

Yüksek Sıcaklıkta Kalmış Yapılarda Pas Payının Betonarme Çelik Donatı Özelliklerine Etkisi

Eşref Ünlüoğlu*
İlker Bekir Topçu**
Burçak Yalaman***

ÖZ

Yüksek sıcaklıklarda kalan donatıların özelliklerine pas payı büyük ölçüde etki etmektedir. Betonarmede en fazla kullanılan üç farklı donatı çapı seçilerek, belirli pas paylarındaki elemanlar farklı yüksek sıcaklıklarda tutulmuşlardır. Pas payı harçlarında CEM I 42.5 çimentosu ağırlıkça % 10, 20 ve 30 olarak uçucu küllü olarak hazırlanmıştır. Deneylerde özel boyutlarda hazırlanmış kalıplara 25 mm pas payında $\phi 10$, $\phi 16$ ve $\phi 20$ çapına sahip S420 nervürlü betonarme yapı çelikleri konmuştur. Kalıptan çıkmış numuneler 28 gün standart su küründe tutulmuştur. Numunelere 20, 100, 200, 300, 500, 800 ve 950 °C'lik sabit sıcaklıklar 3 saat süreyle uygulanmıştır. Soğumuş numuneler içinden çıkarılan donatılara çekme deneyi ile uygulanarak yüksek sıcaklıkların donatıların akma ve kopma dayanımları ile rezilyanslarındaki değişimlere etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT

Concrete Cover Effect on Reinforced Concrete Bars Exposed to High Temperatures

In high temperatures, the mechanical properties of structural reinforcements are affected by concrete cover significantly. Three diametrically reinforcement bars were chosen, which are used commonly in RC buildings then these exposed to different high temperatures. Mortars to take cover are prepared using CEM I 42.5 cement and fly ash added to that in ratios of 10, 20 and 30 % of cement weight. S420 deformed steel bars with diameters of $\phi 10$, 16 and 20 placed into formworks in special dimensions having cover thickness of 25 mm. After hardening specimens kept in standard water cure for 28 days. Then specimens laced into furnace in 20, 100, 200, 300, 500, 800 and 950°C for 3 hours individually. Performing tension tests on reinforcements taken from cooled specimens, it is tried to determine the variations in yield and ultimate strength and in resilience of reinforcements due to same group of high temperatures.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 28.03.2006 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2007 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir - esrefu@ogu.edu.tr
** Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir - ilkerbt@ogu.edu.tr
*** Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir - byalaman@gmail.com

1. GİRİŞ

Yangın geçirdikten sonra yeniden kullanılması düşünülen binaların onarım ve güçlendirme hesaplarının yapılabilmesi için beton ve içindeki donatılarının özelliklerinin bilinmesine gerek duyulur. Betonarme binalarda çıkan yangınlardan sonra bu binaların onarım veya güçlendirmeden sonra tekrar kullanılmaları söz konusu olabilmektedir. Bu binaların tekrar kullanılabilmesi ve onarım veya güçlendirilmenin yapılabilmesi için yapının taşıma güvenliğinin bilinmesine gerek duyulur. Bunun için de yapının betonlarının yangından sonraki dayanımları ile betonarme çeliklerinin mekanik özelliklerinin bilinmesine gerek vardır. Betonarme binalarda çıkan yangınlara veya çevrenin zararlı etkilerine karşı betonarme donatıları pas payı dediğimiz beton tabakası korur. Özellikle yangınlarda ortaya çıkan yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonarme elemanlarda betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde, çeliğin de akma dayanımında, elastisite modülünde, sünekliğinde ve çekme dayanımında azalmalar meydana geldiği belirtilmektedir [1].

Bu makalede betonarme yapı elemanlarında bulunan donatı çeliğinin yüksek sıcaklıklarda altındaki özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Betonarme yapı elemanlarının yangından etkilenmesini inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bir kısmı betonun, bir kısmı ise çeliğin mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. [2]'de farklı pas paylarında imal edilen betonarme kirişlerin farklı sürelerde 650 °C'de tutulmasından sonra Schmidt çekici ile beton yüzey sertlikleri ölçülerek dayanımları belirlenmeye çalışılmış, farklı pas payı ve farklı sürelerde yüksek sıcaklıkta tutulmanın dayanımları önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir. [3]'te 20 ile 100 °C arasında değişen sıcaklıklarda tutulan betonarme elemanlarda betonarme donatı çapı ve pas payı değerleri değiştirilmiş ve bu değişime bağlı olarak beton numuneleri test edilmiştir. [4]'teki çalışmada ise yangın gibi ani yüksek sıcaklıkların oluştuğu durumlarda betonarme yapılarıdaki kütle transferi olayı incelenmiştir.

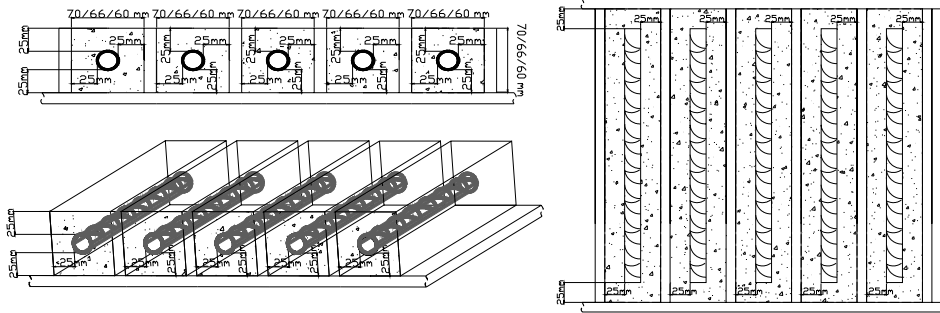
[5] nolu çalışma ise betonarme kirişin içinde oluşan yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan beton ve lifli polimer betonlarında ısıya direnç için en az 64 mm (2.5 in.)'lik bir pas payı bulunması önerilmiştir. [6]'daki çalışmada ise yangın hasarlı betonun dayanım ve dayanıklılığı üzerine iyileştirme çalışmalarını araştırılmıştır. [7] ise yangında betonarme kolonların davranışının doğrusal olmayan analizini incelemiştir. İlk aşamada yangın sırasında kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Sonraki aşamada bu dağılımın ısı yükleri olarak kullanıldığı mekanik analiz yapılmıştır. [8]'de ise bir-iki-üç ve dört yüzeyinden yüksek sıcaklık etkisinde kalan kolonların yangın dayanımları incelenmiştir. [9]'da betonarme kirişlerin yangına karşı dayanımında pas payının etkisi incelenmiştir.

Yapılan araştırmalarda daha çok betonarme elemanlarında yüksek sıcaklık etkisi altında betonun (pas payı olarak bulunan) özellikleri araştırılmıştır. Yüksek ısıya maruz kalmış betonarme elemanların içinde bulunan donatı çeliğinin incelenmesi ile ilgili araştırmalar daha az sayıda yapılmıştır. [10]'da sıcak iklimli bölgelerde alışılagelmiş donatı çeliği yerine değişik özelliklerde donatılar kullanılarak donatıların sıcaklıktan etkilenme durumları incelenmiştir. [11]'de ise farklı sürelerde yüksek ısıya maruz bırakılmış çelik elemanların özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmada ise betonarme yapı elemanlarında bulunan donatı çeliklerinin özellikle yangınlarda oluşan yüksek sıcaklık etkileri altında mekanik özelliklerinde ne gibi değişimler olabileceği ve bunlara betondan yapılmış pas payının ne derece koruyucu etkisi olabileceği incelenmeye çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada farklı çimento dozajında, normal, uçucu küllü ve silis dumanlı harçlar üretilerek bu harçların içine konulan betonarme çeliklerinin yüksek sıcaklıklar sonrasındaki mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyde kullanılan harç için dört farklı karışım belirlenmiştir. Belirlenen harçlarda CEM I 42.5 çimento kullanılarak farklı çimento dozajlarında, su miktarı sabit tutularak normal ve ağırlıkça çimentoya oranla % 10, 20 ve 30 oranlarında uçucu küllü ve silis dumanlı harçlar laboratuvarında hazırlanmıştır. Gerçekte 25 mm pas payına sahip bir yapının maruz kalacağı yangında meydana gelen ısının donatıda oluşturduğu mekanik değişimleri elde edebilmek için laboratuvar koşullarında etriye olarak kullanılan $\phi 10$, kolon, kiriş ve prefabrik elemanlarda sıkça kullanılan $\phi 16$ ve $\phi 20$ çapına sahip S420 nervürlü betonarme inşaat çelikleri kullanılmıştır.

Deneyde kullanılması planlanmış olan nervürlü inşaat çelikleri 10d çekme boyu ve üniversal çekme aleti tutucu çene payları ile birlikte kesilerek hazırlanmıştır. Kullanılan her donatı için 25 mm pas payını sağlayan özel kalıplar hazırlanmıştır. Deneyde kullanılan $\phi 10$, $\phi 16$ ve $\phi 20$ çaplarına sahip nervürlü inşaat çelikleri özel olarak hazırlanmış Şekil 1'de görülen 60x60x300, 66x66x300 ve 70x70x370 mm boyutlarındaki kalıpların merkezine gelecek şekilde yerleştirilerek deney için farklı oranlarda hazırlanmış harçla 2 defada doldurularak kaplanmıştır. Deneylerde farklı gruplarda 184 adet numune hazırlanmıştır. Numune harçlarının yüksek sıcaklığa girmeden önceki dayanımları hakkında bilgi sahibi olabilmek için ayrıca farklı dozajda ve farklı oranlarda uçucu küle sahip harçlardan 40x40x160 mm boyutlarındaki standart donatısız numuneler alınmıştır.



Şekil 1. Deney numunelerinin kalıp içerisindeki şematik görünümü

Alınan numuneler ısıtılan numune harçlarının fırına girmeden önceki dayanımları hakkında bilgi vermiştir. Kalıp sökümü gerçekleşen numuneler 28 gün standart su küründe tutulmuştur. Önceden saptanmış olan sıcaklıklar için her gruptan 3 numune alınmış ve sıcaklık sabit tutularak 3 saat süreyle yüksek sıcaklıkta bekletilmiştir. Soğuma süreci biten numuneler içerisindeki donatı çubuğuna herhangi bir hasar vermeyecek şekilde harcından ayıklanmış ve etiketlenerek çekme deneyine hazırlanmıştır. Donatı çubuğuna çekme deneyi sonucunda, uygulanan 20, 100, 200, 300, 500, 800 ve 950 °C'deki sıcaklıkların, deneyde kullanılan üç farklı çaptaki donatının akma ve kopma dayanımlarına nasıl etkilediği görülmüş, deneyler için hazırlanmış her numune grubu için rezilyanslar elde edilmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Kum: Harç numunelerinin hazırlanmasında birim ağırlığı 1.55 kg/dm³, özgül ağırlığı 2.56 olan dere kumu kullanılmıştır. Kullanılan kumun granülometrisi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Dere kumunun granülometrisi

Elek No	Elek üzerinde kalan (gr)	Geçen malzeme (gr)
16	0	1000
8	0	1000
4	210	790
2	266	524
1	188	336
0.5	130	206
0.25	144	62
incelik modülü		3.08

Su: Harç üretiminde kullanılmış olan suyun kimyasal analizi Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Harç karma suyunun kimyasal özellikleri

Bileşen	Bulunan Değerler
pH	6.85
Kalsiyum (Ca) ⁺⁺	58 mg/l
Magnezyum (Mg) ⁺⁺	83 mg/l
Klorür (Cl) ⁻	46 mg/l
Sülfat (SO ₄) ⁻	45 mg/l
Buharlaşma bakiyesi	434 mg/l

Çimento: Çimento olarak CEM I 42.5 Çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait özellikler Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Deneyde kullanılan CEM I 42.5 Çimentosunun özellikleri

Kimyasal Bileşim, %		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	20.90	Özgül Ağırlık	3150
Al ₂ O ₃	5.52	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3315
Fe ₂ O ₃	3.63	Basınç Dayanımı, MPa	
CaO	63.90	2 Günlük	21.9
MgO	1.62	7 Günlük	38.3
SO ₃	2.78	28 Günlük	45.1
Kızdırma Kaybı	1.15		
Tayin Edilemeyen	0.50		

Uçucu kül: Bu deneysel çalışmada Çayırhan termik santral atığı olan uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu küle ait kimyasal analiz ve sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Uçucu külün analiz sonuçları

Oksit, %	Uçucu Kül	Oksit, %	Uçucu Kül
SiO ₂	50.98	MgO	3.91
Al ₂ O ₃	13.11	SO ₃	3.94
Fe ₂ O ₃	9.74	K ₂ O	1.91
S+A+F	73.83	Na ₂ O	2.71
CaO	11.82	KK	0.86
Serb. CaO	0.56	Cl ⁻	0.014

2.2. Karışım Oranları

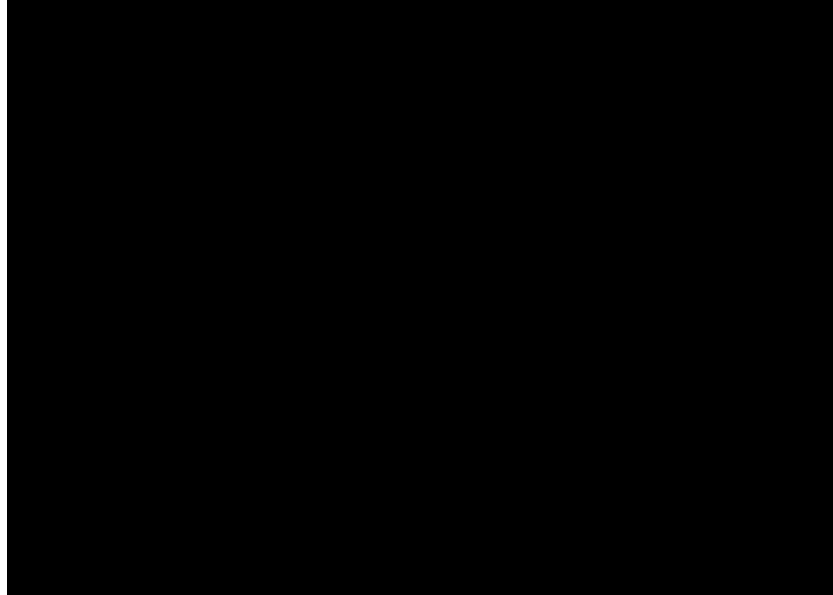
Harç numunelerinin ağırlıkça malzeme karışım oranları ise Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Harç numunelerinin karışım oranları

Uçucu Kül Oranları, %	Ağırlıkça (gr)			
	Çimento	Dere Kumu	Su	Uçucu Kül
0	450	1350	225	0
10	405	1350	225	45
20	360	1350	225	90
30	315	1350	225	135

3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

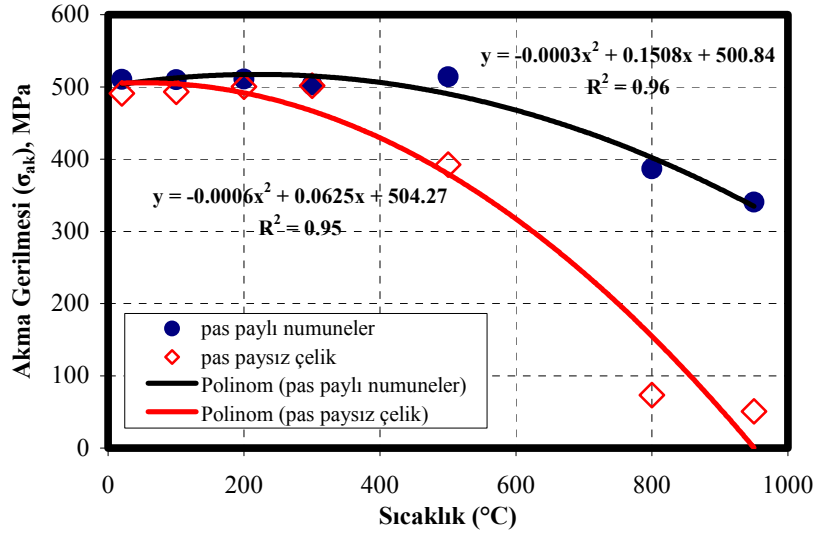
Üretilen harçlar ve donatı harç numunelerindeki ultrases hızının değişimi incelendiğinde, sıcaklığın artışına bağlı olarak numunelerde ultrases geçiş hızlarının düştüğü görülmüştür.



Şekil 2. Isıl işlem görmüş numunelerin ultrases geçiş hızı hesap ve ölçümleri

Üretilen harçlar ve donatı harç numunelerindeki ultrases hızının değişimi incelendiğinde, sıcaklığın artışına bağlı olarak ultrases geçiş hızlarının düştüğü görülmüştür. Ultrases dalgaları, donatılı numunelerin içinden geçerken % 85 donatı çeliği üzerinde, % 15'te harç üzerinde ilerlemektedir. Çalışmada üretilen harç numunelerinden elde edilen ultrases geçiş süreleri sonuçlarından yola çıkarak, çeliğin ses dalgası iletkenliğinin değişmediği varsayılmış ve donatılı numunelerdeki ultrases geçiş hızları hesaplanmıştır [13].

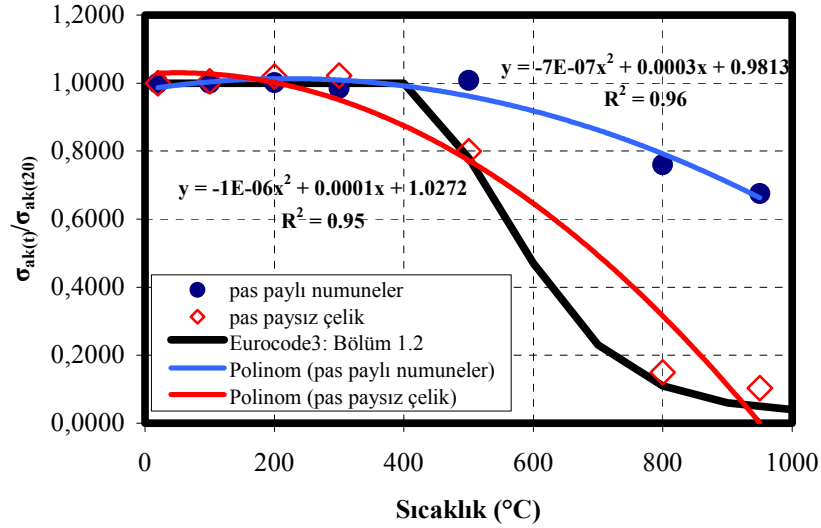
Şekil 2'de donatılı numunelerin ölçülen ve çeliğin ses iletkenliği sabit tutularak hesaplanan ultrases geçiş hızları görülmektedir. Yapılan deneysel ölçümlerin, hesaplanan değerler ile belirli bir sıcaklığa kadar yaklaşık olduğu görülmüştür. [14,15]'te, sıcaklık 500 °C'nin üzerine çıktığında ultrases dalgalarının, hesaplanan geçiş hızlarından daha yavaş geçtiği saptanmıştır. Sıcaklık etkisinde kalan çeliğin ses iletkenliğinin azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Farklı UK'lı betonarme çeliklerinin akma değerlerinin sıcaklıkla değişimi

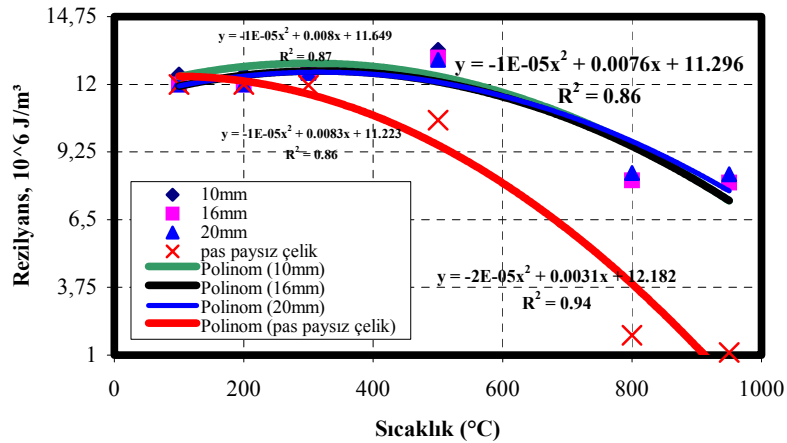
Deneyler sırasında pas payı bulunmayan çelik numuneler, aynı koşullarda farklı sıcaklıklara tabi tutularak bunların mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Farklı çaplarda ($\phi 10$, $\phi 16$ ve $\phi 20$) pas payı bulunan donatılar benzer sonuçlar verdiği için grafiklerde ortalama olarak bir eğri ile pas payı bulunmayanlar ise çelik olarak ayrı bir eğri ile gösterilmiştir.

Yukarıda verilen Şekil 3 incelendiğinde, yangın geçirmiş betonarme yapılarda donatının mekanik özelliklerinin tahmin edilebilmesi için yapılmış olan bu çalışmada, pas paylı numunelerin 400 °C'ye kadar donatı özelliklerinde önemli değişiklik görülmediği ortaya çıkmıştır. Pas payı bulunmayan donatıların ise bu sıcaklığa kadar pekleştiği görülmektedir. Eurocode'a [12] göre 400 °C'ye kadar donatının akma dayanımında azalmanın görülmediği, bu sıcaklık değeri aşıldığı zaman ise dayanım kayıplarının burada yapılan deneysel çalışmadaki sonuçlara paralel şekilde hızlı bir şekilde arttığı belirtilmektedir.

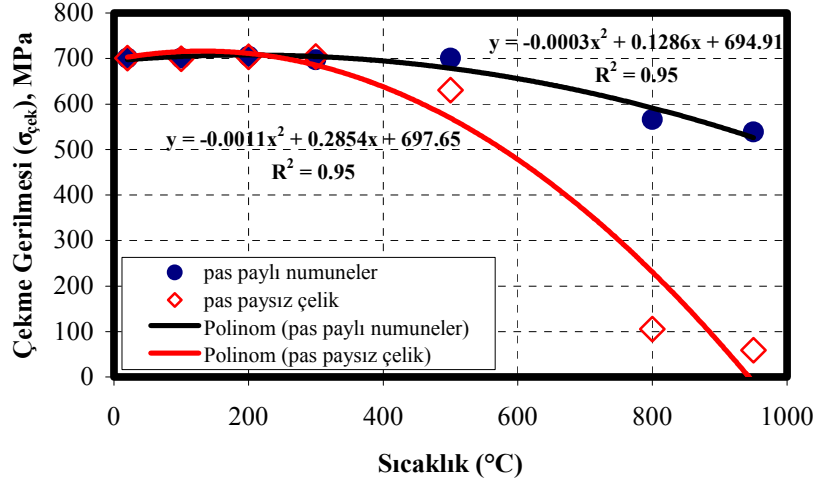


Şekil 4. Isıl işlem görmüş numunelerin akma dayanımlarının ilk hallerine oranları

Şekil 4'te, Eurocode'un, akma dayanımının sıcaklığa bağlı değişimini gösteren akma dayanım kayıp eğrisi ile yüksek sıcaklık deneyinde kullandığımız yalıtımsız donatıların sıcakta işlem görmemiş halleri ile karşılaştırıldığında birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Yaklaşık olarak 300 °C'ye kadar, harç numunelerinin bozulmadan önce, tam koruma yaptığımız varsayabiliriz. Şekil 5'ten, çelik malzemesinin rezilyans kayıplarının 300 °C'den sonra düşüşe geçtiği ve yalıtımsız numunede düşüşün çok daha hızlı olduğu görülmektedir.

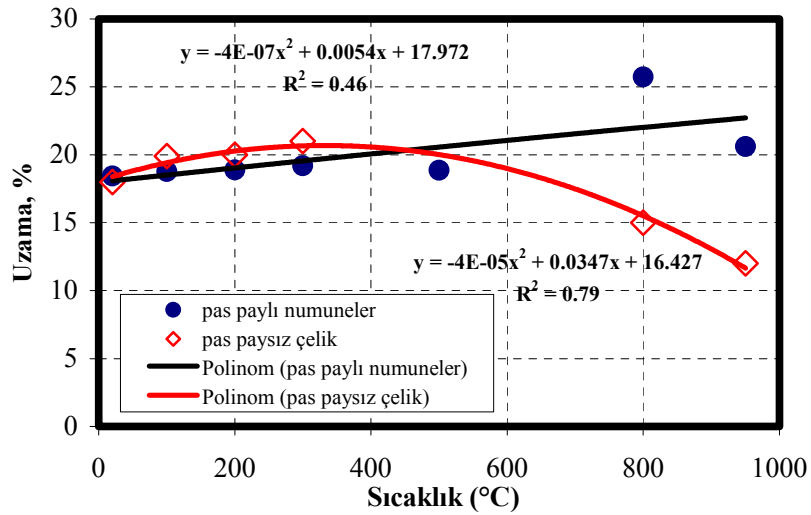


Şekil 5. Farklı UK'lı numunelerin rezilyanslarının sıcaklıkla değişimi



Şekil 6. Farklı UK'lı betonarme çeliklerinin çekme gerilmelerinin sıcaklıkla değişimi

Çekme gerilmesi (Şekil 6) ve uzama grafiklerinden (Şekil 7), 25 mm pas paylı numunelerin, yalıtımsız numunelerle benzer davranışları gösterdiği, ancak yalıtımsız numunelerin harç kaplı numunelere göre Şekil 7'deki uzama değerlerinden yaklaşık 250 °C daha önce tepkide bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu davranıştan yola çıkarak 25 mm pas payının, yaklaşık olarak içerisindeki donatıları dış ortamdan 250 °C daha düşük sıcaklıkta koruduğu belirlenmiştir. Benzer olarak Şekil 4'te pas payı ile korunmamış çeliklerin 500 °C'deki akma değerleri ile 800 °C'deki pas paylı numunelerin akma dayanımları çok yakın çıkmıştır. Şekil 6'daki çekme dayanımlarının da pas paysız çeliklerin, pas paylılara göre dayanımlarını aynı şekilde 250 °C erken kaybetmeye başladığı görülmüştür.



Şekil 7. Uzama değerlerinin sıcaklıkla değişimi

4. TARTIŞMA

Deneyde kullanılmış olan farklı dozaj ve uçucu kül oranlarındaki harç numunelerinin, sonuçlara etkisi olmamıştır. Bunun nedeni uçucu küllü karışımların 28 günlük kür süreleri sonunda mekanik özelliklerini tam olarak kazanmayışı olabilir. Ancak yapılan araştırma, uçucu külün bu davranışı bilinerek yapılmış, uçucu külün dayanım yönünden olumlu katkısının ortaya çıkmadan pas payı olarak yüksek sıcaklıktaki performansı araştırılmak istenmiştir. Çalışmanın devamı olarak aynı uçucu kül karışım oranları kullanılıp, 56 ve 90 günlük kür uygulanan numunelere yüksek sıcaklık deneyi yapılarak kür süresi ile pas payının ısı performansını araştırılabilir. Numunelerde 500 °C'nin üzerinde oluşan dayanım kayıplarının nedeni, harç numunelerinin renginin beyazlaşması ile de fark edilebilen Ca(OH)₂'nin sönmemiş kirece dönüşümü ve çatlakların artmasıyla sığağa karşı harcın donatıyı koruma özelliğinin azalması olabilir. Yangın etkisi altındaki donatının 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ses iletkenliğinin düşmesinin nedeni, çeliğin polimorfik yapısının hacim merkezli kübik kafes yapı olan ferritten, yüzey merkezli kübik kafes olan ostenite dönüşmesinden kaynaklanmış olabilir.

Sıcaklık 950 °C bulduğunda, pas payının donatı mekanik özelliklerini korumaya devam ettiği ancak zaman geçtikçe, harcın bütünlüğünü koruyamadığı görülmüştür. Sıcaklığı 950 °C'yi bulan bir yangın geçirmiş yapının, tekrarlanan ikinci bir yangında, aynı performansı gösteremeyeceği anlaşılmaktadır. Bu araştırmanın devamı olarak aynı özellikteki iki seri hazırlanarak, yangın geçirmiş bir yapının sonraki yangınlardaki performansları incelenebilir. Harç karışımında ısı iletkenliği betondan daha düşük olan kiremit kırıkları yada gaz beton kırıkları kullanılıp, pas payı sabit tutularak katkıların yüksek sıcaklıklardaki donatıyı koruma performansı incelenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek sıcaklık altında, 25 mm'lik pas payına sahip betonarme bir yapının donatı özelliklerindeki değişimi belirlemek amacı ile yapılmış bu çalışmada, hasarlı ve hasarsız deneyler sonunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Yapılan deneyler sonucunda, yüksek sıcaklıklarda harç ile sağlanan 25 mm pas payının, donatıları koruyarak, akma ve çekme dayanımı kayıplarını azalttığı, pas paysız donatılara göre dayanımların yüksek olduğu görülmektedir.
- Sıcaklık 500 °C'ye kadar çıkarıldığında, ısı işlem görmemiş numunelerle yaklaşık olarak aynı akma ve çekme dayanımlarına sahip olduğu görülen pas paylı numunelerin, bu sıcaklık aşıldığında dayanım kayıplarına uğradığı bulunmuştur.
- Yapılan rezilyans hesaplarında, 25 mm pas paylı numunelerde 500 °C civarında çok az da olsa bir artış saptanmıştır. Bunun nedeninin akma değerlerinde bir yükselme meydana gelmemesine karşın çelik malzemesinin daha sünek bir yapıya kavuşmuş olması ve elastik şekil değiştirebildiği bölge içerisinde daha fazla enerji sönmeye kapasitesine sahip hale gelmesidir.

Yüksek Sıcaklıkta Kalmış Yapılarda Pas Payının Betonarme Çelik Donatı...

- Pas payının 25 mm olduğu bu çalışmada, 500 °C üzerinde donatı mekanik özelliklerinin korunamadığı görülmektedir. Yapılan araştırmalar, normal bir konut yangınının 815 °C civarında olabildiği ve anlık olarak 1093 °C'lik zirve sıcaklığına ulaşabildiği belirtilmiştir. Bu bilgiye göre, pas payı artırılarak bu sıcaklıklarda donatıyı koruyabilecek pas payı kalınlığı bulunabilir.
- Ultrasesin numune üzerindeki geçiş yolunun % 15'i harç, geri kalanı çelik üzerindedir. Çalışmada yapılan ultrases geçiş süresi deneyleri sonucunda, donatılı numunelerde hesapla bulunan ultrases geçiş hızlarının yüksek sıcaklık etkisi ile gittikçe düştüğü görülmüştür.
- Akma, çekme gerilmeleri ve uzama oranlarına ait grafikler incelendiğinde, yalıtımsız numunelerin harç kaplı donatılara göre yaklaşık 250 °C daha önce tepkide bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu davranıştan yola çıkarak 25 mm pas payının, yüksek sıcaklık etkisi altında yaklaşık olarak içerisindeki donatıları dış ortam sıcaklığından 250 °C daha düşük sıcaklıkta koruyabildiği belirlenmiştir.
- Yapılan literatür taramasında bu konu ile ilgili [8,9] ve özellikle de [10,11]'de verilen sonuçlar bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir. Ancak elde edilen bu çalışma sonuçları ile sayısal olarak tam bir karşılaştırma yapılacak literatür değerleri bulunamamıştır. Belki bu çalışma bundan sonra yapılacak daha ileri çalışmalara yardımcı olabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu deneysel çalışma 200415040 Nolu Tübitak Projesi ile 104M750 Nolu Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Projesi olanaklarıyla alınmış deney aletlerinde gerçekleştirmiştir. Yazarlar bu iki kuruma katkılarından ötürü teşekkürü borç bilirlir.

Kaynaklar

- [1] Gewain R.G., Iwankiw N. R., Alfawakhiri F., 2003, "Facts for Steel Buildings, Fire" AISC, 51p.
- [2] El-Hawary M.M., Ragab A.M., Abd El-Azim A. and Elibiari S., Effect of fire on shear behaviour of R.C. Beams, Computers and Structures Vol. 65, p. 281-287, 1997.
- [3] Freudenberg J., Gaganov A., Hickman A.L., Jones H., Mechanical behaviour of high nitrogen stainless steel reinforced conductor for use in pulsed high field magnets at cryogenic temperature, Cryogenics Vol. 43, p. 133-136, 2003.
- [4] Chung J.H., Consolazio G.R., Numerical modeling of transport phenomena in reinforced concrete exposed to elevated temperatures, Cement and Concrete Research, Vol. 35, p. 597-608, 2005.
- [5] Saafi M., Effect of fire on FRP reinforced concrete members, Composite Structures, Vol. 58, p. 11-20, 2005.

- [6] Poon C.S., Azhar S., Anson M., Wong Y.L., Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing, *Cement and Concrete Research*, Vol.31, p. 1307-1318, 2001.
- [7] Bratina S., Cas B., Saje M., Planinc I., Numerical modeling of behavior of reinforced concrete columns in fire and comparison with Eurocode 2, *International Journal of Solids and Structures*, Volume 42, Issues 21-22, October 2005, p. 5715-5733.
- [8] Tan K.H., Yao Y., Fire resistance of reinforced concrete columns subjected to 1-, 2-, and 3- face heating, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, No. 11, p.1820-1828, November 2004.
- [9] Shi X., Tan T.H., Tan K.H., Gou Z., Influence of Concrete cover on fire resistance of reinforced concrete flexural members, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, No. 8, p.1225-1232, August 2004.
- [10] Abdalla H., Concrete cover requirements for FRP reinforced members in hot climates, *Composite Structures*, Volume 73, Issue 1, p. 61-69, May 2006.
- [11] Wong M.B., Universal design charts for insulating of steel members in fire, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, p. 1447-1456, 2005.
- [12] European Committee for Standardization (CEN), 1993, Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.2: Structural fire design, Brussels.
- [13] Topçu İ. B., Beton, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi, Yayın No: 2, Nisan 2006, Eskişehir, 260s.
- [14] Yalaman B., Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Kalan Yapılarda Çelik Donatı Özelik Değişimine Betonarme Pas Payının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., İnşaat Müh. ABD, Şubat 2006, 69s.
- [15] Ünlüoğlu E., Topçu İ. B., Yalaman B., Yüksek Sıcaklığın Betonarme Çelik Donatı Özeliklerine Etkisi, Yapı Mekaniği Semineri 2006, 29-30 Haziran 2006, ODTÜ-ESOGÜ-ETB, Eskişehir, ss. 86-96.