

Betonda Hızlandırılmış Karbonatlaşma Deneyi ve Aparatı

Tahir GÖNEN, Salih YAZICIOĞLU
Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü
23119 Merkez, ELAZIĞ

ÖZET

Hızlandırılmış karbonatlaşma testinin yapılabilmesi nem, sıcaklık ve karbondioksit oranının kontrol edilebildiği suni bir atmosferin oluşturulmasına bağlıdır. Bu çalışmada hızlandırılmış karbonatlaşma deneylerinin yapılabileceği bir deney düzeneği geliştirilmiş ve bu düzeneğin kullanılabilirliğini saptamak için örnek bir çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hızlandırılmış karbonatlaşma deneyi, karbonatlaşma, beton, karbondioksit, durabilite

Apparatus and Test of Accelerated Carbonation in Concrete

ABSTRACT

Created of an artificial environment in which the rate of the relative humidity, the temperature and the CO₂ concentration can be controlled should become for accelerated carbonation. In this study an apparatus which will be able to carried out experiment of accelerated carbonation was developed and an example study was carried out to determine useable of this apparatus.

Key word: Accelerated carbonation test, carbonation, concrete, carbondioxide, durability

1. GİRİŞ

Türkiye’de son yıllarda özellikle Marmara Depremiyle birlikte betonun mukavemetinin yanında dayanıklılığı (durabilite) da ön plana çıkmıştır. Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir. Depremlerde yıkılan yapıların büyük çoğunluğunda klorür difüzyonunun ve/veya karbonatlaşmanın neden olduğu korozyon çok fazladır (1). Koç (2), 17 ağustos depreminde yıkılan binaların %67’sinde yıkılma sebeplerinden birinin korozyon olduğunu belirtmektedir. Korozyonun karbonatlaşma ve klorür difüzyonu olarak iki sebebi vardır. Karbonatlaşma atmosferde serbest durumda bulunan karbondioksit ile beton boşluklarındaki kalsiyum hidroksitlerin nemli ortamlarda reaksiyonu olarak tanımlanır. Bu reaksiyon çok uzun yıllar alabilen fizikokimyasal bir süreçtir. Örneğin; 20 MPa dayanıma sahip bir betonda 6 ayda 5 mm, 2 yılda 10 mm, 4 yılda 15 mm ve 7 yılda 20 mm derinliğe kadar karbonatlaşma görülebilir (3).

Karbonatlaşma üzerine araştırmalar normal ortamdaki karbonatlaşma ve hızlandırılmış karbonatlaşma olarak iki şekilde yapılabilmektedir (4, 5, 6). Normal ortamda yapılan deneyler çok uzun yıllar alabildiğinden genellikle hızlandırılmış karbonatlaşma test tekniği kullanılmaya çalışılmaktadır. Fakat hızlandırılmış karbo-

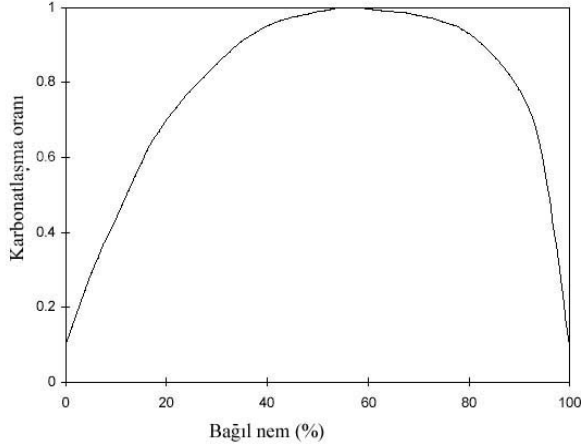
natlaşma tekniği üzerine henüz tam bir prosedür bulunmamaktadır. Hızlandırılmış karbonatlaşma testinin yapılabilmesi nem, sıcaklık ve karbondioksit oranının kontrol edilebildiği suni bir atmosferin oluşturulmasına bağlıdır. Bu çalışmada hızlandırılmış karbonatlaşma deneylerinin yapılabileceği bir deney düzeneği geliştirilmiş ve bu düzeneğin kullanılabilirliğini saptamak için örnek bir çalışma yapılmıştır.

2. KARBONATLAŞMAYA ETKİ EDEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER

Karbonatlaşmanın oluşabilmesi için ortamda bazı bileşenlerin bulunması şarttır. Bunlar; çimentonun betondaki hidratasyonu sonucu oluşan ve fazla miktarda bulunan kalsiyum hidroksit, atmosferde serbest durumdaki karbondioksit ve bu iki maddenin reaksiyona girebilmesi için gerekli olan nemdir. Bu üç parametre olduğu sürece beton sürekli olarak karbonatlaşacaktır. Karbonatlaşma beton yüzeyinden başlayarak iç kesimlere doğru hızı azalarak ilerler (7, 8). Bu ilerleme hızını hem çevresel hem de kompozisyonel faktörler etkileyebilmektedir. Kompozisyonel faktörlere çimentonun tipi, su/çimento oranı ve boşluk miktarı örnek olarak verilebilir. Çevresel etkiler ise ortamdaki karbondioksit oranı, bağıl nem oranı ve sıcaklıktır.

En temiz havada dahi atmosferde % 0,03 oranında karbondioksit bulunmaktadır ki bu bile karbonatlaşma için yeterlidir. Bu oranın büyük şehirlerde % 1

oranına çıktığı düşünülürse sorunun gelişmiş kentlerde daha korkunç boyutlu olduğu görülür (9,10). Sıcaklığın artışı karbonatlaşma hızını artırır. Fakat sıcaklığın aşırı derecede artması kurumayı artırarak karbonatlaşma için gerekli olan nemi ortadan kaldırır. Bu yüzden sıcaklığın çok fazla miktarda artması da karbonatlaşmayı yavaşlatır (11). Şüphesiz karbonatlaşmayı etkileyen en önemli faktör ortamın ve betonun nemidir. Çünkü kalsiyum karbonatın oluşabilmesi için ortamda suyun bulunması şarttır. “karbonatlaşmanın en yüksek mertebesi ortamda %50 bağıl nem olduğu zamandır” (12,13). Bağıl nem oranı arttıkça veya azaldıkça karbonatlaşma miktarı artmaz. En fazla karbonatlaşmanın olduğu nem miktarı %50 -%70 arasında olduğu zamanlardır (Şekil 1). Nem miktarı çok fazla artarsa ortama karbondioksit difüzyonu zorlaşacaktır. Tamamen suyun içinde kalan betonlar karbonatlaşma yapmazlar. Nemin azalması durumunda ise reaksiyonun ihtiyaç duyduğu su azalacağından karbonatlaşma hızı da azalacaktır (9).



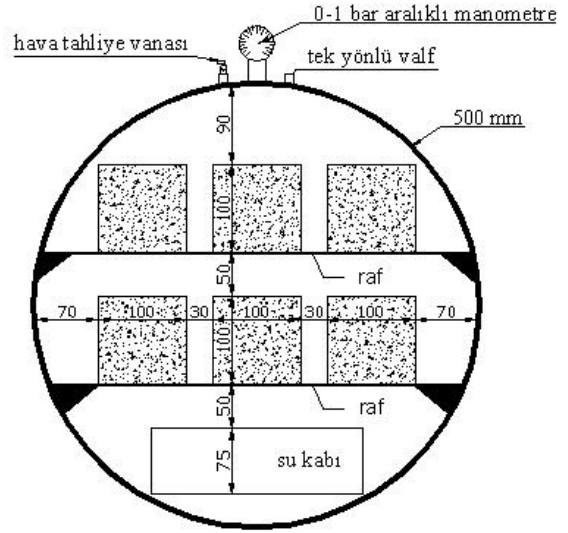
Şekil 1 Bağıl Nem ile Karbonatlaşma Derinliği İlişkisi (9)

3. HIZLANDIRILMIŞ KARBONATLAŞMA APARATININ TASARIMI

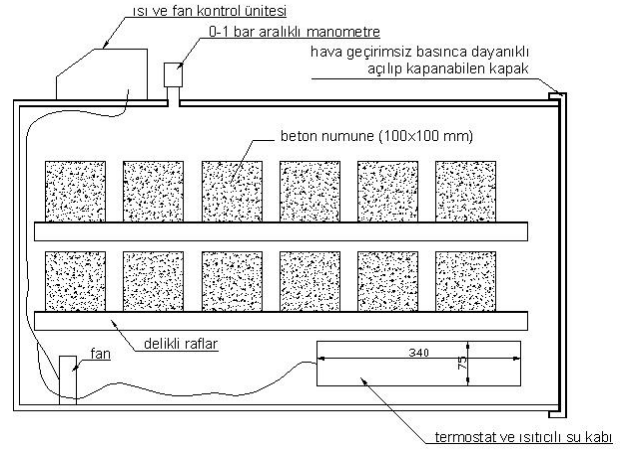
Hızlandırılmış karbonatlaşma testi betonun zenginleştirilmiş karbondioksit ortamına maruz bırakılmasıdır. En belirgin avantajlarından biri sonuçların çabuk elde edilmesidir. Karbonatlaşma deneylerinin sonuçlarının daha çabuk elde edilmesi amacıyla bu çalışmada ortam neminin, sıcaklığının ve karbondioksit miktarının kontrol edilebildiği bir aparat ve buna bağlı olarak bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Bu amaçla ilk etapta gaz sızdırmazlığı olan bir tank tasarlanmış ve içerisine gerekli ekipmanlar yerleştirilmiştir. Yerleştirilmiş bu ekipmanlar sırasıyla; içeriye konulan gaz miktarının belirlenmesi için manometre, ortamın bağıl neminin kontrolü için termostat ve resistanslı su kabı, tank içindeki havanın türbülansı için fan ve kontrol panelidir. İç hacmi 175 litre olan tankın enine ve boyuna kesitleri Şekil 2’de verilmiştir.

Hızlandırılmış karbonatlaşma test tankının hazırlanmasında öncelikli olarak dikkat edilmesi gereken,

tankın basınca dayanıklı ve gaz sızdırmazlığının olmasıdır. Gazın tank içine eşit miktarda yayılması için silindirik şekilde, 90 cm derinlikte ve 50 cm çapında bir tank tasarlanmıştır. Silindirik şeklindeki tankın düz olan yüzeylerinden biri sabitlenerek kapatılmış ve diğer yüzeyine ise açılıp kapanabilen bir kapak yerleştirilmiştir. Sızdırmazlığı sağlamak için de kapak ile gövde arasına özel olarak hazırlanmış conta konulmuştur.



Şekil 2.a Hızlandırılmış karbonatlaşma tankı enine kesiti



Şekil 2.b Hızlandırılmış karbonatlaşma tankı boyuna kesiti

Çok sayıda beton numunenin aynı anda koyulabilmesi amacıyla iki katlı olarak tasarlanan tankın katları delikli raflar ile ayrılmıştır. Bu delikli raflar ve tankın alt kısmına yerleştirilen fan, her iki katta da karbondioksitin eşit bir şekilde dağılmasını sağlamıştır. Kapak ile gövdenin tam oturması amacıyla kapağın her iki tarafına saplamaları olan büyük ölçülerde kelebek somunlar hazırlanmıştır. Deney boyunca tankın dış tarafından içerideki sıcaklığı ve basıncı kontrol etmek için; tankın üst tarafına üzerinde açma kapama anahtarları bulunan kontrol ünitesi yerleştirilmiştir. İçeriye giren gaz miktarının kontrolü amacıyla tankın

dışına hava tahliye vanası ve manometre konulmuştur (14).

4. ÖRNEK ÇALIŞMA

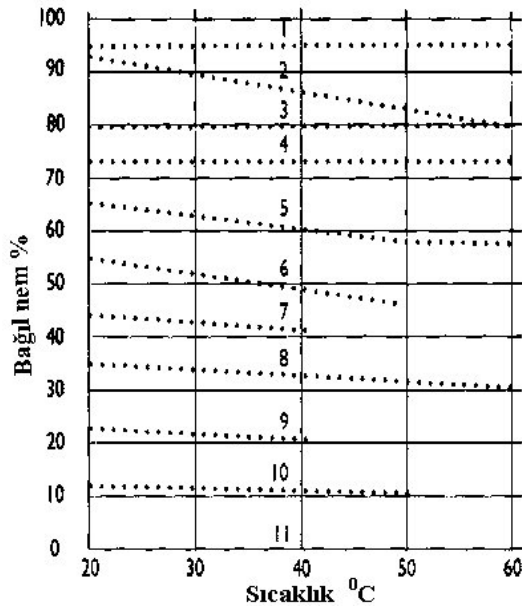
Hızlandırılmış karbonatlaşma testi için hazırlanan aparatın ilk önce gaz sızdırmazlığına bakılmıştır. Bu amaçla tank içerisine tank hacminin %40'ı oranında (manometre değeri 0,8 bar) karbondioksit (CO₂) gazı verildikten sonra 3 gün beklenmiştir. Üç günlük süre zarfında manometredeki değerin azalmaması tanktan herhangi bir şekilde gazın sızmadığını göstermiştir.

Hızlandırılmış karbonatlaşma aparatının karbonatlaşma deneyi amaçlı çalışmasında; numunelerin aparamda bekletileceği sürenin belirlenmesi için 50 adet beton numune hazırlanmış ve 28 gün %95±5 bağıl nemli ortamda kür uygulanmıştır. Hazırlanan bu 50 adet numune çeşitli zaman dilimlerinde aparatın içerisine bırakılmış ve karbonatlaşma derinliklerine bakılmıştır. Bu ön çalışmaya göre karbonatlaşma ilk 6 saat sonunda ölçülebilir seviyeye geldiği gözlenmiş ve 24 saatten sonra ise yavaşlamaya başladığı görülmüştür. Ölçülmesi gereken zaman kriterlerinin bu örnek çalışma için 6 saat, 1 gün ve 3 gün olmasına karar verilmiştir. Fakat karbonatlaşma gelişimi çok sayıda parametreye bağlı olduğundan dolayı yapılacak başka bir çalışma için yeniden zaman faktörünün belirlenmesi gerekebilir. Denenecek olan numunelerin yaklaşık olarak hangi zaman diliminde karbonatlaşma gelişiminin yavaşlamaya başladığını bilinmesi kıyaslama yapılmasında hata payını azaltabilir. Örneğin yüksek dayanımlı betonlarda karbonatlaşma gelişimi daha erken bir zamanda durma noktasına gelebilir.

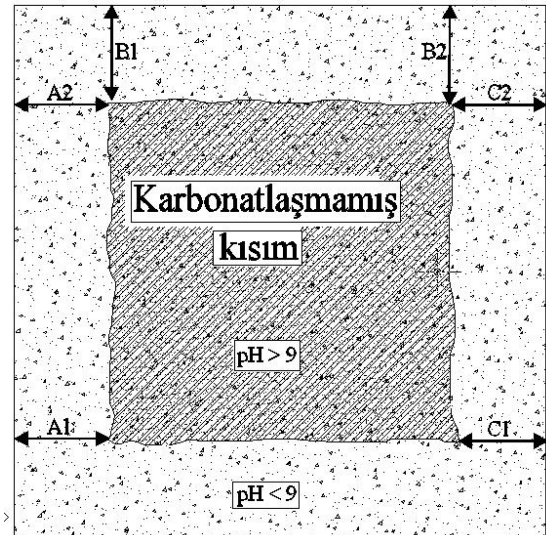
- | | |
|-------------------|--------------------|
| 4 Sodyum klorür | 10 Lityum klorür |
| 5 Sodyum nitrit | 11 Kuru silika jel |
| 6 Sodyum dikromat | |

Şekil 3. Sıcaklık, Nem ve Tuz İlişkisi

Hızlandırılmış karbonatlaşma aparatının karbonatlaşma amaçlı denemesinde, karbonatlaşmayı etkileyecek 1 kriter değiştirilerek hazırlanmıştır. Numuneler arasındaki tek fark içerdikleri cüruh katkısı miktarıdır. Farklı cüruh katkısına sahip 5 seri beton numune hazırlanmış ve bu numuneler 6 saatlik, 1 günlük ve 3 günlük süreler halinde aparatın içerisinde %40 oranında CO₂'li ortama bırakılmıştır. CO₂'in ayarlamasında başlangıçta tank içerisinde bulunan 1 atm.'lik havanın üzerine tankın içindeki basınç 0,8 bar olana kadar sanayi tipi tüpten CO₂ verilmiştir. Aparatın içindeki nemin ayarlanmasında ise Şekil 3'de verilen grafikten yararlanılmıştır (15). Şekil 3'den 20 °C sıcaklıkta %55 nem için sodyum-dikromat seçilmiştir. Sodyum-dikromatın doymuş çözeltisi tank içerisindeki kaba bırakılmış ve deney süresince suyun sıcaklığı 20 C⁰'de tutulmuştur. Hızlandırılmış karbonatlaşma tankından çıkarılan numunelerin karbonatlaşma derinlikleri fenol fitalein çözeltisi püskürtülerek belirlenmiştir (16). Fenol fitalein püskürtüldüğü yüzeydeki renksiz bölgelerin pH derecesi 9,0'ın altındadır. Mor renge dönüştüğü alanlar ise betonun alkalın olduğu bölgelerdir. Taze betonun kalıba yerleştirilmesi sırasında üst yüzeylerine mala ile düzeltme yapıldığından dolayı, numuneler kalıp gören yüzleri doğrultusunda kesilmiş ve bu yüzeylerdeki karbonatlaşma derinliği (D) hesaplanmıştır (Şekil 4). Bu tip ölçüm daha önce Ramezianpour (17), Claisse (18) ve Paillere (19) tarafından kullanılmıştır.



- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 Damıtılmış su | 7 Potasyum karbonat |
| 2 Potasyum nitrat | 8 Magnezyum klorür |
| 3 Sodyum klorür | 9 Potasyum asetat |



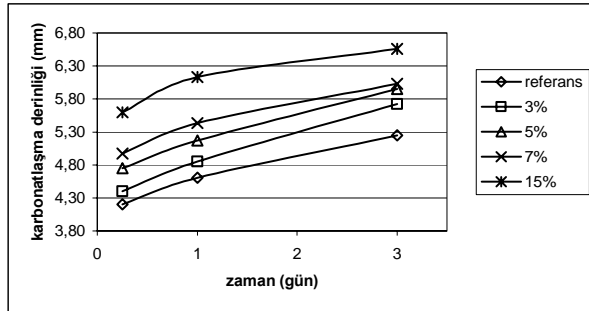
$$D = \frac{A1 + A2 + B1 + B2 + C1 + C2}{6}$$

Şekil 4 Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Hızlandırılmış karbonatlaşma test aparatının geliştirilmesi ve karbonatlaşma çalışmalarında kullanılabilirliğinin saptanması amacıyla bir örnek çalışma yapılmıştır. Örnek çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında bazı yorumlar ve öneriler yapılmıştır.

Çimento içerisindeki cüruf miktarının artması ile karbonatlaşma derinliği de artmıştır. Referans numune ile cüruf katkılı numuneler kıyaslandığında karbonatlaşma derinliği; %3'de %6, %5'de %13, %7'de %17 ve %15'de %30 daha fazladır. Ayrıca karbonatlaşma hızı tüm numunelerde hazırlanan deney düzeneğine göre 1 günden sonra azalmıştır (şekil 5). Karbonatlaşmanın beton yüzeyinden başlayarak iç kesimlere doğru hızının azalması eğiliminde olması alınan sonuçları doğrulamaktadır. Zamana bağlı olarak farklı özellikteki numunelerin karbonatlaşma derinlikleri birbirlerine paralel olarak değişmektedir. Bu paralellik numune özelliklerinin ve deney aparatı ile oluşturulan ortam şartların değişmemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. Ferrokrom cürafu %'sine göre karbonatlaşma derinlikleri

Nem ayarlaması için bırakılan doymuş tuz çözeltisinin 20 °C'de sabit kalması gerekmektedir. Soğuk havalarda ısıtıcı ve termostat bulunduğundan dolayı istenilen sıcaklıkta sabit tutulabilmektedir. Geliştirilen hızlandırılmış karbonatlaşma aparatında soğutma sistemi bulunmadığından sıcak havalarda deney yapılamamaktadır. Aparata soğutma sistemi de ilave edilebilir.

Yapılmış olan örnek çalışmada zaman dilimleri hazırlanan numunelerin ön denemesine göre 6 saat, 1 gün ve 3 gün seçilmiştir. Beton ve karışımına giren malzemelerin özellikleri karbonatlaşmanın ilerlemesinde büyük rol oynadığından, farklı beton karışımları için yeniden zaman parametrelerinin belirlenmesi gerekebilir.

Sonuç olarak hızlandırılmış karbonatlaşma deneylerinin yapılabilmesi için nem, karbondioksit ve sıcaklığın kontrol edilebildiği bir aparat geliştirilmiştir. Yapılmış olan örnek çalışmadan elde edilen veriler ışığında bu aparatın çok uzun yıllar alabilen karbonatlaşmanın hızlandırılması amacıyla kullanılacak nitelikte olduğu kanısına varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Taşdemir, M.A., Betonun Dayanım ve Durabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi, İMO İstanbul Şubesi Sürekli Eğitim Seminerleri, Harbiye-İstanbul, 2002.
2. Koç, T., Depremde Binaların Çoğu Korozyondan Yıkılmış, Arkitera Haber Bülteni, sayı 60, 2002
3. Neville, A.M., Properties of Concrete (3th ed.), New York: Longman Scientific and Technical, p 392, 1981.
4. Loo, Y.H., Chin, M.S., Tam, C.T., Ong, K.C.G., A Carbonation Prediction Model For Accelerated Carbonation Testing of Concrete, Magazine of Concrete Research, No:168, 191-200, 1994.
5. Atış, C.D., Accelerated Carbonation and Testing of Concrete Made with Fly Ash, Construction and Building Materials (yayında), kabul tarihi 25 ekim 2002.
6. Yazıcı, H., Accelerated Carbonation Test of Concrete, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1997.
7. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık Durabilite, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, yayın no:298, 2002.
8. Akman, M. S., Betonlarda Karbonatlaşma ve Yeniden Alkalizasyon Süreçleri, Türkiye İnşaat Mühendisliği, 14. Teknik Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 26, 1997.
9. Tokyay, M., Agresif Ortamlarda Çimentolu Sistemler, Çimento ve Beton Dünyası, sayı:8, 13-15., 1997.
10. Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., Betonlarda Karbonatlaşma ve Etkinlik Dereceleri, Standart Ekonomik ve Teknik Dergi, yayın no: 497, 84-88, 2003.
11. Akman, M. S., Betonlarda Karbonatlaşma ve Yeniden Alkalizasyon Süreçleri, Türkiye İnşaat Mühendisliği, 14. Teknik Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 26, 1997.
12. Liu, Y., Modeling The Time-to-Corrosion Cracking of The Cover Concrete in Chloride Contaminated Reinforcement Concrete Structures, Dissertation Submitted, Virginia Polytechnic Institute and State University, 14, 20, 1996.
13. De Ceukelaire, L., and Van Nieuwenburg, D., Accelerated Carbonation of A Blast Furnace Cement Concrete, Cement and Concrete Research, 23, 443-452, 1992.
14. Gönen, T., Betonda Sıkıştırma Faktörünün Karbonatlaşmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003
15. ELE International, Civil and Environmental Engineering Test Equipment 9th edition Catalogue, England
16. RILEM Committee CPC-18, Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth, Mater Struct. 21 (126) 453-435, 1988.
17. Ramezaniyanpour AA., Properties and Durability of Pozzolanic Cement Mortars and Concretes, PhD Thesis,

- Civil Engineering Department, The University of Leeds, UK, 1987.
18. Claisse PA., The Properties and Performance of High Strength Silica Fume Concrete. PhD Thesis, The University of Leeds, UK, 1988.
19. Paillere AM, Raverdy M, Grimaldi G., Carbonation of Concrete with Low-Calcium Fly Ash and Granulated Blast Furnace Slag: Influence of Air-Entraining Agents and Freezing and Thawing Cycles, Proceedings of ACI Canmet Second International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Spain, Madrid; SP-91, pp541,562, 1986.