattaki döşeme sayısının daha fazla olacağı düşünülürse yapılması gereken işlemin daha da artacağı kesindir.

Bu çalışmada, hesaplarda kolaylık sağlamak için kat planı kesitinin birlikte alınması yerine simetrik veya simetrik olmayan tablalı kesitlerin tek başına düşünülüp sadece kesit içindeki sıcaklığın bulunması önerilmektedir. Şekil 3a, 3b ve 3c'dende görüleceği üzere farklı durumlar için bile döşeme içindeki döşeme kalınlığı boyunca oluşan sıcaklık dağılımı belli bir değerden sonra sabit kalmaktadır. Bu özellikten faydalanılarak tablalı kesitli kirişin tabla uçlarındaki sıcaklıklar bir sınır durum gibi düşünülmüş ve buradaki sınır sıcaklığı bir boyutlu ısı transferi bağıntılarından faydalanılarak elde edilmiştir (Şekil 3d).



Şekil 3d. Önerilen yöntemle döşeme üst yüzünün 20°C olması ve sadece tablalı kiriş kesitin göz önüne alınması durumunda sıcaklık dağılımı

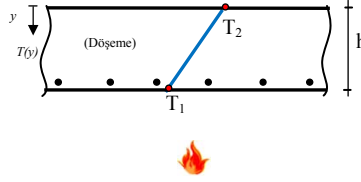
Sürekli rejimde, k =sabit ısı iletim katsayısına sahip, içinde ısı üretimi olmayan ve cidarlarında sırasıyla T_1 ve T_2 sabit sıcaklıkları bulunan sonsuz büyüklükteki bir döşeme içindeki sıcaklık dağılımı, bir boyutlu ısı transferi için verilen bağıntı kullanılarak hesaplanabilir:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (5)$$

Bu diferansiyel denklemin sınır şartları dikkate alınarak çözümünden bulunan denklem ile herhangi bir yerdeki sıcaklık belirlenebilir:

$$T(y) = T_2 + \frac{T_1 - T_2}{h} y \quad (6)$$

Burada h döşeme kalınlığıdır (Şekil 4).

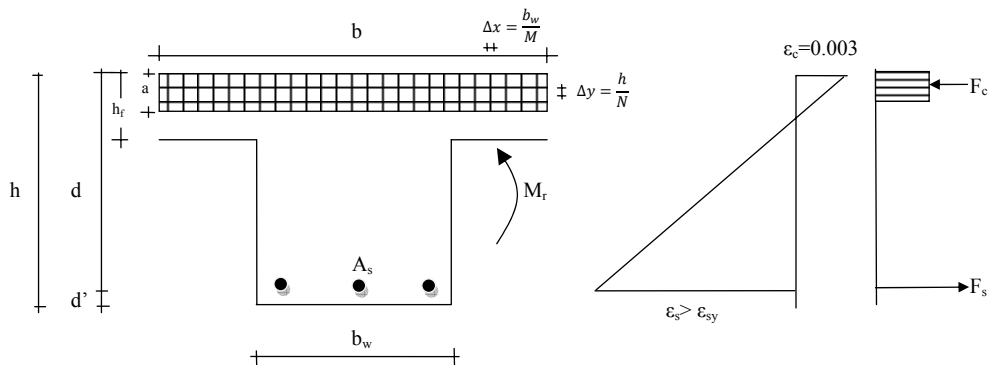


Şekil 4. Bir boyutlu ısı transferi durumunda döşeme içindeki sıcaklık dağılımı

3. YÜKSEK SICAKLIKTA TABLALI KESİTLİ BETONARME KİRİŞİN TAŞIMA GÜCÜ MOMENTİ

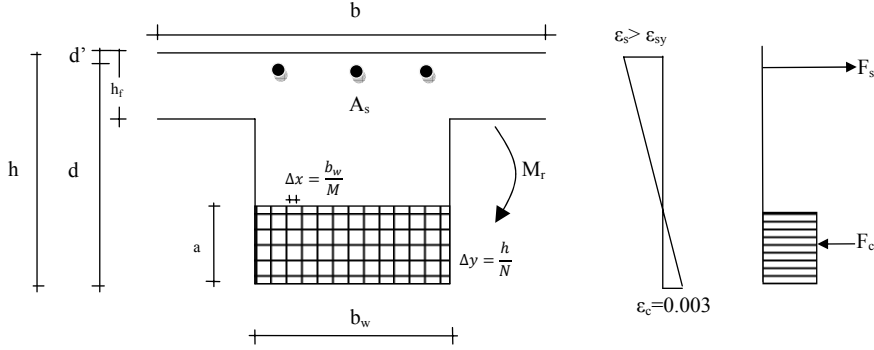
3.1. Yöntem

Basınç ve çekme kuvvetlerinin dengede olduğu andaki moment, taşıma gücü moment olarak alınmaktadır. Ancak kesit içindeki sıcaklığın artması ile beton ve çeliğin malzeme dayanımındaki azalma kirişin taşıma gücünde azalmasına neden olacaktır. Kesit içinde her yerde aynı sıcaklık olmayacağından her bir parçadaki malzeme özelliğinin değişiminin bilinmesi ve bu parçalardaki kuvvetlerin hesaplanması gerekecektir. Denklem 4'de düğüm noktasındaki sıcaklık için verilen bağıntı kullanılarak tablalı kesit içindeki sıcaklık dağılımı, Denklem 1 ve 2'de verilen küçültme faktörleri ile de malzeme özellikleri üzerindeki sıcaklığın olumsuz etkisi hesaplanabilir.



Şekil 5. Basınç bölgesinin tablalı kesitin üst bölgesinde olması durumunda (açıklıkta) tablalı kesitte oluşan kuvvetler

Yüksek Sıcaklığa Maruz T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Eğilme Taşıma Gücü



Şekil 6. Basınç bölgesinin tablalı kesitin alt bölgesinde olması durumunda (mesnette) tablalı kesitte oluşan kuvvetler

Donatıda oluşan toplam çekme kuvveti aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir (Şekil 5, 6):

$$F_s = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N k_{sij} f_{yd} A_{sij} \quad (7)$$

Betondaki toplam basınç kuvveti ise bütün parçalardaki basınç kuvvetlerinin toplanması ile hesaplanabilir (Şekil 5):

$$F_c = 0.85 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{\frac{a}{\Delta y}} k_{cij} f_{cd} \Delta x \Delta y \quad (8)$$

Şekil 5’de gösterilen durumda basınç bölgesi gövdeye incek olursa gövde genişliği içinde oluşan basınç gerilmeleride basınç kuvvetine eklenecektir. Şekil 6’da basınç bölgesinin kesitin alt kısmında olması durumunda oluşan kuvvetler gösterilmiştir. Statik denge durumunda kesitteki kuvvetlerin birbirine eşit olması gerekir. Burada, Eşitlik (7) ve (8) nin birbirine eşit olması durumuna kadar farklı a değerleri için dengenin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmekte ve dengenin sağlanmasına kadar işleme devam edilmektedir. Dengenin sağlanması durumunda kesitin sıcaklık nedeniyle azalmış olan taşıma gücü momenti ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$M_r = 0.85 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{\frac{a}{\Delta y}} k_{cij} f_{cd} \Delta x \Delta y \left(d - \frac{\Delta y}{2} - j \Delta y \right) \quad (9)$$

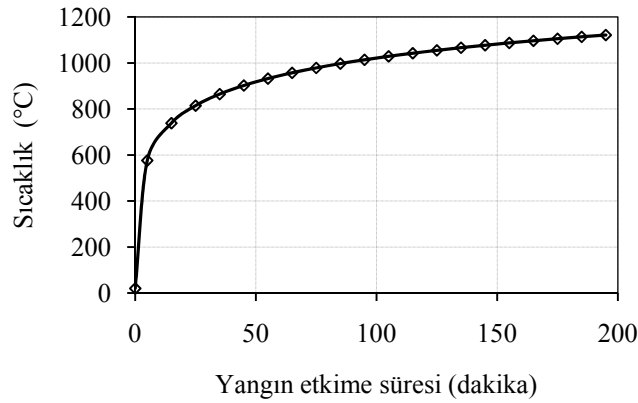
Burada f_{cd} 20°C deki beton hesap basınç dayanımı, f_{yd} 20°C deki çelik hesap akma dayanımı, F_c ve F_s sırasıyla basınç ve çekme kuvvetleridir. M_r kirişin azalmış taşıma gücü momentidir. k_{cij} ve k_{sij} kirişin her bir parçasındaki beton ve çeliğe ait malzeme dayanım küçültme faktörleridir.

4. ISO834 SICAKLIK-YANGIN ETKİME SÜRESİ BAĞINTISI

Bu çalışmada, literatürde bulunan sıcaklık-yangın etkime süresi eğrilerinden [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17] ISO834'de verilen bağıntı kullanılmaktadır. ISO834'de verilen bu bağıntı ile zamana bağlı sıcaklık hesaplanabilmektedir [10]:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_a \quad (^\circ\text{C}) \quad (10)$$

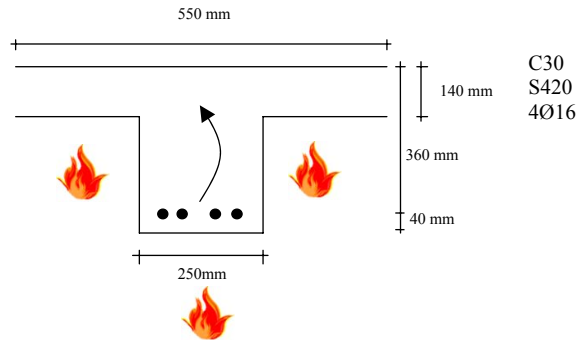
Burada t dakika cinsinden yangın etkime süresi, T_a ise $^\circ\text{C}$ cinsinden sıcaklıktır.



Şekil 7. ISO834 sıcaklık yangın etkime süresi

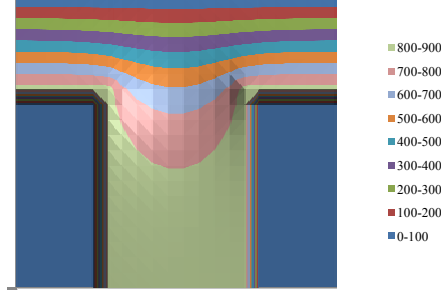
5. SAYISAL ÖRNEK

İlk olarak, Şekil 8'de kesit ve malzeme özellikleri verilen kirişin taşıma gücü momenti hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Şekilden de görülmektedir ki, yangın etkime süresi arttıkça kesitin taşıma gücü hızla azalmaktadır.

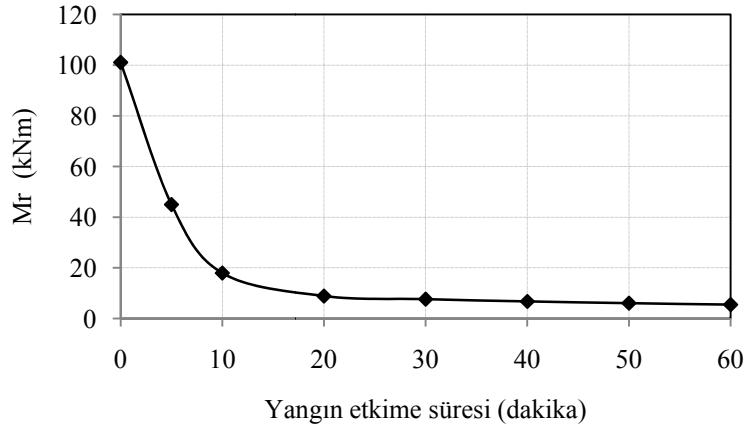


Şekil 8. Tablalı kesite ait kesit ve malzeme özellikleri

Yüksek Sıcaklığa Maruz T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Eğilme Taşıma Gücü



Şekil 9: Tablalı kesitte sıcaklık dağılımı



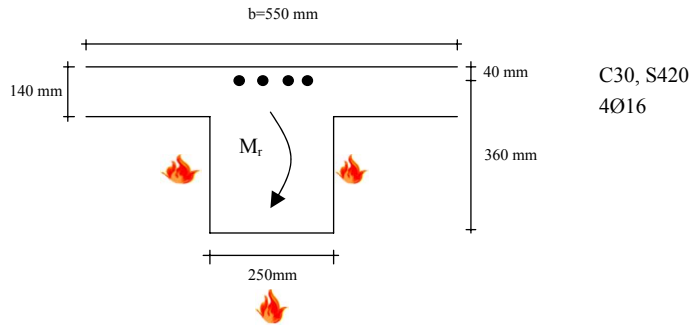
Şekil 10. Tablalı kesite ait taşıma gücü momentinin yangın etkime süresi ile değişimi

İkinci olarak, beton örtüsünün olumlu etkisini göstermek için, farklı d' değerlerinde taşıma gücü momentini hesaplanmış ve Çizelge 1'de sonuçlar verilmiştir. d' değerlerindeki artış ile donatıda oluşan sıcaklık bir miktar düşmüş ve malzeme dayanımındaki kayıp daha az olmuştur. Ancak kiriş kesitinin kalınlığının yeterli olmaması nedeniyle donatıda oluşan sıcaklık yeterince azalmamakta ve olumlu etki çok az olmaktadır.

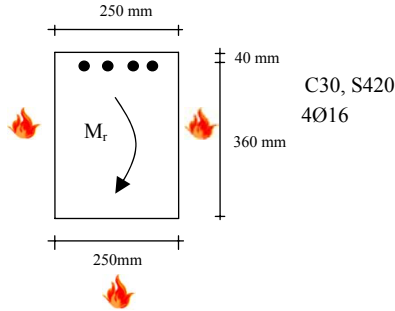
Son olarak, Şekil 11'de kesit ve malzeme özellikleri verilen kiriş incelenmiştir. Öncelikle kesit tablalı olarak ele alınmış, buna göre kesit içinde farklı yangın etkime süreleri için sıcaklık dağılımları bulunmuş, kesit içinde oluşan kuvvetlerin dengesinin sağlanmasından taşıma gücü momentleri elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 14'de gösterilmiştir. Sonra bu kesitin tablasız yani dikdörtgen olması durumu farklı yangın etkime süreleri için incelenmiş (Şekil 12), sıcaklık dağılımları hesaplanmış (Şekil 13), taşıma gücü momentleri elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 14'de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı d' değerleri için zamana bağlı taşıma gücü momentinin değişimi (kNm)

t (dakika)	$d'=40$ mm	$d'=60$ mm	$d'=80$ mm
0	101,07	101,07	101,07
5	43,73	45,32	45,52
10	17,96	18,33	18,56
20	8,89	8,92	8,94
30	7,64	7,67	7,70
40	6,75	6,79	6,81
50	6,07	6,10	6,13
60	5,5	5,54	5,57

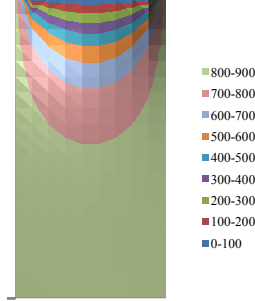


Şekil 11. Basınç bölgesinin altta olması durumu

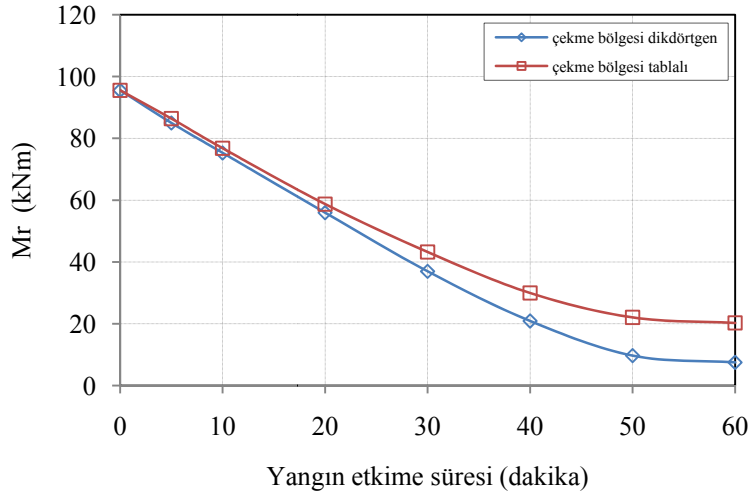


Şekil 12. Basınç bölgesinin altta olması durumu

Yüksek Sıcaklığa Maruz T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Eğilme Taşıma Gücü



Şekil 13. Dikdörtgen kesitte sıcaklık dağılımı (30 dakika için)



Şekil 14. Mesnette kesitin tablalı ve dikdörtgen olması durumları için taşıma gücü momentinin yangın etkime süresi ile değişimi

Şekil 14'den de görüleceği üzere, tablalı olarak göz önüne alınan kirişlerde yangın nedeniyle oluşan taşıma gücü kaybı, döşemelerin olmaması durumundaki dikdörtgen kesitli kirişlerdekinden daha az olmaktadır. Bunun nedeni döşeme kısmının kesit içindeki sıcaklık artışını sınırlamasıdır (Şekil 9 ve 13).

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, daha önce incelenmemiş olan yüksek sıcaklığın tablalı kirişlerin taşıma gücü momentine etkisi incelenmiştir. Yangın nedeniyle ortaya çıkan yüksek sıcaklığın kesit içindeki dağılımı sürekli ortamda, iki boyutlu ısı transferi bağıntıları kullanılarak hesaplanmıştır. Ağlara bölünen kesit içindeki sıcaklıkların hesabı için sonlu farklar yöntemi

kullanılmış, sıcaklıkla azalan malzeme dayanımı Eurocode2’de verilen bağıntularla belirlenmiş ve her bir parçada oluşan kuvvet hesaplanmıştır. Kuvvetlerin dengesinin sağlanması durumunda da kesitin taşıma gücü momenti hesaplanmıştır. Yangın etkime süresine bağlı olarak ortaya çıkan yüksek sıcaklığın kesitin taşıma gücünü hızla azalttığı gözlenmiş ve sonuçlar şekil üzerinde gösterilmiştir.

Döşemenin olumlu etkisini göstermek için kirişin mesnet bölgesinde, dikdörtgen ve tablalı kesitlerin taşıma gücü momentleri hesaplanmış ve tablalı kesitin yangında daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Bunun nedeninin de tablalı kesitin döşeme kısmının kirişin çekme bölgesini yandan kuşatması ve donatılarda oluşacak sıcaklık artışını bir miktar önlemesidir.

Ayrıca, tüm kat kesitinde oluşan sıcaklık dağılımının belirlenmesi yerine, literatürde karşılaşılmayan sadece hesap yapılacak tablalı kesitin sıcaklık dağılımının belirlenmesinin kullanılabileceği bir hesap tarzı önerilmiştir. Tüm kat kesitinde kirişten belli uzaklıkta sıcaklığın döşeme kalınlığı içinde değişiminin sabit kaldığı gösterilmiş ve bu durum için tablalı kesitin döşeme içinde kalan sol ve sağ kenarlarındaki sıcaklık değişiminin bir boyutlu olduğu, döşeme kalınlığı içindeki sıcaklık değişiminin buna göre hesaplanıp sınırdaki sıcaklık olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Sonuç olarak, yangın nedeniyle oluşan yüksek sıcaklıktan aşırı etkilenen kirişlerin, yangın nedeniyle oluşacak yüksek sıcaklığa karşı izolasyon malzemesi ile korunmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] TS500:Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 2000, Ankara.
- [2] ACI216 R-89. Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements. ACI Committee 216 1994.
- [3] Nadjai A, Talamona D, Ali F. Fire Performance of Concrete Beams Reinforced with FRP Bars. Proceeding of the Int. Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures 2005;401-410.
- [4] Hsu JH, Lin CS. Residual Bearing Capabilities of Fire-exposed Reinforced Concrete Beams. International Journal of Applied Science and Engineering 2006;4(2):151-163.
- [5] Desai SB. Design of Reinforced Concrete Beams Under Fire Exposure Conditions. Mag. Concrete Res. 1998;1:75-83.
- [6] Erdem, H., Betonarme Döşemelerin Taşıma Gücü Üzerinde Yüksek Sıcaklık Etkisi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, Adana, 2008.
- [7] Eurocode 2: Design of Concrete Structures. ENV 1992 Part 1-2: General Rules-Structural Fire Design. European Committee for Standardization, Brussels, 1995.
- [8] Incropera FP, Dewitt DP. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley&Sons 1996: 161-209.

Yüksek Sıcaklığa Maruz T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Eğilme Taşıma Gücü

- [9] Çengel YH. Heat Transfer: A Practical Approach (International Edition). McGraw-Hill 1998:57-111.
- [10] ISO-834: Fire Resistance Tests-elements of Building Construction Part 1-9: International Standards Organisation, Geneva, 1975.
- [11] BS 476-20: Method of Determination of Fire Resistance of Elements of Constructions: Fire Tests on Building Materials and Structures, British Standard Institution, 1987.
- [12] ASTM 119-98: Standard Test Methods for Fire Testing of Building Construction and Materials: American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1998.
- [13] NFPA 251: Standart Methods of Test of Fire Endurance of Building Construction and Materials: National Fire Protection Association, Quincy, 1999.
- [14] Eurocode 1: Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: External Fire Curve Section 3.2.2. European Committee for Standardization Brussels, 2002.
- [15] Eurocode 1: Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: Hydrocarbon Curve Section 3.2.3. European Committee for Standardization Brussels, 2002.
- [16] Eurocode 1: Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: Parametric Temperature-time Curve Appendix A. European Committee for Standardization Brussels, 2002.
- [17] Eurocode 1: Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: Parametric Temperature-time Curve Appendix A. European Committee for Standardization Brussels, 2002.