

EFFECT OF USING WASTE MARBLE DUST AND GLASS FIBER ON CARBONATION DEPTH OF CONCRETE

Servet YILDIZ
Fırat Üniversitesi
syildiz@firat.edu.tr

Leyla GÜLAN
Fırat Üniversitesi
leylagulan@gmail.com

Oğuzhan KELEŞTEMUR
Fırat Üniversitesi
okelestetemur@firat.edu.tr

ABSTRACT: In this study, effect of the using waste marble dust and glass fiber in concrete on carbonation depth has been investigated. For this purpose, 25 various concrete series has been prepared by adding glass fiber by weight 0.25, 0.50, 0.75 and 1 kg/m³ and by substituting waste marble dust with filler material by volume 25%, 50%, 75% and 100% in concrete. For compare among the concrete specimens, each series have been subjected to 40% carbon dioxide in gas tightness tank for different time period (7, 14 and 28 days) and their carbonation depths have been determined. As a result of this study, it is determined that the carbonation depth of the concrete decreased depending on the increase of the marble dust ratio and carbonation depth also increased depending on increase of the glass fiber ratio using in concrete.

Key words: Concrete, Glass Fiber, Marble dust, Carbonation depth.

ATIK MERMER TOZU VE CAM ELYAF KULANIMININ BETONDAKI KARBONATLAŞMA DERİNLİĞİNE ETKİSİ

ÖZET: Bu çalışmada, betonda atık mermer tozu ve cam elyaf kullanımının karbonatlaşma derinliği üzerine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ağırlıkça 0,25, 0,50, 0,75 ve 1 kg/m³ oranlarında cam elyaf ile agregaya dolgu (filler) malzeme yerine hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında atık mermer tozu ilave edilerek 25 farklı beton serisi hazırlanmıştır. Elde edilen beton numuneler üzerinde karbonatlaşma derinlikleri arasındaki ilişkiyi desteklemek ve aralarında kıyaslama yapabilmek amacıyla her seri, farklı zaman periyodunda (7, 14 ve 28 gün) gaz sızdırmaz tankta %40 karbondioksitli ortamda bekletilmiş ve karbonatlaşma derinlikleri belirlenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde, betonda kullanılan mermer tozu miktarındaki artışa bağlı olarak karbonatlaşma derinliğinin azaldığı, cam elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak da karbonatlaşma derinliğinin arttığı belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Beton, Cam elyaf, Mermer tozu, Karbonatlaşma derinliği.

GİRİŞ

Günümüzde beton üretiminde, hem maliyeti azaltmak hem de yüksek performans elde etmek amacıyla birçok araştırma yapılmaktadır. Çağımızda hızlı bir endüstrileşme ile birlikte malzeme ve enerji tasarrufuna verilen değer de artmaktadır. Bununla birlikte atık olarak doğaya terk edilen ve doğanın daha çok kirlenmesine neden olan birçok yan ürün oluşmaktadır. Bu ürünlerin birçoğunun malzeme özellikleri açısından inşaat sektöründe değerlendirilebileceği, yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Mevcut malzemelerin geliştirilmesi ve atıl malzemelerin değerlendirilmesi, hem ekonomi sağlamakta hem de çevreye verilen zararı azaltmaktadır [1].

Bu anlamda; betonun işlenebilirliği ve geçirimsizlik üzerinde ince malzemenin belirli bir kısmı farklı malzemelerle değiştirilmesi yönündeki çalışmalar yaygınlaşmıştır. Mermer işletmelerinde açığa çıkan ve

değerlendirilemeyen mermer havuz çökelti malzemesi yapısal olarak agrega dolgu malzemesine benzemektedir. Bu açıdan, havuz çökeltileri ve diğer kırıntı mermerlerin çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi ekonomi ve çevresel kirliliğini önlemesi açısından önemli yarar sağlayabilir [2].

Betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini mineral, kimyasal katkılar ve atık malzemeler ile iyileştirilmesinin yanı sıra çeşitli lifler de kullanılmaktadır. Lifler, betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacıyla, taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik oranlarda katılan polipropilen, cam, plastik ve çelik gibi değişik malzemelerden farklı tip, özellik ve boyutlarda üretilmektedirler. Lifleri tanımlayan en önemli öge lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Lif tipi, uzunluğu, çapı, geometrik yapısı ve lifin çekme gerilme dayanımı önemli özelliklerindendir. Katılan liflerin karışımda homojen olarak dağılması ve karışımdan sonra bu dağılımın korunmasının sağlanması da liflerin betonun özellikleri üzerinde yapacağı iyileştirmeyi doğrudan etkilemektedir [3].

Betonun yerleştirilip döküldükten sonra bile zamanla dış etkilere maruz kalması sonucunda, ortam şartlarına göre kendi iç yapısında önemli değişimler meydana gelebilir. Bu değişimlerden biri karbonatlaşmadır. Karbonatlaşma atmosferdeki karbondioksit ile betonun bünyesinde bulunan kalsiyum hidroksitin reaksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Betonarme betonun içine gömülü olan çelik, betona büyük ölçüde alkaline özelliği veren kalsiyum hidroksit sayesinde korozyondan korunur. Karbonatlaşma sonucu betonun alkaline özelliği kaybolur ve çelik paslanır. Bu olay betonarme elemanların servis ömrünü belirleyen ana faktörlerden biridir [4].

Malami (2014), çalışmada, Kıbrıs'ta gerek kıyı gerekse de iç bölgelerde bulunan 8 bina üzerinden karot numuneler alarak basınç dayanımına, yoğunluk ve karbonatlaşma derinliğine bakmıştır. Bulgular, iç kesimlerdeki binalarda karbonatlaşma oranının kıyı kesimlerdeki binalara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir [5].

Bernal ve ark., (2014), normal betonlara kıyasla alkaliyle aktive cürufu betonun geçirimsizlik özellikleri nedeniyle doğal atmosferik koşullarda daha yavaş karbonatlaşma reaksiyonu verdiklerini belirtmişlerdir [6].

Limbachiya ve ark., (2012), kaba atık beton agregadan farklı oranlarda olmak üzere, normal doğal agregalı betonla benzer 28 günlük dayanım verecek şekilde dizayn etmek istemiştir. Farklı kaynaklardan aldığı atık betonu %30, %50 ve %100 oranlarında olacak şekilde kullanmış ve çeşitli su/çimento oranlı ve farklı dayanım sınıflarında beton karışımlar hazırlamıştır. Portland çimentosu, silis dumanı ve atık agregalı betonun mekanik özellikleri ve dayanıklılık performansını incelemiştir. Sonuç olarak; kaba atık beton agregalı betonun su/çimento oranındaki azalma, basınç dayanımını, klorür ve karbonatlaşma direncini arttırmıştır [7].

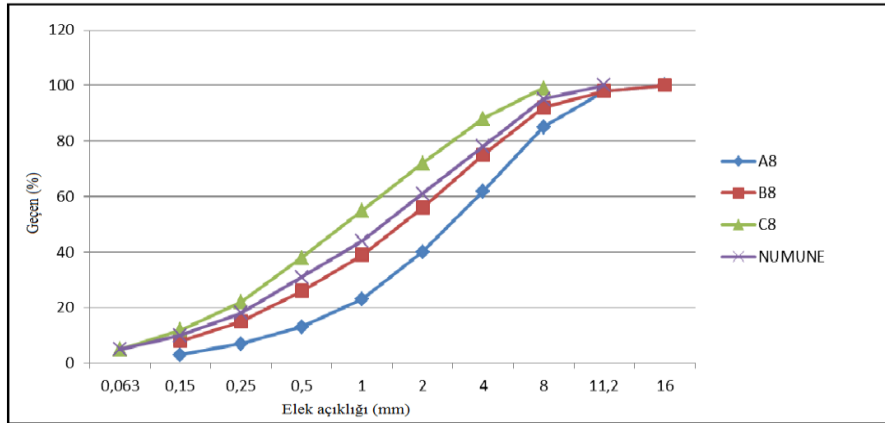
Yapılan literatür araştırmasında, atık mermer tozu ve cam elyaf katkısının birlikte kullanımı neticesinde elde edilen beton numunelerin karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada; mermer tozu ve cam elyaf katkısının birlikte kullanımıyla, betonda oluşabilecek karbonatlaşma derinliğinin analizi için 25 farklı beton serisi hazırlanmıştır. Farklı zaman periyotlarında (7, 14 ve 28 gün) karbonatlaşmaya maruz bırakılmış ve karbonatlaşma derinlikleri ölçülerek, beton serileri arasında kıyaslama yapılmıştır. Çalışma, zaman açısından tasarruf kazanılması nedeniyle hızlandırılmış karbonatlaşma test tekniği kullanılarak yapılmıştır.

Malzeme

Beton numunelerinin hazırlanması amacıyla, agrega olarak Elazığ Palu yöresine ait yıkanmış, maksimum tane büyüklüğü 8 mm olarak seçilmiş dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agreganın kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Agrega; 0-0,25 mm, 0,25-4 mm ve 4-8 mm olmak üzere üç sınıfa ayrılarak kullanılmıştır. Elek aralıklarına göre sınıflandırılan agreganın granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan Agreganın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal özellikler (%)					Fiziksel özellikler
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Yoğunluk(g/cm ³)
49,87	12,24	11,56	18,76	7,57	(ölçülme)



Şekil 1. Kullanılan Agreganın Granülometri Eğrisi

Deney numunelerinin hazırlanmasında, Elazığ'ın Altınova Çimento Fabrikası'ndan taze olarak temin edilen CEM I 42,5 N çimento tipi kullanılmıştır. Uygun koşullarda saklanan çimento, belirli süre içinde bozulmaya uğramadan tüketilmiştir. Çalışma sırasında kullanılan çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Çimentoya Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Çimento CEM I 42,5 N			
Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler	
S(SiO ₂)	21.12	Yoğunluk(g/cm ³)	3.13
A(Al ₂ O ₃)	5.62	Özgül yüzey(cm ² /g)	3370
F(Fe ₂ O ₃)	3.24	Priz başlama süresi(dk)	168
C(CaO)	62.94	Priz bitiş süresi(dk)	258
MgO	2.73	Basınç Dayanımı	
SO ₃	2.30	2. gün(MPa)	25.8
Na ₂ O	--	7. gün(MPa)	41.8
K ₂ O	--	28. gün(MPa)	50.7
Cl	0.009		
Kızdırma kaybı	1.78		

Beton numunelerde lif katkısı olarak, Camelsan Sanayi A.Ş. tarafından üretilen kırılmış 12 mm'lik cam lif kullanılmıştır. Kullanılan cam life ait özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

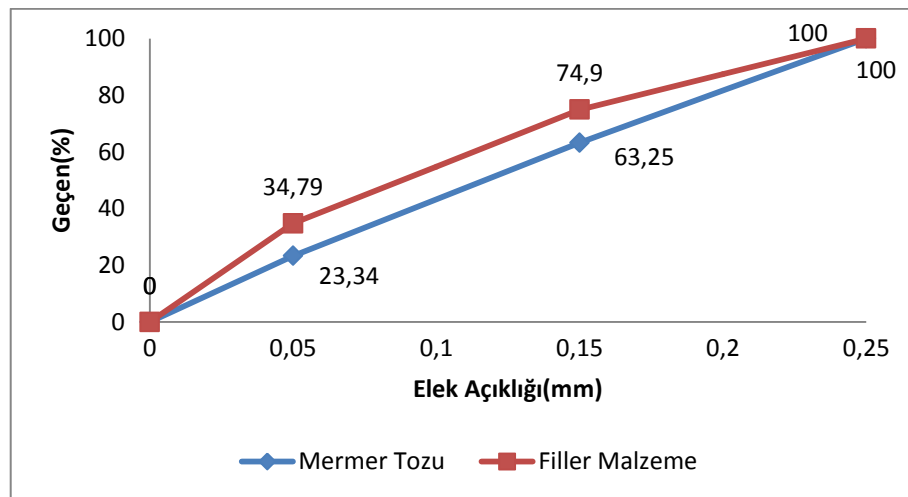
Tablo 3. Kullanılan Cam Life Ait Özellikler

Lif Çeşidi	Lif Boyu (mm)	Lif Çapı (µm)	Özgül Ağırlık (mg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Cam	12	14	2,68	72000	1700

Çalışmada kullanılan atık mermer tozu, Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi'ne ait mermer üretim atölyesindeki çökelti havuzundan alınarak 105°C lik sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Elde edilen mermer tozu 0,25 mm açıklıklı elekten elenerek, agrega dolgu malzeme olarak kullanılmıştır. Tablo 4'te, kullanılan atık mermer tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri yer almaktadır. Şekil 2'de mermer tozu ve ince agreganın granülometri eğrisi verilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan Atık Mermer Tozunun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal özellikler					Fiziksel özellikler	
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Özgül yüzey (cm ² /g) (Blaine)	Yoğunluk(g/cm ³) (özellik ağı.)
12,67	1,07	3,79	40,44	10,84	5750	2,78



Şekil 2. Mermer Tozu ve Ince Agreganın Granülometri Eğrisi

Beton numunelerin üretimi esnasında cam elyaf ilavesine bağlı olarak artan su ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen, Sika ViscoCrete Hi-Tech 28 ürün kodlu polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı, hiper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi TSE EN 943-2'de belirtilen standartlara uygun olarak kullanılmıştır [8].

Karbonatlaşma deneyinde tankın içindeki nem miktarını % 60±5 seviyesinde tutabilmek amacıyla kullanılan sodyum dikromat tuzu Tekkim Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından temin edilmiştir. Bu tuz 1 litre suda doygun hale gelene kadar karıştırılmıştır. Daha sonra gaz sızdırmaz tankın içine yerleştirilerek ortamın nemi % 60±5 arasında tutulmuştur [9].

Deneyisel çalışma sürecinde, karışım sırasında ve karışımdan sonra kürede kullanılmak üzere, TS EN 1008'de belirtilen standartlara uygun olarak şehir şebeke içme suyu kullanılmıştır [10].

YÖNTEM

TS 802 'de belirtilen karışım esaslarına göre 25 farklı beton karışımı hazırlanmıştır [11]. Cam elyaf bulunan numuneler (CE), mermer tozu bulunan numuneler (MT) olarak kodlanmıştır. Numunelere katılan MT %25,

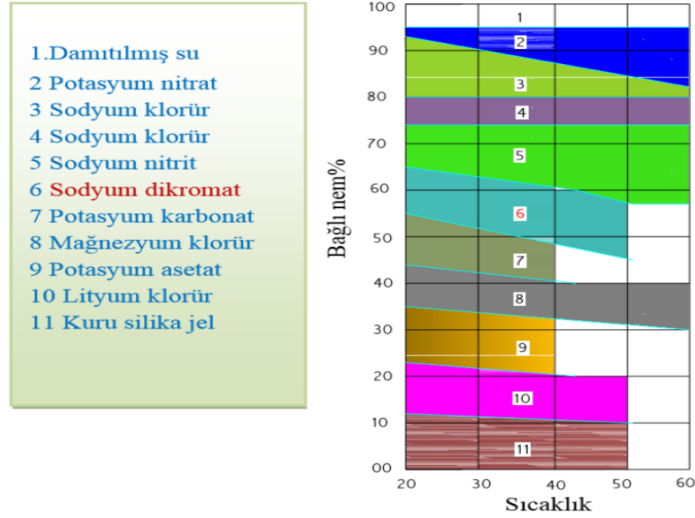
%50, %75 ve %100 oranlarında agrega dolgu malzeme ile hacimce yer değiştirilerek kullanılmıştır. Beton numunelerinin üretimi sırasında karışıma; 0,25, 0,50, 0,75 ve 1 kg/m³ oranlarında ağırlıkça kırılmış 12 mm boyunda CE ilave edilmiştir. Çimento dozajı 400 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Tüm serilerde sabit olacak şekilde bağlayıcı miktarının %1'i oranında akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Deneyde kullanılan malzemelerin karışım oranları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Deney için hazırlanan numunelere ait karışım oranları (kg/m³)

Seri Adı	Çimento (kg)	Su (kg)	0-0,25 mm agrega (kg)	0,25-4 mm agrega (kg)	4-8 mm agrega (kg)	Mermer tozu (kg)	Cam elyaf (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)
CE0-MT0	5,52	2,88	1,94	18,47	3,89	-	-	0,06
CE0-MT25	5,52	2,87	1,44	18,29	3,85	0,32	-	0,06
CE0-MT50	5,52	2,85	0,95	18,12	3,81	0,64	-	0,06
CE0-MT75	5,52	2,83	0,47	17,95	3,78	0,95	-	0,06
CE0-MT100	5,52	2,81	-	17,78	3,74	1,26	-	0,06
CE0,25-MT0	5,52	2,80	1,94	18,44	3,89	-	0,02837	0,06
CE0,25-MT25	5,52	2,77	1,44	18,27	3,85	0,32	0,02811	0,06
CE0,25-MT50	5,52	2,75	0,95	18,09	3,81	0,64	0,02785	0,06
CE0,25-MT75	5,52	2,73	0,47	17,92	3,78	0,95	0,02760	0,06
CE0,25-MT100	5,52	2,69	-	17,76	3,74	1,26	0,02735	0,06
CE0,50-MT0	5,52	2,87	1,93	18,42	3,89	-	0,05675	0,06
CE0,50-MT25	5,52	2,80	1,44	18,25	3,85	0,32	0,05623	0,06
CE0,50-MT50	5,52	2,77	0,95	18,07	3,81	0,64	0,05571	0,06
CE0,50-MT75	5,52	2,70	0,47	17,90	3,78	0,95	0,05521	0,06
CE0,50-MT100	5,52	2,68	-	17,74	3,74	1,25	0,05471	0,06
CE0,75-MT0	5,52	3,00	1,93	18,40	3,89	-	0,08513	0,06
CE0,75-MT25	5,52	2,98	1,43	18,22	3,85	0,32	0,08435	0,06
CE0,75-MT50	5,52	2,95	0,95	18,05	3,81	0,64	0,08358	0,06
CE0,75-MT75	5,52	2,80	0,47	17,88	3,78	0,95	0,08282	0,06
CE0,75-MT100	5,52	2,70	-	17,72	3,74	1,25	0,08208	0,06
CE1-MT0	5,52	3,10	1,92	18,38	3,89	-	0,11351	0,06
CE1-MT25	5,52	2,90	1,43	18,20	3,85	0,32	0,11247	0,06
CE1-MT50	5,52	2,83	0,94	18,03	3,82	0,64	0,11145	0,06
CE1-MT75	5,52	2,80	0,47	17,86	3,78	0,95	0,11044	0,06
CE1-MT100	5,52	2,78	-	17,70	3,74	1,25	0,10945	0,06

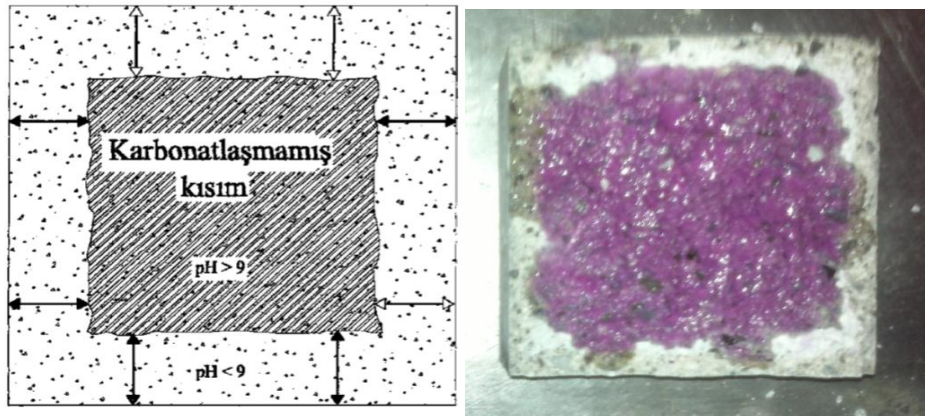
Kalıplardan çıkarılan beton numuneleri 28 gün boyunca 22±3 °C kirece doymun suda kür edilmiştir. Kür süresini tamamlayan numunelerin karbonatlaşma derinliğine bakılması için uygulanacak olan karbonatlaşma deneyinde sonuçların çabuk elde edilmesi için numunelere hızlandırılmış karbonatlaşma testi uygulanmıştır. Bu test

betonun zenginleştirilmiş CO₂ ortamına maruz bırakılmasından ibarettir. Öncelikle 25 farklı serinin 7, 14 ve 28 günlük karbonatlaşma derinliğine bakılması amaçlanmıştır. Bu amaçla hazırlanmış gaz sızdırmaz tankın içindeki ekipmanlar kontrol edilerek numuneler yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Değişik Tuzların Nem Sağlama Miktarları

Tankın içinde gaz miktarının belirlenmesi için manometre, ortamın bağıl neminin kontrolü için termostat ve rezistanslı su kabı, tank içindeki havanın türbülansı için fan ve kontrol paneli bulunmaktadır. Tank içindeki nemin ayarlanmasında Şekil 3'te verilen değişik tuzların nem sağlama miktarlarından yararlanılarak, %65 nem için sodyum dikromat tuzu seçilmiştir [12,13]. Numuneler tankın içine yerleştirilerek tankın kapağı sıkıca kapatılmıştır. Tek yönlü valf aracılığı ile CO₂ dolu tüpten tankın içerisine basınç 0,8 bar (%40 CO₂) olana kadar CO₂ verilmiştir. Numuneler 7, 14 ve 28 gün süreler halinde bekletilmiştir. Tanktan çıkartılarak pres aletinde kırılan numuneler kalıp gören karşılıklı iki yüzeyi doğrultusunda kesilmiş ve kesilen bu yüzey tel fırça ile toz ve gevşek partiküllerden arındırılmıştır. %1 phenolphthaleinin (C₂OH₁₄O₄) %70 etil alkolde çözülmesiyle hazırlanan indikatör kesilen yüzeyin temizlenmesinin hemen ardından yüzeye püskürtülmüş ve yüzeyde oluşan renksiz kısım 0,01 hassasiyetli elektronik kumpas ile Şekil 4'teki gibi sekiz farklı yerden ölçüm alınmıştır [4]. Farklı bölgelerden alınan kalınlıkların aritmetik ortalaması alınarak karbonatlaşma derinliği hesaplanmıştır [14,15,16].



Şekil 4. Karbonatlaşma Derinliğinin Belirlenmesi

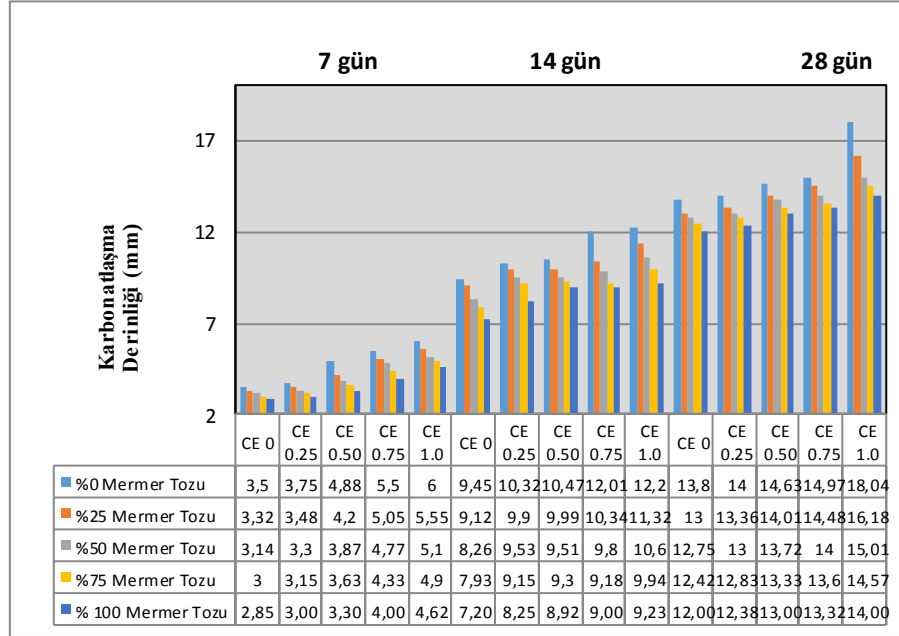
BULGULAR

Karbonatlaşma Derinliği Tayini

Cam elyaf ve mermer tozu oranlarındaki değişime bağlı olarak zamana göre beton numunelerde meydana gelen karbonatlaşma derinlik değerleri Şekil 5' te verilmiştir.

Farklı zaman dilimlerindeki karbonatlaşma derinliklerine bakılan tüm serilerin karbonatlaşmaya karşı gösterdikleri tepkiler farklıdır. Şekil 5'ten görüleceği üzere, karbonatlaşma derinliği az olan yani karbonatlaşmaya karşı en fazla direnç gösteren numuneler mermer tozunun %100 olduğu beton serileridir. En düşük karbonatlaşma derinliği değeri 7 gün karbonatlaşmaya maruz bırakılan CE0-MT100 kodlu numunede, en yüksek değer ise 28 gün karbonatlaşmaya maruz bırakılan CE1-MT0 kodlu numunede görülmüştür.

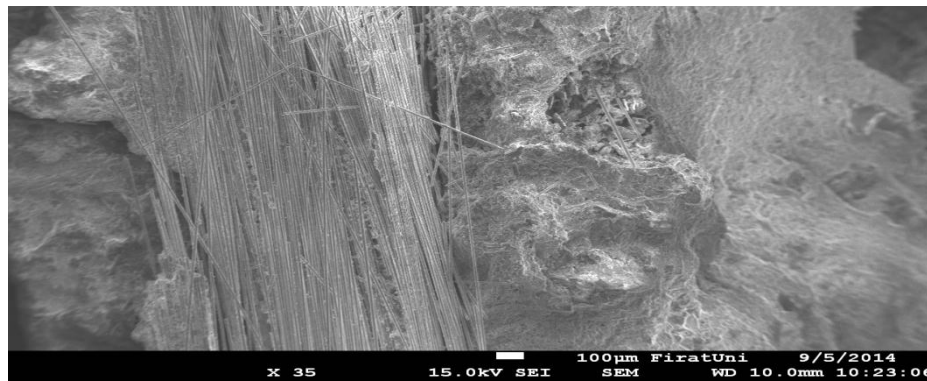
Şekil 5 incelendiğinde mermer tozu oranının artmasıyla karbonatlaşma derinliği azalırken, cam elyaf oranının artmasına bağlı olarak karbonatlaşma derinliğinde artışın meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca karbonatlaşma süresinin artmasıyla da tüm numunelerdeki karbonatlaşma derinliği artmaktadır.



Şekil 5. Numunelerin Karbonatlaşma Derinliği Değerleri

Cam elyafın ince ve düz yapısından dolayı betonda oluşturduğu aderans yetersizliği ve cam elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak yer yer oluşan topaklanmalar boşluk oluşturmakta ve betona CO₂'in daha kolay şekilde girmesini sağlamaktadır. Fakat mermer tozunun agrega dolgu malzemesi ile yer değiştirilerek kullanımından dolayı betondaki boşluklar azalmakta ve daha geçirimsiz bir beton oluşarak CO₂'in girmesini engellemektedir. Çünkü Şekil 2'den de görüleceği üzere mermer tozu agrega dolgu malzemeden daha ince bir malzemedir.

Şekil 6'da CE1-MT0 kodlu numuneye ait SEM resminde cam elyafının miktarındaki artışa bağlı olarak yer yer oluşan topaklanma ve liflerin beton ile yeterli aderans gösteremedikleri açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. Mermer Tozunun Bulunmadığı 1 kg/m³ Cam Elyaf İçeren Beton Numunesinde Karbonatlaşma Reaksiyonu Gerçekleşen Bölgenin SEM Görüntüsü

SONUÇ

Yapılan bu çalışmada sonuç olarak;

- Karbonatlaşmaya maruz bırakılan tüm beton serilerde gün sayısı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin de arttığı görülmüştür.
- Beton numunelerde agrega dolgu malzemesi ile yer değiştirecek şekilde kullanılan mermer tozu miktarındaki artışa bağlı olarak karbonatlaşma derinliği azalmıştır.
- Cam elyaf katlı beton numunelerde cam elyafların beton ile yeterli aderans gösterememesi ve topraklanması gibi nedenlerle lif miktarındaki artışa bağlı olarak karbonatlaşma derinliği de artmıştır.

KAYNAKLAR

- Karahan, O., (2006), *Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri*, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, s.1.
- Ünal O., Kibici A., (2001), *Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması*, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, MERSEM 2001 Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs, Afyon, s.317.
- Halilov, S., (2003), “*Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Lifli Betonların Özellikleri*”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, Ankara, s.38-42, s.64-73.
- Gönen, T. (2003), *Betonda Sıkıştırma Faktörünün Karbonatlaşmaya Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s.1-44.
- Malami, S., (2014), *Experimental Investigations on the Extent of Carbonation Problem in Reinforced Concrete Buildings of North Cyprus*, In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Civil Engineering, Nicosia, s.1.
- Bernal, S., ve ark., (2014), *Natural Carbonation of Aged Alkali-Activated Slog Concretes*, *Materials and Structures*, C. 47, No:4, s.693-707, Haziran.
- Lımbacıya, M. ve ark., (2012), *Performance of Portland/Silica Fume Cement Concrete Produced with Recycled Concrete Aggregate*, *ACI Materials Journal*, C.109, No.1, s.91-97.
- TS EN 934-2, (2002), *Kimyasal Katkılar*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Baharavar, S. R., (2012), *Karbonatlaşmanın Çelik Lifli ve Uçucu Küllü Betonlarda Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yapı Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara s.56.
- TS EN 1008, (2003), *Beton Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları*, TSE Ankara.
- TS 802, (2002), *Beton Karışım Hesap Esasları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Gönen, T., ve Yazıcıoğlu, S., (2005), “*Betonda Hızlandırılmış Karbonatlaşma Deneyi ve Aparatı*”, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic, Cilt: 8, Sayı: 2 s.233-237, Elazığ,
- Perry, J. H., (1963), *Chemical Engineers Handbook*, Kogakusha Company LTD, Tokyo.
- Ramezaniapour, AA., (1987), *Properties and Durability of Pozzolan Cement Mortars and Concretes*, PhD Thesis, Civil Engineering Department, The University of Leeds, UK.
- Claisse, PA., (1998), ‘*The Properties and Performance of High Strength Silica Fume Concrete*’, PhD Thesis, The University of Leeds, UK.
- Gölan, L., (2015), *Atık Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkısının Betondaki Karbonatlaşmaya Etkisi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s.50-52.