

Yüksek Sıcaklık Sonrası Farklı Sınıflardaki Betonarme Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Ali Ergün^a, Gökhan Kürklü^a ve M. Serhat Başpınar^b

^aAfyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Böl., 03200, Afyonkarahisar

^bAfyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Böl., 03200, Afyonkarahisar
e-posta: aergun@aku.edu.tr, kurklu@aku.edu.tr ve sbaspinar@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 30/04/2010 ; Kabul Tarihi: 30/06/2010

Özet

Betonarme yapı elemanlarını oluşturan beton ve çelik, yanmaz malzemeler grubuna girmesine karşılık, yüksek sıcaklık sonrasında fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Yangın gibi yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonarme yapı elemanlarının değerlendirilmesinde, mevcut malzeme özelliklerindeki değişimlerin bilinmesi gereklidir. Yüksek sıcaklıkta, çelik donatıların akma, çekme dayanımları ile elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinde önemli kayıplar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, yüksek sıcaklığa maruz kalmış farklı sınıf ve çaptaki betonarme çelik donatıların soğutulduktan sonra mekanik özelliklerinde oluşan değişimler incelenmiştir. Deneysel çalışmada, TS 708'e uygun boylarda hazırlanmış S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında, 12 mm, 16 mm ve 20 mm çaplarında inşaat çelikleri kullanılmıştır. Bu numuneler, fırınlarda 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C gibi yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve daha sonra oda sıcaklığına kadar yavaşça soğutulmuştur. Soğutulan numuneler üzerinde çekme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından akma dayanımı, kopma dayanımı, çekme/akma dayanım oranı ve kopma uzaması değerleri alınmıştır. Bu değerler, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan 20 °C kontrol numunelerinin mekanik dayanım değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; yüksek sıcaklık sonrasında donatı çeliklerinin mekanik özellikleri, yüksek sıcaklık anındaki durumundan farklı olduğu görülmüştür. Donatı çeliklerinin mekanik özelliklerinde belirgin kalıcı azalmalar, 800 °C ve daha yüksek sıcaklık sonrası ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek sıcaklık, Betonarme çelikleri, Mekanik özellikler.

Investigation of the Mechanical Properties of Different Grade Reinforcing Bars Exposed to High Temperatures

Abstract

The physical, chemical and mechanical properties of concrete and reinforcing bars can dramatically change when exposed to high temperatures although they are the non-combustible material. Changes in the material properties have to be known to evaluate the existing reinforcement concrete (RC) building exposed to high temperature effect such as fire. The great losses of mechanical strength occur at reinforcing bars at the high temperature. In this study, the effects of different diameters and grades on mechanical properties of reinforcing bars exposed to high temperatures were investigated. The grades of S 220a, S 420a and S 500a and the diameters of 12 mm, 16 mm and 20 mm reinforcing bars samples prepared to according to TS 708 were used in the experimental study. These samples exposed to different temperature such as 200, 400, 600, 800 and 1000 °C temperature in the electrical furnace and then cooled slowly. Tension tests performed on the cooled samples. The yield and tension strengths, the ratio of yield/tension strength, and elongation obtained from the test results. These parameters compared with those of the room temperature (20 °C) samples. According to the test results, the mechanical properties of reinforcing bars exposed to high temperature differed from those of reinforcing bars at elevated temperature. The considerable residual mechanical strengths were observed after temperatures higher than 800 °C.

Key Words: High temperature, Reinforcing bars, Mechanical properties.

1. Giriş

Betonarme yapıların maruz kalacağı çevresel etkilerden birisi de yangına bağlı yüksek sıcaklıktır. Çelik hiç yanmaz malzeme grubuna girmesine rağmen, yüksek sıcaklık etkisinde fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde değişiklikler ortaya çıkar. Yüksek sıcaklık sonrası, betonarme yapı elemanların zarar görerek yapı güvenliğini tehlikeye sokacak risklerin oluşması kaçınılmaz bir durumdur. Yapıların taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının yüksek sıcaklık sonrası oluşan olumsuz etkilerine karşı, gerekli önlemlerin alınması ülkelerin yangın koruma yönetmeliklerinde belirtilmiştir (BYKHY, 2009). Önlemlere rağmen yine de ortaya çıkan yangın, oluşturduğu yüksek sıcaklık nedeniyle taşıyıcı sistem elemanlarının malzemelerini etkilemekte ve bu malzemelerin dayanım, akma sınırı, elastisite modülü gibi mekanik özelliğe bağlı karakteristik parametrelerini değiştirmekte, yapının mevcut haliyle kullanımı için detaylı analizlerin yapılmasını gerektirmektedir. Betonarme yapıların detaylı analiz hesaplamalarında ise mevcut beton ve çelik malzeme için gerekli mekanik özelliklerin belirlenmesi öncelikler arasındadır. Betonarme donatı çelikleri üzerinde yüksek sıcaklığın etkileri konusu, şimdiye kadar birçok araştırmacının ilgi alanında yer almıştır. Bu araştırmaların, bir bölümü yüksek sıcaklık sonrası beton dayanımı (Bingol ve Gul, 2009) ve aderans bozulmaları (Bingol ve Gul, 2009; Chiang ve Tsai, 2003; Haddad ve Shannis, 2004; Youssef ve Moftah, 2007) diğer bölümü ise malzemelerin yüksek sıcaklık anındaki mekanik özelliklerde değişim üzerine odaklaşmıştır (Haddad vd., 2008). Ünlüoğlu vd (2007) ağırlıkça çimentoya oranla % 0, 10, 20 ve 30 uçucu kül, Karanfil (2007) ise % 0, 10, 20 ve 30 pişmiş kil kullanarak hazırlamış oldukları harçların içerisine farklı pas payı derinliğinde donatılar yerleştirmişler ve yüksek sıcaklığa maruz bırakmışlardır. Yüksek sıcaklık sonrası pas payına bağlı olarak donatıların

mekanik özelliklerinde değişimleri incelemişlerdir.

Yüksek sıcaklık altında, çelik donatıların akma, çekme dayanımları ile elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinde önemli kayıplar meydana gelmektedir. Mekanik dayanımlardaki azalmalar 300 °C aşıldığında artmaya başlamaktadır. Sıcaklık 600 °C'ye yükselince, mekanik dayanımlar ve rijitlik %50, 800 °C de ise %80 oranında azalmakta ve 1200 °C ye ulaşıldığında ise tamamen kaybolmaktadır. BS EN 1992-1-2:2004'de 400 °C'de akma dayanımında bir düşüş olmadığı kabul edilerek, 600 °C'de %53, 800 °C de %89 ve 1000 °C'de ise %96 mertebesinde akma dayanımında kayıplar belirtilmiştir (BS EN 1992-1-2:2004). Buradan görülebileceği gibi sıcaklık 600 °C'ye yükseldiğinde, mekanik dayanımlar güvenlik bölgesinin altına inmektedir. Yangın sona erdikten sonra, 600 °C lik sıcaklığa maruz kalmış S 220a ve S 420a çeliklerinde akma dayanımındaki düşüşler tamamen kalıcı olmamakta ve elastisite modülü soğuduktan sonra eski değerlerini alabilmektedir (Akman, 2000).

Bu çalışmada, çeşitli sınıf ve çapta betonarme çelik donatıların farklılığının yangın tepkisine etkisini belirlemek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada, S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında, 12 mm, 16 mm ve 20 mm çaplarında inşaat çelikleri kullanılarak, numuneler 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C gibi yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve daha sonra oda sıcaklığına kadar yavaşça soğutulmuştur. Soğutulan bu numuneler üzerinde çekme deneyleri yapılarak, farklılıkların yangın sonrası mekanik özelliklerde yaptığı değişimler incelenmeye çalışılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmada kullanılan S 220a (TS 708 I-A sıcak haddelenmiş düz yüzeyli inşaat çeliği (D)) sınıfındaki betonarme donatı Karabük Demir Çelik fabrikalarında, S 420a (TS 708 III-A sıcak

haddelenmiş nervürlü inşaat çeliği (N)) sınıfındaki ve kontrollü su soğutma yöntemi ile elde edilen ve tempcore olarak nitelendirilen S 500a (TS 708 IV-A nervürlü inşaat çeliği sıcak haddelenmiş + ısıl işlem (Tempcore) (N)) sınıfındaki betonarme donatılar ise İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İsdemir) fabrikasında üretilen çeliklerdir (TS 708/2010).

Deneyisel çalışmada kullanılan çeliklere ait karakteristik mekanik özellikler Çizelge 1’de, kimyasal özellikleri Çizelge 2.’de verilmiştir.

Çizelge 1. Donatıların mekanik özellikleri

Donatı Sınıfı	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	Çekme Dayanımı f_s (N/mm ²)	Kopma Uzaması A_{gt} (ϵ_{su}) (%)	f_s/f_y
S 220a	319.2	468.1	31.4	1.48
S 420a	477.7	666.6	21.6	1.40
S 500a	592.8	702.2	18.4	1.18

Çizelge 2. Donatıların kimyasal özellikleri

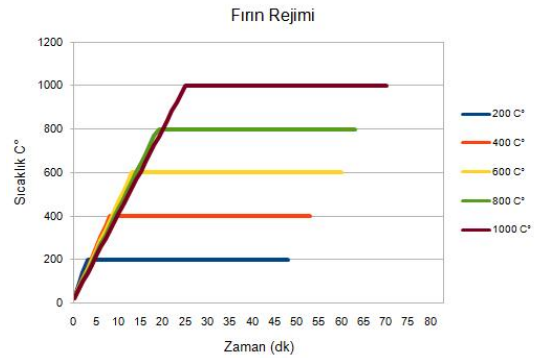
Donatı Sınıfı	%C	%P	%S	%N
S 220a	0.27	0.055	0.055	-
S 420a	0.42	0.055	0.055	-
S 500a	0.24	0.055	0.055	0.013

Çizelge 1’de, 20 °C sıcaklıktaki deney numuneleri için verilen değerler, TS 500/2000’de betonarme yapılarda kullanılacak inşaat çelikleri için belirtilen şartları sağlamaktadır (TS 500/2000).

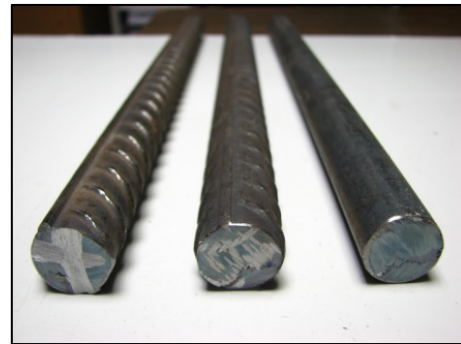
Deneylerde, TS 708’e uygun boylarda hazırlanmış S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında, 12 mm, 16 mm ve 20 mm çaplarında inşaat çelikleri kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin normal oda sıcaklığındaki ağırlıkları tartılarak, bu numuneler üzerinde çekme deneyleri yapılmış ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu değerler, aynı zamanda referans değerler olarak kullanılmıştır. Daha sonra, aynı özelliklerdeki numuneler, ısı rejimi şekil 1’de verilen elektrik fırınında 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C gibi yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Numuneler maksimum sıcaklıkta 45 dakika bekledikten sonra

fırın içerisinde doğal soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra, numuneler fırın içerisinden yaklaşık 100 °C sıcaklıkta iken çıkartılarak, oda sıcaklığına getirilmiştir. Şekil 2’de 20 °C oda sıcaklığındaki ve şekil 3’de ise 1000 °C sıcaklığa maruz kalmış donatı numuneleri görülmektedir.

Soğutulan numuneler üzerinde, yüksek sıcaklık sonrası donatılardaki mekanik özelliklerinin değişimini belirlemek amacıyla çekme deneyleri yapıldı. Çekme deneyleri, tam otomatik 600 kN kapasiteli servo hidrolik kontrollü (yüksek data transveri ve kontrol sağlayan, değişik hızlarda çekme testlerine imkan veren) üniversal çekme test cihazı ile gerçekleştirildi. Deneyde farklı sıcaklık ve donatı sınıfı için her çaptan 3 adet olmak üzere toplamda 162 adet numune kullanıldı.



Şekil 1. Fırın sıcaklık rejimi



Şekil 2. 20 °C’de donatı numuneleri



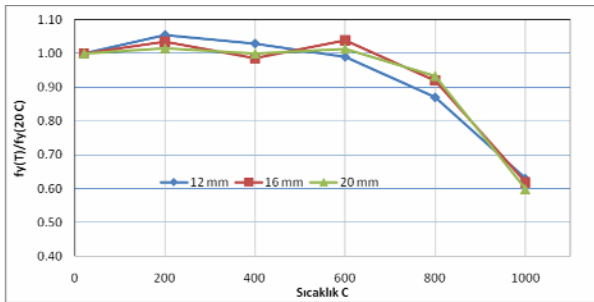
Şekil 3. 1000 °C'ye maruz kalmış donatı numuneleri

3. Bulgular

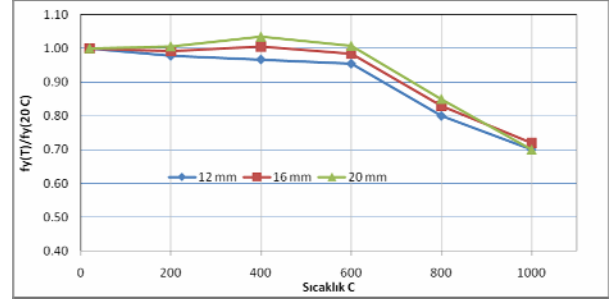
Deney sonrası elde edilen sonuçlara göre; yüksek sıcaklığa maruz kalmış donatı çeliklerinin mekanik özellikleri olarak, çekme deney sonuçlarından akma dayanımı, çekme dayanımı, çekme/akma dayanım oranı ve kopma uzaması değerleri alınmıştır. Bu değerler, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan 20 °C kontrol numunelerin mekanik dayanım değerleri ile karşılaştırılmıştır.

3.1. Akma dayanımı (f_y)

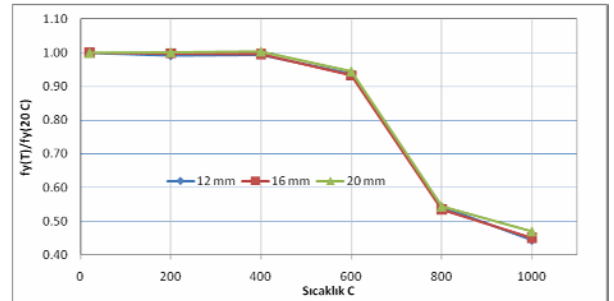
Çekme deney sonuçlarına bağlı olarak, yüksek sıcaklığa maruz kalmış S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında, 12 mm, 16 mm ve 20 mm çaplarında inşaat çeliklerinin akma dayanımlarının, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan 20 °C kontrol numunelerin akma dayanımlarına oranları Şekil 4-6'da verilmiştir.



Şekil 4. S 220a için farklı sıcaklık sonrası akma dayanım değişimleri



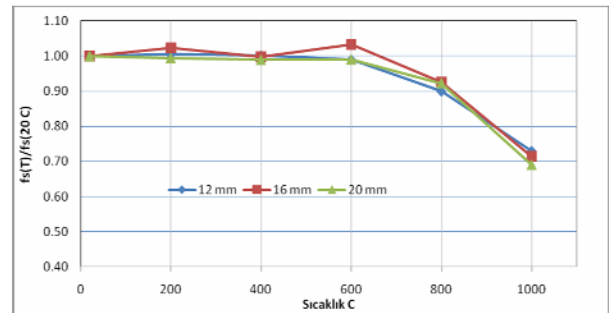
Şekil 5. S 420a için farklı sıcaklık sonrası akma dayanım değişimleri



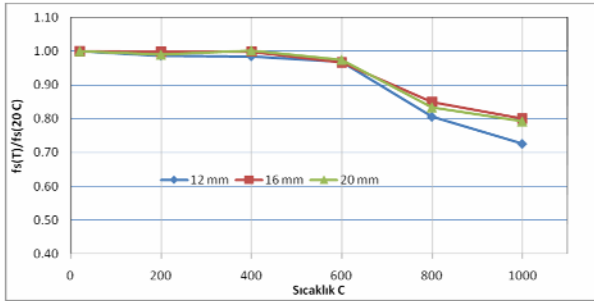
Şekil 6. S 500a için farklı sıcaklık sonrası akma dayanım değişimleri

3.2. Çekme dayanımı (f_s)

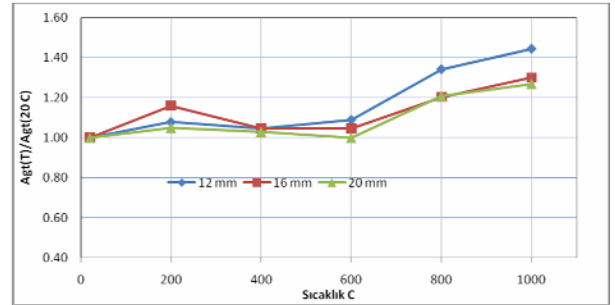
Çekme deney sonuçlarına bağlı olarak, yüksek sıcaklığa maruz kalmış S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında, 12 mm, 16 mm ve 20 mm çaplarında inşaat çeliklerinin çekme dayanımlarının, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan 20 °C kontrol numunelerin çekme dayanımlarına oranları Şekil 7-9'da verilmiştir.



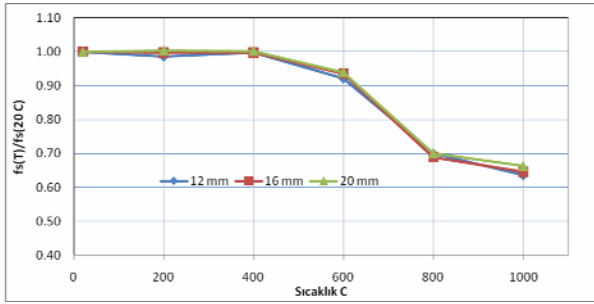
Şekil 7. S 220a için farklı sıcaklık sonrası çekme dayanım değişimleri



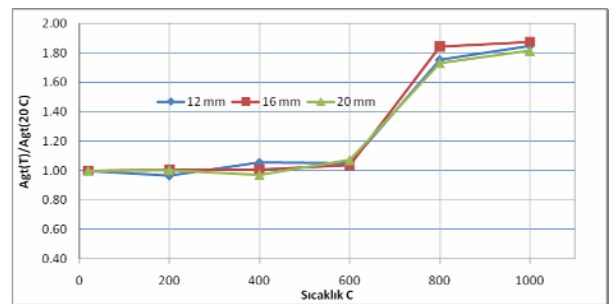
Şekil 8. S 420a için farklı sıcaklık sonrası çekme dayanım değişimleri



Şekil 11. S 420a için farklı sıcaklık sonrası kopma uzaması değişimleri



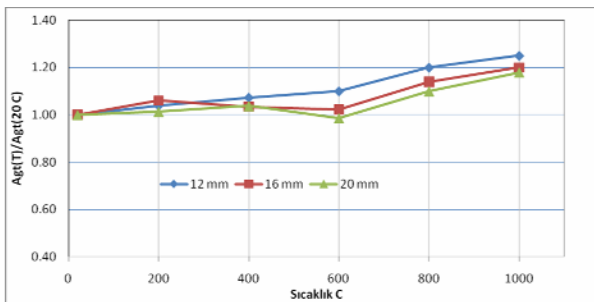
Şekil 9. S 500a için farklı sıcaklık sonrası çekme dayanım değişimleri



Şekil 12. S 500a için farklı sıcaklık sonrası kopma uzaması değişimleri

3.3. Kopma uzaması (A_{gt})

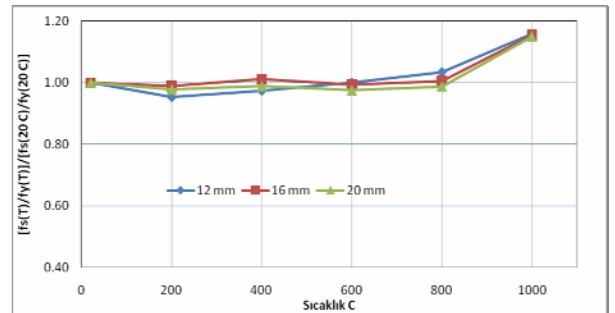
Çekme deney sonuçlarına bağlı olarak, yüksek sıcaklığa maruz kalmış S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında, 12 mm, 16 mm ve 20 mm çaplarında inşaat çeliklerinin kopma uzamalarının, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan 20 °C kontrol numunelerin kopma uzamalarına oranları Şekil 10-12' de verilmiştir.



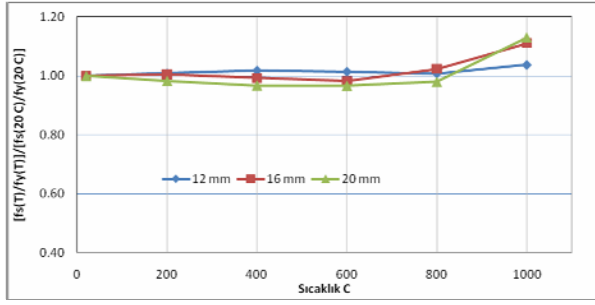
Şekil 10. S 220a için farklı sıcaklık sonrası kopma uzaması değişimleri

3.4. Çekme/Akma dayanım oranları (f_s/f_y)

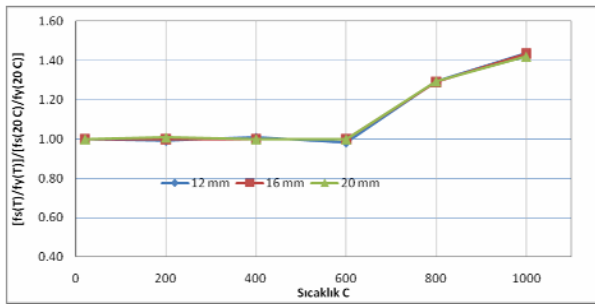
Çekme deney sonuçlarına bağlı olarak, yüksek sıcaklığa maruz kalmış S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında, 12 mm, 16 mm ve 20 mm çaplarında inşaat çeliklerinin çekme/akma dayanım oranlarının, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan 20 °C kontrol numunelerin çekme/akma dayanım oranlarına oranları Şekil 13-15' de verilmiştir.



Şekil 13. S 220a için farklı sıcaklık sonrası çekme/akma dayanım oranları değişimleri



Şekil 14. S 420a için farklı sıcaklık sonrası çekme/akma dayanım oranları değişimleri



Şekil 15. S 500a için farklı sıcaklık sonrası çekme/akma dayanım oranları değişimleri

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar sonrası elde edilen bulgular değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir;

1. 400 °C sıcaklık sonrasında oda sıcaklığına getirilmiş, farklı sınıftaki inşaat çeliklerinin mekanik özelliklerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemektedir.
2. 600 °C'lik sıcaklığa maruz kalmış, az karbonlu S 220a ve orta karbonlu S 420a donatı sınıflarındaki akma ve çekme dayanımlarındaki azalmalar kalıcı olmamaktadır. Bu konu ile ilgili (Akman, 2000) de verilen sonuçlar, elde edilen deneysel çalışmaları desteklemektedir. S 500a için 600 °C sıcaklık sonrasında, akma ve çekme dayanımlarında yaklaşık %7 mertebesinde düşüşler gözlemlenmiştir. 600 °C'ye maruz kalan inşaat çeliklerinin kopma uzama miktarları ise elastisite modülünün düşmesine bağlı olarak dayanım sınıfından bağımsız biçimde %5 artmıştır.

3. 800 °C sıcaklık sonrasında, S 220a sınıfındaki numuneler için akma dayanımında yaklaşık %9, S 420a için %17 ve S 500a için ise %46 mertebesinde azalmalar gözlemlenmiştir. Buna karşılık, çekme dayanımlarındaki azalmalar, S 220a için yaklaşık %8, S 420a için %17 ve S 500a için ise %30 kadardır.

4. 1000 °C sıcaklık sonrası oda sıcaklığına getirilen çelik numunelerin mekanik dayanımlardaki azalmalar, 800 °C sıcaklık sonrasındaki numunelerin dayanım azalmaları ile benzer davranış göstermiştir. 1000 °C sıcaklık sonrasında azalma oranları, S 500a akma dayanımı için %55, çekme dayanımı için %35 mertebesinde.

5. Kopma uzama miktarları, 600 °C sıcaklık sonrası soğutulan numunelerin oda sıcaklığındaki numunelere göre tüm çelik sınıfı için %5 artış gösterirken, bu artış 800 ve 1000 °C sonrasında S 220a ve S 420a çeliklerinde %20-30, S 500a çeliği için ise %80-90 arasındadır. Kopma uzama miktarlarının, maruz kalınan yüksek sıcaklığa bağlı artış göstermesi, elastisite modülünün düşmesinden kaynaklanmaktadır. Deney sonuçlarına göre, 800 °C ve üzeri sıcaklığa maruz kaldıktan sonra oda sıcaklığına getirilen inşaat çeliklerinin elastisite modüllerinde önemli kalıcı azalmalar meydana geldiği söylenebilir.

6. S 220a ve S 420a çeliklerinde 600 °C'ye kadar maruz kalınan sıcaklıklar sonrası mukavemet kayıplarında (akma ve çekme) büyük değişimler meydana gelmezken, S 500a çeliğinde 400 °C sonrası mukavemet değerlerinde azalmalar başlamıştır. Özellikle 600 °C'den sonraki azalışların S 220a ve S 420a'ya göre daha fazla olduğu görülmüştür. S 220a ve S 420a çeliklerinin içyapıları ferritik+perlitik iken, kontrollü soğutma işlemine tabi tutulmuş S 500a çeliğinin içyapısı dış yüzeyde temperlenmiş martensit ve iç tarafta ferrit+ince perlitik yapıdadır. Dış tarafta bulunan temperli martensit için 400 °C temperleme sıcaklığının başlangıcıdır. Bu nedenle dış tarafta bulunan iç yapı sıcaklığa hassastır ve değişimlere açıktır. Buna karşılık,

ferritik+perlitik içyapıya sahip diğer çeliklerde 723 °C geçilmediği sürece herhangi bir iç yapı değişikliği söz konusu olmamaktadır. Sadece tane irileşmesine ve gerilimlerin giderilmesine bağlı olarak küçük mukavemet azalmalarına rastlanmaktadır. Bu davranış daha önce yapılan çalışmalar ile de benzerlik göstermektedir (Nikalaou ve Papadimitriou, 2004).

Yangın gibi yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonarme yapılarda yeterli beton örtü kalınlığı ile termik izolasyonun sağlanması durumunda, donatıdaki sıcaklık 600 °C altında kalabilecektir. Bu takdirde, sıcaklık sonrası donatıdaki mekanik özelliklerdeki değişim kalıcı olmayacak, beton dayanımında herhangi bir sorun olmadıkça betonarme yapı kullanımına devam edebilecektir.

Katkı Belirtme

Bu deneysel çalışma, 08.TEF.03 No'lu Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen proje olanaklarıyla gerçekleştirmiştir. Yazarlar bu kuruma katkılarından ötürü teşekkürü borç bilirlir.

Kaynaklar

Akman M.S., 2000. Yapısal Hasarlar ve Onarım İlkeleri”, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, ISBN 975-375-410-7 İstanbul, Türkiye (BYKHY, 2009), 2009. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Bingöl A.F. ve Gul R. 2009. Residual Bond Strength between Steel Bars and Concrete after Elevated Temperatures, Fire Safety Journal, 44, 854–859.

Bingöl A. F. ve Gül R. 2009. Donatı-Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme, TÜBAV Bilim, 2(2), 211-230.

Chiang, C.H. ve Tsai, C.L., 2003. Time-Temperature Analysis of Bond Strength of a

Rebar after Fire Exposure, Cement and Concrete Research, 33, 1651-1654.

Haddad, R.H. ve Shannis, L.G., 2004. Post-Fire Behavior of Bond between High Strength Pozzolanic Concrete and Reinforcing Steel, Construction and Building Materials, 18, 425-435.

Haddad R.H., Al-Saleh R.J. ve Al-Akhras N.M. 2008. Effect of Elevated Temperature on Bond between Steel Reinforcement and Fiber Reinforced Concrete, Fire Safety Journal, 43, 334–343.

Eurocode 2 BS EN 1992-1-2:2004. Design of Concrete Structures “Part 1-2: General rules — Structural fire design.

Karanfil H., 2007. Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Kalan Betonarme Yapılarda Çelik Donatı Özeliğ Değişimine Paspayı Kalınlığının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye.

Nikolaou J., Papadimitriou G.D. Microstructures and mechanical properties after heating of reinforcing 500 MPa class weldable steels produced by various processes Construction and Building Materials 18 (2004) 243–254.

TS 500/2000, Şubat 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 708/2010, 2010. Çelik - Betonarme için - Donatı çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Ünlüoğlu, E., Topçu, İ.B. ve Yalaman, B., 2007. Yüksek Sıcaklıkta Kalmış Yapılarda Paspayının Betonarme Çelik Donatı Özeliğlerine Etkisi, İMO Teknik Dergi, 18(2), 4145-4155.

Youssef M.A. ve Moftah M., 2007. General Stress–Strain Relationship for Concrete at Elevated Temperatures, Engineering Structures 29, 2618–2634.