

Araştırma / Research**SİLİS DUMANI İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN KARBONATLAŞMA VE RÖTRE ÖZELLİKLERİ**

Fatih ÖZCAN (ORCID: 0000-0003-3391-9411)^{1*}
Cengiz Duran ATIŞ (ORCID: 0000-0003-3459-329X)²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

Geliş / Received: 14.05.2017

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 14.06.2017

Kabul / Accepted: 20.06.2017

ÖZ

Yapılmış olan bu laboratuvar çalışmasında, silis dumanı katkılı harçların karbonatlaşma ve rötre özellikleri araştırılmıştır. Deneylerde hazırlanan harç numunelerin bağlayıcı/kum oranı 2,75'tir. Normal Portland çimentosunu (PÇ 42.5) ağırlık bazında %10, 15, 20 ve 40 oranında silis dumanı ile ikame edecek şekilde hazırlanan harç karışımlarının su-bağlayıcı oranları 0,25, 0,30, 0,40, 0,50 ve 0,60 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, bütün su-bağlayıcı oranlarında 28, 90, 180 günlük zaman dilimlerinde karbonatlaşma değerlerinin arttığı görülmüştür. %10 ve %15 oranlarında silis dumanı kullanımı karbonatlaşma değerlerini düşürürken %40 oranında silis dumanı kullanımı ise karbonatlaşma değerlerini arttırmıştır. Silis dumanı katkılı harçlarda kuruma rötresinin, silis dumanı ikame oranından ve su-bağlayıcı oranından oldukça etkilendiği görülmektedir. Su-bağlayıcı oranının 0,25 ve 0,30 olduğu harçlarda, %40 silis dumanı ilavesi hariç diğer ikame oranlarında rötreyi azaltıcı etkisi belirgin olarak görülmektedir. Ancak su-bağlayıcı oranının artması ile silis dumanının rötreyi azaltıcı etkisi düşük seviyelerde kalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Harç, silis dumanı, karbonatlaşma, rötre

CARBONATION AND SHRINKAGE PROPERTIES OF MORTARS PRODUCED WITH SILICA FUME**ABSTRACT**

In this laboratory studies, carbonation and shrinkage properties of mortars with silica fume additive were investigated. In the tests, binder/sand ratio of prepared mortars was 2.75. Water/binder ratios of mortars produced with silica fume replaced with ordinary Portland cement (PC 42.5) with 10, 15, 20 and 40% by weight were determined as 0.25, 0.30, 0.40, 0.50 and 0.60. According to the tests results, carbonation values were increased for all water/binder ratios at 28, 90 and 180 days. While, the usage of silica fume with the quantities of 10% and 15% were decreased the carbonation values, the usage of silica fume with the quantity of 40% was increased the carbonation value. It was seen that, replacement ratio of silica fume and water/binder ratio in mortars were relatively effected the drying shrinkage. In the mortars with water/binder ratios of 0.25 and 0.30, addition of silica fumes was decreased shrinkage for all replacement ratios of silica fumes except 40%. However, the effect of silica fume on shrinkage was decreased with the increase of water/binder ratios.

Keywords: Mortar, silica fume, carbonation, shrinkage

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 2302; e-mail / e-posta: fozcan@ohu.edu.tr

*SİLİS DUMANI İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN KARBONATLAŞMA VE RÖTRE ÖZELLİKLERİ***1. GİRİŞ**

Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri, portland çimentosuna benzer minerolojik ve kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık yetenekleri yoktur. Bu maddeler puzolanik aktiviteleri nedeniyle hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirirler. Böylece betonun çeşitli özellikleri iyileştirilirken, puzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını, agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artmasını sağlamak ve yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir [1, 2].

Betonun temel bileşimlerinden olmayan bu maddeler, gelişen beton teknolojisinde betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini değiştirmek ve üretimde ekonomi sağlamak amacıyla kullanılan katkı maddeleri olarak adlandırılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıya sahip olduğundan, çok ince taneli ve yüksek miktarda SiO₂ içerdiğinden mükemmel bir puzolanik malzemedir. Silis dumanının çok ince tanelerden oluşması, taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını artırmaktadır. Bu nedenle, yüksek dayanımlı beton üretimi için katkı maddesi olarak silis dumanı kullanıldığında, ayrıca su azaltıcı katkı maddesi de kullanılmaktadır [3]. Silis dumanı katkılı çimento ve betonlar yüksek dayanım ve dayanıklılık isteyen yerlerde kullanılmaktadır. Silis dumanının beton içindeki davranışı fiziko-kimyasaldır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento hamuru matrisindeki, özellikle de agrega-çimento arayüzeyindeki, boşluk sisteminin boyutunun küçültülmesidir. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum-hidroksit (kireç) kristallerini kalsiyum silikat hidrateye dönüştüren puzolanik reaksiyondan oluşmaktadır [4, 5].

Karbonatlaşma, CO₂ gazının betona nüfuz etmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu durum betonun geçirgenlik ve gözeneklilik özellikleriyle bağlantılıdır. Bu nedenle, betonun hem gözenekliliği hem de geçirgenliği karbonatlaşma mekanizmasında önemli rol oynamaktadır. Bunlardan başka, betonun karbonatlaşma oranı; kür durumu, su-bağlayıcı (S/B) oranı, betonun karbonatlaşmaya maruz kaldığı ortam sıcaklığı ve bağıl nemi, kullanılan mineral kakıların özelliklerine bağlıdır. Puzolanik mineral katkı maddelerinin genellikle betonun gözenekliliğini azalttığı ve böylece geçirgenlikte azalmaya neden olduğu bilinmektedir. Geçirgenliğin azalması, CO₂'in beton bünyesinin derinliklerine ulaşmasını geciktirmektedir.

Carette ve Malhotra [6], su/bağlayıcı oranını 0,25-0,40 arasında değiştirdikleri betonların 3,5 yıl sonundaki karbonatlaşma derinliğini ölçmüşler ve 0,25 su/bağlayıcı oranına sahip betonlarda herhangi bir karbonatlaşma görememişlerdir. Fakat su/bağlayıcı oranındaki artışla birlikte silis dumanı ilave edilen betonlarda karbonatlaşma ile karşılaşmışlardır. Su/(çimento+silis dumanı) oranının 0,40 olduğu betonlarda karbonatlaşma derinliği 8 mm, şahit betonlarda ise 5 mm olarak ölçülmüştür.

Aköz ve ark. [7], silis dumanı katkılı beton özelliklerine kür koşullarının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, karbonatlaşma derinliğinin zamana bağlı olarak arttığı ve silis dumanı miktarının artması ile de artış gösterdiğini bundan dolayı basınç dayanımı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin azaldığını gösteren bağıntıların özellikle silis dumanı için yeniden gözden geçirilmesinin uygun olacağını belirtmişlerdir.

Colleparidi ve ark. [8]'nın bildirdiklerine göre silis dumanı katkılı çimento karışımları katkısız olanlara göre daha yüksek rötre potansiyeli içerir. Karıştırma yönteminin silis dumanı katkılı betonlarda çatlak oluşması üzerine önemli etkisi olduğu deneylerde görülmüştür. Çimento ve silis dumanı normal biçimde suyla karıştırıldığında, kalıplanan ve nemli ortamda saklanan numunelerde ilk 24 saat içerisinde bile çatlaklar oluşmuş, buna karşılık suyla silis dumanı önceden karıştırılarak elde edilen şerbete çimento katıldığında bu çatlaklara rastlanmamıştır. Böylece ön ıslatma yapılmadığı takdirde silis dumanının çimento şerbetinden su çekerek 'dahili' kuruma rötresine ve dolayısı ile görünür çatlaklara neden olduğu düşünülebilir.

Silis dumanı ikame oranlarının %0, 5, 10 ve 25 olan betonların kuruma rötresinin incelendiği çalışmada S/Ç oranı 0,60'dan küçük betonlarda önemli bir fark görülmemiştir. Bunun yanısıra %25 silis dumanı ilaveli betonlar silis dumanı katılmadan üretilenlere göre daha büyük kuruma rötresi değerlerini vermiştir [9].

Person [10], yüksek mukavemetli betonların rötresi üzerine yaptığı nümerik ve deneysel çalışmasında 8 farklı beton karışımına değişik tip ve miktarlarda silis dumanı ilave etmiş, toplam rötrenin numune yaşı, su/bağlayıcı oranı ve silis dumanının tip ve miktarına bağlı olduğunu, silis dumanı ilavesi ile karbonatlaşma rötresinden kaçınılabileceğini belirtmiştir.

Rao [11], harçlarda uzun dönem kuruma rötresi üzerine silis dumanının ve agrega çapının etkisini araştırmıştır. Silis dumanın çok yüksek puzolanik aktivitesi ve incelik mekanizması nedeniyle 28 günlük erken dönemdeki kuruma rötresinde etkili olduğunu ve silis dumanı ilavesi ile bu dönemdeki kuruma rötresinin arttığını bildirmiştir. Ancak 365 günden sonra bu etkinin önemli olmadığını, harç numunelerin yaşlarıyla birlikte kuruma rötresindeki artışın düştüğünü, agrega çapının kuruma rötresi üzerinde oldukça önemli rol oynadığını agrega çapındaki artışın kuruma rötresini azalttığını ifade etmiştir.

F. ÖZCAN, C.D. ATİŞ

Zhang ve ark. [12], düşük S/Ç oranlarında çalıştıkları betonlar üzerinde otojen rötre, silis dumanının artması ve S/Ç oranının azalması ile arttığını belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmada 98 güne kadar olan otojen rötre mukavemetinin %60 ve daha fazlası ilk iki hafta içerisinde meydana gelmiştir.

Mazloom ve ark [13], silis dumanının toplam rötre üzerinde etkisinin olmadığını, karışımdaki silis dumanının artmasıyla yüksek mukavemetli betonlarda otojen rötre arttığını kuruma rötresinin ise azaldığını belirtmişlerdir.

Jianhui ve ark. [14], tarafından yapılan çalışmada boşluklu çok ince mineral malzemeler kullanılarak dahili (kendi kendine) kürlenmenin otojen rötre azaltmada etkili bir yöntem olduğunu, yüksek performanslı çimento esaslı malzemelerin kuruma rötresinin yüzey porozitesine bağlı olarak suyun buharlaşması ile ilgili olduğunu tespit etmişlerdir.

Yue ve ark. [15], mineral katkı çimento pastalarının boşluk yapısı ve otojen rötreleri arasındaki ilişki üzerine yaptıkları çalışmada silis dumanı ve uçucu kül ile bir grup, yüksek fırın cürufu ile uçucu kül ile ikinci bir grup karışım hazırlamışlardır. Uçucu külün rötre azalttığını, silis dumanının ise artırdığını, yüksek fırın cürufunun ise silis dumanı ile uçucu kül arasında bir yerde olduğunu ifade etmişlerdir.

Mukesh ve ark. [16], yaptıkları çalışmada düşük karbon betonlarının üretilmesi için CEM II ve CEM V çimentolarının uygunluğuna yönelik yapılan çalışmada karbonatlaşma ve rötre özellikleri incelenmiştir. Aynı şartlarda kür edilen betonlarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı katkı CEM II ve CEM V çimentoları ile üretilen betonların karbonatlaşma dirençlerinin herhangi bir mineral katkının kullanılmadığı CEM I çimentosu ile üretilen betonlara göre daha düşük olmuştur. Aynı şekilde uçucu külün kuruma rötresini azalttığı, yüksek fırın cürufunun ise geleneksel betonlarla benzer ve karşılaştırılabilir davranış sergilediği ancak silis dumanının özellikle erken dönemlerde kuruma rötresini artırdığı tespit edilmiştir.

Silis dumanı katkı çimentolar ile üretilen harçların farklı özellikleri üzerine yapılan çalışmalar daha ziyade sınırlı su/bağlayıcı oranı veya mineral katkı oranı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu laboratuvar çalışması ile beş farklı su/bağlayıcı oranı (0,25, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60) ve dört farklı silis dumanı oranı (%10, 15, 20 ve 40) ile üretilen toplamda 25 farklı harç karışımına ait hem karbonatlaşma hem de rötre özellikleri geniş bir perspektif ile ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Bu çalışmada kullanılan TS EN 197-1 ile uyumlu normal Portland (CEM I 42,5) çimentosunun özgül ağırlığı 3,15 g/cm³, özgül yüzeyi 3350 cm²/g olup kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmektedir [17].

Tablo 1. Kullanılan çimento ve silis dumanının kimyasal bileşimi (%)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K.
Çimento	20,6	5,7	4,1	62,1	2,5	2,4	0,8	0,2	1,6
Silis Dumanı	85,98	0,64	0,32	0,70	4,91	0,63	-	-	2,66

2.1.2. Silis Dumanı

Silis dumanı Antalya-Etibank Ferro-Krom fabrikalarından sağlanmış olup, kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmektedir. Silis dumanının özgül ağırlığı ve birim ağırlığı sırasıyla 2,32 g/cm³ ve 245 kg/m³’tür. Silis dumanının 45 µm elek üzerinde kalıntısı %4,8 dir.

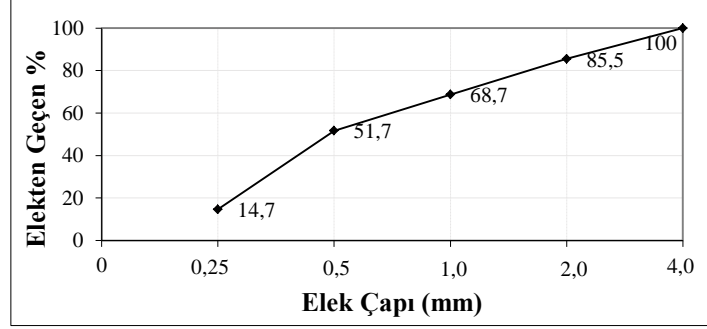
2.1.3. Süperakışkanlaştırıcı Katkı

Taze harç karışımlarında işlenebilirliği sağlamak amacıyla TS EN 934-2’ye uygun süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcının tipi sentetik-dispersiyon sıvı olup yoğunluğu 1,23 kg/dm³’tür [18].

SİLİS DUMANI İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN KARBONATLAŞMA VE RÖTRE ÖZELLİKLERİ**2.1.4. Harç Üretiminde Kullanılan İnce Agregata**

Harç numunelerin hazırlanmasında yıkandıktan sonra kurutulan ve maksimum dane çapı 4 mm olan doğal dere kumu kullanılmış olup, kuma ait elek analizi sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.

Kullanılan ince agreganın TS EN 1097-6’ya göre kuru yüzey doygun haldeki özgül ağırlığı 2,61 gr/cm³, su emme kapasitesi ise %1,8 olarak tespit edilmiştir [19].



Şekil 1. Harç numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi grafiği

2.2. Metot

Çalışma kapsamında hazırlanan harç numunelerin bağlayıcı/kum oranı 2,75’tir. Ayrıca, beş ayrı su-bağlayıcı oranında (0,25, 0,30, 0,40, 0,50 ve 0,60) numuneler hazırlanmıştır. Silis dumanı değişim oranları ise ağırlıkça çimentonun %0, 10, 15, 20 ve 40’ı nispetindedir. Harç karışımlarında kullanılan S/B ifadesi, su/(çimento+silis dumanı) oranı için kullanılmıştır. Kuru kür terimi ise 20°C’de %65 bağıl neme sahip kür ortamını ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında hazırlanan harç numunelerinin karbonatlaşma derinlikleri kuru kür durumunda kür edilen 28, 90 ve 180 günlük harç numuneler üzerine phenophthalein sıvısı püskürtülerek belirlenmiştir. Aynı şekilde kür edilen rötre numunelerinin ölçümleri ilk bir hafta boyunca her gün daha sonra ise 14, 21, 28, 60, 90, 120 ve 180. günlerde TS 3453 doğrultusunda yapılmıştır [20].

3. BULGULARI VE TARTIŞMA

Temiz hava içerisinde normal koşullarda %0,03, şehirleşmenin yoğun olduğu yerlerde ise havada %0,3 kadar karbondioksit (CO₂) bulunmaktadır. Çimentonun hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksit-Ca(OH)₂ ile havada bulunan karbondioksitin temas etmesi halinde kalsiyum karbonat (CaCO₃) oluşmakta ve ayrıca bir miktar su açığa çıkmaktadır. Karbonatlaşma karbondioksitin beton içerisine girmesiyle meydana gelmektedir. Zamanla belirli bir kalınlıkta CaCO₃ tabakası oluştuğundan sonra CO₂’in beton içerisine girmesi zorlaşır ve bundan dolayı karbonatlaşma hızı yavaşlayarak devam eder. Karbonatlaşmanın gerçekleşme hızı; zamana, betonun geçirimsizliğine, havadaki CO₂ ve nem miktarına bağlıdır.

Harç prizmalarında karbonatlaşma derinliği, eğilme mukavemeti deneyi sonunda ortaya çıkan parçaların kırılma yüzeylerine phenolphthalein çözeltisi püskürtülerek ölçülmüştür. Serbest Ca(OH)₂ pembe renk gösterirken, karbonatlaşmış kısımlar renk değişimine uğramamaktadır. Bu durum Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Karbonatlaşma meydana gelen harç numuneleri

F. ÖZCAN, C.D. ATIŞ

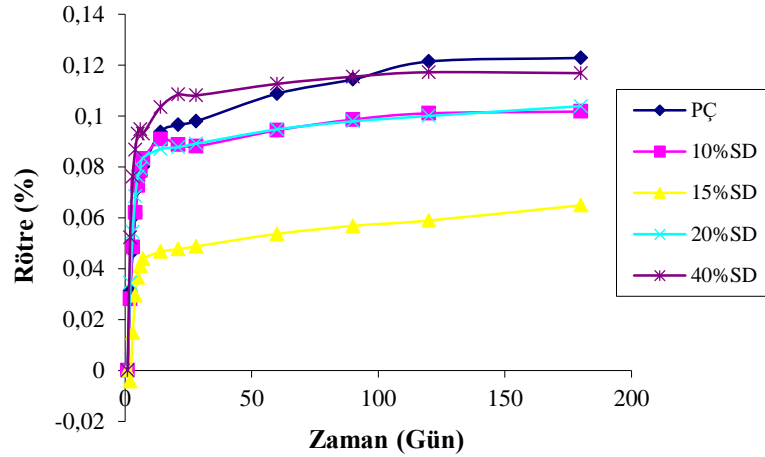
Araştırma kapsamı içerisindeki silis dumanı katkılı ve katkısız harçlar üzerinde ölçülen karbonatlaşma değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Kuru kür edilen harçların karbonatlaşma değerleri (mm)

Numune Kodu	28 Gün					90 Gün					180 Gün				
	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6
Şahit	1,15	0,92	1,37	2,56	1,52	2,31	1,32	2,32	3,91	3,30	2,84	1,41	2,92	5,19	5,64
10%SD	0,88	0,45	0,81	1,28	1,51	1,17	1,41	1,99	3,22	2,68	2,01	1,83	2,50	3,83	4,60
15%SD	0,94	0,52	0,72	1,27	1,33	1,47	1,59	1,48	2,90	2,46	1,61	2,11	2,34	3,37	3,82
20%SD	1,78	0,85	0,91	1,26	1,40	1,88	2,18	1,97	2,33	2,32	3,24	2,27	2,57	3,54	3,77
40%SD	2,58	1,49	1,87	1,92	1,46	3,33	3,21	3,04	4,57	2,94	4,25	4,78	4,36	5,41	5,03

Karbonatlaşma ölçüm sonuçlarının sunulduğu Tablo 2 incelendiğinde, bütün S/B oranlarında zamanla karbonatlaşma değerlerinin arttığı görülmektedir. %10 ve 15 oranlarında silis dumanı kullanımı karbonatlaşma değerini oldukça düşürmüştür, %20 silis oranı ise şahit numuneden daha az veya eşdeğer seviyede karbonatlaşma değeri vermiştir. %40 silis oranında ise karbonatlaşma değerleri oldukça yüksek değerlerde seyretmiştir. Şahit numunelerde 0,25, 0,30 ve 0,40 S/B oranlarında zamanla oluşan karbonatlaşma değerleri arasındaki fark, 0,50 ve 0,60 S/B oranlarına göre daha düşük değerlerde kalmıştır.

Betonun kuruması, karbonatlaşması ve betonun içerisindeki çimentonun hidrasyonu, sertleşmiş betonda bulunan suyun azalmasına yol açan başlıca etkilendir. Betonun içerisindeki suyun fiziksel ve kimyasal nedenlerle azalması sonucunda betonun boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye rötre denilmektedir. Kuruma rötrelerinin ölçülmesi için çalışma kapsamındaki harç karışımları ile her bir karışımı temsil üzere iki adet rötre numunesi hazırlanmıştır. Bulunan rötre değerleri bu iki numunenin ortalaması alınarak sunulmuştur. 0.25 S/B oranına sahip harçların rötre değerleri Şekil 3’te verilmiştir. Düşük S/B oranında silis dumanının %10, 15 ve 20 oranlarında çimentoya ikamesi rötre değerlerinde düşüşe neden olurken %40 oranındaki silis dumanı şahit numune ile eşdeğer bir rötre değeri sergilemiştir. %15 silis dumanına sahip harçların rötre değeri şahit numuneye göre yaklaşık %50 civarında bir düşüş sergilemiştir.

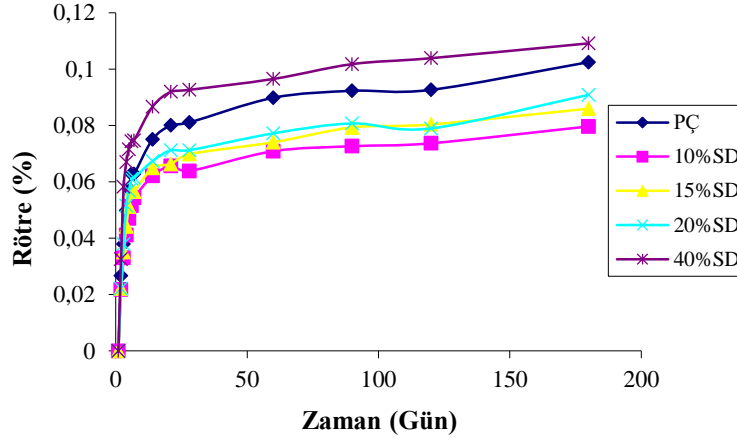


Şekil 3. 0,25 S/B oranına sahip harçların rötre-zaman ilişkisi

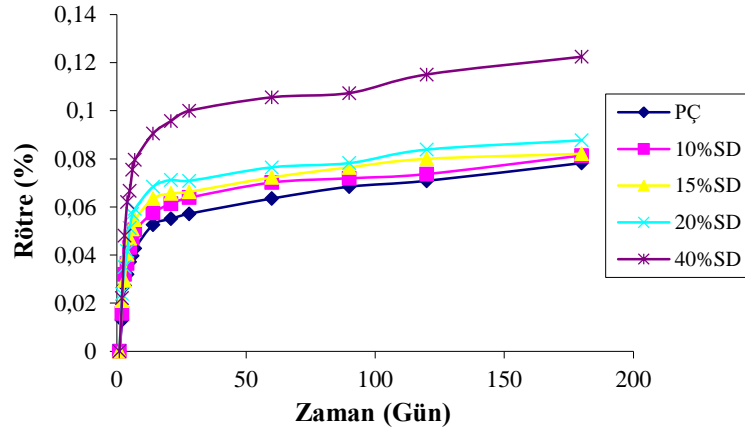
0,30 S/B oranına sahip harçların rötre değerleri Şekil 4’de verilmiştir. %10, 15 ve 20 oranlarındaki silis miktarları şahit numuneye göre rötreyi azaltırken kendi aralarında fazla bir değişim sergilememişlerdir. %40 silis dumanı şahit numuneden bir miktar daha fazla rötre değeri vermiştir.

S/B oranındaki artışla birlikte silis dumanının rötreyi azaltma eğiliminden artırma eğilimine yöneldiği görülmektedir. 0,40 S/B oranına sahip harçların rötre değerlerinin verildiği Şekil 5’te %10, 15 ve 20 oranlarındaki silis miktarları şahit numuneye eşdeğer rötre değerleri sergilerken %40 silis miktarı 180 günlük rötre değerinde şahit numuneye göre yaklaşık %60 artışa neden olmuştur.

SİLİS DUMANI İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN KARBONATLAŞMA VE RÖTRE ÖZELLİKLERİ

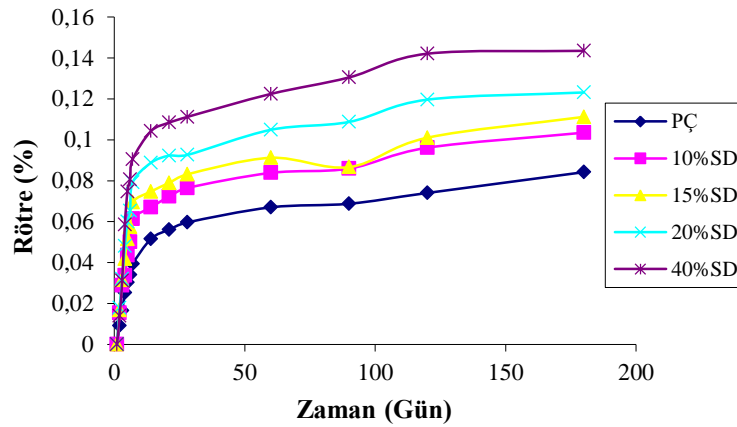


Şekil 4. 0,30 S/B oranına sahip harçların rötre-zaman ilişkisi



Şekil 5. 0,40 S/B oranına sahip harçların rötre-zaman ilişkisi

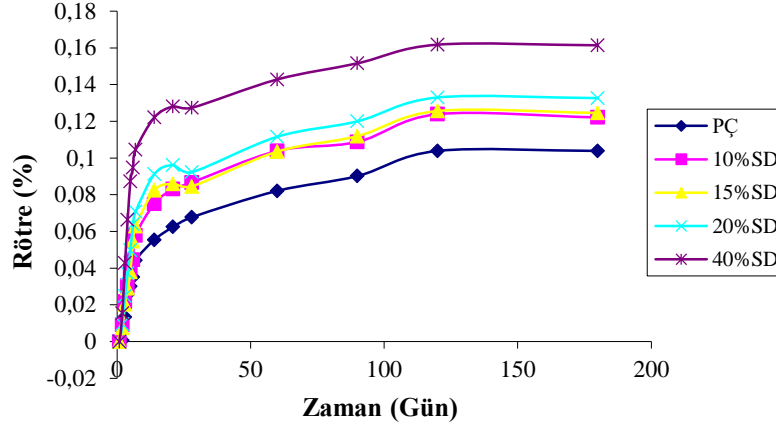
S/B oranının 0,50'ye çıkması ile rötre değerlerinde bir artış olmuş ve silis dumanı ikame oranlarının hepsinde şahit numuneden daha fazla rötre değerleri ile karşılaşmıştır. 0,50 S/B oranına sahip harçlara ait rötre değerlerinin verildiği Şekil 6'da görüldüğü gibi özellikle %20 ve %40 oranlarında silis katılması harçlarda rötreyi yaklaşık olarak sırasıyla %45 ve %70 oranlarında artırmıştır.



Şekil 6. 0,50 S/B oranına sahip harçların rötre-zaman ilişkisi

F. ÖZCAN, C.D. ATIŞ

S/B oranının 0,60 gibi çok yüksek olduğu harçların rötre değerleri 0,50 S/B oranına sahip harçların rötre değerlerinden daha fazla olmuştur. 0,60 S/B oranına sahip harçların rötre-zaman ilişkisinin verildiği Şekil 7’de görüldüğü gibi silis dumanının bütün ikame oranları şahit numuneye nazaran daha fazla rötre değerleri vermişlerdir. 120. günden sonra rötre artışlarının durduğu gözlenirken %10, 15 ve 20 silis oranlarındaki harçların rötrelere birbirine oldukça yakın seyrettiği görülmektedir.



Şekil 7. 0,60 S/B oranına sahip harçların rötre-zaman ilişkisi

Silis dumanı katkılı harçlarda kuruma rötresinin, silis dumanı ikame oranından ve su-bağlayıcı oranından oldukça etkilendiği görülmektedir. Su-bağlayıcı oranının 0,25 ve 0,30 olduğu harçlarda, %40 silis dumanı ilavesi hariç diğer ikame oranlarında rötreyi azaltıcı etkisi belirgin olarak görülmektedir. Ancak su-bağlayıcı oranının artması ile silis dumanının rötreyi azaltıcı etkisi düşmeye başlamıştır. Bu durum literatürle uyum içerisinde olup, Rao [21], su-bağlayıcı oranını 0,50 aldığı çalışmasında silis dumanının ikame oranıyla birlikte rötre değerlerinde de bir artış olduğunu vurgulamıştır. Özellikle kısa vadede bu etkinin belirgin olduğunu, uzun vadede ise silis dumanının rötreyi artırıcı etkisinin önemli olmadığını belirtmiştir.

4. SONUÇLAR

Yapılan laboratuvar çalışması kapsamında beş farklı su/bağlayıcı oranı (0,25, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60) ve dört farklı silis dumanı oranı (%10, 15, 20 ve 40) ile üretilen harçların hem karbonatlaşma hem de rötre özelliklerine yönelik olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Her bir su-bağlayıcı oranında zamanla karbonatlaşmanın arttığı görülmüştür. %10 ve 15 silis dumanı kullanımı şahit numuneye göre karbonatlaşma değerini oldukça düşürmüştür, %20 silis dumanı oranında şahit numuneye eşdeğer veya daha az karbonatlaşma derinliği ölçülmüştür. %40 silis dumanı karbonatlaşmayı artırıcı yönde etkili olmuştur.
- Silis dumanının harç numunelerinin rötresi üzerindeki etkisi kullanılan silis dumanı miktarına ve karışımın su-bağlayıcı oranına göre değişmektedir. Düşük su-bağlayıcı oranlarında silis dumanı rötreyi azaltıcı yönde etkili olurken, su-bağlayıcı oranının artması ile silis dumanı da rötreyi artırıcı rol üstlenmiştir. 0,25 su-bağlayıcı oranında %15 silis dumanı kullanımı ile kuruma rötresinde %50 azalma olduğu görülmüştür.
- Silis dumanı ile birlikte diğer mineral katkıların birlikte kullanıldığı üçlü veya daha çoklu karışımların karbonatlaşma ve rötre özellikleri araştırılarak optimum özellikleri sağlayan bileşimler belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZTURAN, T., “Beton Üretiminde Uçucu Kül Kullanımının İrdelenmesi”, Türkiye İnşaat Mühendisliği XI. Teknik Kongresi, 149-158. İstanbul, Türkiye, 1991.
- [2] SEVİM, U.K., Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçların Üzerinde Yapılan Deneylerle Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 2003.
- [3] ERDOĞAN, T.Y., Beton (ikinci baskı), ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2003.

SİLİS DUMANI İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN KARBONATLAŞMA VE RÖTRE ÖZELLİKLERİ

- [4] TOUTANJI, A.H., BAYASI, Z., “Effect of Curing Procedures on Properties of Silica Fume Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 29, 497-501, 1999.
- [5] ATIŞ, C.D., ÖZCAN, F., KARAHAN, O., BİLİM, C., SEVİM, U.K., DEMİR, A., “Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426, 54-59, 2004.
- [6] CARETTE, G.G., MALHOTRA, V.M., “Long-Term Strength Development of Silica Fume Concrete. Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete”, *Proceedings Fourth International Conference*, 1017-1044. İstanbul, Türkiye, 1992.
- [7] AKÖZ, F., YÜZER, N., BİRİCİK, H., KORAL, S., “Silis Dumanı Katkılı Beton Özelliklerine Kür Koşullarının Etkileri”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması*, 63-71. Eskişehir, Türkiye, 1997.
- [8] COLLEPARDI, M., KOZANOĞLU, C., YANARDAĞ, C., “Yüksek Dayanımlı Betonlarda Durabilite”, 2. Ulusal Beton Kongresi, 67-75. İstanbul, Türkiye, 1991.
- [9] KHAYAT, K. H., AITCIN, P.C., “Silica Fume in Concrete: An Overview. Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete”, *Proceedings Fourth International Conference*, 835-872. İstanbul, Türkiye, 1992.
- [10] PERSSON, B., “Experimental Studies on Shrinkage of High-Performance Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 28, 1023-1036, 1998.
- [11] RAO, G.A., “Long-Term Drying Shrinkage of Mortar-Influence of Silica Fume and Size of Fine Aggregate”, *Cement and Concrete Research*, 31, 171-175, 2001.
- [12] ZHANG, M. H., TAM, C. T., LEOW, M. P., “Effect of Water-to-Cementitious Materials Ratio and Silica Fume on the Autogenous Shrinkage of Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 33, 1687-1694, 2003.
- [13] MAZLOOM, M., RAMEZANIANPOUR, A.A., BROOKS, J.J., “Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete”, *Cement and Concrete Composites*, 26, 347-357, 2004.
- [14] JIANHUI, L., CIJUN, S., XIANWEI, M., KAMAL, H. K., JIAN, Z., DEHUI, W., “An Overview on The Effect of Internal Curing on Shrinkage of High Performance Cement-Based Materials”, *Construction and Building Materials*, 146, 702-712, 2017.
- [15] YUE, L., JUNLING, B., YILIN, G., “The Relationship Between Autogenous Shrinkage and Pore Structure of Cement Paste with Mineral Admixtures”, *Construction and Building Materials*, 24, 1855-1860, 2010.
- [16] MUKESH, L., SEVKET, C. B., HSEİN, K., “Suitability of BS EN 197-1 CEM II and CEM V Cement for Production of Low Carbon Concrete”, *Construction and Building Materials*, 71, 397-405, 2014.
- [17] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2002.
- [18] TS EN 934-2, Kimyasal Katkılar- Beton, Harç Ve Şerbet İçin Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2002.
- [19] TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2002.
- [20] TS 3453, Beton Elemanlarda Büzülme Oranı (Rötre) Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2005.
- [21] RAO, G. A., “Influence of Silica Fume Replacement of Cement on Expansion and Drying Shrinkage”, *Cement and Concrete Research*, 28, 1505-1509, 1998.