

Betonda Atık Mermer Tozu Kullanımının Karbonatlaşmaya Etkisi

(Bu çalışma 2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu(ISBS2015)'nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.)

Salih YAZICIOĞLU^{1*}, Cuma KARA²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar MYO, İnşaat Bölümü, Artvin, Türkiye

(Geliş/Received : 187.08.2016 ; Kabul/Accepted : 03.10.2016)

ÖZ

Son yıllarda çevre kirliliğinin azaltılabilmesi amacıyla atık malzemelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Atık malzemelerin yeniden kullanılabilirliği sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltmakta ve atıkların depolanması sorununu da ortadan kaldırmaktadır. Mermer ocakları ve mermer işleme tesislerinde de her yıl tonlarca mermer tozu atığı ortaya çıkmaktadır. Atık mermer tozunun kullanılabilir olduğu sektörlerden biri de hazır beton sektörüdür.

Bu çalışma da atık mermer tozu kullanımının betonun sürdürülebilirlik ölçütlerinden biri olan dayanıklılığını nasıl etkilediği karbonatlaşma faktörü açısından araştırılmıştır. Farklı oranlarda çimento ile ikame edilmiş atık mermer tozu (MT) katkılı betonların karbonatlaşma derinliklerinin belirlenmesi amaç edinilmiştir. Bu amaca yönelik olarak; % 0, % 5, % 10 ve % 15 MT çimento ile ikameli olmak üzere çökme miktarları aynı olan 4 farklı C30 sınıfı beton karışımı hazırlanmıştır. 28 gün standart kür uygulanan örnekler, 56 gün boyunca karbonatlaşmaya maruz bırakılmış ve karbonatlaşma derinlikleri ölçülmüştür. Karbonatlaşmamış ve karbonatlaşmış numuneler üzerinde ultrasonik test cihazı ile ultrases geçiş hızı ölçümleri yapılmış, kapilerite katsayıları, aşınma ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak, karbonatlaşma en çok % 15 MT içeren örneklerde görülmüş olup, karbonatlaşma deneyi sonrası MT miktarı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin ve basınç dayanımının arttığı, aşınma dayanımı ve kapilerite katsayısının azaldığı elde edilen bulgular arasındadır. Ayrıca, çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla MT'nun beton üretiminde en uygun ikame oranının % 5 olduğu, optimum MT kullanımının betonun sürdürülebilirliğini olumlu etkilediği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Atık Mermer Tozu, Dayanıklılık, Karbonatlaşma.

Effects Of Using Waste Marble Dust In Concrete To Carbonation

ABSTRACT

In recent years, for the purpose of reducing environmental pollution, studies about recycling waste material in construction sector has accelerated. Reusability of waste materials reduces using of limited natural resources and resolves the problem of storing waste materials. Every year, marble quarries and marble processing plants produces tons of waste marble dust. Ready mixed concrete industry is a branch of industry which waste marble dust is usable.

In this study, how using waste marble dust affects durability of concrete-which is one measure of sustainability is researched in carbonation factor. Determining carbonation depth of concrete-which blended waste marble dust (WMD) that substituted with cement at different rates-is taken as a goal. For this goal, four different concrete mix -with the same slump- substituted with 0%, 5%, 10% and 15% WMD is prepared. 28 days standard cured samples were exposed to carbonation for 56 days and their carbonation depths were measured. Samples which has become carbonated and not carbonated, tested with ultrasonic pulse velocity, and their capillary coefficient, compressive strength and abrasion resistance are determined. As a result, carbonation mostly seen in sample which contains 15% WMD. After the carbonation experiment, it's obtained that as WMD amount increases, carbonation depth and compressive strength increases; and it's also obtained that abrasion resistance and capillary coefficient decreases. Furthermore, on the purpose of reducing environmental pollution, it's reached that optimum substitution percent of WMD in concrete production is 5% and the optimum usage of WMD affects sustainability of concrete positively.

Keywords: Concrete, Waste Marble Dust, Durability, Carbonation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda atık olarak meydana çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda atıklardan yeni ürünler elde edilmesi ve/veya bunların katkı maddesi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip

edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği arttırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir [1].

Temel bir yapı malzemesi olan beton, doğası bakımından diğer yapı malzemelerinden ayrılır. Betonun bir bütün olarak doğası, bileşenlerinin özelliklerinin tek tek süperpozisyonu ile elde edilemez. Beton davranışlarının önemli bir bölümü, bu bileşenlerin arasındaki etkileşimler sonucu ortaya çıkmaktadır [2]. Betonun kalitesi, dayanıklılık ve dayanım olmak üzere iki temel kavram ile ifade edilmektedir. Dayanıklılık, betona tesir

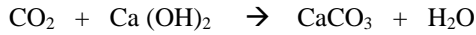
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: syazicioglu@gazi.edu.tr

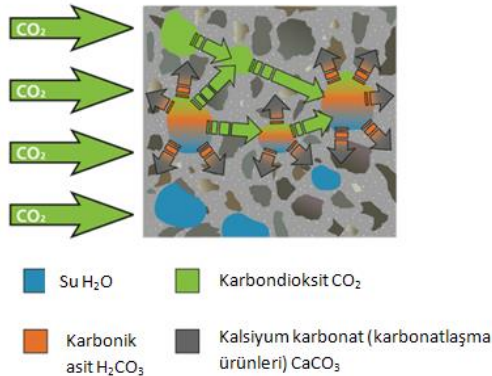
Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.2 369-376

eden iç ve dış etkenlerle oluşan bozulma ile azalma göstermektedir. Bu bozulmalar fiziksel etkenler, mekanik etkenler, kimyasal ve biyolojik etkenler olarak literatürde yer almaktadır. Bu etkenler sonucunda, betonda çatlama, dökülme, kapak atma, dayanım ve rijitlik kaybı, deformasyon meydana gelmektedir [3].

Beton dayanıklılığını etkileyen olaylardan biri de kimyasal etken olan karbonatlaşmadır. Bazı zararlı kimyasal maddeler içeren atmosfer ve su beton ve beton içindeki donatı için zararlı etkileri olan bir ortam oluşturmaktadır. Betonun geçirgenliği ile beraber karbondioksit, yumuşak ve asitlik oranı yüksek sular, klorürlü sular, sülfatlı sular ve deniz suları tehlike oluşturmaktadır [4]. Atmosferde serbest durumda bulunan karbondioksitin nemli ortamlarda, betonda bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girmesi sonucu beton içerisinde CaCO_3 ortaya çıkmakta “karbonatlaşma” adı verilen olay meydana gelmektedir [5,6]. Karbondioksit ve kalsiyum hidroksit arasındaki reaksiyon kimyasal olarak;



formülü ile ifade edilmektedir. Karbonatlaşma sürecinin şematik gösterimi Şekil 1’de görülmektedir [7].



Şekil 1. Karbonatlaşmanın şematik gösterimi (Schematic presentation of carbonation)

Beton karbonatlaşması, betonun geçirgenliği ve ortamdaki nem durumuna bağlıdır. Yapılan araştırmalarla karbonatlaşma oluşumuna etki eden faktörler;

- Boşluk suyu
- Bağıl nem
- Beton sınıfı
- Beton geçirgenliği
- Betonun korumalı olup olmadığı
- Zaman

olarak belirlenmiştir [8].

Karbonatlaşma olayının meydana gelmesi için ortamda bulunan bağıl nem miktarı önemlidir. Beton gözeneklerinde karbonatlaşma % 40 - % 90 arası bağıl nemde meydana gelmektedir. Bağıl nem % 90’un üzerinde olduğunda, gözeneklere karbondioksit girmesi

mümkün değildir. Bağıl nem % 40’ın altında olduğunda ise karbondioksit su içinde çözülmez. Bunun nedeni gaz halindeki karbondioksitin doğrudan karbonatlaşma reaksiyonuna girememesidir. Bazı kaynaklarda ise “bağıl nem oranı % 25’ten küçük ise karbondioksitin karbonik asit haline geçmesi için beton içindeki su yeterli olmaz” şeklinde ifadeler yer verildiği görülmüştür [9].

Şimşek ve Baharavar (2014), %1 oranında çelik lifli ve %0, %10, %20 ve %30 oranlarında çimento ikameli uçucu küllü betonlar ürettikleri çalışmalarında 28 ve 90 günlük numuneleri sodyum dikromat tuzu kullanılarak yaklaşık ± 5 sabit nemde ve 20 ± 2 °C , %1 CO_2 ortamlı kapalı tankta karbonatlaşma etkisine maruz bırakmıştır. Çelik lifin % 1 kullanıldığı karışımlarda karbonatlaşma lifsiz betonlara göre azalma göstermiştir. Bu durum çelik lif ilavesi ile betonların daha az su emmesine bağlanmıştır. Sonuç olarak, uçucu kül ve çelik lif kullanımının karbonatlaşmaya olumlu etki sağladığını belirlemişlerdir [10].

Betonun karbonatlaşma derinliğine kür etkisinin incelendiği bir çalışmada, betonun yaşı ve su/çimento oranı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin arttığı, su içindeki ilk kür süresinin karbonatlaşma için kritik olduğu belirlenmiştir. Su kürü yapılmış ve havada kür edilmiş örnekler arasında karbonatlaşma derinliği açısından büyük fark olduğu, ama bu farkın zamanla azaldığı elde edilen bulgular arasındadır. Havada kür edilmiş örneklerin karbonatlaşma derinliğinin daha fazla olduğu görülmüştür [11].

Küresel iklim değişikliğinin betonarme yapılarda karbonatlaşmadan kaynaklanan korozyonu ve uzun vadede karbonatlaşma derinliğini daha fazla arttıracakları düşünülmektedir. Talukdar ve ark.’a göre, iklim değişikliği 2000’li yıllarda inşa edilen beton yapıların dayanıklılığını çok etkilemese de, yaklaşık 30 yıl sonra gerçek etkileri ortaya çıkacaktır açıklamasını yapmışlardır [12].

Yüksek miktarda çimento içeren betonların, düşük çimento içeren betonlara göre daha az karbonatlaşma meydana geldiği bilinmektedir. Karbonatlaşma olayı ile betonun boşluk miktarı birbiriyle ilişkilidir. Su/çimento oranı arttıkça boşluk artmakta ve geçirimsizlik miktarı yükselmektedir. Bu durum karbonatlaşma miktarının artmasına yol açar. Beton kür edilmesi de boşluk miktarını dolayısıyla karbonatlaşma miktarını etkilemektedir. Uzun süre su kürü yapılmış betonlarda hidratasyon ürünleri boşlukları tıkar böylelikle daha az karbonatlaşma oluşur [13, 14].

Mermer ocakları ve mermer işleme tesislerinde her yıl tonlarca mermer tozu atığı ortaya çıkmakta, bu atıkların değerlendirilmesi çevre kirliliğinin önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Mermer tozu (MT)’nin kullanılabilir olduğu sektörlerden biri de hazır beton sektörüdür. MT’nin gerek ince agrega, gerekse çimento yerine ikame edilerek kullanılabilirliği, dayanım ve dayanıklılığı ile ilgili araştırmalar geçmişten günümüze halen sürmektedir. Ancak Türkiye’de betonda MT kullanımı ve karbonatlaşma ilişkisi üzerine yapılmış

deneysel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı farklı oranlarda mermer tozu ikame edilerek üretilmiş betonlarda karbonatlaşma sonucu meydana gelen fiziksel ve mekanik değişimleri belirlemektir.

2. MALZEMELER VE METOD (MATERIALS AND METHOD)

2.1. Malzemeler (Materials)

Yapılan çalışmada; Limak Ankara çimento fabrikası ürünü olan CEM I 42,5 R çimentosu, Kırşehir yöresi kırmataş agregası, süper akışkanlaştırıcı (SA), atık MT ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

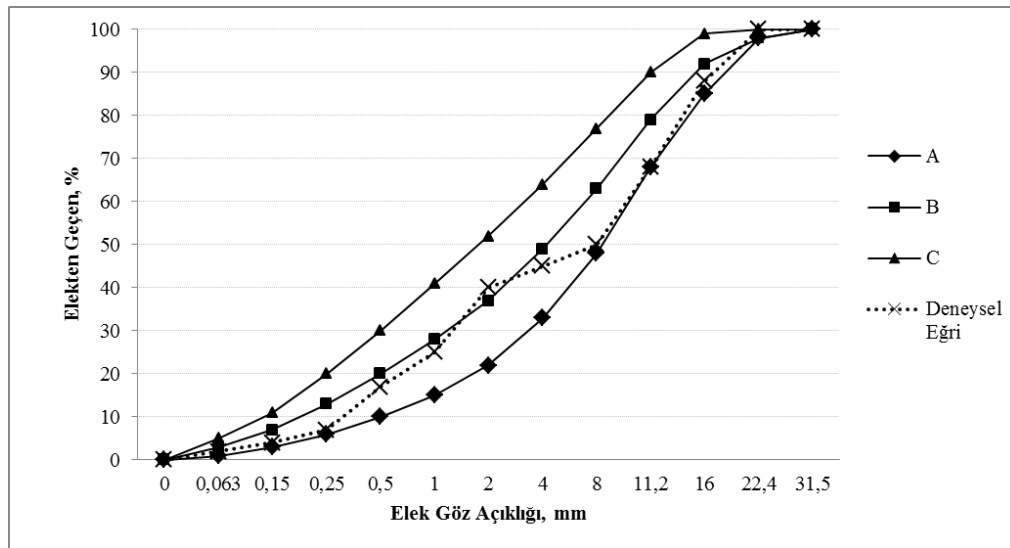
Kırmataş agregalara ait tane dağılımı TS 706 EN 12620+A1 ve TS 706 EN 933-1 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [16, 17]. Granülometri eğrisi Şekil 2’de görülmektedir.

İri ve ince agreganın birim hacim ağırlıkları TS EN 1097-6 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [18]. Agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 2’te verilmiştir.

Çizelge 2. Agregaların fiziksel özellikleri (Physical properties of aggregate)

Fiziksel özellik	Agrega gurubu	Deney sonucu
Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	0-4	2,63
	4-11	2,65
	11-22	2,69
Su Emme Oranı (%)	0-4	1,43
	4-11	0,70
	11-22	0,41

Karışımında kullanılan atık MT Kırşehir Kaman’da bulunan ARP granit ve mermer işletmesine ait çökelti havuzundan çamur halinde temin edilmiştir. MT etüvde 100±5°C’de kurutulmuştur. Tane yoğunluğu 2,73 g/cm³ olan MT 0,125 mm’lik elekten elenmiş ve elekten geçen



Şekil 2. Deneysel Granülometri eğrisi (Experimental Granulometry Curve)

Çizelge 1. CEM I 42,5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (Chemical, physical and mechanical properties of cement) [15]

Analiz	Oksit	Değer	Analiz	Deneysel	Değer	
Kimyasal (%)	CaO	63,50	Fiziksel	Özgül yüzey, cm ² /g	3320	
	Al ₂ O ₃	5,35		Hacim Genleşme, mm	1,2	
	Fe ₂ O ₃	3,30		Su ihtiyacı, gr	28,5	
	SiO ₂	20,41		Yoğunluk, g/cm ³	3,12	
	SO ₃	2,93		Priz baş. sür., dak	163	
	MgO	1,65		Priz bit. sür., dak.	240	
	Na ₂ O	0,15		Mekanik	Gün	MPa
	Cl	0,011			2. gün	28,2
	K ₂	0,71			7. gün	42,7
	HCl	0,28			28. gün	51,4

malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 3. MT’ye ait kimyasal özellikler (Chemical properties of marble dust)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
MT	39,40	15,20	7,65	34,20	0,65

Katkı maddesi olarak kullanılan Polikarboksilik Eter Esaslı süper akışkanlaştırıcı (SA)’dır. Katkı maddesinin bazı özellikleri Çizelge 4’te verilmiştir [19].

Çizelge 4. SA katkı maddesinin bazı özellikleri (Some properties of superplasticizer)

Malzeme yapısı	Analiz değerleri
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,082-1,142 kg/litre
Klor içeriği % TS EN 480-10	< 0,1
Alkali içeriği % TS EN 480-12	< 3

2.2. Metod (Method)

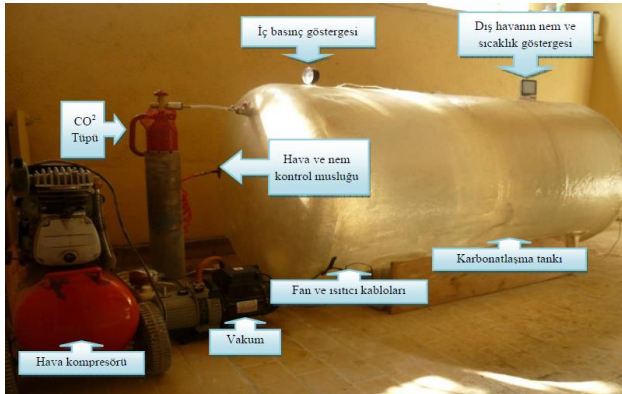
Betonların karışım hesabı TS 802 ve TS EN 206-1 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir [20, 21]. Farklı oranlarda MT çimento ile ikame edilmiştir. Referans (% 0 MT), % 5 MT, % 10 MT, % 15 MT olmak üzere C30 sınıfı toplam 4 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Her bir tür için beton karışımına giren 1 m³'lük malzeme miktarları Çizelge 5'de verilmiştir.

- **Çizelge 5.** 1 m³ beton karışımına giren malzeme miktarları (The amount of material in 1 m³ of concrete mix)

Malzemeler	Referans % 0 MT	% 5 MT	% 10 MT	% 15 MT
Çimento (kg)	340	323	306	289
MT (kg)	-	17	34	51
Su (lt)	195	196	175	182,5
SA (kg)	3,4	3,4	3,4	3,4
Agrega (kg)	0-4	750	750	750
	4-11	825	825	825
	11-22	300	300	300
SLAMP, cm	8	8,5	8,3	8,5

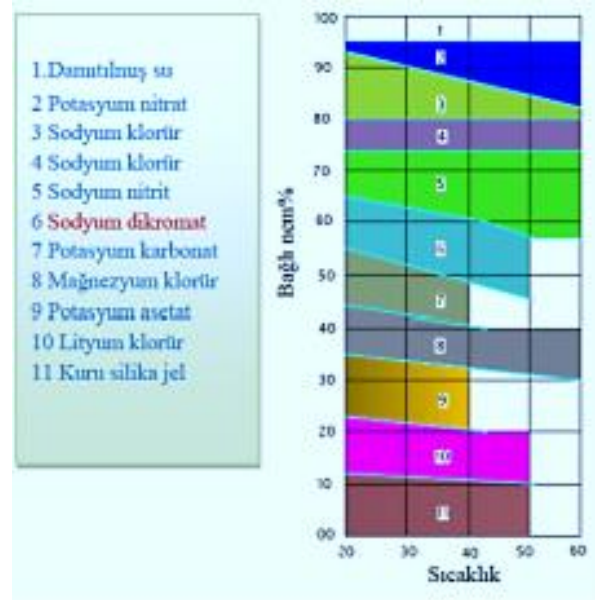
Karışım için gerekli malzemelerin hepsi laboratuvar tipi beton mikserinde sabit hızla karıştırılmıştır [22]. TS EN 12350-2 standardına göre taze betonun çökme miktarı belirlenmiştir [23]. Taze beton karışımı 100x100x400 mm boyutlarında prizmatik ve 100x100x100 mm boyutlarındaki küp kalıplara dökülmüştür.

Kür havuzunda 28 gün bekleyen prizmatik beton örnekleri 14 gün süre ile laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bekleme sonrası, beton örnekleri karbonatlaşma uygulamasının yapılması için tank içine yerleştirilmiştir. Karbonatlaşma tankı düzeneği Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Karbonatlaşma tank düzeneği (Carbonation tank)

Yapılan araştırmalara göre en fazla karbonatlaşmanın olduğu nem miktarı %50 -%70 arasında olduğu zamandır [24]. Nem ortamı oluşturmak amacıyla farklı sıcaklıklarda kullanılabilen tuzlara ilişkin sayısal değerler (Şekil 4) araştırılmış ve bu çalışmada karbonatlaşma olayının meydana gelmesi için 20 °C sıcaklıkta % 55 nem için sodyum dikromat seçilmiştir.

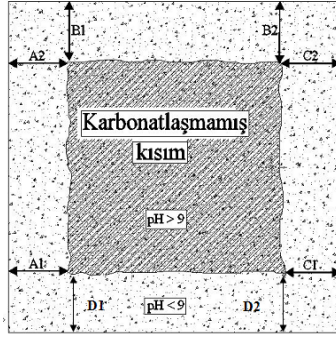


Şekil 4. Değişik tuzların nem sağlama miktarları (Amounts of moisture supplied by different salts) [25].

Sodyum dikromatın doymuş çözeltisi tank içerisindeki kaba bırakılmış ve deney süresince suyun sıcaklığı 20 °C'de tutulmuştur. Tankın içindeki CO₂ miktarını % 1 olarak ayarlanmıştır. İç basınç göstergesinden okuma yapılarak CO₂ gazı tank içine kontrollü bir şekilde verilmiştir.

2.2.1. Sertleşmiş beton deneyleri (Hardened concrete tests)

Karbonatlaşma uygulanmış ve uygulanmamış örnekler üzerinde eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, basınç dayanımı ve aşınma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. TS EN 12390-5 standardı esas alınarak eğilme dayanımı testi gerçekleştirilmiştir [26]. Eğilme dayanımı testi sonucunda 100x100x400 mm boyutlarındaki üç adet prizmatik beton örnekleri iki parçaya ayrılmıştır. Her bir beton karışım türü için 3 adet prizmatik örneğin kırılmasıyla oluşan toplam altı yüzeye fenolftalein çözeltisi sıkılarak, karbonatlaşma derinliği ölçülmüştür. Beton numuneleri üzerinde renk değiştirmeyen kısımların derinlikleri ölçülerek ortalama karbonatlaşma derinliği (KD) hesaplanmıştır (Şekil 5) [27]. Karbonatlaşma derinliği BS EN 13293-2004 standardına uygun olarak ölçülmüştür [28].



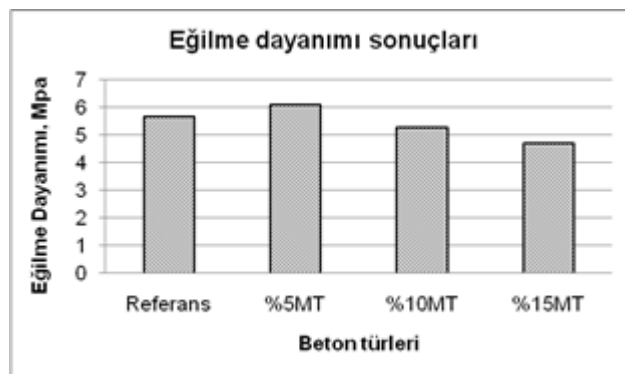
Şekil 5. Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi (Determination of the depth of carbonation)

$$KD = \frac{A1+A2+B1+B2+C1+C2+D1+D2}{8} \quad (1)$$

Ultrases geçiş hızı tayini deneyi ASTM C 597 standardına göre yapılmıştır [29]. TS EN 772-11 standardına uygun olarak farklı karışımlara ait karbonatlaşma uygulanmış ve karbonatlaşma uygulanmamış 100x100x100 mm boyutlarındaki küp örnekler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmıştır [30]. Karbonatlaşma uygulanmış ve karbonatlaşma uygulanmamış küp örnekler üzerinde aşınma dayanımı deneyleri ASTM C 944-99 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [31]. Basınç dayanımı deneylerinde TS EN 12390-3 standardı esas alınmıştır [32].

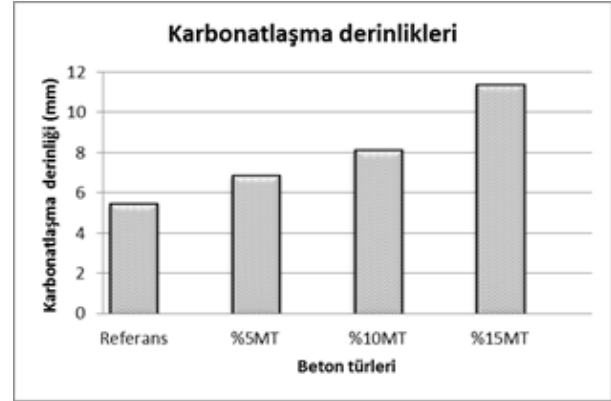
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Karbonatlaşmaya maruz bırakılan prizma şeklindeki beton örneklerine ait eğilme dayanımı sonuçları Şekil 6'da görülmektedir. Karbonatlaşma uygulanmış örnekler arasında en yüksek eğilme dayanımı değeri %5 MT karışımı beton örneklerinde, en düşük eğilme dayanımı ise %15 MT karışımı beton örneklerinde görülmektedir. MT miktarı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü belirlenmiştir.

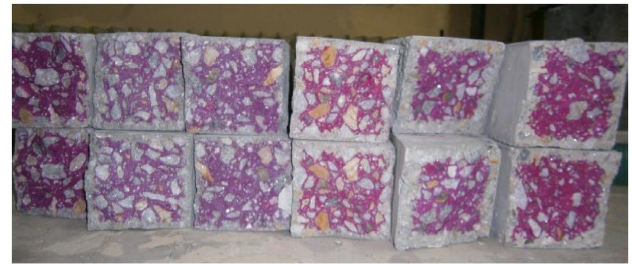


Şekil 6. Karbonatlaşma uygulaması yapılmış beton örneklerinde eğilme dayanımı (Bending strength of concrete samples subjected to carbonation application)

Dört farklı karışıma ait betonların karbonatlaşma derinliklerine ilişkin sayısal veriler Şekil 7'de görülmektedir. En yüksek karbonatlaşma derinliğinin % 15 MT karışımına ait beton örneklerinde olduğu, en düşük karbonatlaşma derinliğinin ise % 5 MT karışım örneklerinde olduğu belirlenmiştir. MT oranı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin arttığı görülmektedir (Şekil 8). Çalışmada kullanılan MT %34,20 oranında CaO içermektedir. MT kullanımı ile beton bünyesinde bulunan Ca(OH)₂ artmış ve karbonatlaşma olayı daha fazla meydana gelmiştir.

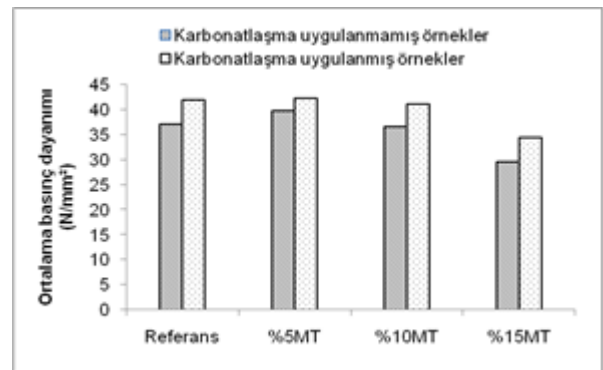


Şekil 7. Beton karışımlarına ait karbonatlaşma derinlikleri (Carbonation depths of concrete mixtures)



Şekil 8. Karbonatlaşma deneyi uygulanmış örnekler (Samples that are applied Carbonation test)

Farklı oranlarda MT kullanılarak üretilen beton karışımlarının ortalama basınç dayanımları Şekil 9'da görülmektedir

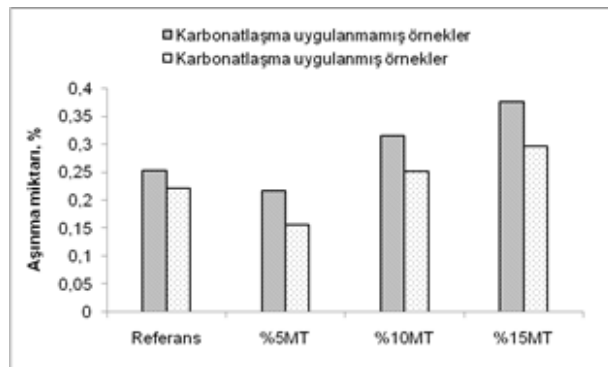


Şekil 9. Beton karışımlarına ait ortalama basınç dayanımı değerleri (Mean values of compressive strength of concrete mixtures)

Beton örnekleri arasında en yüksek basınç dayanımı değeri % 5 MT katkıli karışımına, en düşük basınç dayanım değeri ise % 15 MT karışımına aittir. Karışımlarda MT ikame miktarının artmasıyla basınç dayanımlarının düştüğü, karbonatlaşma sonucu ise basınç dayanımlarının bir miktar arttığı belirlenmiştir.

Betonda karbonatlaşma reaksiyonunun ürünü olan 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. Erdoğan karbonatlaşma olayı sonucunda serbest kalan suyun, çimentonun hidratasyonuna yardımcı olarak dayanımda bir miktar artış meydana getirebileceğini belirtmiştir [33].

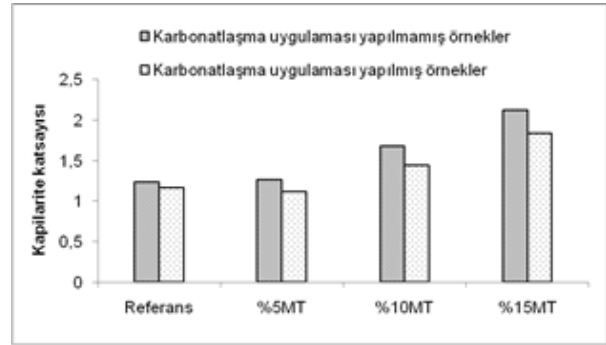
Farklı karışımlara ait betonların aşınma deneyinden elde edilen aşınma miktarları kullanılarak, aşınma oranları hesaplanmıştır (Şekil 10). En yüksek aşınma gösteren beton örnekleri % 15 MT karışımına, en düşük aşınma miktarı ise Referans (% 0 MT) karışımına aittir. MT içeren karışımların aşınma miktarları arasında en düşük değer % 5 MT'ye ait olduğu görülmektedir. Karbonatlaşma olayı beton örneklerinde aşınma miktarının azalmasını sağladığı görülmüştür.



Şekil 10. Karışımlara ait aşınma miktarları (Abrasion amounts of concretes)

Karbonatlaşmanın beton yüzeyinde sertleşmeyi arttırdığıda bilinmektedir. Aşınma miktarının karbonatlaşma uygulaması yapılmış olan örneklerde daha düşük çıkması beklenen bir sonuç olmuştur.

Karbonatlaşmaya maruz bırakılmış ve karbonatlaşma uygulaması yapılmamış örneklerin kapiler su emme değerleri Şekil 11'de görülmektedir.

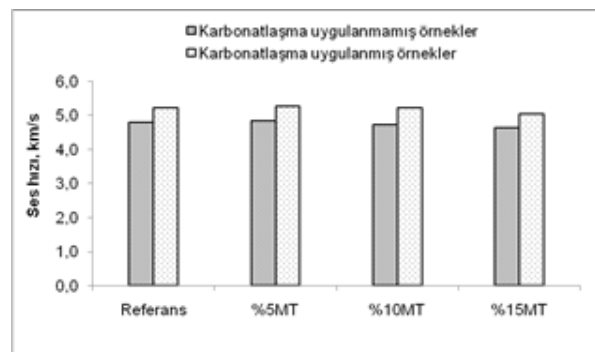


Şekil 11. Karbonatlaşma uygulaması yapılmamış örneklerin kapilarite katsayısı (The capillarity coefficient of samples without carbonation application)

En yüksek kapilarite katsayısı % 15 MT karışımına aitken, en düşük değer % 5 MT karışımına aittir. MT miktarı arttıkça kapilarite katsayısının arttığı karbonatlaşma sonrasında ise kapilarite katsayılarının azaldığı görülmüştür. % 5 MT içeren örneğin kapilarite katsayısı Referansa (% 0 MT) göre daha düşüktür.

Kalsiyum karbonat bileşimi geçirgenliği azaltmakta, daha küçük kapiler bağlantılı gözenekler arasındaki bağlantıları tıkamaktadır [4]. Karbonatlaşmaya maruz bırakılmış örneklerin kapilarite katsayılarının karbonatlaşmamış örneklere göre daha düşük çıkması beklenen bir durumdur. Karbonatlaşma sonucu meydana gelen CaCO_3 kristalleri, çimento hamurundaki boşlukların içine yerleştiği için nispeten daha geçirimsiz bir beton meydana gelmiştir [33].

Literatürde karbonatlaşma ve ses hızı ilişkisi hakkında bir bilgiye rastlanmamıştır. Ancak ses hızı ve beton basınç dayanımının birbiriyle paralellik gösterdiği bilinmektedir. Karbonatlaşma uygulanmış örneklerin basınç dayanımlarında meydana gelen artış, ses hızı değerlerinde de kendini göstermiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Beton karışımlarına ait ortalama ses hızı değerleri (Average sound velocity values for concrete mixtures)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND)

Farklı oranlarda MT kullanılarak üretilmiş beton karışımları ile yapılan çalışmada karbonatlaşma uygulanmamış ve karbonatlaşma uygulanmış örnekler incelendiğinde:

- Karbonatlaşma derinliğinin en çok % 15 MT içeren örneklerde olduğu, en az derinliğin ise % 5 MT içeren örneklerde meydana geldiği bulgusu elde edilmiştir
- MT miktarı arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. En yüksek basınç ve eğilme dayanımının % 5 MT içeren örnekler için olduğu, en düşük basınç ve eğilme dayanımının ise % 15 MT içeren örnekler için olduğu görülmüştür. Basınç ve eğilme dayanımı düştükçe karbonatlaşma derinliğinin arttığı belirlenmiştir. Karbonatlaşma öncesi ve sonrası basınç dayanımlarının değişimleri bakımından incelendiğinde, bir miktar karbonatlaşma sonrası dayanımlarının arttığı görülmektedir. Betonda karbonatlaşma reaksiyonunun ürünü olan 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. Erdoğan karbonatlaşma olayı sonucunda serbest kalan suyun, çimentonun hidrasyonuna yardımcı olarak dayanımda bir miktar artış meydana getirebileceğini belirtmiştir [33].
- MT miktarı arttıkça aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Aşınma miktarının en fazla % 15 MT içeren karışım olduğu, aşınma miktarının en az olduğu örnek ise % 5 MT içeren karışım olduğu belirlenmiştir. Karbonatlaşma uygulaması yapılmamış ve yapılmış örneklerin aşınma miktarları karşılaştırılmalı olarak incelendiğinde, tüm beton karışımlarında karbonatlaşma uygulamasının ortalama aşınma miktarı değerlerini düşürdüğü böylelikle karbonatlaşmanın aşınma dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Karbonatlaşmanın beton yüzeyinde sertleşmeyi arttırdığıda bilinmektedir. Aşınma miktarının karbonatlaşma uygulaması yapılmış olan örneklerde daha düşük çıkması beklenen bir sonuç olmuştur.
- En yüksek ultrases hızı değerinin % 5 MT karışımında, en düşük ultrases hızı değerinin % 15 MT karışımına ait olduğu saptanmıştır. Karbonatlaşma uygulanmış örneklerde ultrases hızı değerleri artış göstermiştir.
- Kapiler su emme incelendiğinde, dayanım değerleriyle ilişkili olarak en düşük kapilarite katsayısının % 5 MT içeren örnekler için olduğu, en yüksek kapilarite katsayısının diğer özelliklerle ilişkili olarak, % 15 MT içeren karışıma ait olduğu belirlenmiştir. Kalsiyum karbonat bileşimi geçirgenliği azaltmakta, daha küçük kapiler bağlantılı gözenekler arasındaki bağlantıları tıkamaktadır [4]. Karbonatlaşmaya maruz bırakılmış örneklerin kapilarite katsayılarının karbonatlaşmamış

örnekler için daha düşük çıkması beklenen bir durumdur. Karbonatlaşma sonucu meydana gelen CaCO_3 kristalleri, çimento hamurundaki boşlukların içine yerleştiği için nispeten daha geçirimsiz bir beton meydana gelmiştir [33].

- Beton türlerinde MT miktarı arttıkça karbonatlaşma derinliği artmıştır. Bu durumun MT bünyesinde bulunan CaO 'den kaynaklandığı düşünülmektedir. MT ile üretilen beton örneklerinde Ca(OH)_2 miktarı referans betona göre fazla olup, karbonatlaşma olayı daha fazla meydana gelmiştir.

Sonuç olarak farklı oranlarda MT içeren beton örneklerinde karbonatlaşma sonucu; ultrases hızı değerlerinin arttığı, kapilarite katsayılarının ve aşınma miktarlarının düştüğü, basınç ve eğilme dayanımlarının arttığı görülmüştür. Ayrıca, çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla MT'nun beton üretiminde en uygun ikame oranının % 5 olduğu, optimum MT kullanımının betonun sürdürülebilirliğini olumlu etkilediği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Şahin, M. ve Tanyıldızı, H., “Vişne Çürüğü Mermer Tozu Katkılı Betonun Basınç Dayanımına Donma Çözülme Etkisinin Belirlenmesi”, *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, (2011).
- [2] Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, *Seçkin yayıncılık*, Ankara153: 113-119, Ankara, (2009).
- [3] Baradan, B. ve Aydın, S., “Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık)” *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, İstanbul 265-288, (2013).
- [4] Massazza, F., “Betonun Dayanımı ve Yapıların Hizmet Ömrü: İki, Çözülebilir Sorun”, *Hazır Beton Dergisi*, Aralık (2005).
- [5] Gönen, T. ve Yazıcıoğlu, S., “Farklı Nem Ortamlarındaki Betonlarda Karbonatlaşma Gelişimi”, *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2): 367-373, (2004).
- [6] Park, D. C., “Carbonation Of Concrete In Relation to CO_2 Permeability And Degradation Of Coatings”, *Construction and Building Materials*, 22, 2260–2268, (2008).
- [7] İnternet : <http://carboncure.com/2012/06/concrete-carbonation/> (2013).
- [8] Newman, J., Choo, B. S., “Advanced Concrete Tecnology Concrete Properties”, ISBN: 07506-5104-0, 8/17, (2003).
- [9] Yalçın, H., Gürü, M., “Çimento ve Beton”, *Palme Yayıncılık*, ISBN: 9944-341-16-9, Ankara, 216 (2006).
- [10] Şimşek, O. Baharavar, S., “Karbonatlaşmanın Çelik Lifi Ve Uçucu Küllü Betonlarda Etkisi”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1): (2014).
- [11] Lo, Y., Lee, H. M., “Curing Effects On Carbonation Of Concrete Using A Phenolphthalein Indicator And Fourier-Transform İnfrared Spectroscopy”, *Building and Environment*, 37, 507-514, (2002).
- [12] Talukdar, S., Banthia, N., “Carbonation In Concrete Infrastructure In The Context Of Global Climate Change: Development Of A Service Lifespan Model”,

- Construction and Building Materials*, 40: 775–782, (2013).
- [13] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir (2002).
- [14] Özgen, M. M., “Betonarme Yapılarda Bozulma Süreçleri Ve Beton Sınıfının Yapının Durabilitesine Ve Maliyetine Etkileri”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniv. Fen Bil. Ens., Mimarlık ABD, Ankara 74-75, (2006).
- [15] LİMAK Çimento Fabrikası, Çimento Analiz Raporu, (2014).
- [16] TS 706 EN 12620+A1, “Beton agregaları”, (2009).
- [17] TS 3530 EN 933-1, “Agrega tane büyüklüğü dağılımı”, (2007).
- [18] TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranının Tayini”, (2002).
- [19] İnternet: BASF Yapı Kimyasalları, http://www.basfcc.az/az/mehsullar/BETON_QATKILARI/emtee_beton_qatkilari/glenium_128/Documents/glenium_128.pdf (2009).
- [20] TS 802, “Beton Karışımı Hesap Esasları”, (1985).
- [21] TS EN 206-1, “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, (2002).
- [22] TS 1247, “Beton Yapım, Döküm Ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında)”, (1984).
- [23] TS EN 12350-2, “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi”, (2002).
- [24] Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., “Betonda Hızlandırılmış Karbonatlaşma Deneyi ve Aparatı”, *Politeknik Dergisi*, 8(2): 233-237, (2005).
- [25] Baharavar, S., “Karbonatlaşmanın Çelik Lifli ve Uçucu Küllü Betonarlarda Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Yapı Eğitimi ABD (2012).
- [26] TS EN 12390-5, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini”, (2002).
- [27] Yazıcıoğlu, S., Demirel, B., Gönen, T., Özer, Ş., “Farklı Tip Çimentoların Betonun Karbonatlaşmasına Etkisi”, *SDU International Technologic Science*, 4(3): 112-120, (2012).
- [28] BS EN 13293-2004, “Products And Systems For The Protection And Repair Of Concrete Structures-Test Methods-Determination Of Resistance To Carbonation”, (2004).
- [29] ASTM C 597-83, “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, (2009).
- [30] TS EN 772-11, “Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 11: Betondan, Yapay Ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme Ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini”, (2002).
- [31] ASTM C 944-99, “Standard Test Method For Abrasion Resistance Of Concrete Or Mortar Surfaces By The Rotating-Cutter Method”, (1999).
- [32] TS EN 12390-3, “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, (2003).
- [33] Erdoğan, T.Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını*, Ankara, 191: 502-518, (2007).