Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özeliklerine Etkisi

İlker Bekir Topçu, Abdullah Demir
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye
Tel: 0 222 2392750/3217, 0 222 2392750/3118
E-Posta:ilkerbt@ogu.edu.tr, a_demir@ogu.edu.tr

Öz

Yangın veya yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton ve bileşenlerinin yapılarında değişimler meydana gelmektedir. Performans açısından yüksek sıcaklık sonrası betonların mekanik ve fiziksel özeliklerinde meydana gelebilecek değişimler oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında ısıl işlem safhasında yüksek sıcaklık etkisinde kalan harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özeliklerindeki değişimler ile bunlara yüksek sıcaklık uygulama sürelerinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma numune üretimi, kürü, yüksek sıcaklığa bırakılma, fiziksel ve mekanik deneyler olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. CEM II/B-M (P-L) 32.5R ve CEM I 42.5 R çimentoları ile iki farklı harç numuneleri üretilmiştir. Numuneler Rilem Cembureau Standart kumu kullanılarak hazırlanan çimento harçları TS EN 196-1`e uygun üretilmiş olup 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak 28. güne kadar 23 ^{o}C sıcaklıktaki kirece doygun suda tutulmuşlardır. Kür süresinin sonunda yüksek sıcaklık fırınında ortalama olarak 6 ^{0}C/dak. ısıtma hızıyla 40x40x160 mm boyutlu üretilen harç numuneleri yüksek sıcaklık etkisine bırakılmıştır. Farklı yüksek sıcaklıklara bırakılma sürelerinin, harcın fiziksel ve mekanik özeliklerine etkilerini araştırmak için, hazırlanan harç numuneleri 1, 3 ve 5 saat olmak üzere üç farklı sürede sırasıyla 150, 300, 400, 600 ve 900 ^{o}C sıcaklıklarında yüksek sıcaklık etkisinde kalmışlardır. Soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde, birim ağırlık, ultrases hızı, dinamik elastisite modülü, kılcal su emme katsayısı, ağırlıkça su emme, eğilme ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. 1 saatin ötesindeki beklenen sürelerin betonun arta kalan dayanıma etkisi önemlidir. Yüksek sıcaklık uygulama süresi arttığında etki azalmıştır, dayanım azalmasındaki büyüklük ilk iki saat sıcaklıkta meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Çimento, Harç, Fiziksel ve mekanik özelikler, Yüksek sıcaklık.

Giriş

Beton bir çok yapı malzemesine kıyasla yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklık altındaki beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez, zehirleyici gaz ve duman çıkarmaz (Baradan ve diğ., 2002). Ayrıca betonarme yapılarda, termik iletkenlik katsayısının oldukça düşük olması nedeniyle, beton donatı çeliğini yüksek sıcaklığa karşı korur. Ancak bu dayanıklılık sınırlı süreler ve belirli sıcaklık dereceleri için geçerlidir. Bu sınır değerlerin aşılması durumunda betonda çatlama ve parçalar halinde kabuk atma gözlenirken, aderansta da önemli kayıplar oluşur (Baradan ve diğ., 2002; Lie and Irwin, 1993; Noumowe et.al., 1994; Khoury, 1992).

Yapılan çalışmalar sonucu yüksek sıcaklıkların hidrate çimento hamuruna etkisi, hamurun hidratasyon derecesi ile nem içeriğine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Artan sıcaklıkla birlikte hidrate çimento hamuru içindeki serbest su, kapiler su ve jel suyu ortamdan ayrılmaktadır. Hızlı soğumaya bırakılan düşük geçirimliliğe sahip hamurda yüzeysel kapak atma olayı meydana gelebilmektedir. Çimento hamurunda sıcaklık 300 ^{o}C'ye ulaştığında CSH ara yüzeylerindeki su ve CSH ile sülfoalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümü kaybedilir (Mehta and Monterio, 1997). Mikro çatlaklar önce yaklaşık 300 ^{o}C'de $Ca(OH)_2$'in toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede (~400 ^{o}C) görülür. Sıcaklığın 400 ile 600 ^{o}C arasında olması halinde, sertleşmiş çimento hamurunda bir dizi tepkimeler başlayabilir. Bu tepkimeler boşluk sisteminin tamamen kuruması ile başlar, bunu hidratasyon ürünlerinin ayrışması ve CSH jellerinin parçalanması izler (Lin et.al., 1996). Dört yüz derecenin üzerindeki sıcaklıklardan ani olarak su ile soğutulma sonrası örneklerin parçalanmasının nedeni, çözülen $Ca(OH)_2$'in ortamdaki nem ile tekrar hidrate olmasıyla hacminde % 44'lük bir artış meydana gelmesidir (Dias et.al., 1990; Shoaib et.al., 2001). Yangını söndürmek için sıkılan su, oluşan CaO'in tekrar $Ca(OH)_2$'e dönüşmesini hızlandırarak zararın mertebesini arttırmaktadır. $Ca(OH)_2$'in ortaya çıkardığı bu zararlı etki uçucu kül veya yüksek fırın cürufu gibi mineral katkılar kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Çünkü, bu katkılar $Ca(OH)_2$ ile puzolanik reaksiyona girerek, ek CSH yapı oluşturmakta ve $Ca(OH)_2$ 'in tüketilmesini sağlamaktadır (Sarshar and Khoury, 1993; Topçu ve Demir, 2005).

Üretilen betonun yüksek sıcaklıklarda yüksek performans göstermesi için uygun agrega seçimi çok önemlidir. Agrega tipi, porozitesi ve mineralojisi yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun davranışı üzerinde önemli bir etki yapar (Topçu ve Demir, 2006). Yaygın olarak kullanılan agregaların bir çoğu belirli sıcaklıklarda ısıtıldığında fiziksel olarak bozulur. Örneğin, kumların büyük çoğunluğunu oluşturan kuvartz 570 °C'de polimorfik bir değişime uğrar, kireç taşı ve bazalt agregaları 650 °C'ye kadar ısıtıldığında kalıcı termal genleşmeler gösterir. Karbonat kökenli agregalar 700 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda CaO ve CO_2'e ayrışır. Artan sıcaklıklarda agregada görülen bütün bu kimyasal ve fiziksel değişiklikler betonda önemli sorunlar yaratır (Topçu and Demir, 2007a; Topçu and Demir, 2007b).

Bazı deneysel çalışmalarda yüksek sıcaklığın etkisinde kalan betonun renginde önemli değişiklikler meydana geldiği, bu değişikliğin özellikle silisli nehir agregaları ile üretilen betonlarda belirgin olarak görüldüğü, örneğin renk, pembe veya kırmızı ise sıcaklığın 300-600 °C'ye, gri ise 600-900 °C'ye yükselmiş olduğu önceki çalışmalarda ifade edilmiştir. Yüzer ve arkadaşları Munsell renk dizgesi kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarında yüksek sıcaklığın farklı puzolan katkılı ve katkısız harçlara olan etkilerini araştırmış, harçların maruz bırakıldığı her sıcaklık için yüzey rengi ve basınç dayanımları belirlemiş, rengin tür bileşeni ile basınç dayanımı arasında bir ilişki kurulabileceği sonucunu ortaya koymuşlardır (Yüzer ve diğ., 2004).

Bu çalışmada farklı çimento tipleri kullanılarak üretilen harç numunelerinde yüksek sıcaklık sonrası meydana gelen fiziksel ve mekanik özeliklerindeki değişimler incelenmiştir. Harç üretiminde kullanılan agrega aynı olması nedeniyle ortaya çıkan faklılıklar farklı çimento hamurlarının yüksek sıcaklık sonrası değişimlerine bağlıdır. Amaç deneyler sonucu ortaya çıkan farklılıkları, çimento tipi, farklı yüksek sıcaklıklara bırakılma sürelerini ve soğutma şekli göz önünde bulundurarak ortaya koymak ve kendi aralarında bir değerlendirme sunmaktır.

Deneysel Çalışma

Çalışma, numune üretimi, sıcaklık etkisi, soğutma süreci, fiziksel ve mekanik deneyler olmak üzere beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan Malzemeler

Çalışmada CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R olmak üzere iki farklı çimento tipi kullanılmıştır. Bu çimentolara ait özelikler Tablo 1'de verilmiştir. Harç üretiminde Standart Rilem kumu ile karışım suyu olarak sülfat içeriği 5.8 mg/lt, sertliği 3.9 mg/lt ve pH 6.3 olan Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan çimentoların kimyasal, fiziksel ve mekanik özelikleri.

	Çimento Tipi	
Özelik	CEM I 42.5 R	CEM II/B 32.5 R
SiO_2	20.74	30.88
Al_2O_3	5.68	8.01
Fe_2O_3	4.12	3.57
CaO	63.70	47.78
MgO	1.22	1.30
Na_2O	0.17	0.12
K_2O	0.53	1.33
SO_3	2.29	1.67
Cl	0.019	0.011
Kızdırma kaybı	1.34	6.20
Çözünmeyen Kalıntı	0.57	0.27
Serbest Kireç	1.29	1.31
Özgül ağırlık	3.14	2.85
Özgül yüzey, cm^2/gr	3450	3580
28 Gün. Basınç Day. (MPa)	48.5	36.1
Eğilme Dayanımı (MPa)	8.37	5.5
Dinamik Elastisite Modülü (GPa)	35.6	30.9

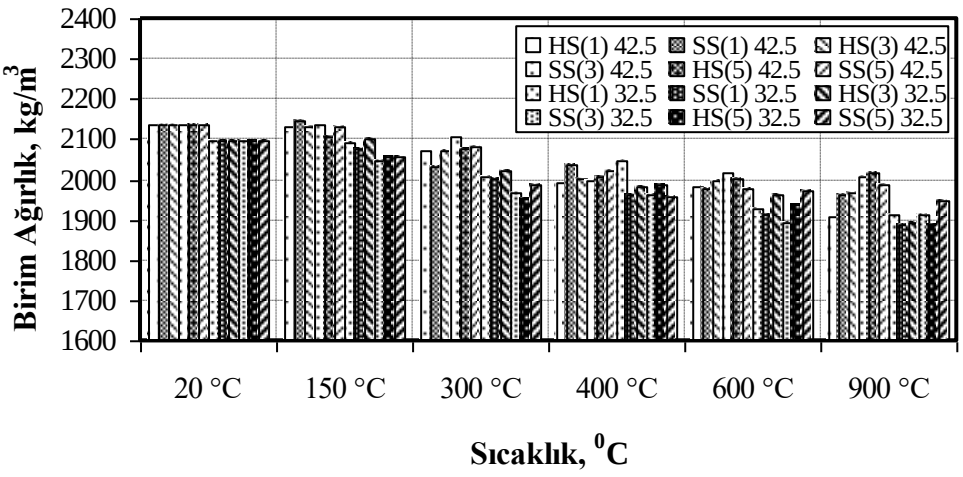
Üretim Yöntemi ve Yapılan Deneyler

Harçların üretiminde, agrega olarak Standart Rilem kumu, özellikleri Tablo 1'de verilen iki farklı çimento ve şebeke suyu kullanılmıştır. TS EN 196-1'e uygun olarak üretilen 40x40x160 mm boyutlu harç numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, 28. güne kadar 20±2 °C sıcaklıktaki kirece doygun suda saklanmıştır. Karışımlar çimentonun tipine, yüksek sıcaklığa bırakılma sürelerine ve soğutma şekillerine göre isimlendirilmiştir. Havada soğutulanlar (HS), suda soğutulanlar ise (SS) olarak kodlandıktan sonra parantez içinde yüksek sıcaklık uygulama süreleri belirtilerek üretildiği çimentonun 28 günlük basınç dayanımı bu grupların sonuna konularak toplam on iki ana grup oluşturulmuştur. Örneğin CEM II/B-M (P-L) 32.5R çimentosu ile üretilip 1 saat yüksek sıcaklık etkisinde kalan ve sonrasında suda soğutulan grubun isimlendirilmesi SS(1) 32.5 şeklinde iken; CEM I 42.5 R çimentosu ile üretilen, yüksek sıcaklık uygulama süresi 5 saat olan ve havada soğutulan grubun isimlendirilmesi HS(5) 42.5 şeklinde yapılmıştır.

Isıtma ve soğutma süreci, numunelerin yüksüz olarak istenilen sıcaklık derecesine kadar ısıtılması ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra kontrol deneylerinin yapılması prensibine göre planlanmıştır. 28. günde sudan çıkarılan numuneler önce etüvde (100±5 °C) 48 saat bekletilmiş, daha sonra her gruptan üçer adet numune TS EN 1363-1'e göre ısınma hızı 6 °C/dak. olan fırında 150, 300, 400, 600 ve 900 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıklarda yüksek sıcaklık uygulama süreleri tüm gruplar için 1, 3 ve 5 saat olmak üzere üç farklı sürede yapılmıştır. Soğutma, havada yavaş ve suda hızlı olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Havada soğutma, fırının arabalı rafının dışarı çıkartılarak laboratuar sıcaklığına kadar yavaşça soğutma ile sağlanmıştır. Suda soğutmada ise, numuneler içinde oda sıcaklığında durgun su bulunan deney kaplarına konulmuş, kap içindeki su ısındıkça bir diğer kaba geçirilerek hızlı bir şekilde soğutulmuştur. Bu işlemler farklı sıcaklık uygulama sürelerinden sonra tekrarlanmıştır.

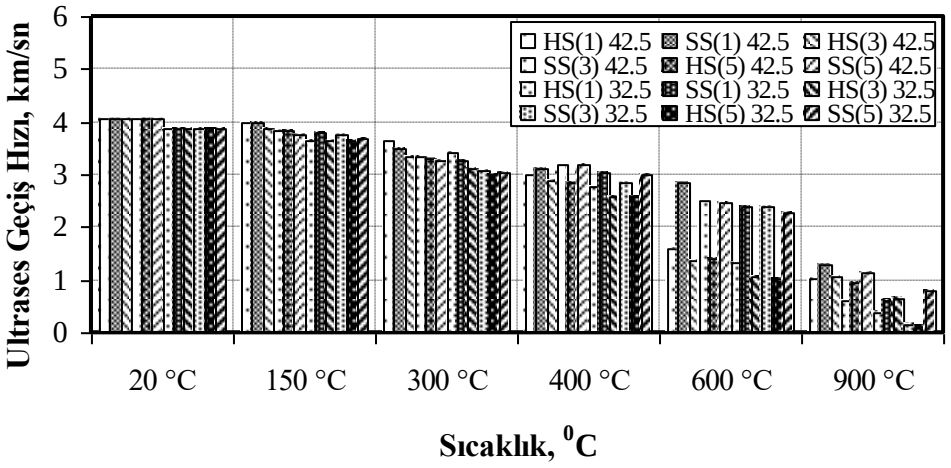
Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Harç numunelerinin 28. günün sonunda birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızları, kılcal su emme katsayıları, ağırlıkça su emme yüzdeleri, dinamik elastisite modülleri, eğilme dayanımları ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler kontrol değerleri olarak kabul edilmiştir. Farklı yüksek sıcaklık ve bu sıcaklıklarda farklı uygulama süreleri ile birlikte yüksek sıcaklık sonrası hesaplanan değerler ile kontrol değerlerinin karşılaştırıldığı sonuçlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



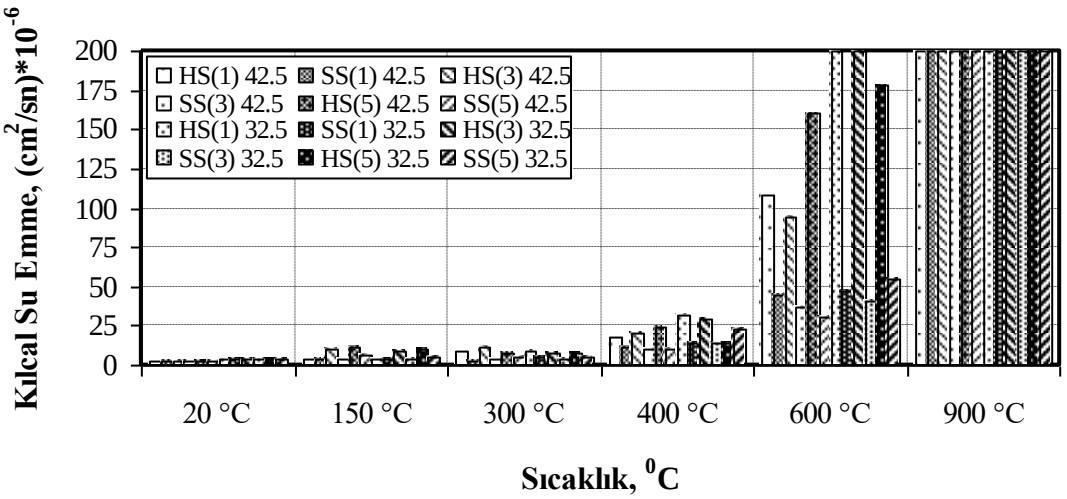
Şekil 1. Harç numunelerinin birim ağırlık-sıcaklık ilişkisi.

Harç numunelerinin birim ağırlık sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Kontrol yani 20 ^{o}C'deki (normal laboratuvar ortam sıcaklığı) birim ağırlık değerleri 2200 kg/m^3 değerinin altındadır. En yüksek birim ağırlık değerini HS ve SS 42.5 grubunundur. Artan sıcaklıklarla birim ağırlık değerlerinde düşüşler görülmüştür. Özellikle 600 ^{o}C ve 900 ^{o}C'de birim ağırlık değerleri farklı yüksek sıcaklık uygulama süresi etkisi altında kalan SS(3) 42.5 ve HS(5) 42.5 grupları dışındaki tüm gruplarda 2000 kg/m^3 değerinin altına düşmüştür. HS ve SS 42.5 grupları HS ve SS 32.5 gruplarından daha yüksek birim ağırlık değerlerine sahiptir. Yüksek sıcaklık uygulama süreleri dikkate alındığında havada ve suda soğutma şekillerine göre birim ağırlık değerlerindeki düşüşler arasında çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır.



Şekil 2. Harç numunelerinin ultrases geçiş hızı-sıcaklık ilişkisi.

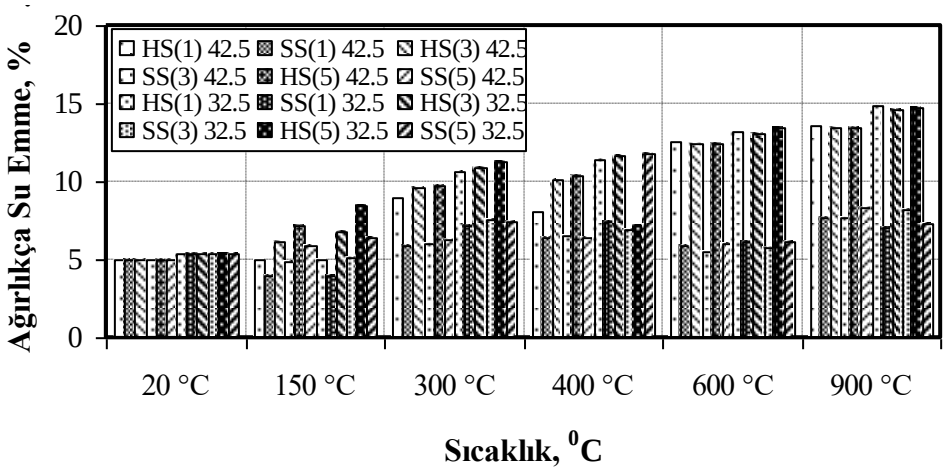
Ultrases geçiş süresi ile belirlenen ultrases hızı değerlerinin artan sıcaklıklarda gruplarda meydana gelen değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere artan sıcaklıklarla tüm gruplarının ultrases hızında düşüşler gerçekleşmiştir. Farklı yüksek sıcaklık uygulama sürelerinin HS ve SS gruplarındaki ultrases hızlarındaki düşüşlerde ayırt edici özelliği görülmemektedir. Öte yandan 600 ºC'de en yüksek ultrases hızı 2.85 km/sn değeriyle SS(1) 42.4 grubuna aittir. Bu sıcaklıkta yüksek sıcaklığa bırakılma sürelerinden daha çok suda soğutma şeklinin ultrases hızı değerlerinde daha az düşüşlere neden olduğu görülmüştür. Sıcaklık artışıyla ultrases hızı değerlerinin düşüş göstermesinin nedeni, harç numunelerinin artan sıcakla gözenekli yapılarının büyümesi ve yapılarındaki suların buharlaşarak meydana gelen kütle kaybı ile ilave boşluklu yapıların oluşmasıdır. Suda soğutma ile ultrases hızı değerlerinin diğer numunelere göre yüksek olması yapılarındaki boşlukların soğutma esnasında kullanılan bir miktar su ile dolması sonucu oluştuğu düşüncesi ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. Harç numunelerinin kılcallık katsayısı-sıcaklık ilişkisi.

Harç numuneleri üzerinde yapılan kılcal su emme deneyi sonuçlarından elde edilen kılcallık katsayıları Şekil 3'te verilmiştir. 20, 150, 300 °C sıcaklıklarında, harçların kılcal su emme katsayılarında önemli değişiklik olmamıştır. Farklı yüksek sıcaklık

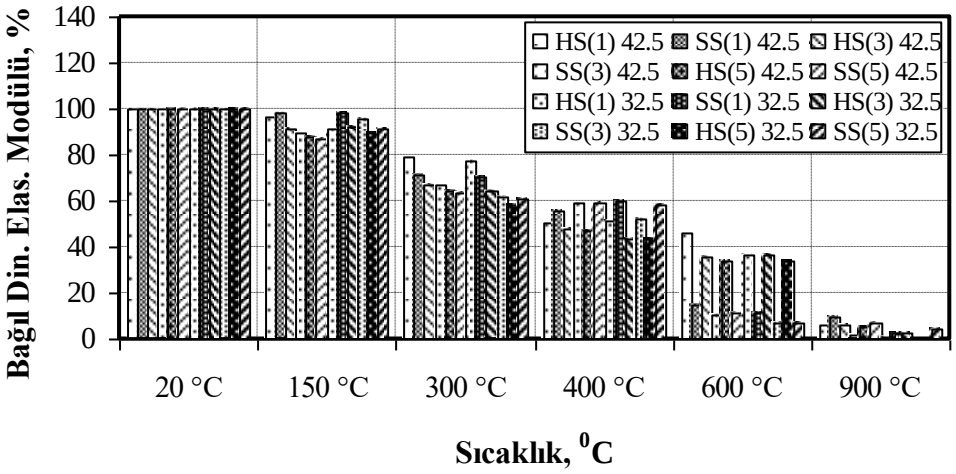
uygulama sürelerinde kalan grupların kılcal su emme katsayıları birbirinden çok fazla farklılık göstermemiştir. HS gruplarının kılcal su emme miktarları SS gruplarından daha fazla olmuştur. Özellikle 300 ºC'den sonraki sıcaklıklarda bu durum belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. HS gruplarının içerisinde kılcal su emme miktarlarına bağlı olarak kılcallık katsayısı en yüksek HS 32.5 grubunda görülmektedir. Gruplar çimento dayanım sınıflarına göre karşılaştırıldığında dayanım sınıfı yüksek olan HS ve SS 42.5 gruplarının artan yüksek sıcaklıklarda daha düşük kılcallık katsayısına sahip oldukları görülmüştür. Kılcal su emme katsayısının 900 °C'de tüm gruplarda 500 kat artmıştır. Buradan ortaya çıkan bir sonuç ise düşük dayanım sınıfına sahip çimentoların artan yüksek sıcaklıklarda yapılarındaki gözenek yapılarının büyüdüğü ve böylece boşluk miktarının arttığıdır.



Şekil 4. Harç numunelerinin ağırlıkça su emme-sıcaklık ilişkisi.

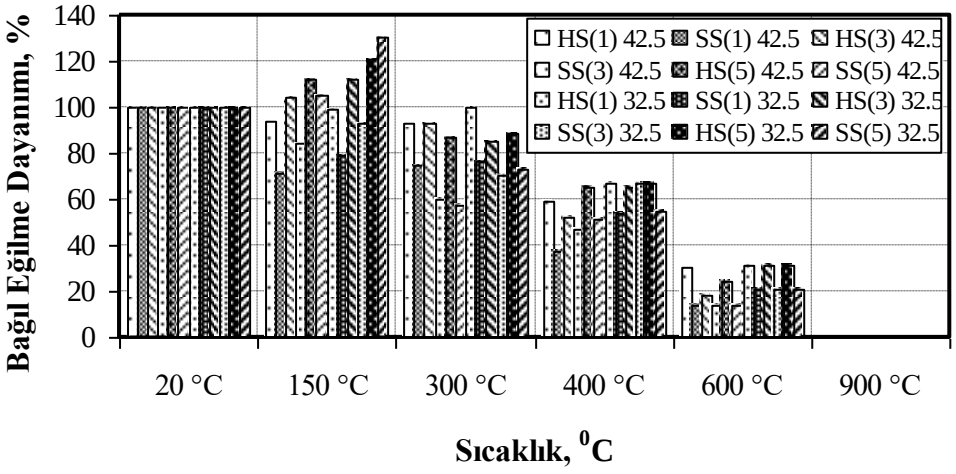
Ağırlıkça su emme değerleri ve sıcaklık ilişkisi Şekil 4'te gösterilmiştir. Kılcal su emmede olduğu gibi artışlar 300 ºC'den sonra belirginleşmiştir. Özellikle HS gruplarında görülen bu artış SS gruplarının yaklaşık olarak 2 katı kadardır. 300 ve 400 ºC'de, yüksek sıcaklık uygulama süreleri arttıkça ağırlıkça su emme yüzdelerinde artan bir durum gözlenmiştir. 900 ºC'de bu durum söz konusu değildir. Dayanım sınıfları olarak incelendiğinde 600 ºC'de HS ve SS 42.5 grupları en düşük, 900 ºC'de HS ve SS 32.5 grupları en yüksek ağırlıkça su emme değerlerini sahiptirler.

Şekil 5'te ultrases geçiş hızı ve sıcaklık sonrası birim ağırlık sonuçları kullanılarak hesaplanan bağıl dinamik elastisite modülü değerleri yer almaktadır. Artan sıcaklıklarda dinamik elastisite modülü değerleri düşmüştür. Bu düşüşlerde yüksek sıcaklık uygulama süreleri göz önünde bulundurulduğunda, tüm gruplarda üç farklı yüksek sıcaklıkta kalma süresinde meydana gelen kayıpların aynı oranlarda olduğu görülmüştür. Soğutma türüne göre HS gruplarının dinamik elastisite modülü değerlerindeki azalmalar SS gruplarından daha azdır. 300 ºC sonrası hesaplanan dinamik elastisite modülü değerlerinde başlangıca göre % 50 ve üzerinde kayıplar tüm gruplarda görülmüştür. Bu kayıplar 600 ºC'de SS gruplarında % 90, HS gruplarında % 70; 900 ºC'de ise tüm gruplarda % 95'dir. Çimento tipine göre dayanım sınıfı düşük olan çimento tipi ile üretilen HS ve SS 32.5 gruplarının dinamik elastisite modülü sonuçları tüm sıcaklıklarda diğer gruplardan daha düşüktür.



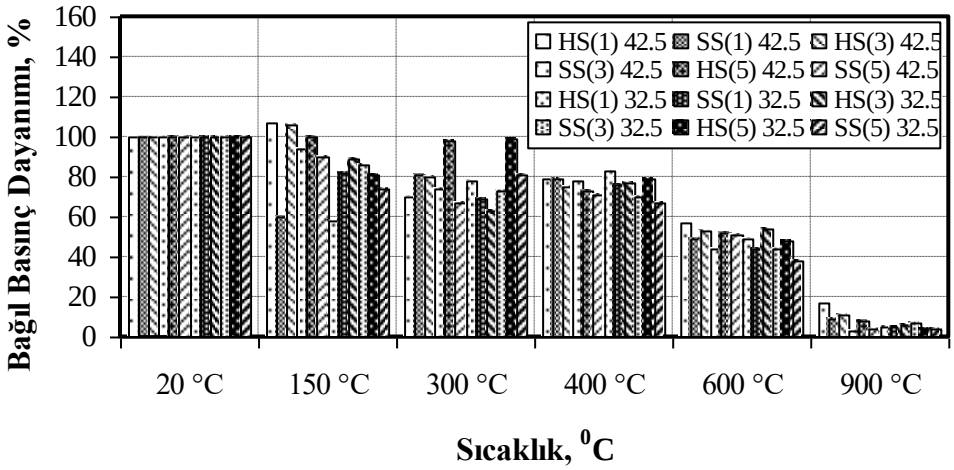
Şekil 5. Harç numunelerinin dinamik elastisite modülü-sıcaklık ilişkisi.

Harç numunelerinin üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçlarından elde edilen eğilme dayanımları Şekil 6'da görüldüğü gibi artan sıcaklıklarla azalma göstermiştir. 150 ^{o}C'de bazı grupların eğilme dayanımlarında iyileşmeler görülmüştür. Farklı yüksek sıcaklıkta kalma sürelerinde HS gruplarının eğilme dayanımlarının tüm sıcaklıklarda SS gruplarından daha iyi olduğu saptanmıştır. Eğilme dayanımlarındaki azalmalar 300 ^{o}C'de HS grupları için % 10 iken, SS gruplarında % 40'dır. 600 ^{o}C'de HS ve SS gruplarının eğilme dayanımı kayıpları % 80 gibi büyük bir orana çıkmıştır. 900 ^{o}C'de eğilme deneyi tüm gruplar için gerçekleştirilememiştir.



Şekil 6. Harç numunelerinin eğilme dayanımı-sıcaklık ilişkisi.

Şekil 7'de farklı sıcaklıklar sonrası elde edilen basınç dayanımları sonuçları verilmiştir. Basınç dayanımlarının kontrol gruplarına göre karşılaştırıldığı şekilde 400 ^{o}C'ye kadar basınç dayanımlarında kayıp % 20 oranındadır. 600 ^{o}C'de ise HS grupları için kayıp yaklaşık % 50 iken, SS gruplarında bu oran % 55-60 oranındadır. 900 ^{o}C'de kayıplar tüm gruplar için % 90-95 arasındadır. Yani soğutma şekline göre SS gruplarında görülen basınç dayanım kayıpları HS gruplarına göre daha fazladır. Farklı yüksek sıcaklık uygulama sürelerinin tüm gruplarda basınç dayanımında meydana getirdiği değişikliklerin benzer şekilde olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Harç numunelerinin basınç dayanımı-sıcaklık ilişkisi.

Sonuç

Yüksek sıcaklık sonrası harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özeliklerinin belirlenmesinde, farklı çimento tipinin, farklı yüksek sıcaklık uygulama sürelerinin ve soğutma şeklinin etkisinin araştırıldığı bu çalışmada yüksek sıcaklığın, harcın mekanik ve fiziksel özeliklerinde önemli değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklık etkisinden sonra suda soğutmanın, harçların fiziksel ve mekanik özeliklerine olan zararlı etkisi tüm gruplarda havada soğutmaya göre daha fazladır. Farklı yüksek sıcaklık uygulama sürelerinin harcın mekanik ve fiziksel özeliklerinde meydana getirdiği değişiklikler benzerlik göstermektedir. 1 saatin ötesindeki beklenen sürelerin betonun arta kalan dayanıma etkisi önemlidir. Yüksek sıcaklık uygulama süresi artması ile dayanımda meydana gelen azalmalar başlangıca göre azalmıştır, dayanım azalmasındaki büyüklük ilk iki saat sıcaklıkta meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası birim ağırlıklarda harç numunelerinin yapılarındaki serbest, hidrat ve kılcal suların buharlaşması ile düşüşler görülmüştür. Harç numunelerinin yüksek sıcaklık sonrası yapılarında meydana gelen boşluklu yapılar ultrases hızı değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Kılcal su emme ve ağırlıkça su emme deneyi sonuçlarına göre düşük dayanım sınıfına sahip çimentoların yüksek sıcaklık sonrası yapılarındaki gözeneklerin büyüdüğü ve böylece boşluk miktarının arttığı saptanmıştır. Eğilme, dinamik elastisite modülü ve basınç dayanım sonuçlarına göre havada soğutulan ve dayanım sınıfı yüksek olan çimento tipleri ile üretilen harç numuneleri farklı sıcaklıklar söz konusu olduğunda daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kaynaklar

Baradan,B., H.Yazıcı ve H.Ün (2002) Betonarme Yapılarda Kalıcılık. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye.

Dias,W.P.S., G.A.Khoury and P.J.E.Sullivian (1990) Mechanical properties of hardened cement paste exposed to temperature up to 700 ^{o}C. ACI Materials Journal, V. 87, pp. 160-166.

Khoury, G.A. (1992) Compressive strength of concrete at high temperatures: reassessment. Magazine of Concrete Research, Vol.44, No 161, pp. 291-309.

Lie,T.T. and R.J.Irwin (1993) Method to calculate the fire resistance of reinforced concrete columns with rectangular cross section. ACI, Structural Journal, Jan.-Feb., pp 52-60.

Lin,W.M., T.D. Lin and L.J.Powers-Couche (1996) Microstructures of fire-damaged concrete. ACI Materials Journal, V. 93, No. 3, pp. 199-2045.

Mehta,P.K. and P.J.M.Monterio (1997) Concrete-Microstructure, Properties and Materials. Indian Concrete Institute, 548 p.

Noumowe,A.N., P.Clastres, G.Debicki, and M.Bolvin (1994) High temperature effect on high performance concrete (700-600 °C) strength and porosity. Proceedings Third CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Ed. V.M. Malhotra, pp. 157-172, Nice France.

Sarshar,R. and G.A Khoury (1993) Material and environmental factors ınfluencing the compressive strength of unsealed cement paste and concrete at high temperatures. Magazine of Concrete Research, Vol. 45, No.162, pp. 51-61.

Shoaib,M.M., S.A Ahmed. and M.M.Balaha (2001) Effect of fire and cooling mode on the properties of slag mortars. Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp. 1533-1538.

Topçu,İ.B. ve A.Demir (2005) Uçucu kül katkılı harçlarda yüksek sıcaklık etkisi. *6.* Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İMO İstanbul Şubesi, İstanbul, ss. 101-115.

Topçu,İ.B. ve A.Demir (2006) Kiremit kırıklı betonlarda yüksek sıcaklık etkisi. ACE 2006, 7th International Congress in Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, Book of Abstracts, p. 456.

Topçu,İ.B. and A.Demir (2007) Research of fire and high temperature effects on concretes produced with waste crushed tile. ICSW 2007, The Twenty-Second International Congerence on Solid Waste Technolgy and Management, Philadelphia, USA.

Topçu,İ.B. and A.Demir (2007) High temperature effect on mortars with different types of cement. TÇMB, 3rd International Symposium "Sustainability in Cement and Concrete", İstanbul, Turkey, pp. 717-726.

Türk Standardları Enstitüsü (2001) TS EN 1363-1 Yangına Dayanıklılık Deneyleri Bölüm 1; Genel Kurallar. Ankara

Yüzer,N., F. Aköz and L.D Öztürk. (2004) Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature. Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 10, pp. 1803-1807.