

ARAŞTIRMA MAKALESİ

YANGINA MARUZ YAPILARDA BETONUN BASINÇ DAYANIMI-RENK DEĞİŞİMİ İLİŞKİSİ

Nabi YÜZER*, Fevziye AKÖZ*, Leyla Dokuzer ÖZTÜRK**

**Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İstanbul.*

***Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı Fiziği Bölümü, Yıldız-İstanbul.*

Geliş Tarihi: 04.05.2001

COMPRESSIVE STRENGTH-COLOR CHANGE RELATION IN FIRE-DAMAGED BUILDINGS

SUMMARY

Changes in materials' physical, chemical and mechanical properties which is under the effect of high temperature has to be known to decide whether the fire-damaged buildings will be repaired or demolished. In order to carry out the effects of fire and extinguishing on the physical and mechanical properties of concrete with and without silica fume mortars at 100, 200, 300, 600, 900 and 1200 °C both cooled in the air and in water in two groups. Flexural and compressive strength tests were carried out on the samples, which were cooled at room temperature and changes in color were determined by using Munsell Color System. Mechanical properties of mortars with or without silica fume, especially samples which were cooled in water, showed significant decrease in mechanical strengths at 600 °C. According to the test results of color changes in mortars gives an idea about that temperature and loss of strength during the fire that the mortar is affected.

ÖZET

Yangın görmüş yapıların onarım veya yıkımına karar verebilmek için yapının son durumunun doğru değerlendirilmesi, yüksek sıcaklık etkisinde kalan malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde meydana gelecek değişimin önceden bilinmesi gerekir. Yangının ve söndürmenin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini araştırmak için, normal ve silis dumanı katkılı harçlar 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış, soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde eğilme ve basınç deneyleri yapılmış, renk değişimi Munsell Renk Dizgesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüksek sıcaklık, normal ve silis dumanı katkılı harçların, mekanik özelliklerinde özellikle suda soğutulan numunelerde 600 °C'de önemli kayıplara neden olmuştur. Çalışmada, renk değişimlerinin incelenmesinden harçların yangında maruz kaldığı sıcaklık ve dolayısı ile dayanımdaki kayıp hakkında fikir edinilebileceği kanısına varılmıştır.

1. GİRİŞ

Yangın, katı, sıvı ve/veya gaz gibi maddelerin ateş olarak kontrol dışı yanması olayıdır. Araştırmalar, tabii bir yangının genel olarak ateşleme, yavaş yanma, ısınma ve soğuma olmak üzere dört fazda oluştuğunu göstermektedir. ISO-834 yangın eğrisi olarak tanımlanan (1) bağıntısından da görüldüğü gibi yangında sıcaklığın 1200 °C'ye kadar yükseldiği söylenebilir. Burada, t dakika olarak yangın süresini, To başlangıç

sıcaklığını ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$), T yangında erişilen ortalama yangın gazı sıcaklığını göstermektedir[1].

$$T - T_0 = 345 \log(8t + 1) \quad (1)$$

1.1. Yüksek sıcaklığın betonarme elemanlara etkileri

Betonarme yapıların yüksek sıcaklığa karşı davranışlarını belirlemedeki temel değişken aderans dayanımıdır. Çünkü yapılan deneysel çalışmalarda kritik beton sıcaklıkları, her zaman kritik aderans sıcaklığından daha büyük olmaktadır[2]. Çeliğin ısı iletkenlik katsayısı büyük olduğundan sıcaklık artışı dakikada $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den fazladır. Yangında 10-20 dakika gibi kısa bir sürede çeliğin sıcaklığı $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşabilir. Sıcaklık $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi aştığında dayanım ve akma sınırında düşme başlar. Sıcaklık $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yükseldiğinde çekme dayanımı güvenlik gerilmesinin altına iner. Yangınlarda sıcaklığın $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kolaylıkla eriştiği ve hatta $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye vardığı gözönüne alınırsa bu sıcaklıklarda çeliğin plastik deformasyon yapacağı açıktır. Ancak donatı üzerindeki örtü betonu çelikte sıcaklık yükselme hızını oldukça engellemektedir. Örneğin, 3 cm örtü betonu olan bir betonarme eleman, $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bir saat bekletildiğinde çeliğin sıcaklığı ancak $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmaktadır[3].

Beton, donatıyı da koruması bakımından yüksek sıcaklık etkisinde çok önemli bir malzemedir, bunun için betonun ve harcın davranışının iyi bilinmesi gerekir. Sıcaklık etkisinde, basınç dayanımı kaybına neden olan olayların açıklanmasında zaman zaman farklı görüşler olmasına karşın model oluşturulmasında problem; çimento hamuru ile agrega arasındaki termal uyumsuzluk, agrega çimento arayüzündeki bağlantı, ısıtma sırasında buharlaşan suyun basıncı, çimento hamuru ve agregadaki kimyasal yapı değişikliği gibi olaylar esas alınarak incelenmektedir[4,5].

Çimento hamurunda jel yapıyı oluşturan kalsiyum silikat hidrate'nin (CSH) katı ögeleri, adsorpsiyon suyu yardımıyla birbirine bağlanır. Jeldeki adsorpsiyon suyu ve hidratlardaki kimyasal bağlı su, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den itibaren buharlaşmaya başlarken kılcal boşluklardaki serbest su $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında buharlaşabilir. Buharlaşan su, betonda büzülmeye (rötreye) neden olur. Üretimdeki su/çimento oranına bağlı olarak serbest su, beton hacminin yaklaşık %4'üne kadar varabilir. Bu su kaybının neden olduğu büzülme ve beton içinde oluşan buhar basıncı donatı üzerindeki beton örtünün çatlamasına ve kopmasına neden olur. Betonun tahrip olması sonucu donatı daha yangının başlarında sıcak gazla temas eder. Çimento hamurundaki bir diğer önemli bileşen kalsiyum hidroksittir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında sönmemiş kirece dönüşür. Bu dönüşümde yaklaşık %33'e varan bir büzülme meydana gelir. Yangın sırasında sıkılan su ile CaO tekrar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ye dönüşür ve bu olay %44 mertebesinde bir hacim artışına neden olur. Bu hacim değişimleri sonucu bünyede çatlaklar oluşur, beton ufalanır, boşluklu bir yapıya dönüşür. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin boşluklardan süzülmesi yangın sonrasında yüzeyde beyaz lekeler oluşturur. Bu lekelerin varlığı yangında sıcaklığın $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıktığının kanıtıdır[3].

Agregaların yüksek sıcaklıkta betona etkisi mineral yapılarına bağlıdır. Silisli agregalarda kuartz, $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de polimorfik değişime uğrar, α kuartzdan β kuartz'a dönüşür. Bu olay hacim artışına ve hasara neden olur [6]. Kalkerli ve dolomitli agregalarda ise karbonatlar $800\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lerde CaO veya MgO 'ya dönüşür. Sıcaklık yükseldikçe kalker veya dolomit genişler, CO_2 'nin ayrışması ve CaO 'nun veya MgO 'nun

meydana gelmesi ile büzülme başlar. Bu olaylardaki hacim değişiklikleri hasara neden olur[7].

Günümüzde betondan beklenen farklı özellikler için üretimde cüruf, uçucu kül, silis dumanı vb. puzolan malzemeler ve katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ferrosilisyum ve silisyum metal endüstrisinin bir yan ürünü olan silis dumanı, çok ince oluşu nedeniyle çimento hamuru içindeki ve agrega-çimento hamuru arayüzündeki boşlukları doldurur, betonda geçirimsizlik sağlar. Bünyesindeki aktif silisyumdioksit sayesinde silikatların hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksiti (CH) bağlayarak kalsiyum silikat hidrate (CSH) jeli oluşturur, CH'in erimesini önler[8]. Yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan silis dumanının, yüksek sıcaklığa maruz kalan betona etkileri çeşitli yönleri ile araştırılmaktadır[9,10,11].

1.2. Yüksek sıcaklığın betonun rengine etkileri

Yüksek sıcaklığın etkisinde kalan betonun renginde bazen 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 yükseldiği önceki çalışmalarda ifade edilmiştir. Sıcaklık 600 °C'ye ulaştığında beton, dayanımının %50'sini, 800 °C'ye ulaştığında ise yaklaşık %80' ini kaybettiği gözönüne alınırsa, renk incelemesi ile betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığı, dolayısı ile basınç dayanımındaki değişim hakkında fikir edinilebilir. Buradan yüksek sıcaklık etkisinde kalan betondaki renk değişiminin önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır[12]. Günümüzde yapı malzemelerine ultraviyole ışınlarının etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, renk dizgelerinden yararlanılarak kalite kontrolü yapılmaktadır[13]. Bu çalışmada renk değişimi Munsell Renk Dizgesi aracılığı ile saptanmıştır.

A. H. Munsell tarafından geliştirilen Munsell Renk Dizgesi'nde, rengin tür, değer ve doymuşluk bileşeni yaklaşık olarak eşit algılama adımları ile ondalık sayı dizgesine oturtularak numaralanmıştır.

Tür, bir rengin öteki renklerden ayırt edilmesini sağlayan bileşendir (kırmızı, sarı, yeşil gibi), 1-100 arasındaki sayılar ile belirtilir. Munsell dizgesinde türler bir tür çemberine yerleştirilmiştir. Tür çemberinde, sırası ile kırmızı 5, sarı 25, yeşil 45, mavi 65 ve mor 85, çemberi beş eşit parçaya bölecek biçimde dizilmiştir. Bu türlerin karışımları olan, kırmızı-sarı 15, sarı-yeşil 35, yeşil-mavi 55, mavi-mor 75 ve mor-kırmızı 95, çember üzerinde yine eşit uzaklıklarda yerleştirilmiştir. Böylece, tür çemberinde ayrılan 10 bölge de kendi içinde 10 eşit parçaya bölünerek ondalık sayı dizgesi oluşturulmuştur.

Değer, bir rengin açıklık koyuluğunu belirten bileşendir ve 0-10 arasındaki sayılar ile anlatılır. Değer, on eşit adıma bölünmüş olup, 0 siyahı, 10 beyazı belirtir. Her renk türünün değişik değerleri vardır.

Doymuşluk, bir rengin içindeki gri miktarını belirten bileşendir ve 0-20 arasındaki sayılar ile gösterilir. Siyahtan beyaza, içinde tür ögesi olmayan tüm grilerin doymuşlukları sıfırdır. Bir renk griden uzaklaştıkça doymuşluğu artar, griye yaklaştıkça doymuşluğu azalır. Her renk türünün değişik değerlerinde elde edilebilecek maksimum doymuşluk basamağı farklıdır. Bu nedenle, doymuşluk için sayısal bir üst sınır verilemez, 20 sayısı, ortalama bir üst sınır olarak alınır [14,15,16].

Yukarıda temel özellikleri kısaca verilen Munsell Renk Dizgesi'nin standart renk örnekleri, renk görünümü ve renkle ilgili eğitim, tasarım vb. alanlardaki çalışmalarda

kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton numunelerin renginde meydana gelen değişimler, basınç ve eğilme dayanımlarında meydana gelen değişimler ile karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yangına maruz kalan yapılarda söndürmenin, normal ve %10 silis dumanı katkılı harçların mekanik ve renk özelliklerine etkileri deneylerle araştırılmıştır. Bu amaçla yüksek sıcaklık etkisinde bırakılan numuneler, havada ve suda olmak üzere iki grupta soğutulmuştur. Çalışma, numune üretimi, sıcaklık etkisi süreci, fiziksel ve mekanik deneylerle üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Numuneler, katkısız (PC), katkılı (PC+SF), havada soğutulanlar (PC-A , PC+SF-A) ve suda soğutulanlar (PC-W, PC+SF-W) olarak dört ana grupta toplanmıştır. Bu grupların her birinde 20°C şahit olmak üzere, 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200°C 'lik sıcaklıkların etkisi araştırılmıştır. Her sıcaklık için üç adet olmak üzere toplam 78 adet 40x40x160 mm boyutlu harç numune üretilmiştir. Harçların üretiminde, birim hacim ağırlığı 1,47 g/cm³, özgül ağırlığı 2,63 g/cm³ olan silisli esaslı kum, PÇ 32,5 çimentosu, Etibank Antalya Elektro-Metalurji Sanayii İşletmesinden temin edilen silis dumanı ve piyasadan alınan normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. TS 24'e uygun olarak üretilen harçlar 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, 28. güne kadar 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doymuş suda saklanmıştır.

Isıtma ve soğutma süreci, numunelerin yüksüz olarak istenilen sıcaklık derecesine kadar ısıtılması ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra deneylerin yapılması prensibine göre planlanmıştır. Numuneler, 28. günde sudan çıkarılmış, önce etüvde (100±5°C) değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş, sonra her gruptan üçer adet numune, ısınma hızı 6-10 °C/dak. olan fırında 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Havada soğutmada fırından çıkarılan numuneler, bagetler üzerine yerleştirilerek bütün yüzeylerinin hava ile teması sağlanmıştır. Suda soğutmada ise numuneler, içinde oda sıcaklığında durgun su bulunan deney kaplarına konulmuş, su değiştirilmek sureti ile oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur[11].

Isıtma ve soğutma süreçlerinden sonra numunelerin rengi, Munsell Renk Atlası kullanılarak görsel olarak belirlenmiş, renkte meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bir renk atlası ile görsel olarak renk değerlendirme –belirleme- işlemi, üçrenksel renk görmesi, CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) ölçün renkölçümsel gözlemcisinin gözüne çok yakın bir kişi tarafından gerçekleştirilmelidir[17]. Bu çalışmada renk ölçümü, gözünün özellikleri bu işlemleri yerine getirebilecek yetenekte olan bir kişi tarafından yapılmıştır. Numuneler ve Munsell Renk Atlası'ndaki birbirini 2.5 tür adımı ile izleyen parlak renkli örnekler, akkor ve flüoresan lambalar ile aydınlatılan orta koyulukta gri fonda, ışık kaynağı, yüzey ve bakış doğrultusu arasında olması gereken açısal ilişkiler dikkate alınarak gözlenmiştir. Numunelerin rengi belirlenirken, bazı numunelerin rengi ile ona yakın olan standart renk örneği arasında tür, değer ve doymuşluk boyutlarında enterpolasyon ya da ekstrapolasyon yapılması gerekmiştir. Sıcaklık etkisi sonucu dayanımda ve renkte meydana gelen değişimlerin karşılaştırılması amacı ile renk ölçümünden sonra aynı numunelerde eğilme ve basınç deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 1-2 ve Şekil 1-5' de verilmiştir.

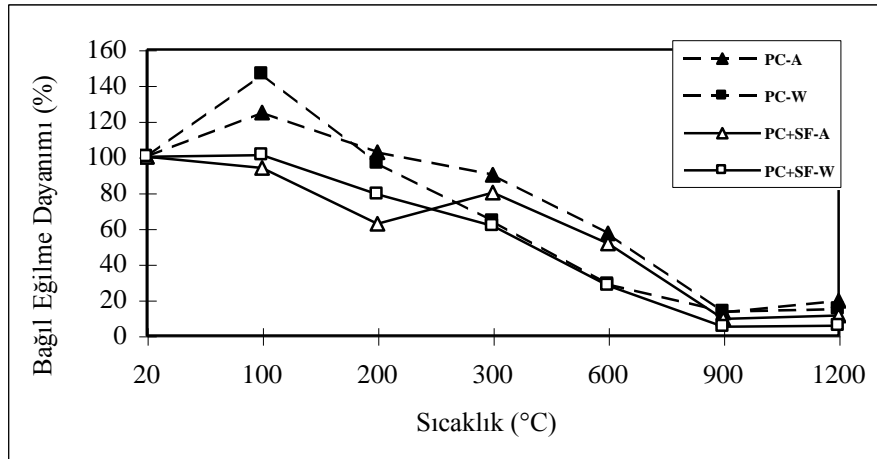
3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Deney sonuçlarından yüksek sıcaklığın, harcın eğilme, basınç ve renk özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğu görülmüş, değişim oranlarında betona silis dumanı katılması, soğutmanın havada veya suda yapılması da etkili olmuştur.

Eğilme deneyi sonuçlarına göre, normal harçlarda 100 °C'ye kadar artış, 200 °C'den sonra başlangıçtaki değerine göre düşme gözlenmiştir. Örneğin, çoğunlukla kritik sıcaklık olarak gösterilen 600 °C'de normal harçların PC-A grubunda %40, PC-W grubunda %70 dayanım kaybı olmuştur. Silis dumanı katkılı harçlarda başlangıçtaki (20 °C) dayanım normal harçlardan yaklaşık %20 fazladır ve bu değer 100 °C'ye kadar değişmemiş, 100 °C'den itibaren düşüş göstermiştir. 600 °C'de silis dumanı katkılı harçların PC+SF-A grubunda, başlangıca göre %50, PC+SF-W grubunda %70 dayanım kaybı olmuştur (Şekil 1). Eğilme dayanımındaki bu kayıplar, yüksek sıcaklık etkisinde betonda oluşan mikro ve makro çatlakların bir sonucu olarak çekme dayanımındaki düşüşü göstermektedir. Yangın görmüş binaların incelenmesinde, basınç dayanımının yanında, boşluğun bir göstergesi olan ultrases geçiş hızının da araştırılması gerekir.

Tablo 1. Eğilme dayanımı değerleri[11]

Sıcaklık (°C)	EĞİLME DAYANIMI (N/mm ²)			
	PC-A	PC-W	PC+SF-A	PC+SF-W
20	6,3		8,0	
100	7,9	9,2	7,5	8,03
200	6,5	6,1	5,0	6,3
300	5,7	4,0	6,4	4,9
600	3,6	1,8	4,1	2,2
900	0,8	0,8	0,7	0,4
1200	1,2	0,9	0,9	0,4

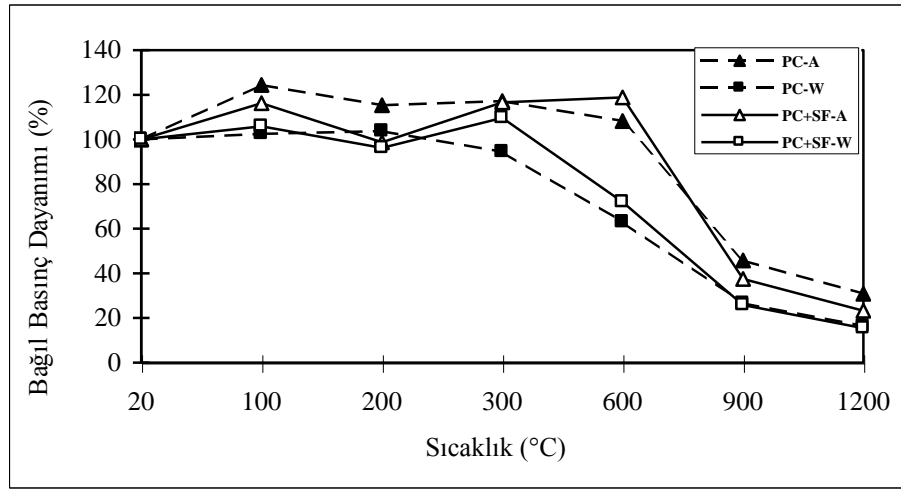


Şekil 1. Eğilme dayanımının sıcaklıkla değişimi

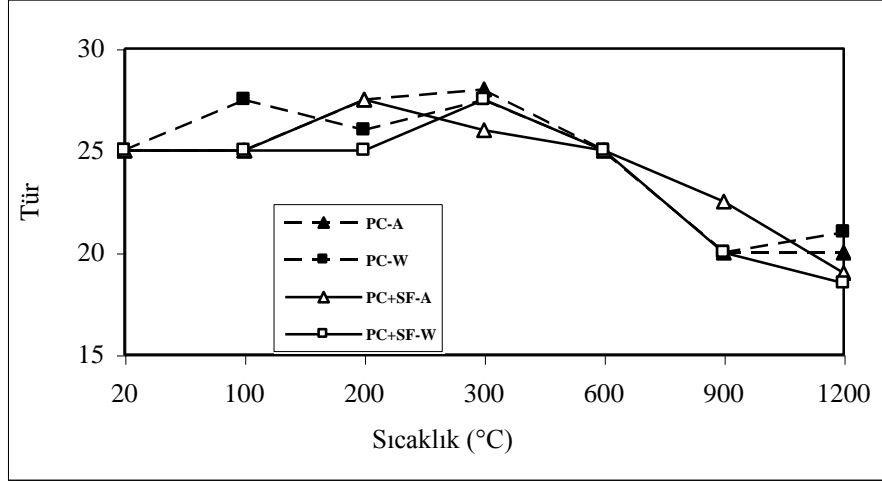
Basınç deneyi sonuçlarına göre, normal harçların PC-A grubunda 600 °C'den, PC-W grubunda 300 °C'den sonra basınç dayanımında düşme başlamıştır. Bu harçlarda 900 °C'deki dayanım kaybı PC-A grubunda %55, PC-W grubunda %75 tir. Silis dumanı katkıli harçlarda ise PC+SF-A grubunda 600 °C'ye kadar artış görülmüş, bu sıcaklıktan sonra düşme başlamıştır, 900 °C'deki dayanım kaybı yaklaşık %65'tir. Bu harçların PC+SF-W grubunda 300 °C'ye kadar önemli değişme olmamış, 900 °C'de ise yaklaşık %75'lik dayanım kaybı olmuştur. Deney sonuçlarına göre 1200 °C'de bütün gruplarda 900 °C'ye nazaran önemli değişiklik olmamıştır (Şekil 2).

Tablo 2. Basınç dayanımı değerleri[11]

Sıcaklık (°C)	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)			
	PC-A	PC-W	PC+SF-A	PC+SF-W
20	30,2		34,3	
100	37,6	31,0	39,9	36,3
200	34,9	31,4	33,9	33,0
300	35,4	28,6	40,0	37,6
600	32,8	19,1	40,8	24,7
900	13,8	8,0	12,8	8,8
1200	9,3	4,9	8,0	5,3



Şekil 2. Basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi



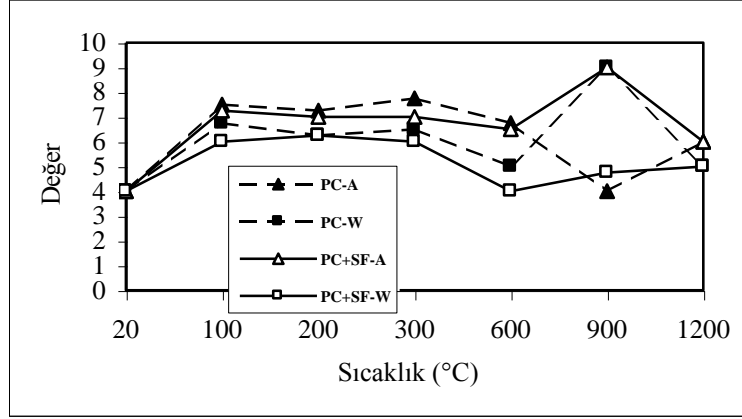
Şekil 3. Renklerin (TÜR) sıcaklıkla değişimi

Sıcaklık değişimine bağlı olarak, harçların renklerinde ortaya çıkan değişimler, rengin tür, değer ve doymuşluk boyutu için ayrı ayrı aşağıda değerlendirilmiştir:

Renk türü her dört durum için oda sıcaklığında sarıdır -25-. Söz konusu dört koşul için sıcaklık 20 °C'den 600 °C'ye doğru yükseldikçe, rengin türü yeşil doğrultusunda çok az değişerek yeşilimsi sarı, 600°C'de yeniden sarı -25-, 600 °C'den 1200 °C'ye doğru yükseldikçe, rengin türü kırmızı doğrultusunda değişerek turuncumsu sarı olmaktadır. Türdeki değişim 100-300 °C arasında ortalama 2.5 adım, 1200 °C'de ise 5.5 adımdır (Şekil 3).

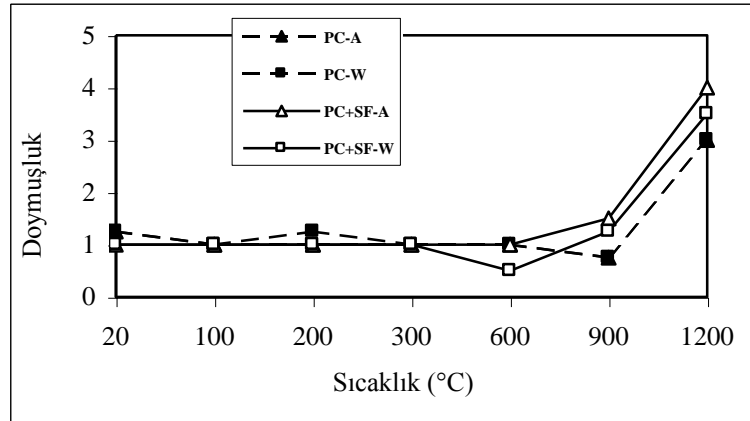
Betonun basınç dayanımında sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen değişim ile rengin tür bileşeninde meydana gelen değişim karşılaştırıldığında, Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi benzerlik görülmektedir. Buradan yangın görmüş yapılarda beton yüzeyindeki rengin Munsell Renk Dizgesi ile incelenmesi ve türünün değerlendirilmesi sonucundan elde edilen verilerin, basınç dayanımındaki değişim hakkında fikir vereceği söylenebilir.

Renğin değeri dört değişik durum için de 20° C sıcaklıkta orta koyuluktur -4-. Sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak, rengin değer boyutu büyük oranda değişmektedir. Bu değişimin maksimum ve minimum olduğu sıcaklıklar her durum için farklılık göstermektedir. Örneğin değerdeki değişimin maksimum olduğu sıcaklıklar ve elde edilen değerler PC-A için 300°C'de açık -7.75- ; PC-W için 900 °C'de çok açık -9- ; PC+SF-A için 900 °C'de çok açık -9-; PC+SF-W için 200°C'de orta koyuluktur -6.25-. Değerdeki en büyük değişimin ortalama 4 adım, en küçük değişimin ortalama 0.75 adım büyüklüğünde olduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Renklerin (DEĞER) sıcaklıkla değişimi

Rengin doymuşluk bileşeni incelendiğinde, 20 °C sıcaklıkta numunelerin çok az doymuş olduğu -ortalama 1.125- görülmüştür. Sıcaklık 20 °C'den 900 °C'ye doğru yükseldikçe, doymuşluktaki değişim her dört durum için de çok az olmaktadır. Söz konusu sıcaklıklar için en küçük ve en büyük değişim 0.5 adım büyüklüğündedir. Ancak, 1200 °C sıcaklıkta daha büyük bir artış ortaya çıkmaktadır. 1200 °C'de doymuşluk değeri, ortalama 5.5 adım büyüklüğündedir (Şekil 5).



Şekil 5. Renklerin (DOYMUŞLUK) sıcaklıkla değişimi

4. SONUÇLAR

Deneylerden elde edilen verilere göre yüksek sıcaklığın ve soğutma işleminin, harcın dayanımına ve rengine etkileri aşağıda verilmiştir.

1. Basınç dayanımı, 300 °C'ye kadar bütün gruplarda değişmemiş hatta artış göstermiştir. Normal ve silis dumanı katkılı gruplardan suda soğutulan numunelerin

dayanımı 300 °C'den sonra, havada soğutulanlarıninki 600 °C'den sonra düşmeye başlamıştır. Basınç dayanımındaki kayıp için kritik sıcaklık 300 °C'dir. Bu sıcaklıktan sonraki kayıplar hızlıdır. Silis dumanı katkılı grupların basınç dayanımındaki kayıp oranı, 600 °C'den sonraki sıcaklıklarda katkısız gruplarinkinden daha fazladır.

2. Eğilme dayanımı, 100 °C'den itibaren bütün gruplarda düşmeye başlamış, suda soğutulanlardaki kayıp, 300 °C'de yaklaşık %40'a varmıştır. Bu nedenle yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun incelenmesinde, sadece basınç dayanımının değerlendirilmesi yeterli değildir.

3. Yüksek sıcaklık etkisinden sonra suda soğutmanın zararlı etkisi, havada soğutmaya nazaran fazla olmuştur, bu dikkate alınarak yangının söndürülmesinde su yerine alternatif söndürücülerin kullanılması uygundur, ancak bunun için söndürücülerin betona etkileri araştırılmalıdır.

4. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonların renginin tür bileşeninde, sıcaklığa bağlı olarak önemli değişiklikler gözlenmiştir. Bu değişiklikler betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığı ve dayanımdaki kayıp oranı hakkında fikir verebilir, ancak mekanik dayanımların belirlenmesi için tek başına yeterli değildir.

5. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betondan karot numune alınarak, beton rengindeki değişiklikler derinliğe bağlı olarak incelendiğinde, betonun yüzeyden itibaren maruz kaldığı sıcaklık, dolayısı ile donatının eriştiği sıcaklık tahmin edilebilir. Buradan betonun basınç dayanımında ve aderans dayanımında meydana gelen kayıplar hakkında fikir edinilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, deneylerde kullanılan bazı aletleri araştırma projeleri kapsamında temin eden Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığına, malzemeleri temin eden AkçimentoSA Tic.A.Ş'ye ve Etibank Antalya Elektro-Metalurji Sanayii İşletmesi Müessese Müdürlüğüne teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

[1] HAKSEVER A., "Yangın Odalarının Teorik-Nümerik Yangın Analizleri İçin Modelleştirilmesi", Akdeniz Üniversitesi İsparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 6, 57-66, 1991.

[2] DIEDERİCHS U, SCHNEIDER U., "Bond Strength at High Temperatures" Magazine of Concrete Research, 33, 115, 75-84, 1981.

[3] AKMAN M.S., "Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığının Belirlenmesi", Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu, İstanbul, 1992.

[4] AKÖZ F., YÜZER N., "Yüksek Sıcaklığın Nedenleri ve Betonarme Elemanlara Etkileri", Y.T.Ü Dergisi, 3, 89-98, 1994.

- [5] CÜLFİK M.S., "Deterioration of Bond Between Cement Paste and Aggregate at High Temperatures", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, 2001.
- [6] HAYDEN H.W., MOFFATT W.G., WULFF J., "The Structure and Properties of Materials", Vol. 3., John Wiley & Sons, Inc, USA, 1965.
- [7] KHOURY, G.A., "Compressive Strength of Concrete at High Temperatures : Reassessment", Magazine of Concrete Research, 44, 161, 291-309, 1992.
- [8] WOLSIEFER J.T., "Silica Fume Concrete : A Solution to Steel Reinforcement Corrosion in Concrete", II. CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Montreal, Canada, 527-558, 1991.
- [9] HERTZ K.D., "Danish Investigations on Silica Fume Concretes at Elevated Temperatures", Technical Paper, ACI Materials Journal, July-August, 345-347, 1992.
- [10] SANJAYAN G., STOCKS L.J., "Spalling of High-Strength Silica Fume Concrete in Fire", Technical Paper ACI Journal, 170-173, March-April 1993.
- [11] AKÖZ F., YÜZER N., KORAL S., "Portland Çimentolu ve Silis Dumanı Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkileri", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, 6, 3, 919-931, 1994.
- [12] NEVILLE A.M., "Properties of Concrete", Third Edition, Longman Scientific and Technical, USA, New York, 581-585, 1992.
- [13] JIS (Japanese Industrial Standard) Z 8729, "Specification of Colour of Materials", 1994.
- [14] SİREL Ş., "Kuramsal Renk Bilgisi", Kutulmuş Matbaası, İstanbul, 1974.
- [15] LUKE J.T., "The Munsell Color System : A Language for COLOR" Fairchild Publications, ISBN: 1-56367-031-3, Printed in the USA, 1996.
- [16] ASTM D 1535-68, "Standard Method of Specifying Color by the Munsell System", 1974.
- [17] ÜNVER, R., "Yapıların İçinde Işık-Renk İlişkisi", YTÜ Matbaası, İstanbul, 1985.