

GELENEKSEL VE YÜKSEK PERFORMANSLI BETONLARIN BASINÇ VE ÇEKME DAYANIMLARINADONMA-ÇÖZÜLMENİN ETKİSİ

Metin HÜSEM

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE, mhusem@ktu.edu.tr*

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek performanslı betonların basınç ve çekme dayanımlarına donma-çözülmenin etkileri, geleneksel betonunkilerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bunun için, aynı tür agregayla üretilen yüksek performanslı ve geleneksel betonlara donma-çözülme işlemi uygulanarak, bu betonların basınç dayanımları, yarmada ve eğilmede çekme dayanımları belirlenmiştir. Yüksek performanslı ve geleneksel betonların basınç ve çekme dayanımları, kendi aralarında ve donma-çözülme işlemi görmemiş numunelerinkilerle birlikte karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu incelemelerden elde edilen sonuçlar, donma çözülme olayının yüksek performanslı ve geleneksel betonların basınç ve çekme dayanımlarını önemli ölçüde azalttığını, donma-çözülmenin tekrarlanmasına bağlı olarak bu azalmanın arttığını, geleneksel betonlarda dayanım azalmasının ise, yüksek performanslı betonunkilere göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel beton, yüksek performanslı beton, donma ve çözülme, basınç dayanımı, çekme dayanımı

FREEZE-THAW EFFECT TO COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF ORDINARY AND HIGH PERFORMANCE CONCRETE

ABSTRACT

In this study, freeze-thaw effect to compressive and tensile strength of ordinary and high performance concrete is examined comparatively. Freeze-Thaw procedure is applied to ordinary and high performance concrete, produced using same kind aggregate, and compressive strength and tensile strength at split and bending are investigated. Compressive and tensile strength of ordinary and high performance concrete and the samples which did not freeze and thaw are compared each other. The results of this study indicated that freeze-thaw process decreases compressive and tensile strength of high performance and ordinary concrete, this decrease grows when freeze-thaw process is repeated and strength loss of ordinary concrete is more than that of high performance concrete.

Key Words: Ordinary concrete, high performance concrete, freeze and thaw, compressive strength, tensile strength

1. GİRİŞ

Beton, bir taraftan agregaya diğer taraftan sertleşmiş çimento hamuru olarak iki ana fazlı heterojen bir malzeme olarak dikkate alınabilmektedir(1,2). Bilindiği gibi, çok eskiden beri kullanılan ve normal dayanım ve dayanıklılığa sahip geleneksel betonun, öngerilmeli beton ve betonarme yüksek yapılar, köprüler, viyadükler, nükleer santraller, yollar, uçak pistleri, açık deniz platformları gibi yapıların inşa edilmeye başlamasıyla dayanım ve dayanıklılığının artırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Betonun oluşturan malzemelerden, çimentonun teknolojisindeki gelişmeler, silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi bağlayıcı özeliğe sahip endüstriyel atıkların beton bileşimine girmesi, su/çimento oranında, betonda işlenebilme özeliğini yitirmeden, önemli miktarda azalma sağlayan kimyasal katkıların da kullanıma sunulmasıyla, betonların dayanım ve dayanıklılığı artırılmıştır. Bu da İnşaat Mühendislerine yeni ufuklar açan "yüksek performanslı beton" konusunu gündeme getirmiş ve araştırmalar son yirmi yıldır söz konusu beton üzerinde yoğunlaşmıştır.

Günümüzde yüksek performanslı ve geleneksel betonlarla inşa edilen yapıların, hizmet ömürleri boyunca maruz kalacakları yükleri emniyetle taşımaları yanında, çeşitli etkenlere karşı da dayanıklı olması istenmektedir. Zira, beton yapılarıdaki bozulma, ekonomi ve emniyet yönünden ciddi sorunlar yaratmaktadır. Yapılan araştırmalar, betonları dolayısıyla da yapıları tahrip eden önemli etkenlerden birisinin don etkisi olduğunu göstermektedir.(1,3-5).

Betonların donma mekanizmasını açıklamaya yönelik birçok araştırmalar yapılmaktadır (5-13). Yapılan araştırmaların çoğu, betonun donmasında agregaya boşluklarının ve çimento hamuru agregaya ara yüzeyindeki geçişlerin etkili olduğunu göstermektedir. Betonun donma olayından etkilenmesi, betonu oluşturan malzemeler üzerindeki su girebilecek kadar büyüklükteki gözeneklerin çokluğuna bağlıdır(9-12). Soğuk havada bu gözeneklerin içerisinde bulunan su donmakta dolayısıyla da genişlemektedir. Bilindiği gibi, suyun buza dönüşmesi ile yaklaşık %9 hacim büyümesi olmaktadır(3). Bu da beton içinde bulunan gözeneklerin hacminin %91 veya daha fazlasının su ile dolu olduğu durumlarda donma olayının olması halinde, buza dönüşen suyun mevcut hacmin içerisine sığamayacağından etrafına basınç yaratmaktadır. Suyun bir miktarının buza dönüşerek hacim artışı yapması nedeniyle, henüz buzlaşmamış suyu gözenek hacminden dışarı iterek büyük bir hidrolik basınç yaratmakta ve bu basınç beton içerisindeki agreganın ve agregaya tanesinin etrafını saran sertleşmiş çimento hamurunun çatlamasına yol açabilmektedir(9,10).

Betonu oluşturan agregaya ve çimento hamuru fazlarının özellikleri ve miktarları ile donmaya dayanıklılığı arasındaki ilişkiler henüz kesin olarak saptanmadığından, araştırmalarda en iyi metod, çeşitli bileşimlerde üretilen betonlar üzerinde karşılaştırmalı deneyler yapmaktır(1,13). Bu nedenle bu çalışmada, yüksek performanslı betonların (YPB) basınç ve çekme dayanımlarına donma-çözülmenin etkileri, geleneksel betonunkilerle (GB) karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bunun için, petrografik ve mineralojik yapısı bilinen bir agregayla üretilen yüksek performanslı ve geleneksel betonlara beş çevrimde donma-çözülme işlemi uygulanarak, bu betonların basınç dayanımları, yarmada ve eğilmede çekme dayanımları belirlenmiştir. Yüksek performanslı ve geleneksel betonların basınç ve çekme dayanımları, her bir donma-çözülme çevrimi için, kendi aralarında ve donma-çözülme işlemi görmemiş numunelerinkilerle birlikte karşılaştırmalı olarak incelenerek bazı sonuçlara varılmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve BULGULAR

2.1. Kullanılan malzemeler

2.1.1. Agregaya özellikleri

Yüksek performanslı ve geleneksel beton üretiminde kalker agregası kullanılmıştır. Bu agreganın bazı petrografik özellikleri Çizelge 1'de ,gevşek birim kütle, özgül kütle ve su emme gibi fiziksel özellikleri Çizelge 2'de ve agregaya üretiminde kullanılan kayalardan 75mm çapında, 150 mm yüksekliğinde alınan karotlardan elde edilen bazı mekanik özellikleri ise Çizelge 3' de verilmektedir.

Çizelge 1. Betonların üretiminde kullanılan agreganın petrografik özellikleri

Kayaç Adı	Mineral	Mineral Durumu	%
Kalker	Kalsit	Mikritik çimentolu kireçtaşı, Kısmen yaşlı mikrofosiller	99,5
	Opak	-	0,5

Çizelge 2. Beton üretiminde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Agrega tane boyutu (mm)	Gevşek birim kütle (kg/m ³)	Özgül kütle (kg/m ³)		Su emme (%)
		Doygun	Kuru	
İri (> 4mm)	1440	2706	2718	0,42
İnce (<4mm)	1490	2671	2680	0,52

Çizelge 3. Beton üretiminde kullanılan agregaların bazı mekanik özellikleri

Karot boyutu (mm)	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı
$\phi = 75$ H=150	74	60 000	0,17

Kayaç karot numunelerde, elastisite modülü ve Poisson oranlarının belirlenmesinde karotlar üzerine yapıştırılan aktif boyları 60 mm olan TML-PL60 tipi birim şekildeğiştirme ölçerleri kullanılmıştır.

2.1.2. Çimento özellikleri

Yüksek performanslı betonların üretiminde, karakteristik basınç dayanımı 42,5MPa olan Portland çimentosu (PÇ 42,5), geleneksel beton üretiminde ise karakteristik basınç dayanımı 32,5 MPa olan Katkılı Çimento (KÇ32,5) kullanılmıştır. Çimentoların fabrikalarından alınan bazı özellikleri Portland Çimentosu için Çizelge 4'de, Katkılı Çimento için ise Çizelge 5' de verilmektedir.

2.1.3. Katkı maddesi özellikleri

Yüksek performanslı beton üretiminde, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı ASTM C-494 F tipi katkıları kullanılmıştır. Silis dumanının kimyasal özellikleri Çizelge 6' da verilmektedir.

Çizelge 4. Yüksek performanslı beton üretiminde kullanılan çimentonun bazı özellikleri

Fiziksel Özellikler			Mekanik Özellikler		
İncelik	Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,10	Yaş (gün)	Ortalama eğilme dayanımı (MPa)	Ortalama basınç dayanımı (MPa)
	200 µm elekten kalan (%)	0,1			
	90 µm elekten kalan (%)	2,4			
Sertleşme süresi (saat)	Başlangıç	2,35	7	4,36	7,3
	Bitiş	4,00	28	5,29	8,5

Çizelge 5. Geleneksel beton üretiminde kullanılan çimentonun bazı özellikleri

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler			
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,05	Yaş (gün)	Ortalama eğilme dayanımı (MPa)	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	
Özgül yüzey (Blaine), cm ² /g	3285	2	3,30	15,40	
Sertleşme süresi (saat)	Başlangıç	2,20	7	5,10	27,70
	Bitiş	3,20	28	6,50	35,90

Çizelge 6. Silis dumanının kimyasal özellikleri

Bileşen	S _i O ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO ₃	MgO ₃	CrO ₃	Kızdırma kaybı	Serbest karbon
Kütlece %	82	1,8	3,2	1,4	5	3	2,2	1,2

2.2. Betonların Bileşimi, Üretimi ve Saklanması

2.2.1. Betonların bileşimi

Yüksek performanslı ve geleneksel betonların üretiminde kullanılan agreganın granülometrik bileşimi Çizelge 7' de, mutlak hacim yöntemiyle belirlenen betonların birleşimi ise Çizelge 8' de verilmektedir. Yüksek betonların üretiminde su/çimento oranı 0,25, çimento 500 kg/m³, silis dumanı çimento ağırlığının %10'u, süper akışkanlaştırıcı ise çimento+silis dumanı ağırlığının %4'ü olarak hesaplarda dikkate alınmıştır. Geleneksel beton üretiminde su/çimento oranı 0,50, çimento 350 kg/m³ olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 7. Agreganın granülometrik bileşimi

Granülometrik Sınıflar	Kütlece %
0,25 mm – 0,50 mm	5
0,50 mm – 1,00 mm	5
1,00 mm – 2,00 mm	15
2,00 mm – 4,00 mm	20
4,00 mm – 8,00 mm	25
8,00 mm – 16,00 mm	30

Çizelge 8. Betonların bileşimi

Betonlar	W/C	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Toplam agrega (kg/m ³)	Doyma suyu (kg/m ³)	Katkılar	
						SD	SAK
YPB	0,25	500	125	1850	4,66	50	22
GB	0,50	350	175	1841	3,80	-	-

YPB: Yüksek performanslı beton. Geleneksel beton
SD: Silis dumanı SAK: Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi

2.2.2. Betonların üretimi ve saklanması

Betonların karılmasında 60 litre kapasiteli eğik eksenli bir betoniyer kullanılmıştır. Her bir sınıf agregalar tartılarak önceden nemlendirilen betoniyere konulmuş ve doyma suyu ilave edilerek 3 dakika, daha sonra çimento (varsa silis dumanı ile birlikte) ilavesi ile 3 dakika, bunu takiben betoniyer hiç durdurulmadan karma suyu (varsa süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ile birlikte) ilave edilerek

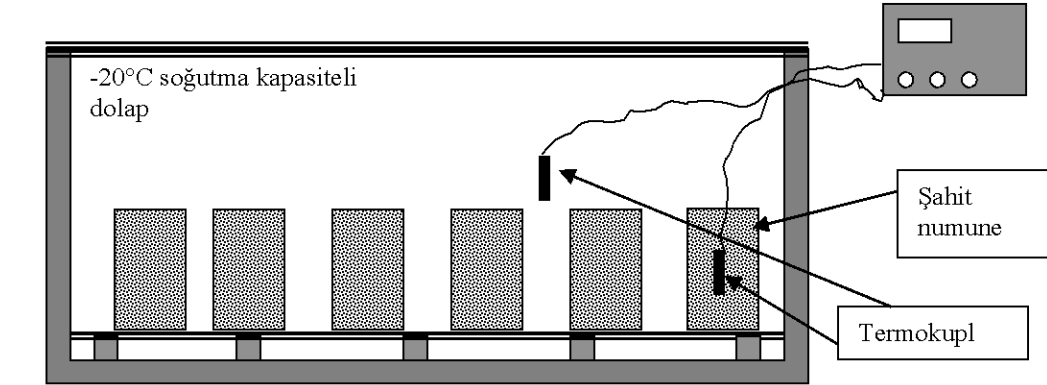
3 dakika daha karıştırılmıştır.

Bu şekilde hazırlanan betonlar, frekansı 2800 devir/dakika olan sarsma tablası üzerine bağlanan 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde standart silindirlere ve 100 mmx100 mmx400 mm prizmatik numunelere, üç aşamada 15 saniyelik titreşim uygulanarak yerleştirilmiştir.

Döküldüklerinden bir gün sonra kalıplarından çıkartılan numuneler, 21 gün boyunca sıcaklığı $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ olan suda, bu süre sonunda deney anına kadar sıcaklığı $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\%65 \pm 5$ olan bir ortamda saklanmıştır. Numuneler üzerinde deneylere 28 gün sonunda başlanmıştır.

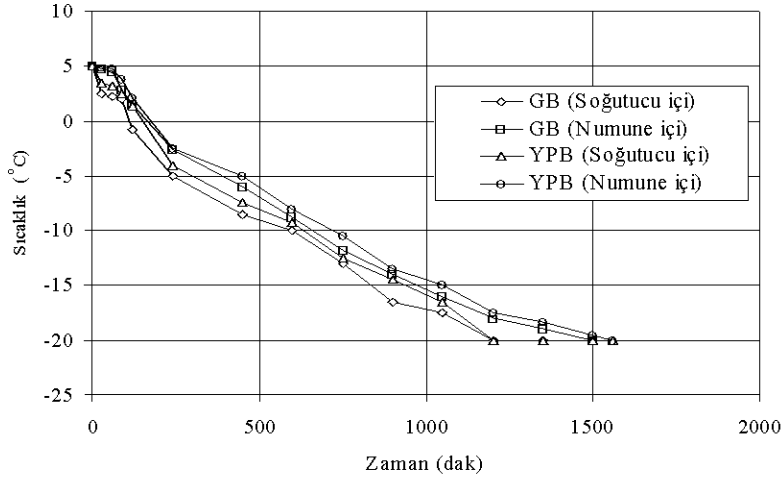
2.3. Donma-çözülme deneylerinin yapılması

Bu çalışmada, donma-çözülme olayının, yüksek performanslı ve geleneksel betonların basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımlarına etkilerinin incelenmesi için 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde toplam 72 adet standart silindir numunelerle, boyutları 100mm x 100 mm x 400 mm olan toplam 72 adet prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin 12 adeti üzerinde donma-çözülme uygulanmadan, 12 adeti 1 kez, 12 adeti 2 kez, 12 adeti 3 kez, 12 adeti 4 kez ve 12 adeti de 5 kez donma-çözülme işlemine tabi tutularak deneyler yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de şematik olarak görülmektedir.

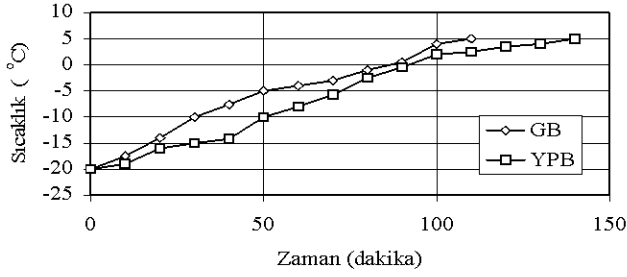


Şekil 1. Donma-çözülme deney düzeneğinin şematik gösterilimi

Her bir numune deneyden önce sıcaklığı $+5^{\circ}\text{C}$ 'ye getirildikten sonra, tartılarak -20°C donma kapasitesine sahip bir dondurucuya konmuştur. Beton numuneler dondurucuya yerleştirilirken bir adet standart silindir beton numunenin ortasına termokupl, bir adet de dondurucu içine termokupl yerleştirilmiştir. Böylece deneyin başından itibaren hem numunelerin iç sıcaklığı, hem de dondurucu sıcaklığı zamana bağlı olarak kaydedilmiş ve dondurucu ve numune içi sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Dondurucu içinde bulunan referans numunenin iç sıcaklığı -20°C 'ye ulaştığında numuneler dondurucudan çıkartılarak sıcaklığı 23°C olan bir ortamda referans numunenin iç sıcaklığı $+5^{\circ}\text{C}$ oluncaya kadar bekletilmiştir. Deney numunelerinin çözülme sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Deney numunelerinin iç sıcaklığı $+5^{\circ}\text{C}$ ye ulaştığında ikinci kez donma-çözülme işlemine tabi tutulmuştur. Yüksek performanslı ve geleneksel prizmatik beton numunelerde de aynı işlemler yapılmış ancak burada referans numunesi olarak ortasına termokupl yerleştirilmiş prizmatik beton numune kullanılmıştır. Söz konusu donma-çözülme deneyi 5 kez tekrarlanmıştır. Birinci, üçüncü ve beşinci çevrim sonunda numuneler üzerinde merkezi basınç, silindir yarma ve eğilme deneylerine yapılmıştır. Bu deneylerde her bir çevrimden önce ve sonra numunelerin ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Bu değerler Çizelge 9'da verilmektedir.



Şekil 2. Donma-çözülme deneyinde soğutucu ve numune içi sıcaklık değişimi



Şekil 3. Deney numunelerinin çözülme sıcaklığının değişimi

Çizelge 9. Beton numunelerin donma-çözülme deneyi boyunca ağırlıklarının değişimi

Çevrim Sayısı	Beton Türü	Betonlar ve Beton Numune Ortalama Ağırlıkları (g)	
		Silindir (S) ($\phi=15, H=30\text{cm}$)	Prizma (P) ($10 \times 10 \times 40\text{cm}$)
Başlangıçta (+5°C)	YPB	13218	9905
	GB	12785	9564
1.çevrim sonunda (-20°C)	YPB	13217	9903
	GB	12705	9556
2.Çevrim başında (+5°C)	YPB	13230	9910
	GB	12715	9589
2.Çevrim sonunda (-20°C)	YPB	13220	9902
	GB	12701	9550
3.Çevrim başında (+5°C)	YPB	13232	9913
	GB	12717	9626
3.Çevrim sonunda (-20°C)	YPB	13222	9900
	GB	12694	9545
4.Çevrim başında (+5°C)	YPB	13233	9914
	GB	12718	9630
4.Çevrim sonunda (-20°C)	YPB	13225	9898
	GB	12690	9541
5.Çevrim başında (+5°C)	YPB	13235	9916
	GB	12724	9635
5.Çevrim sonunda (-20°C)	YPB	13228	9896
	GB	12682	9536
Deney sonunda (+5°C)	YPB	13238	9917
	GB	12736	9645

YPB: Yüksek Performanslı Beton
GB : Geleneksel Beton

Donma-çözülme olayının, yüksek performanslı betonların basınç, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımlarına etkileri, geleneksel betonunkilerle karşılaştırmalı olarak incelenmesi için, yukarıda verildiği gibi, yapılan donma-çözülme deneyinden sonra donma-çözülme çevrimine girmemiş, birinci, üçüncü ve beşinci çevrimden sonra silindirik ve prizmatik numuneler üzerinde basınç, yarmada çekme ve eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 10'da verilmektedir.

Çizelge 10. Betonların ortalama çekme ve basınç dayanımları

Çevrim sayısı	Beton türü	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Ortalama eğilmede çekme dayanımı (MPa)	Ortalama yarmada çekme dayanımı (MPa)
Başlangıç (+5°C)	YPB	65,6	8,01	4,72
	GB	33,7	6,7	4,17
1	YPB	63,4	7,80	4,6
	GB	32,1	5,85	3,89
3	YPB	61,5	7,55	4,51
	GB	30	5,58	3,58
5	YPB	58,3	6,85	4,25
	GB	26,7	4,15	3,06

3. BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI

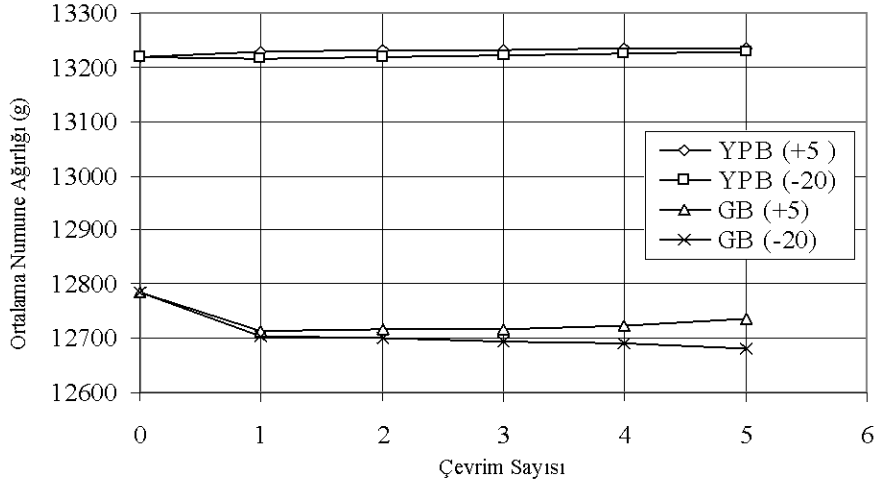
Yüksek performanslı ve geleneksel betonların basınç ve çekme dayanımlarına donma-çözülmenin etkilerinin araştırılması için yapılan bu çalışmada, kullanılan malzemeler, deney yöntemi ve gerçekleştirilen deneyler tanıtılarak bazı sonuçlara varılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda karşılaştırılmaktadır.

Yüksek performanslı ve geleneksel betonların üretiminde aynı granülometriye sahip, su emme oranı düşük olan kalker agregası kullanılmıştır (bkz. Çizelge 2 ve Çizelge 7). Geleneksel beton üretiminden farklı olarak, yüksek performanslı betonlarda PÇ42,5 çimentosuyla birlikte mineral (silis dumanı) ve kimyasal (süper akışkanlaştırıcı) katkı maddeleri kullanılmıştır.

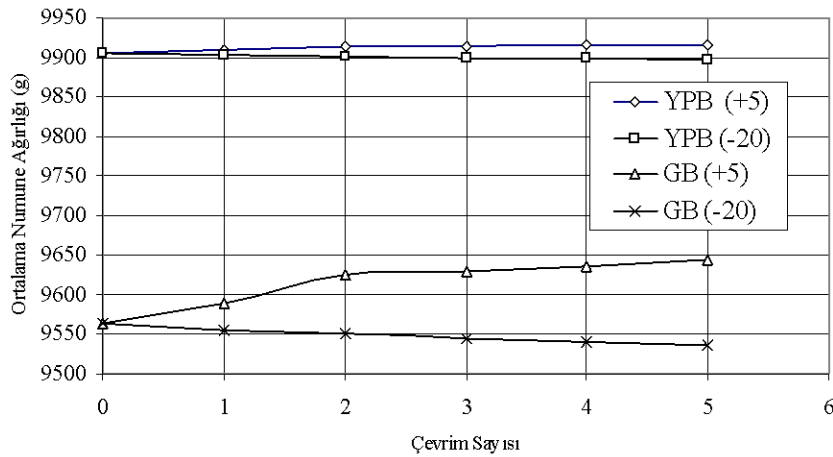
Yapılan donma-çözülme deneylerinde, her bir donma-çözülme çevrimi başlangıcında (+5°C) ve sonunda (-20°C) belirlenen beton numunelerin ağırlıklarının çevrim sayısı ile değişimi, standart silindirik numuneler için Şekil 4'de, prizmatik numunelerinki ise Şekil 5'de verilmektedir.

Yüksek performanslı beton silindirik numunelerin ağırlıklarının değişimi, geleneksel betonlardakine göre daha azdır. Geleneksel betonlarda ise, ağırlık değişimi, çevrim sayısına bağlı olarak, önemli ölçüde değişmektedir (bkz. Şekil 4).

Yüksek performanslı ve geleneksel betonlar için çevrimlerden sonra, prizmatik numunelerdeki ağırlık değişimi standart silindirik numunelerin ağırlık değişiminden daha fazladır. Bu da prizmatik numune yüzey alanının, standart silindirin yüzey alanından daha fazla, kalınlığının ise daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, geleneksel beton prizmatik numunelerde, çevrim sayısına bağlı olarak, ağırlık değişimi artarak devam etmektedir (bkz. Şekil 5). Her iki şekilden de yüksek performanslı betonlara göre, geleneksel betonların daha fazla bulunan boşluk nedeniyle donma-çözülme çevrimleri sonunda geleneksel betonlardaki ağırlık değişiminin artarak devam ettiği



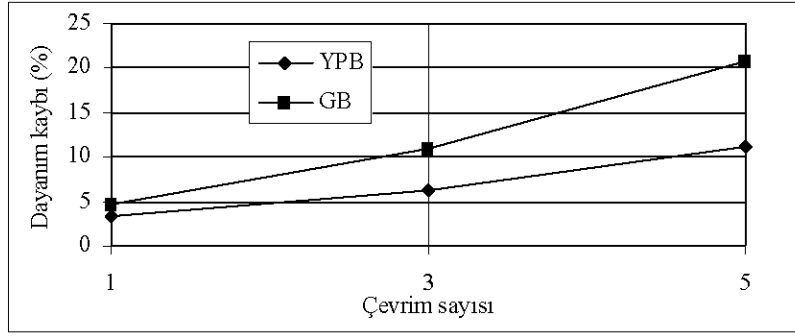
Şekil 4. Yüksek performanslı ve geleneksel standart silindir beton numune ağırlıklarının çevrim sayısı ile değişimi



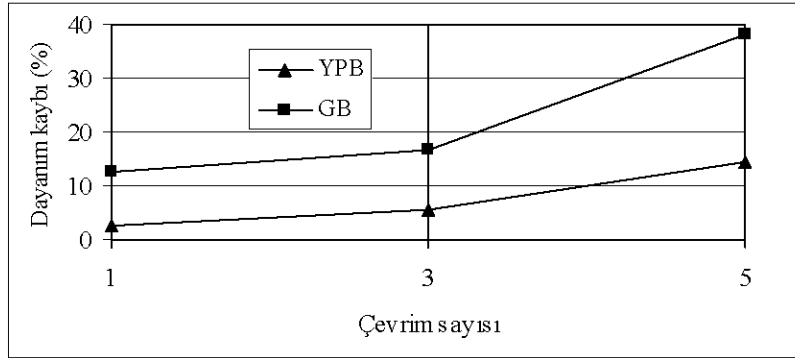
Şekil 5. Yüksek performanslı ve geleneksel prizmatik beton numune ağırlıklarının çevrim sayısı ile değişimi

görülmektedir. Geleneksel betondaki ağırlık değişiminin artarak devam etmesinin nedeni, her çevrim sonunda beton içindeki boşluklardaki suyun donma-çözülme sırasında, betonda mevcut çatlakların daha da büyümesi ve/yada yeni çatlakların oluşması şeklinde açıklanabilmektedir.

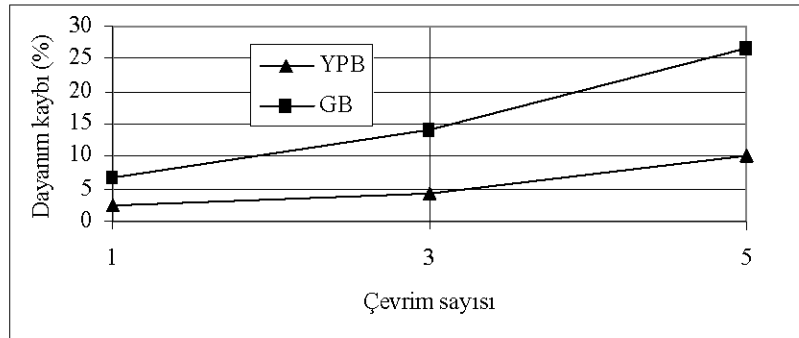
Yüksek performanslı ve geleneksel beton silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen merkezi basınç deney sonuçları Çizelge 10 'da verilmiştir. Bu çizelgede verilen deney sonuçları yardımıyla çizilen basınç dayanımı kaybı-çevrim sayısı eğrisi Şekil 6' da, eğilmeye çekme dayanımı kaybı-çevrim sayısı eğrisi Şekil 7' de ve yarmada çekme dayanımı kaybı-çevrim sayısı Şekil 8' de görülmektedir. Basın. Dayanımı kaybı-çevrim sayısı eğrisinden de görüldüğü gibi, yüksek performanslı betonların dayanım kayıpları 1.çevrim sonunda % 3 , 3.çevrim sonunda % 6 ve 5. çevrim sonunda da %11 oranına ulaşmaktadır. Bu oranlar geleneksel betonlarda ise sırasıyla %5, %11 ve %21 olmaktadır. Bu da donma çözülme olayında her iki betonun da etkilendiği, ancak geleneksel betonların daha boşluklu bir yapıya sahip olmalarından dolayı, daha fazla etkilendiklerini göstermektedir. Bunu çekme dayanımı kaybı-çevrim sayısı eğrileri de desteklemektedir.



Şekil 6. Basınç dayanımı kaybının çevrim sayısına bağlı olarak değişimi



Şekil 7. Eğilmede çekme dayanım kaybının çevrim sayısına bağlı değişimi



Şekil 8. Yarmada çekme dayanım kaybının çevrim sayısına bağlı değişimi

4. SONUÇ

Donma-çözülme olayının yüksek performanslı ve geleneksel betonların çekme ve basınç dayanımlarına etkisinin araştırılması için gerçekleştirilen bu çalışmadan çıkartılabilecek sonuçlar aşağıda verilmektedir.

* Yüksek performanslı beton silindir ve prizmatik numunelerde, donma çözülme işlemleri boyunca, numune ağırlıkları pratik olarak değişmemektedir.

* Geleneksel beton silindir numunelerin, ağırlıkları ilk çevrimde bir miktar azaldıktan sonra, donmada yaklaşık olarak sabit kalırken, çözülmede, birinci çevrime göre, artmaktadır.

* Geleneksel beton prizmatik numunelerde ağırlık değişimi, donma işlemi her bir çevrimde azalarak, çözülmede ise artarak devam etmektedir.

* Geleneksel betonlarda ağırlıkların yüksek performanslı betona göre daha fazla değişmesi, söz konusu betonun içindeki boşluk oranlarına ve bu boşlukların suyla dolu olup olmamasından kaynaklanmaktadır.

* Prizmatik numunelerin yüzey alanının daha fazla, numune kalınlığının ise standart silindir numunelere göre daha az olması nedeniyle, donma çözülme olayından daha fazla etkilenmişlerdir.

* Yüksek performanslı betonların basınç dayanımlarındaki kayıplar, 1.çevrim sonunda %3, 3. çevrim sonunda %6 ve 5. çevrim sonunda da %11 olurken, geleneksel betonda bu oranlar yaklaşık iki katı civarında gerçekleşmiştir. Bu da geleneksel betonların donma çözülme işleminden daha fazla etkilendiklerini göstermektedir.

* Prizmatik numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğilmede çekme dayanımı kaybı geleneksel beton için, 1.çevrim sonunda %15 civarında iken, 5.çevrim sonunda %38 dir. Yüksek performanslı betonlar için bu oranlar sırasıyla %3 ve %15 civarında kalmıştır.

* Silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımı, geleneksel betonlar için 5. çevrim sonunda %36 oranında, yüksek performanslı betonlar ise %3 oranında kayba uğramıştır.

Özetle, yüksek performanslı betonlar, donma çözülme etkisine karşı geleneksel betonlara göre daha fazla dayanıklılık göstermektedir. Betonların yüzey alanları ve eleman kalınlıkları da donma çözülme etkisini artırmaktadır. Bu da betonarme döşeme gibi yüzey alanı büyük olan elemanların donma-çözülme işlemine karşı korunmasının gerektiğini, donma ve çözülmeye maruz kalan beton ve/yada betonarme elemanların dayanımlarının zamanla büyük oranlarda kayba uğradığını dolayısıyla da bu elemanlardan hizmet ömürleri süresince beklenen performansı yerine getiremeyeceklerini göstermektedir. Bu çalışma, yüksek performanslı ve geleneksel betonlar için bir su/çimento oranı kullanılarak üretilen betonlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Değişik su/çimento oranlarında üretilen betonların da donma çözülme etkileri çevrim sayıları da artırılarak araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Akman, M.S., *Yapı Malzemesi*, İTÜ Matbaası, İstanbul (1987).
2. Neville, A.M., *Properties of Concrete*, Pitman Publishing, London (1977).
3. Erdoğan, T.Y., *Betonu Oluşturan Malzemeler, Agregalar*, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul (1995).
4. Mehta, P.K., *Concrete-Structure, Properties and Materials of Concrete Practice*, Part 1, Michigan (1986).
5. Picketh, G., "Flow of Moisture in Hardened Cement During Freezing" *Highway Research Board*, 32 (1953).
6. Mather, B., "How to Make Concrete That will be Immune to the Effects of Freezing and Thawing" *Proceedings of the 9th International Conference on Cold Regions Engineering*, Duluth, MN, USA, pp721-730 (1998).
7. Attiogbe, E.K., "Predicting Freeze-Thaw Durability of Concrete- A New Approach" *ACI Materials Journal*, September 1, 93(1996).
8. Bowser, J.D., Krause, G.L. and Tadros, M.K., "Freeze-Thaw Durability of High Performance Concrete Masonary Units" *ACI Materials Journal*, July 1, 93(1996).
9. Prado, P.J., Balcom, B.J., Beyea, S.D., Bremner, T.W., Armstrong, R.L. and Grattan-Bellew, P.E., "Concrete Freeze/Thaw as Studied by Magnetic Resonance Imaging", *Cement and Concrete Research*, 2, 28(1998).
10. Cai, H., Liu, X., "Freeze-Thaw Durability of Concrete: Ice Formation process in Pores", *Cement and Concrete Research*, 9, 28(1998).
11. Mette, R.G., Laugesen, P., "On the Effect of Laboratory Conditioning and Freeze/Thaw Exposure on Moisture Profiles in HPC", *Cement and Concrete Research*, 31(2001).
12. Pigeon, M., Gagne, R., Aitcin, P.C and Banthia, N., "Freezing and Thawing Tests of High Strength Concretes", *Cement and Concrete Research*, 5, 21(1991).
13. Kocataşkın, F., Betonun Donmaya Karşı Davranışı, *Beton Kongresi*, Ankara (1984).