

Agrega Türünün Betonun Donma - Çözülme Dayanıklılığına Etkisi

Effect of Aggregate Type on the Freezing - Thawing Resistance of Concrete

Özkan Şengül¹, Canan Taşdemir¹, Şevket Koruç², Reşat Sönmez³

¹İTÜ., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul, ²Akcansa A.Ş., İstanbul, ³Betonsa Teknoloji Merkezi, İstanbul
osengul@ins.itu.edu.tr, tasdemir@itu.edu.tr, sevket.koruc@akcansa.com.tr, resat.sonmez@akcansa.com.tr

ÖZET: Yapılan deneysel çalışmada, agrega türünün betonun donma - çözülme dayanımına etkisi incelendi. Bazalt, kumtaşı ve üç farklı bölgeden alınan kalker agregaları kullanılarak hava sürükleyici katkı içeren ve içermeyen betonlar üretildi. Sertleşmiş betonların 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları ile ultrases hızı değerleri elde edildi. Deney sonunda, hava sürüklenmiş betonların eğilme ve basınç dayanımlarının hava sürüklenmemiş betonlara göre daha düşük olduğu görüldü. 21. günde prizmatik numunelere -20°C'de donma, +20°C'de çözülme deneyi uygulanmaya başlandı. Deney başlangıcında ve her 30 çevrim sonunda numunelerin ultrases hızları ölçülerek bu değerlerde oluşan düşüşler belirlendi. 120 çevrim sonunda numunelerin basınç dayanımlarındaki azalmalar, donma - çözülme deneyi uygulanmamış numunelerle karşılaştırıldı. Hava sürükleyici katkı içeren betonların dondan daha az etkilendiği ve agrega türünün betonun donma - çözülme dayanıklılığını etkilediği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Beton, Agregası Türü, Donma - Çözülme, Hava Sürükleme

ABSTRACT: In this research, the effect of the aggregate type on the freezing-thawing resistance of concrete was investigated. Concretes containing basalt and sandstone aggregates, and limestone aggregates from three different sources were produced with the option of incorporating or not incorporating an air-entraining admixture. The 28th day compressive and bending strengths, and ultrasonic pulse velocity values of hardened concrete were obtained. According to the experimental results, the compressive and bending strengths of air entrained concretes were determined to be less than the strengths of the ones where air entraining had not been applied. Starting from the 21 st day, the freezing thawing experiment at -20°C/20°C was conducted on prismatic specimens. The ultrasonic pulse velocity values at the beginning and at every 30 cycles of the freezing-thawing test were measured, and the decreases in the values were computed. At the end of 120 cycles, the amounts of decrease in the compressive strengths of the specimens were compared with those values of the specimens that had not gone through freezing thawing. The concretes incorporating air-entraining admixture were determined to be less affected by freezing thawing and the type of aggregate was found to have an effect on the freezing-thawing resistance of concrete.

Keywords: Concrete, Aggregate Type, Freezing and Thawing, Air Entrainment

1. GİRİŞ

Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Dünyada kişi başına düşen yıllık beton üretimi yaklaşık 2,5 tondur [1]. Servis ömrü süresince yapılar çeşitli çevresel etkiler altında kalmaktadır. Yapının maruz kalacağı çevresel etki iyi belirlenmeli ve tasarımda dikkate alınmalıdır. Belirlenen çevresel etki altında yapı işlevini yerine getirmeye devam edebilmeli, yapıda kullanılan malzemelerin dürabilitesi yeterli olmalı ve böylece yapının performansı belirli bir düzeyin altına düşmemelidir. Günümüzde, yapısal tasarımın malzeme dayanımlarına göre değil, dürabilite kriterlerine göre yapılması giderek daha fazla kabul görmektedir [2],

Beton servis ömrü boyunca çeşitli çevresel etkilerle hasara uğrayabilir, bu etkiler fiziksel, kimyasal, fiziko - kimyasal veya mekanik olabilir [3]. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına, proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir. Betonun tekrarlı donma - çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Donma - çözülme etkisinde bulunan bölgelerde yol ve köprü gibi yapılar için buz çözücü tuzların kullanılmasıyla birlikte klor etkisi de sözkonusu olmaktadır. Kullanılan malzemeler, ortam koşulları, rutubet gibi etkenler donma - çözülme sonucu oluşan hasarı arttırabilir [4].

Boşluklu ve heterojen bir içyapıya sahip olan beton, çimento hamuru, agrega ve agrega - çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan üç fazlı bir kompozit kabul edilebilir. Bu üç fazın her biri boşluk içermektedir. Betondaki boşluklar boyutlarına göre sınıflandırılır. Birbirlerine bağlı kılcal boşluklar çimento hamurunun geçirimsizlik özelliklerine ve donma - çözülme dayanımına etki eden temel etkenlerdir [5]. Çimentonun hidrasyonu sonucu oluşan ürünlerinin birim hacmin tamamını dolduramaması sonucu meydana gelen kılcal boşlukların boyutları 10 mm ile birkaç mikron arasında değişir. Bu boşlukların miktarı ve boyutları betonun su/bağlayıcı oranına ve çimentonun hidrasyon derecesine bağlıdır [6].

Betonun boşluklarındaki buz oluşumu ile ilgili çeşitli teoriler ileri sürülmektedir [7]. Donan suyun hacmi yaklaşık %9 artar. Kılcal

boşluklarda bulunan suyun boşluk hacminin sadece bir bölümünü doldurması durumunda, donan suyun genişleyebileceği boş bir hacim olur. Betonun suya doygun halde olması durumunda ise tüm boşluk suyla dolu olduğu için, oluşan hacim artışı sonucu buz boşluk çeperlerine basınç uygular. Sıcaklığın artıp buzun çözülmesiyle de çeperlere etkiyen bu basınç ortadan kalkar. Donma - çözülme çevrimlerinin şiddeti betonun bulunduğu ortama, oluşan sıcaklık farklarına, betonun nem durumuna, suyun donma hızı gibi etkenlere bağlı olarak değişir [4,7]. Sürekli tekrarlanan donma - çözülme ile birlikte betonda hasar oluşmaya başlar. Betondaki hasar oluşumu betonun çatlaması veya yüzeyde oluşan soyulma ve dökülmeler olarak kendini gösterir. Betonun kesiti boyunca çatlaması durumu çok şiddetli ve uzun süreli donma - çözülme etkisinde olurken, yüzey hasarları çevremizde en çok karşılaşılan durumdur. Beton yollar, kaplamalar veya beton duvarlar büyük miktarlarda yüzey hasarına uğrayabilirler. Betonun donma - çözülme dayanımını ve yüzeylerde oluşabilecek soyulma, dökülme miktarlarını belirleyebilmek için değişik deney yöntemleri ve değerlendirme teknikleri vardır [7,8]. Beton taze halde iken don olayının gerçekleşmesi durumunda dayanım kayıpları olabilir. Gerçekte tam priz başlangıcında don olayı tehlikelidir, bu nedenle soğuk havalarda beton dökülürken gerekli önlemler alınmalıdır [9].

Hava sürükleyici katkı kullanılarak betonun dona dayanıklılığı arttırılabilir. Bu katkı maddeleriyle beton içinde homojen dağılmış, boyutları 10 mikrondan birkaç milimetreye ulaşabilen, birbirlerinden bağımsız küresel hava boşlukları oluşturulur [7]. Bu boşluklar hem betonun kılcallık yoluyla su emmesini engeller, hem de kılcal boşluklarda su donduğu zaman buzun boşluk içine doğru oluşmasını sağlayarak donma etkisiyle kılcal boşluk çeperlerine basınç uygulanmasını önler [6,7].

Betonun özellikleri kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların kalitesi ve türü betonun performansını ve dürabilitesini büyük ölçüde etkilemektedir. İyi beton elde edebilmek için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik

bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri, kayacın özelliklerine bağlıdır. Ancak, uygulamada genellikle agreganın tane şekli ve boyutu, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özellikleri göz önüne alınır. Tüm bu agrega özelliklerinin beton özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır [10]. Beton üretiminde farklı ocaklardan sağlanan agregalar kullanılmaktadır. Don etkisine dayanıklı beton elde edebilmek için kullanılan agrega bu çevre koşuluna uygun olmalıdır.

Yapılan bu çalışmanın amacı, agreganın mineralojik özelliklerinin betonun donma-çözülme dayanıklılığına olan etkisini araştırmaktır. Çalışmada, farklı mineralojik kökene sahip agregalar kullanılarak, hava sürükleyici katkı içeren ve içermeyen betonlar üretildi ve donma - çözülme dayanıklılıkları incelendi.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

Beton üretiminde kırma-kum ve iri agrega (kırma-kum No. I ve kırma-kum No. II) olarak bazalt, kumtaşı ve üç farklı kökene sahip kalker

agregaları, tüm betonlarda ise aynı doğal kum ve PC 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Agregaların mekanik dayanımlarını belirlemek için Los Angeles aşınma deneyleri yapıldı. Kullanılan agregaların bazı fiziksel özellikleri ve Los Angeles aşınma kayıpları Çizelge 1'de verilmektedir. Agregaların özgül ağırlıkları arttıkça su emme değerlerinin azaldığı bu çizelgede görülmektedir. Agreganın aşınma kaybı arttıkça basınç dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinde azalma olur [10].

Betonda kullanılan agrega karışımlarının granülometrisi TS 706 standardındaki A32-B32 referans eğrileri arasında ve B32 eğrisine yakın olacak şekilde belirlendi. Üretilen tüm betonlarda agrega granülometrisi ve maksimum agrega boyutu sabit tutuldu. Betonlarda kullanılan agregaların granülometrisi Çizelge 2'de görülmektedir.

2.2. Beton Üretimi

Hava sürükleyici katkı içeren ve içermeyen olmak üzere iki seri beton üretildi. Her bir beton serisinde mineralojik kökeni farklı 5 tür agrega kullanıldı. Böylece toplam 10 farklı beton karışımı elde edildi. Nominal çimento dozajı bütün betonlarda 300 kg/m³'te sabit tutuldu. Önce katkı içermeyen betonlar

Çizelge 1. Agregaların Fiziksel Özellikleri ve Los Angeles Aşınma Kayıpları

Agrega Tümü		Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)	Los Angeles Aşınma Kaybı (%)		
				Tane sınıfı (mm)	Devir sayısı	
				100	500	
Bazalt	Kırma-kum	2,84	0,20	10-20	3,7	12,6
	Kırma-kum No I	2,81	0,14			
	Kırma-kum No II	2,84	0,14			
Çatalca Kalkeri	Kırma-kum	2,64	2,00	10-20	7,3	28,4
	Kırma-kum No I	2,62	1,40			
	Kırma-kum No II	2,61	1,40			
Cebeci Kalkeri	Kırma-kum	2,71	1,30	10-20	5,5	22,4
	Kırma-kum No I	2,72	0,90			
	Kırma-kum No II	2,72	0,90			
Gebze Kalkeri	Kırma-kum	2,69	1,40	10-20	8,7	25,2
	Kırma-kum No I	2,71	0,70			
	Kırma-kum No II	2,71	0,80			
Kumtaşı	Kırma-kum	2,71	2,50	10-20	4,9	22,1
	Kırma-kum No I	2,70	1,90			
	Kırma-kum No II	2,70	1,80			
Doğal Kum		2,63	0,60			

Çizelge 2. Agrega Granülometreleri

Agrega türü		% geçen							
		Elek açıklığı (mm)							
		31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Bazalt	Kırmakum	100	100	100	99	52	30	16	7,8
	Kırmataş No I	100	100	69	10	0	0	0	0
	Kırmataş No II	100	60	0	0	0	0	0	0
Çatalca Kalkeri	Kırmakum	100	100	100	99	65	46	29	16,7
	Kırmataş No I	100	100	80	15	2	2	1	1
	Kırmataş No II	100	75	1	0	0	0	0	0
Cebeci Kalkeri	Kırmakum	100	100	100	97	63	45	30	16,3
	Kırmataş No I	100	98	19	0	0	0	0	0
	Kırmataş No II	100	40	0	0	0	0	0	0
Gebze Kalkeri	Kırmakum	100	100	100	100	67	47	30	15,6
	Kırmataş No I	100	100	64	4	0	0	0	0
	Kırmataş No II	100	75	0	0	0	0	0	0
Kumtaşı	Kırmakum	100	100	100	96	47	29	17	7,3
	Kırmataş No I	100	100	71	7	1	1	1	1
	Kırmataş No II	100	56	1	0	0	0	0	0

üretildi, ardından, çimento ağırlığının %0,4'ü oranında hava sürükleyici katkı eklenerek ve işlenebilmenin yaklaşık aynı kalmasını sağlayacak etkin su/çimento oranı belirlenerek katkı içeren betonlar üretildi. Hava sürükleyici katkı betonun işlenebilirliğini artırdığı için yaklaşık aynı çökme değeri daha az su ile elde edildi. Katkı içeren betonlarda aynı miktarlarda katkı kullanıldı. Böylece, betonların etkin su/çimento oranları hava sürükleyici katkı içermeyenlerde 0,63'te, içerenlerde ise 0,59'da sabit tutuldu. Betonların toplam su/çimento oranları ise agreganın su emme kapasitesine göre değişmektedir. Betondaki etkin su, agrega taneleri tarafından emilmeyen ve karışım için

kullanılan sudur [6]. Üretilen betonların bileşimleri ve taze beton özellikleri Çizelge 3'de verilmektedir. Betonlar için kullanılan BA, ÇA, CK, GK ve KT indisleri sırasıyla bazalt, Çatalca kalkeri, Cebeci kalkeri, Gebze kalkeri ve kumtaşı agregaları ile üretilen betonları ifade etmektedir. Bu indisleri izleyen "*" işareti ise hava sürükleyici katkı içeren betonları göstermektedir. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılıp $+20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki kirece doymun su içine kondu. 28 günlük basınç dayanımlarını elde etmek için çapı 100 mm, yüksekliği 200 mm olan silindir numuneler ve eğilme deneyleri için $70 \times 70 \times 280$ mm boyutlarında prizma numuneler üretildi.

Çizelge 3. Beton Bileşimleri ve Taze Beton Özellikleri

Beton kod'u	BA	ÇK	CK	GK	KT	BA*	ÇK*	CK*	GK*	KT*
Çimento (C), kg/m^3	309	302	304	298	300	267	269	281	258	271
Toplam su, (S) kg/m^3	199	213	209	204	220	162	181	182	166	189
Etkin, S/Ç	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
Toplam, S/Ç	0,64	0,71	0,69	0,69	0,73	0,61	0,67	0,65	0,64	0,70
Doğal Kum, kg/m^3	365	357	358	352	355	315	318	332	305	320
Kırma Kum, kg/m^3	486	444	463	456	457	419	396	428	395	413
Kırmataş No I, kg/m^3	489	448	463	456	457	422	399	428	395	413
Kırmataş No II, kg/m^3	587	537	557	549	550	507	478	516	475	497
Katki, kg/m^3	0	0	0	0	0	1,07	1,08	1,12	1,03	1,08
Birim ağırlık, kg/m^3	2435	2301	2354	2315	2339	2093	2042	2159	1995	2104
Hava, %	1,2	1,0	1,2	2,7	0,8	15,6	12,6	8,8	16,7	11,3
Çökme, cm	15	12	10	13	9	10	14	12	14	10

28. günde yapılan mekanik deneylerin sonuçları ise Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4. 28 Günlük Deney Sonuçları

Beton kod'u	U	Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrases hızı (km/s)
BA	4,8	27,0	4,63
ÇK	6,1	24,4	4,59
CK	6,1	22,0 -	4,62
GK	5,9	21,6	4,73
KT	4,4	19,6	4,45
BA*	3,2	9,4	4,04
ÇK*	3,8	10,6	4,12
CK*	5,3	14,7	4,29
GK*	2,9	7,0	3,98
KT*	3,5	10,3	3,93

Donma - çözülme deneyleri 21 gün $+20\pm 2^\circ\text{C}$ 'de kirece doymun su içinde bekletilen prizmatik numuneler üzerinde yapıldı. Her karışımdan 3 numuneye -20°C 'de donma, $+20^\circ\text{C}$ 'de çözülme çevrimi uygulandı. Her 30 çevrim sonunda numunelerin ultrases hızları ölçüldü ve ultrases hızlarında belirgin düşüşlerin gözlemlendiği 120 çevrim sonunda don deneyleri sona erdirildi. Bunların yanında her seriden 3'er numunede donma - çözülme çevrimlerinin devam ettiği süre içinde $+20\pm 2^\circ\text{C}$ 'de kür havuzunda tutuldu. 150. günde tüm prizmatik numuneler üzerinde eğilme deneyleri yapılarak eğilmeden kalan parçalara basınç deneyleri uygulandı. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmektedir.

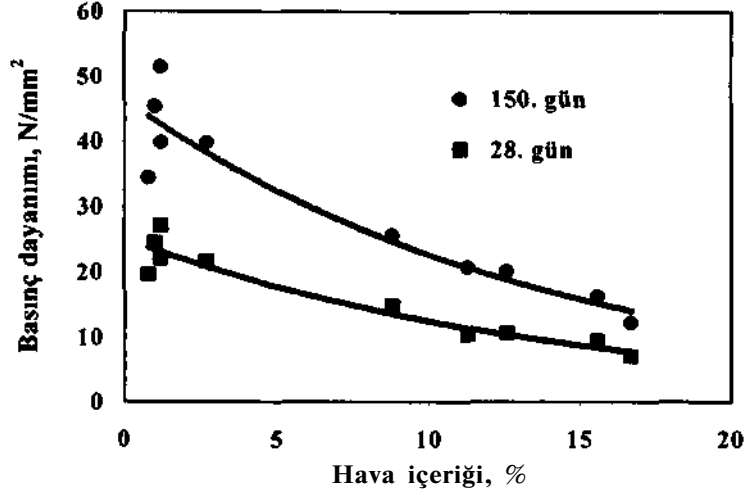
Çizelge 5. 150 Günlük Basınç Dayanımları

Beton kod'u	Basınç dayanımı, N/mm ²	
	Donma-Çözülme Çevrimi Uygulanmamış	Donma-Çözülme Çevrimi Uygulanmış
BA	51,4	45,9
ÇK	45,3	41,4
CK	39,8	29,2
GK	39,8	36,7
KT	34,4	29,3
BA*	16,3	16,0
ÇK*	20,1	19,4
CK*	25,6	25,4
GK*	12,2	12,2
KT*	20,7	16,0

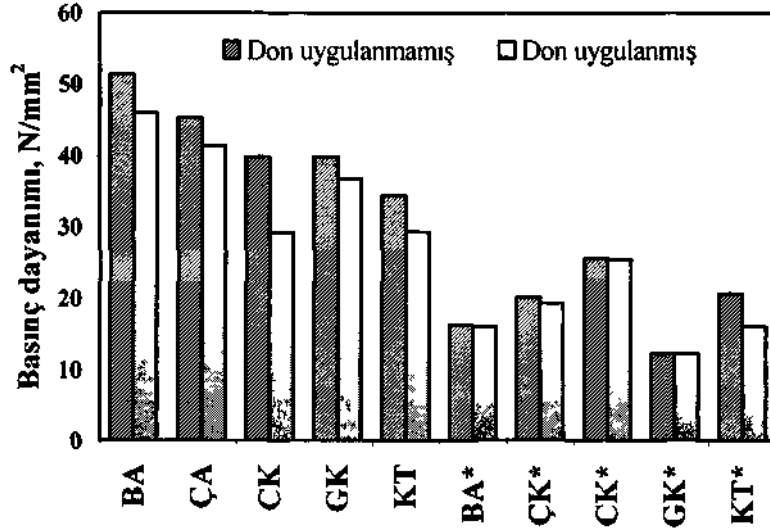
3. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME

Sertleşmiş betonun mekanik dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri, boşluk oranıdır [6]. Hava sürükleyici katkı kullanımı beton içindeki hava içeriğini önemli miktarda arttırmaktadır. Bu katkılar suyun yüzey gerilimini azaltarak karıştırma ile birlikte daha kolay hava boşlukları oluşmasını sağlar [11]. Hava miktarındaki %1'lik bir artışın dayanımda yaklaşık %5'lik bir azalmaya neden olduğu literatürde belirtilmektedir [6,11]. Bu deneyde elde edilen sonuçlarda da hava miktarının artmasıyla dayanımın azaldığı görülmektedir. Çizelge 4'te verilen ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları incelendiğinde, hava sürükleyici katkı içeren betonlara ait değerlerin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu deneyde ultrases dalgalarının beton içinden geçiş hızı belirlenmektedir. Ultrases dalgalarının kaynak noktasından alıcıya varış zamanı ölçülürken, dalganın geçtiği mesafe yardımıyla da geçiş hızı hesaplanmaktadır. Beton içinde boşluk veya çatlak gibi kusurların olması durumunda ise ultrases dalgası bunların çevresinden dolaşmakta ve alıcı noktaya varış süresi uzamakta, böylece ultrases hızı azalmaktadır. Hava sürüklenme sonucu oluşan küresel boşluklar betonun ultrases hızının ve basınç dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Betonun 28 ve 150 günlük basınç dayanımlarının hava içeriği ile değişimi Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 150 günlük numunelerin hava içeriğine bağlı olarak basınç dayanımlarındaki azalma daha da belirgindir.

Donma-çözülme çevrimi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin basınç dayanımları Şekil 2' de görülmektedir. Çizelge 5 ve Şekil 2'nin incelenmesinden görüldüğü gibi hava sürükleyici katkı içermeyen ve donma- çözülme çevrimi uygulanmamış numuneler içinde en yüksek basınç dayanımı bazalt agregası ile üretilen betonlarda, en düşük dayanım ise kumtaşı ile üretilen betonlarda elde edildi. Hava sürükleyici katkı içermeyen betonlardan donma-çözülme etkisinde en çok hasar basınç dayanımında %27 azalmayla Cebeci kalkerli ile üretilen betonlarda görüldü, bunu %15 azalmayla kumtaşı ile üretilenler izledi. Bazalt, Çatalca ve Gebze kalkerleri ile üretilen numunelerin donma - çözülme etkisi ile basınç



Şekil 1. Betondaki Hava içeriği ile Basınç Dayanımının Değişimi



Şekil 2. Donma-Çözülme Çevrimi Uygulanmış ve Uygulanmamış Numunelerin Basınç Dayanımları

dayanımlarındaki azalma da sırasıyla %11, %9 ve %8 bulundu. Hava sürükleyici katkı içeren betonlardan sadece kumtaşı ile üretilen betonların basınç dayanımında donma-çözülme etkisi ile düşüş oldu, diğerlerinin ise donma-çözülmeden etkilenmediği görüldü.

Betonun donma çözülme etkisindeki davranışı birçok etkene bağlıdır. Betonun boşluk

yapısı, boşlukların sayısı, boşlukların boyutları ve dağılımı ile birbirlerine bağlantıları, betonun doygunluk derecesi, beton içindeki donabilecek su miktarı, donma hızı, su/çimento oranı, kür koşulları, betonun çekme dayanımı gibi etkenler önemlidir.

Donmaya karşı dirençte betonun bileşenlerinin boşluk yapısı önemli rol

oyunmaktadır. Agreganın boşluk miktarının çimento hamurununkinden düşük olmasına karşın suya doygun durumda hasara uğrayabilirler. Genel olarak, agregaların şekil değiştirme kapasiteleri çimento hamurununkine kıyasla yüksek olduğu için don dolayısıyla kırılmaları beklenebilir [12]. Ancak, doygun halde agregalar şekil değiştirerek ya da çimento hamuruna su vererek hidrolik basıncın artmasına katkı yapabilirler [13]. Çatalca kalkerinin boşluklu olmasına ve fazla su emmesine karşın dondan etkilenmemiş olmasının nedeni, betonda suya tam doygun hale gelmemiş olmasına bağlanabilir. Kumtaşı agregalı betonların dondan daha fazla hasar görmüş olmasının nedeni ise şöyle açıklanabilir: Kumtaşı agregalarının da su emmeleri yüksektir. Zamanla suya doygun hale gelmeleri geciktiği düşünülürse ve hasar olabileceği varsayılırsa da bunların yapraklı yapıya sahip olmaları, kırmataş haline getirilmeleri sırasında yassı uzun tanelerin bulunması altlarında su ceplerinin oluşmasına yol açar. Bu da, kırmakum agregalarının daha fazla hasar görmesine neden olabilir [6].

Mineral katkıları uygun oranlarda kullanıldıklarında betonun mekanik özelliklerinin ve durabilitesinin artırılmasında etkin rol oynarlar. Ancak, mineral katkıların betonun don direnci üzerindeki etkisi hava sürükleyici katkı kadar belirgin değildir [14-17]. Bu bakımdan hava sürüklenmemiş Cebeci kalkerini içeren betonların kırmakumunda mevcut toz malzeme betonda en zayıf halka olan agrega-çimento hamuru temas yüzeyine olumsuz etki yapmış olabilir. Don etkisinde kalan beton yol ve kaplamalarda, bazı kumtaşı ve kalker agregalarının çatlamalara neden olabileceği belirtilmektedir [6,18].

Yapılan araştırmalara göre [19-21] betonun don direncini etkileyen en önemli parametrenin çimento hamurunda düzgün dağılmış hava gözenek sisteminin bulunmasıdır. Düzgün dağılmış gözenek sistemi ise betona hava sürükleyici katkı maddesi katmakla elde edilir. Şahin [19], Hama ve diğ.[22]'nin tespitini doğrular nitelikte, sürüklenmiş hava içeren betonların don dirençlerindeki farkın donma-çözülme çevrimi ilerledikçe çok açık bir şekilde ortaya çıktığını saptamıştır. Hava sürüklemekle

betonda oluşturulan boşlukların, kapiler boşluklardan kaçan suyun donabileceği yerler oluşmasına olanak sağladığı için, hidrolik basıncı düşürdüğüne inanılır. Hidrolik basınç, boşluktan uzaklaştıkça artar. Boşluğun etrafında belli bir yarıçap içindeki basınç çimento hamurunun çekme gerilmesinden daha düşüktür.

Cebeci kalkerini ile yapılan hava sürüklenmiş katkı içeren betonun dondan hasar görmemesinin nedeni ise sürüklenmiş havanın miktarının ve beton içindeki dağılımının yeterli olduğuna bağlanabilir [19].

4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak üretilmiş betonların ultrases hızı değerleri ile basınç ve eğilme dayanımları hava sürüklenmemiş olanlarınkine göre daha düşüktür. Buna karşın, hava sürükleyici katkı donma karşı dirençte en etkili parametredir.
2. Yaşı 150 gün olan betonlarda hava içeriğindeki artış ile basınç dayanımındaki azalma 28 günlük olanlara göre daha belirgindir.
3. Hava sürükleyici katkı içeren betonlarda donma-çözülme çevrimi sonucunda daha az hasar oluşmaktadır.
4. Hava sürükleyici katkı içermeyen betonlarda donma-çözülme çevrimi sonucunda en çok hasar kumtaşı ile üretilen betonlarda gözlenmiştir. Bunu Cebeci kalkerini ile üretilen betonlar izlemektedir.
5. Kırmakumların olası farklı etkilerine karşı donma-çözülme tekrarlarında doğal kum ve farklı kökene sahip iri agregalarla üretilen betonların karşılaştırılması daha gerçekçi olabilir. Farklı kökene sahip agregalarla üretilen betonlar için kütleli donma yerine yüzeysel donma deneylerinin yapılması ileri çalışmalar olarak önerilebilir.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmadaki yardımlarından dolayı inşaat Mühendisleri Kemal Ağca, Murat Kaya, Ahmet İlhan ve inşaat Yük Mühendisi Özgür Ekincioglu'na teşekkür ederler

Kaynaklar

- [1] A'itcin P.C., "High Performance Concrete", *E&FN Spon*, London, 591 pp., 1998, ISBN 0-419-19270-0.
- [2] Sommerville G., "A Holistic Approach To Structural Durability Design" *Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century* (edited by O.E.Gj0rv and K.Sakai), E&FN Spon, 41-56, 2000, ISBN 0-419-25060-3
- [3] ACI Commitee 201, "Guide to Durable Concrete", ACI 201.2R-92, 39 pp.
- [4] Vanderhost N.M. and Jansen D.J., "The Freezing and Thawing Environment: What is Severe?", *Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete* (editor David Whiting), ACI SP - 122, 181-200, 1990.
- [5] Kroop J. and Hilsdorf H.K. (editors), Performance Criteria for Concrete Durability, RILEM Report 12, *E&FN Spon*, London, 327 pp., 1995, ISBN 0-419-19880-6
- [6] Neville A.M., "Properties of Concrete", *John Wiley & Sons Inc.*, London, 844 pp., 1997, ISBN 0-582-23070-5.
- [7] Pigeon M. and Pleau, R., "Durability of Concrete In Cold Climates", *E&FN Spon*, 244 pp, 1995, ISBN 0-419-19260-3.
- [8] Setzer M.J., "Action of Frost and Deicing Chemicals - Basic Phenomena and Testing" *International Workshop on Freeze - Thaw Durability of Concrete* (edited by J.Marchand, M.Pigeon and M.J. Setzer), *E&FN Spon*, 1-22, 1997, ISBN 0-419-20000-3.
- [9] ACI Commitee 306, "Cold Weather Concreting", ACI 306R-88, 23 pp, 1997.
- [10] Şengül ö, Taşdemir, C, and Taşdemir, M.A., "Influence of Aggregate Type on the Mechanical Behavior of Normal and High Strength Concretes", *ACI Materials Journal*, Vol. 99, No.6, November/December, 528-533, 2002.
- [11] Ramachandran V.S (editor), "Concrete Admixture Handbook", *Noyes Publications*, New Jersey, 626 pp, 1984, ISBN 0-8155-0981-2.
- [12] Gjorv O.E., Okkenhaug, K., Bathen, E. and Husevag,R., "Frost resistance and air-void characteristics in hardened concrete", NCR, 89-102,1989.
- [13] Detwiler R. J., Dalglish B. J. and Williamson R.B., "Assesing the Durability of Concrete in Freezing and Thawing", *ACI Materials Journal I* January-February, 29-35,1989.
- [14] Douglas E., "Blast- furnace Slag Cement Mortar and Concrete: Durability Aspects", *Supplementary Cementing Materials for Concrete*, edited by VM Malhotra, *CANMET*, 337- 365, 1987.
- [15] Durekovic A., Calogovic, V. and Popovic, K., "Frost resistance of OPC-CSF Mortars Investigated by Means of Repeated Cycle-and One Cycle-Freezing Test", *Cement and Concrete Research*, 19, 267-277, 1989.
- [16] Hooton R.D., "Influence of Silica Fume Replacement of Cement on Physical Properties and Resistance to Sulfate Attack, Freezing and Thawing, and Alkali- Silica Reactivity", *ACI Materials Journal*, 90(2), 143-151, 1993.
- [17] Bilodeau A. and Malhotra, V.M., "Deicing Salt Scaling Resistance of Concrete Incorporating Supplementary Cementing Materials" *CANMET Research Freeze- Thaw Durability of Concrete*, edited by J. Marchand, M. Pigeon and M.J. Setzer, E&FN SPON, 121-156, 1997.
- [18] Mehta P.K. and Monteiro, P.J.M., "Concrete; Structure. Properties, and Materials", *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey, 548 pp, ISBN 0-13-175621-4, 1993.
- [19] Şahin R., "Normal Portland Çimentolu Betonların Don Direncinin Taguchi Yöntemi tie Optimizasyonu ve Hasar Analizi", *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [20] Pigeon, M., Marchand, V. and Pleau, R. "Frost Resistant Concrete", *Construction and Building Materials*, 10 (5), 339-347, 1996..
- [21] Janssen D. J., "The Influence of Material Parameters on Freeze-Thaw Resistance with and without Deicing Salt", *Frost Resistance of Concrete*, edited by M. J. Setzer and R. Auberg, E&FN SPON, 3-10, 1997.
- [22] Hama Y., Kamada E. and Han CG., "An Experimental Study on Frost Resistance for Different Types of Test Surfaces", *-Frost Resistance of Concrete*, edited by M. J. Setzer and R. Auberg, E&FN SPON, 195-201,1997.