

## FARKLI TİP ÇİMENTOLARIN BETONUN KARBONATLAŞMASINA ETKİSİ

Salih Yazıcıoğlu\*, Bahar Demirel, Tahir Gönen, Şaziye Özer

**Özet:** Bu çalışmada farklı tip çimentoların betonun karbonatlaşmasına olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 5 farklı çimento tipi kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin birim ağırlıkları, basınç dayanımları, ultra ses geçiş hızları ve karbonatlaşma derinlikleri gibi bazı mekanik ve fiziksel özellikleri ölçülmüştür. 28 günlük standart kür uygulanan numunelere 1, 3 ve 7 gün süre ile hızlandırılmış karbonatlaşma testi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda farklı tip beton serilerinin karbonatlaşma dirençlerinin farklı zaman dilimlerine göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda gün sayısının artırılması ile karbonatlaşmadan etkilenme değerlerinin maksimum seviyeye geldiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbonatlaşma, Beton Dayanımı, Çimento

## EFFECT OF DIFFERENT TYPE OF CEMENTS CARBONATION IN CONCRETE

**Abstract:** In this study, the effects of different types of concrete carbonation have been studied extensively. Five different cement-type is used for this purpose. The mechanical and physical properties such as unit weight, compressive strength, ultrasonic pulse velocity and carbonation depths of the prepared samples were determined. In order to determine the carbonation depth; after the standard curing period which is 28 days, prepared concrete series were subjected to accelerated carbonation test for the 1, 3, and 7-day time period. As a result of the experiments it has been determined that carbonation exposure values of the series of different types of concrete vary according to different time slots. At the same time, with increase in number of days it was observed that the carbonation depth would be reach a maximum value.

**Key words:** Carbonation, Concrete durability, Cement.

### 1.Giriş

Son yıllarda betonun mukavemetinin yanında durabilitesi de ön plana çıkmıştır. Depremde yıkılan binaların büyük çoğunluğunda karbonatlaşma ve klor difüzyonunun neden olduğu korozyon çok fazladır (Taşdemir, 2002). Bir diğer kaynakta, 17 ağustos depreminde yıkılan binaların %67'sinde yıkılma sebeplerinden birinin korozyon olduğunu belirtmektedir (Koç, 2002). Korozyonun başlıca nedenlerinden biri; atmosferde serbest durumda bulunan karbondioksitin betonda bulunan  $Ca(OH)_2$  ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan karbonlaşmadır (Xiao ve diğ., 2001). Betona katılan mineral katkıların karbonatlaşma direnci üzerine etkisi üzerine henüz tam bir fikir oluşmamıştır. Yazıcıoğlu ve diğ., (2003), Elazığ ferrokrom cürufunun betonun karbonatlaşmasına etkisini incelemişler ve mineral katkı

\* Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü/ANKARA.

olarak kullanıldığında cürufun betonun karbonatlaşma hızını arttırdığını tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada, mineral katkı olarak kullanılan uçucu külün karbonatlaşma hızını arttırırken silis dumanının ise yavaşlattığı belirtilmiş ve optimum karışımın ise silis dumanı ve uçucu külün birlikte kullanıldığı karışımlar olduğu vurgulanmıştır (Gönen ve Yazıcıoğlu, 2007) Atiş (2003), kontrol karışımına kıyasla %70 uçucu kül içeren karışımların daha fazla karbonatlaştığını, %50 uçucu kül içerenlerin ise aynı karbonatlaştığını belirtmiştir. Ho and Lewis (1983), ve Byfors (1985), ise çalışmalarında uçucu külün karbonatlaşmayı arttırdığını belirtmişlerdir.

Günümüzde çok çeşitli tiplerde çeşitli amaçlara yönelik olarak çimento tipleri üretilmektedir. Üretilen çimentolar beş ana tipten oluşmaktadır. TS EN 197-1 standardına göre, bu çimentolar CEM I portland çimentosu, CEM II Portland kompoze çimentosu, CEM III Portland curuflu çimentosu, CEM IV puzolanik çimento, CEM V Kompoze çimento olarak sınıflandırılmaktadır.

Farklı tip çimentoların betonda davranışları için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Karaduman (2008), 7 farklı tip çimento ile ürettiği karışımların değişik sıcaklara karşı direncini incelemiştir. Türkel ve Alabaş (2002), iki farklı tip çimento ile üretilen betonların değişken süreli buhar kürü altındaki basınç dayanımı değişimlerini araştırmışlardır. Yine Güneyisi vd. (2004), 5 farklı tipte çimento ile üretilmiş betonların; elektriksel direnç, klorür geçirimsizliği ve klorür penetrasyon derinlikleri üzerine çalışmışlardır. Güneyisi vd. (2003), yaptıkları diğer bir çalışmada çimento tipinin korozyon hızına etkisini incelemişlerdir. Türkel ve Erten (2011), deniz suyunun çimento tipine deniz suyunun etkisi üzerine çalışma yapmışlardır.

Yapılmış olan çalışmalar çimento tipinin genellikle betonun durabilite problemleri karşısındaki davranışlarına yöneliktir. Birçok durabilite problemi üzerine de çalışma yapılmıştır. Fakat çimento tiplerinin betonun karbonatlaşmasına etkilerinin kıyaslandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden yapılan bu çalışmada Türkiye’de üretilen farklı tipteki çimentolar ile üretilen betonların karbonatlaşma performansları incelenmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

## 2. Malzeme ve Metod

### 2.1 Malzeme

Çalışmada ana bağlayıcı olarak Elazığ çimento fabrikasından temin edilen TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5N Portland çimentosu, CEM II 42,5N Portland-Kompoze çimentosu, CEM IV 32,5R Puzolanlı çimento çeşitleri kullanılmıştır. Ayrıca Ankara çimento fabrikasından CEM II 32,5R Portland-Kompoze çimento, Samsun çimento fabrikasından da CEM V 32,5R Kompoze çimento temin edilmiştir. Kullanılan bu çimentoların karma bileşen değerleri ve fiziksel özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Elazığ ili Palu yöresinden temin edilen, ince (0–4 mm) kum ve iri (4–16 mm) agregaya kullanılmıştır. Beton karışımları %65 ince, %35 iri agregaya olacak şekilde hazırlanmıştır. Agregaların birim ağırlığı 2,5 (g/cm<sup>3</sup>) ve su emme miktarları ise % 3,1dir. Çalışmada kullanılan agregaya ait granülometri dağılımı Tablo 2’de verilmiştir. Beton karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Karma Bileşenler (%)	CEM I 42,5 N	CEM II 42,5 N	CEM II 32,5 R	CEM IV 32,5 R	CEM V 32,5 R
SiO <sub>2</sub>	19,48	21,17	23,18	25,30	23,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,57	5,92	6,35	7,30	6,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,80	4,46	5,27	5,97	5,89
CaO	61,87	56,96	52,91	48,20	46,93
MgO	2,08	1,83	1,53	2,36	2,09
SO <sub>3</sub>	2,97	3,43	2,40	2,81	2,73
Na <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
Blaine	3702	4101	4320	4284	4383
Kalker	5,67	5,87	4,55	4,62	4,35
Kızdırma kaybı	2,75	3,57	3,47	3,37	3,25
Yoğunluk,(gr/cm <sup>3</sup> )	3,13	3,11	3,00	2,99	2,85

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan agrega granülometrisi

Elek Boyutu ,(mm)	16	8	4	2	1	0.50	0.25
Elekten Geçen, (%)	100	78	65	46	30	16	8

## 2.2 Metot

5 çeşit çimento ile hazırlanan 5 farklı beton serisinin Tablo 3’de verilen karışım oranları TS 802 standardına göre hesaplanmıştır. Karışımların hazırlanması esnasında herhangi bir kimyasal katkı maddesi kullanılmamıştır.

**Tablo 3.** 1 m<sup>3</sup> beton için karışım miktarları, (kg)

Seriler	Su	Çimento	İnce Agrega (0-4 mm)	İri Agrega (4-16 mm)
CEM I 42,5N	160	400	1233	664
CEM II 42,5N	160	400	1231	663
CEM II 32,5R	160	400	1223	658
CEM IV 32,5R	160	400	1222	658
CEM V 32,5R	160	400	1210	652

Hazırlanan betonlar 100 mm’lik küp kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıba yerleştirildikten 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler 23±2 °C’de kirece doymun suda gerekli olan kür süreleri boyunca kür edildi.

### 2.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri

İlk olarak 3 ve 7 günlük kürü tamamlayan numunelerin birim ağırlık ve basınç dayanımları tespit edilmiştir. Daha sonra 28 günlük kürü tamamlayan numunelerin karbonatlaşma öncesi birim ağırlık, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerleri tespit edilmiştir.

28 günlük kürünü tamamladıktan sonra etüvde kurutulan numunelerin geçiş hızlarının tespiti için sesüstü dalgaların betonun içinden geçme süresini ölçmek üzere tertiplenmiş olan pundit cihazı kullanıldı. Bu cihaz ile dalga gönderici ve alıcı başlıklar arasında kalan, yüzeyleri temiz numunelerden sesüstü dalgaların ne kadar zamanda geçtiği otomatik olarak belirlendi ve (1) numaralı formül ile dalga hızı hesaplandı.

$$V = (S/t) * 10^6 \quad (1)$$

(1) numaralı formülde yer alan; V = Sesüstü dalga hızı, (metre/saniye), S = Beton bloğun sesüstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe, (metre), t = Sesüstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden alındığı yüzeye kadar geçen zaman (mikrosaniye), dır.

Tahribatsız deneyler bittikten sonra serilerin karbonatlaşma deneyi öncesi basınç dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Bu nedenle her kür yaşı için 3'er adet numune kırılarak ortalamaları alınmıştır.

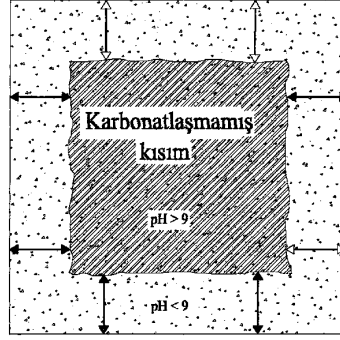
Her seri için 3 adet numune hızlandırılmış karbonatlaşma deneyi için ayrılmıştır. Hızlandırılmış karbonatlaşma testi için deney aparatı hazırlanarak önce gaz sızdırmazlığından emin olmak için %60 hava, %40 karbondioksit gazı verilerek 3 gün beklenmiştir. Üç günlük süre içerisinde manometredeki değer azalmaması aparatın her hangi bir şekilde gaz sızdırmazlığının olmadığını kanıtlamıştır.

Daha sonra belirlenen zaman dilimleri doğrultusunda 1, 3 ve 7 günlük olmak üzere hızlandırılmış karbonatlaşma test tekniği ile karbonatlaşma değerlerine bakılmıştır. Bütün zaman dilimlerinde aynı şartlar korunmuştur. Deney düzeneğine %60 hava %40 karbondioksit gazı verilmiş, 40 derece sıcaklık ortamı hazırlanmış ve tank içindeki %55 nem ortamını sağlamak için İstanbul kimyasal maddeler fabrikasından temin edilen sodyum dikromat kullanılmıştır ve tank içindeki sirkülasyonu sağlayan fan açılmıştır.

Zaman dilimlerine göre aparat içerisinde çıkarılan beton numuneler basınç dayanım presi yardımıyla ortadan iki eşit parçaya bölünmüştür. Bölünen parçalara baz indikatörü olan fenol fitalein çözeltisi püskürtülerek numunedeki renk değişimi gözlenmiştir.

Fenol fitalein hidrasyon ürünü olan  $Ca(OH)_2$  ile tepkimeye girerek ortamın pembe bir renk almasına neden olur. Numunelerin karbonatlaşma meydana gelen kısımlarında renk değişimi gözlenmez. Çünkü  $Ca(OH)_2$ ,  $CO_2$  ile tepkimeye girmiş olduğundan ortamın pH değeri 11-12,5 değerinden 8-9 gibi değerlere düşmüştür. Böylece ortamda fenol fitalein'in tepkimeye girerek pembe renge dönüştüreceği  $Ca(OH)_2$  bulunmaz.

Fenol fitalein çözeltisi püskürtülerek karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm şekli Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 3.** Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi (Yazıcıoğlu vd.,2003)

Beton numuneleri üzerinde renk değiştirmeyen kısımların derinlikleri ölçülerek ortalama karbonatlaşma derinliği (D) hesaplanmıştır. Bu tip ölçüm daha önce Ramezianpour (1987), Claisse (1998) ve Paillere (1986) tarafından kullanılmıştır.

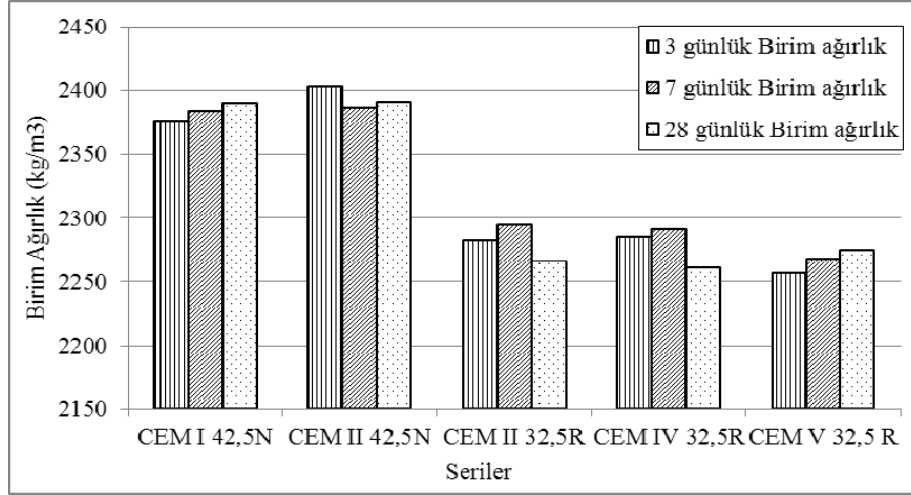
### 3. Bulgular ve Tartışma

Farklı beton serilerinin farklı kür sürelerine göre birim ağırlıkları, Tablo 4'te verilmektedir.

**Tablo 4.** Karbonatlaşma öncesi beton serilerin farklı kür sürelerine göre birim ağırlıkları, (kg/m<sup>3</sup>)

Beton Seriler	3 günlük Birim ağırlık	7 günlük Birim ağırlık	28 günlük Birim ağırlık
CEM I 42,5N	2376	2384	2389,5
CEM II 42,5N	2402,4	2386,5	2390,5
CEM II 32,5R	2282,2	2294,2	2266,5
CEM IV 32,5R	2285	2291	2260,8
CEM V 32,5 R	2256,5	2268,2	2275,1

Kür yaşı ilerledikçe devam eden hidrasyon süreci içerisinde yeni oluşan C-S-H (Kalsiyum-Silikat-Hidrat) jelleri ve CH (Ca(OH)<sub>2</sub>) gibi hidrasyon ürünlerinden dolayı beton birim ağırlığının kür yaşının ilerleyişine paralel olarak artması beklenen bir seyirdir. Tablo 4 incelendiğinde ilk kür yaşlarında bu seyir çok takip edilemese de 28. günde birim ağırlığın 3. güne göre artış gösterdiği görülmektedir. Yine diğer numunelere kıyasla CEM I 42,5N ve CEM II 42,5N ihtiva eden serilerin birim ağırlıkları diğer serilerden daha yüksek çıkmıştır. Bu durum bu iki çimentonun diğer türlere oranla daha fazla kalker ihtiva etmesinden kaynaklanabilir. Çünkü daha fazla kalker ihtiva etmesi hidrasyon ürünlerinin de daha fazla olmasını sağlamıştır.



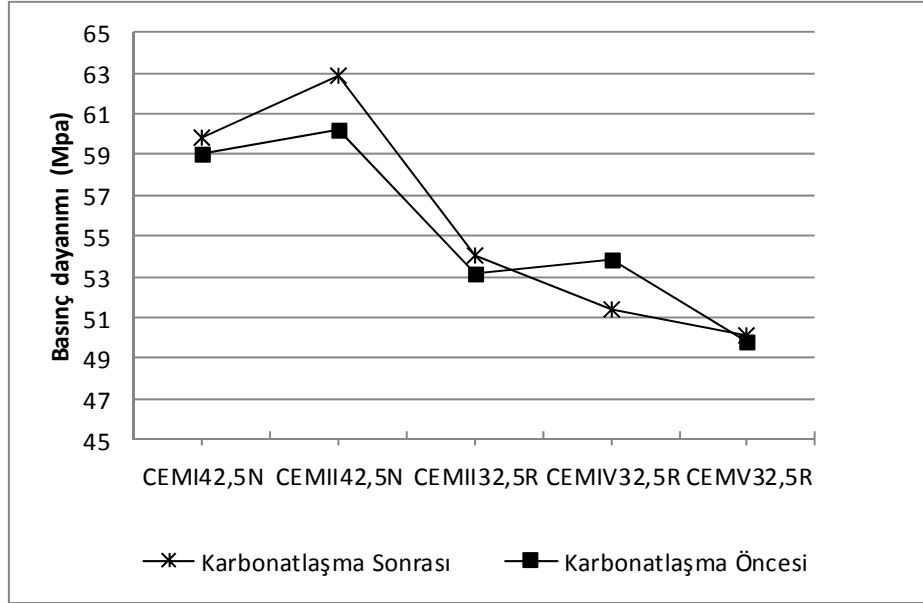
**Şekil 4.** Karbonatlaşma sonrası beton serilerin birim ağırlıkları (kg/m<sup>3</sup>)

Sadece 28 günlük kür edilen numuneler karbonatlaşma deneyine tabi tutulmuştur. Numunelere 1, 3 ve 7 gün olmak üzere 3 farklı süre karbonatlaşma deneyi uygulanmış ve daha sonra birim ağırlıklar kaydedilmiştir. Bu veriler toplu olarak Şekil 4'te verilmektedir. Birim ağırlıkların değişim trendi karbonatlaşma sonrası da değişmemiştir. Yine CEM I 42,5N ve CEM II 42,5N ihtiva eden serilerin birim ağırlıkları diğer serilerden daha yüksek çıkmıştır. Karbonatlaşma öncesinde tüm serilerin ultrases geçiş hızları Tablo 5'te verilmektedir. Tüm serilerin ultrases geçiş hızlarına bakıldığında CEM I 42,5N ve CEM II 42,5N tipi çimentolarla oluşturulan serilerin ultrases geçiş hızları yüksek çıktığı görülmektedir.

**Tablo 5.** Beton serilerin ultrases geçiş hızları

Beton Seriler	Ultrases Geçiş Hızları (m/sn)
CEM I 42,5 N	4585.32
CEM II 42,5 N	4564.28
CEM II 32,5 R	4385.96
CEM IV 32,5 R	4361.09
CEM V 32,5 R	4310.34

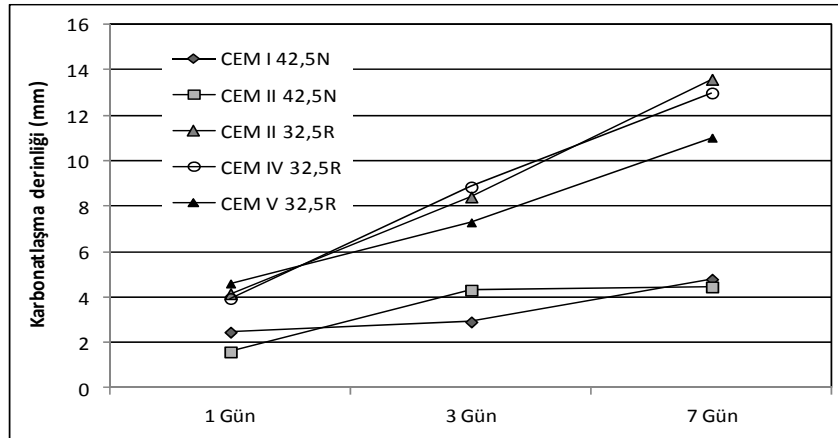
Tüm beton serilerinin karbonatlaşma öncesi ve sonrasında tespit edilen basınç dayanımı değerleri toplu olarak Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Karbonatlaşma öncesi ve sonrası beton serilerinin beton basınç dayanımları (N/mm<sup>2</sup>)

Hem ultrases değerleri hem de basınç dayanımları incelendiğinde, karbonatlaşma öncesinde CEM I 42,5N ve CEM II 42,5N tipi çimentolarla oluşturulan serilerin 28 günlük basınç dayanımlarının diğer serilere göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Ultrases değerleri ile basınç dayanımı değerlerinin paralellik göstermesi beklenen bir durumdur. Sesüstü dalga hızı ne kadar az boşluğa rastlarsa o kadar kısa sürede ilerler ve ultrases geçiş hızı değerleri yüksek olur. Betonun geçirimsiz olması dayanımının da yüksek olmasını beraberinde getirmektedir.

Şekil 5, karbonatlaşma öncesi ve sonrası basınç dayanımları değişimleri bakımından incelendiğinde, az da olsa bazı serilerin karbonatlaşma sonrası dayanımlarının arttığı görülmektedir. Betonda karbonatlaşma reaksiyonunun ürünü olan  $\text{CaCO}_3$ 'ün ortaya çıkmasıyla karbonatlaşan kısımlarda yoğunluk artışı gerçekleşmiş ve yüzeydeki bu yoğunluk artışı dayanımda az da olsa artış ile kendini hissettirmiştir. Bu durum literatür ile de uyumludur. Çünkü Erdoğan (2003), karbonatlaşma olayı sonucunda serbest kalan suyun, çimentonun hidratasyonuna yardımcı olarak dayanımda bir miktar artış meydana getirebileceğini belirtmiştir.



Şekil 6. Farklı tip çimentoların karbonatlaşma derinlikleri

Yapılan hızlandırılmış karbonatlaşma deneyi sonrasında ölçülmüş olan karbonatlaşma derinlikleri Şekil 6'da toplu olarak verilmektedir. Şekil 6 incelendiğinde, 5 farklı tip çimento ile üretilen beton serilerinde, karbonatlaşma derinliği süre ile birlikte arttığı fakat artış ivmesinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu durum literatür ile de uyumludur. Şöyle ki Gönen ve Yazıcıoğlu yapmış oldukları bir çalışmada benzer sonuca ulaşmış ve bu durumu; betonda karbonatlaşma reaksiyonunun ürünü olan ve yerini aldığı  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'den hacimce büyük olan  $\text{CaCO}_3$  kristallerinin çimento hamurundaki kapiler boşlukların içerisine yerleşerek nispeten daha geçirimsiz bir beton oluşturmasına bağlamışlardır. Karbonatlaşan kısımlarda yoğunluk artması ve geçirimsizliğin azalması sonucu karbondioksit girişi yavaşlamıştır (Gönen ve Yazıcıoğlu 2004).

CEM I 42,5N ve CEM II 42,5N tipi çimentolarla oluşturulan serilerin karbonatlaşma derinlikleri tüm günler için de diğer serilerden daha düşük çıkmıştır. Bu durum muhtemelen bahsi geçen bu iki tip çimentonun klinker miktarının diğer üç serininkinden daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

5 farklı çimento tipinin kullanımıyla hazırlanan 5 seri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda;

- 3 ila 28 günlük kür periyodlarında hidrasyon ürünlerindeki artışa paralel olarak birim ağırlıklarda artış tespit edilmiştir.
- Yine kalker oranı bakımından zengin olan çimento ile üretilen beton serilerinin birim ağırlıklarının diğer serilerden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Kalker oranının fazlalığı, hidrasyon ürünlerinin de fazla olması sonucunu beraberinde getirmiştir.
- 42,5 N tipi çimento ile üretilen beton serilerinin basınç dayanımları karbonatlaşma öncesi ve sonrası diğer serilerden daha yüksek çıkmıştır. Bu sonucu ultrases geçiş hızı değerleri desteklemektedir.
- Genelde serilerin karbonatlaşma olayı basınç dayanımını az da olsa arttırmıştır. Karbonatlaşma olayı sonucunda serbest kalan su, çimentonun hidrasyonuna katkıda bulunarak dayanımda bir miktar artış meydana getirmiştir.
- Karbonatlaşma derinliklerinin karbonatlaşma süresinin artışı ile birlikte arttığı fakat ivmesinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum, karbonatlaşma sonucu  $\text{CaCO}_3$  kristalleri çimento hamurundaki kapiler boşlukların içerisine yerleşerek nispeten daha geçirimsiz bir beton elde edilmesi sonucu karbondioksit girişinin yavaşlamasından kaynaklanmaktadır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışmaya TEF.11.03 nolu yüksek lisans projesi kapsamında maddi destek sağlayan FÜBAP (Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri) birimine teşekkür ederiz.

#### 6. Kaynaklar

- Atiş, CD., (2003), Accelerated Carbonation and Testing of Concrete Made with Fly Ash, Construction and Building Materials, 17(3), 147-152.
- Byfors K., (1985), Carbonation of concrete with silica fume and fly ash. Oslo: Nordic Concrete Research, Publication no. 4; 1985. p. 26–35.



- Claisse PA., (1998), The Properties and Performance of High Strength Silica Fume Concrete . PhD Thesis, The University of Leeds, UK, 1998.
- Erdoğan, T.Y., (2003), Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 135s.
- Gönen, T., Yazıcıoğlu, S.,(2004), “Farklı Nem Ortamlarındaki Betonlarda Karbonatlaşma Gelişimi, F.Ü.FEN ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16, 367-373.
- Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., (2007), The influence of mineral admixtures on the short and long-term performance of concrete, Building and Environment, 3080-3085.
- Güneyisi E., Özturan T., Gesoğlu M., (2004) Farklı Çimento Tipi Kullanımının Betonun Durabilite Özellikleri Üzerine Etkileri, Bildiriler Kitabı 17. Teknik Kongre, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, Nisan 2004, ss.460-463.
- Güneyisi E., Özturan T., Gesoğlu M., (2003) Farklı Çimento Tipleri Kullanılarak üretilen Beton İçindeki Donatının Korozyonunun Hızlandırılmış Deney İle İncelenmesi, Bildiriler Kitabı, 5. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, Ekim 2003, ss.237-246
- Ho DWS, Lewis RK. Carbonation of concrete incorporating fly ash or a chemical admixture. In: Proceedings of the first international conference on the use of fly ash, silica fume, slag and other mineral by-products in concrete. Canada: SP-79; 1983. p. 333–46.
- Karaduman, N. 2008, Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklıklara Direnci, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.
- Koç, T., (2002), Depremde Binaların Çoğu Korozyondan Yıkılmış, Arkitera Haber Bülteni, sayı 60.
- 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.
- Ramezani pour AA., Properties and Durability of Pozzolanic Cement Mortars and Concretes, PhD Thesis, Civil Engineering Department, The University of Leeds, UK, 1987.
- Taşdemir, M.A., (2002), Betonun Dayanım ve Durabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi, IMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, Harbiye-İstanbul.
- TS EN 197-1, (2002), Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 25s.
- Türkel S., Alabaş V., (2002), İki Farklı Çimento İle Üretilen Betonların Basınç Dayanımına Değişik Buhar Kürü Uygulama Sürelerinin Etkileri, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu.
- Türkel S., Erten T. E., (2011), Deniz Suyunun Farklı Tip Çimentolarla Yapılan Harçlara Etkisi, DEU Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 13 Sayı: 3 sh. 1- 11.
- Xiao , J., Li, J., Zhu, B., Fan, Z., (2001), Experimental Study an Strength and Ductility of Carbonated Concrete Elements, Construction and Building Materials, 16,187-192.
- Yazıcıoğlu, S., Arıcı E., Gönen, T., Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonda Karbonatlaşmaya Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul İMO, 261-268, 2003.