



Makale

Erken Yaşlardaki Beton Üzerinde Buzun Etkisi

Tayfun UYGUNOĞLU, Osman ÜNAL

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

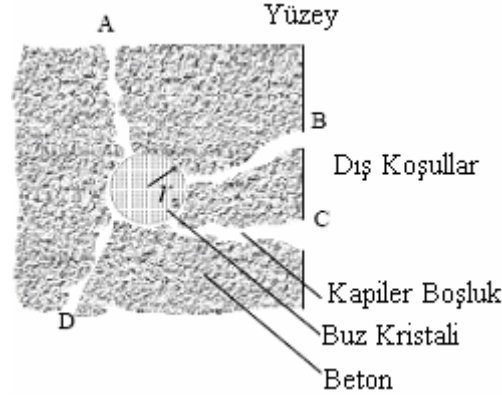
ÖZET

Bu çalışmada betonlarda buzun beton üzerindeki etkileri ve betonun donmuş haldeki mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada 100x100x100 mm³ boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Tüm karışımlar 0.65 su/çimento oranında ve 300 kg/m³ çimento dozajlı olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 3, 7 ve 28. günlerde 24 saat -20 °C'de dondurulduktan sonra donmuş numuneler üzerinde ultrases geçiş süresi, schmidt çekici okumaları ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Aynı karışım oranında kontrol betonu da üretilmiş olup, 3, 7 ve 28. günlerde aynı deneyler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre betonun içerisine kılcal yollardan girmiş olan suyun donmasıyla betonun dayanımını yaklaşık % 25 oranında arttırdığı gözlenmiştir.

1. GİRİŞ

Cisimler boşluklu bir yapıya sahiptirler. Cisimlerin gözeneklerinde bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda, donması malzemenin dayanımının azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Bu etkiler suyun donması sonucunda hacminin artmasından ileri gelmektedir [1]. Su donduğunda hacminde % 9 oranında bir artış meydana gelir [2]. Bu ifadeden de anlaşıldığı üzere donma olayı cisimlerde belirgin bir ölçüde genleşme meydana getirmektedir. Bu genleşmenin sonunda ise cisimlerin boşluk yapısında önemli değişimler olmaktadır. Donma-çözülme olayının birkaç sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar biraz daha genişlemekte ve bunun sonucu olarak da cismin yüzeyinde önemli derecelerde çatlaklar ve hatta döküntüler meydana gelmektedir. Bilindiği gibi beton da boşluklu bir malzemedir ve bulunduğu yere ve iklim koşullarına göre su ile temas halinde bulunabilir ve hatta betonun su ile temas etmesi sonucu kılcallık, geçirimsizlik ve donma gibi fiziksel olaylara maruz kalabilir. Betondaki boşluklar, betonun üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu veya betonun geçirimsizliği nedeniyle dışarıdan içeriye giren su ile dolmaktadır (Şekil-1.1). Bu nedenle betonun donma olayının etkisi altında kalarak hasar görmeye elverişli bir yapıya sahip olduğu belirtilmektedir [1].

Taze ve sertleşmiş betonun birbirinden çok farklı ve bazen birbiriyle çelişen özelliklere sahip olduğu literatürden bilinmektedir. İyi bir betonda aranan en önemli özellik sertleşmiş durumda iken yüksek bir basınç dayanımına sahip olmasıdır. Zaman içinde bu özelliğini kaybetmemesi veya olumsuz yönde değiştirmemesidir [3].



Şekil-1.1. Betonun Gözeneğine Yerleşmiş Buz [4].

İlk zamanlarda yer alabilecek donma olayı karşısında betonun yeterli dayanıklılığı gösterebilmesi için betonun içerisindeki su miktarının "kritik doygunluk seviyesi" olarak adlandırılan bir seviyeye incek kadar azalmış olması gerekmektedir. Böyle bir su seviyesinin ne olduğunu tam olarak tesbit edebilmek mümkün değildir. Betondaki su miktarının kritik doygunluk seviyesine kadar inmiş olabileceği bir durum ancak yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Kritik doygunluk seviyesinin belirlenebilmesi için betonun ilk zamanlarda kazanmış olduğu dayanımın miktarı araştırılmaktadır. Bir kez donma olayı karşısında betonun hasar görmemesi için beton dayanımının en az 3.5 MPa seviyesine ulaşmış olması gerekmektedir. Genel olarak, +10 °C sıcaklıktaki ve iyi bir karışım oranına sahip olan ve yeşil beton olarak da anılan bir beton, 3.5 MPa dayanım seviyesine, betonun yerleştirilme işleminden 2 gün sonra ulaşabilmektedir [5].

Kritik dayanım kavramı : Betonun, donan suyun genişlemesi sonucu oluşan gerilmeleri karşılayabilmesi için sahip olması gereken minimum bir dayanım değeri vardır. ACI Committee 306R-88 bu değeri 3.5 MPa olarak önermiştir. Bu değer TS 1248 de 4 MPa olarak verilmiştir. Bir başka kaynakta en az 5 MPa, Polonya'da ise su/çimento oranı 0.50 den küçük betonlarda 8 MPa, 0.50 den büyük betonlarda 10 MPa istenmektedir[5-7].

Kritik yaş kavramı : Beton belirli bir yaşa ulaştığında don etkisine karşı koyabilecek dayanıma sahip olur; aynı zamanda bu yaşta betonun suya doygunluk derecesi öyle bir değere iner ki bu suyun donarak genişlemesi betona zarar vermez. Bu süre 8-48 saat arasında bazan daha uzun olabilir. ACI Committee 306R-88, 1-3 gün arasında bir değer vermiştir. TS 1248'de en az 24 saat olarak belirlenmiştir. Aslında kritik dayanım ve yaş kavramları birbiriyle ilişkilidir[5-7].

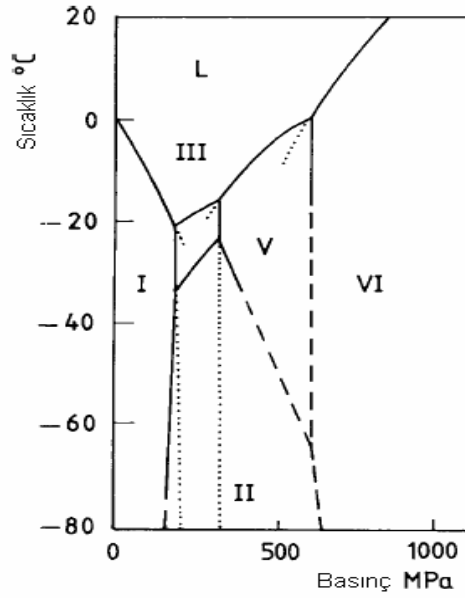
Gözenekli malzemelerde buzun formasyonu, fazlar arasındaki denge koşullarıyla belirlenir. Bu nedenle gözenekli malzemelerdeki buzun formasyon mekanizması termodinamiğin kanunlarına göre belirlenebilir. Sıvı faz *l* ve katı faz *s* arasındaki termodinamik eşitliği (1) nolu denklemde verilen Gibbs-Duhem eşitliği ile tanımlanabilir [8].

$$dG = -\sum_{\lambda} S^{\lambda} dT + \sum_{\lambda} V^{\lambda} dP^{\lambda} + \sum_{\lambda} \mu^{\lambda} dn^{\lambda} \quad (1)$$

Eşitlikte *S* ve μ sabitler olup, λ fazın kimyasal potansiyelidir.

1.1. Buz ve Buzun Yapısı

Buz değişik yapılarda bulunabilir. Hacim olarak buzun sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişik halleri veya durumları Şekil-1.2'de verilmiştir. Normal sıcaklık (0 °C ve altı) ve basınç altında buzun yapısı altıgen durumundadır. Mikro gözenekli malzemelerdeki buzun yapısı üzerine araştırmalar yapmış olan Anderson'a [9] göre, -80 °C'nin üzerindeki sıcaklıklardaki malzemelerde bulunan buz normal halindedir.



Şekil-1.2. Buzun Faz Diyagramı

Buzun sıcaklıkla dayanımı arasındaki ilişkinin belirlendiği çalışmada sıcaklık derecesi eksi yönde artıka dayanımların arttığı Tablo-1.1’de verilmiştir [1]. Görüldüğü gibi sıcaklık derecesi azaldıkça buzun dayanımı artmaktadır. Beton gibi gözenekli malzemeler içerisine çeşitli yollardan girmiş olan suyun donması ile oluşan buzun oluşum sıcaklığına göre i yapıdaki içsel gerilmeler betonun dayanımını artırıcı etki yaptığı söylenebilir.

Tablo-1.1. Buzun Farklı Sıcaklıklardaki Dayanımı [1]

Sıcaklık Derecesi (°C)	-5	-10	-15	-20
Buzun Basınç Dayanımı (MPa)	59	109	164	194

Yeryüzünde kıtalar ve bölgeler buldukları yere göre değişik sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar. Ekvatora yakın bölgelerde sıcaklık derecesi ve süresi uzun iken kutup bölgelerine doğru yaklaşıldığında sıcaklık derecesi ve süresi değişmektedir. Bazı bölgeler uzun süre buzun etkisi altında kalabilmektedir. Ülkemizde de özellikle doğu bölgelerde kış ayları 4-5 ay sürmekte ve özellikle beton yapılar kış ayları boyunca (-) sıcaklıklar altında bulunmaktadır.

Betonun donma-özölme periyotları altında bir çok çalışma yapılmasına rağmen özellikle çok soğuk bölgelerde bulunan buz tutmuş ve bazı durumlarda uzun süre bu halde kalabilen betonun özellikleri üzerine yapılan çalışmalar yeterli değildir. Bu amaçla betonun donmuş haldeki özelliklerine buzun etkisinin nasıl olabileceği üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır.

2. DENEYSEL ALIşMA

2.1. Kullanılan Malzemeler

Beton karışımında agrega olarak kırmataş1, kırmataş2 ve 0-4 mm tane dağılımına sahip mermer kırma kum kullanılmıştır. Kum üzerinde yapılan deneylerde, organik madde bulunmadığı (renk açık), 24 saat dinlendirme sonucunda ağırlıkça % 2.8 oranında ince madde bulunduğu saptanmıştır. Deney TS 3527 [10]’ye göre yapılmıştır. Agrega granülometrisi ve fiziksel özellikleri Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1 Agregaların Granülometri Değerleri ve Fiziksel Özellikleri

Elek Çapı (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.25	Karışım % oranı	Birim Ağırlık kg/m ³	Özgül Ağırlık kg/dm ³
Kırma Kum	100	100	100	95	60	32	15	40	1588	2.69
Kırmataş1	100	97	27	8	0	0	0	35	1430	2.70
Kırmataş2	100	16	3	0	0	0	0	25	1429	2.72
Karışım	100	78	50	41	24	13	6			

Beton karışımlarında PKÇ 32.5 tipi portland kompoze çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal özellikleri Tablo 2.2 ve 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.2. PKÇ 32.5'in Fiziki ve Mekanik Özellikleri

Dayanı m Sınıfı	Basınç Dayanımı, MPa				Priz başlama süresi dakika	Hacim genişmesi mm
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32.5	-	16	>=32.5	<=52.5	>=60	<=10

Tablo 2.3. PKÇ 32.5 Çimentosunun Kimyasal Özellikleri

Bileşik Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	Diğer maddeler
%	20-25	5-10	2-4	63-67	0.5-2.7	--	1-2.5	0.5-2

Karışımın granülometri eğrisi A32-B32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde agrega oranları 0.40 kırma kum, 0.35 kırmataş-I ve 0.25 kırmataş-II olarak belirlenmiştir. Beton bileşim hesaplarında mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Buna göre çimento ve su miktarları hesaplandıktan sonra TS 802'de [11] önerilen hava boşluğu hacmi dikkate alınarak agrega miktarları ağırlık ve hacim cinsinden hesaplanmıştır.

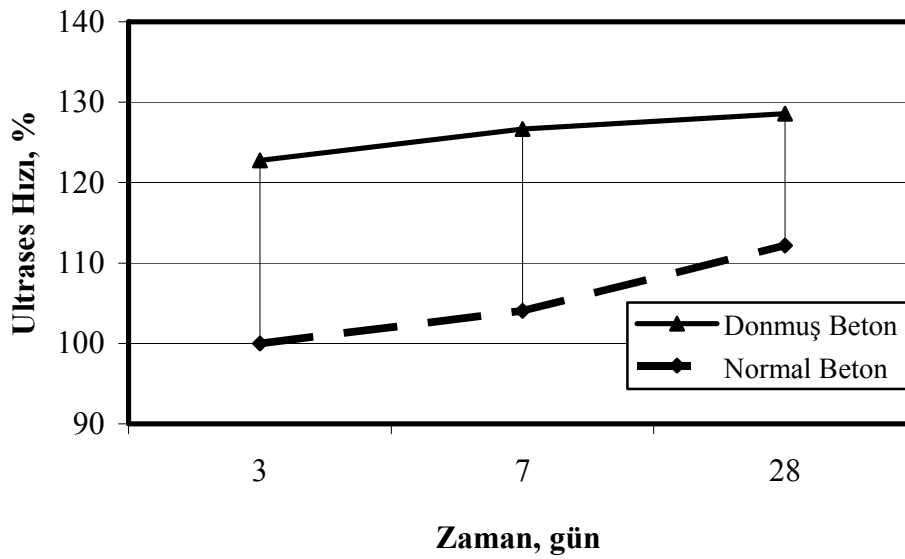
Kontrol numuneleri ve dondurulmuş numuneler olmak üzere F ve N iki seri beton numuneleri üretilmiştir. Bütün numuneler üzerinde deneyler, kalıp sökülmesinden 3., 7. ve 28. günlerde yapılmış olup, deney gününe kadar normal sıcaklıkta kirece doymuş su içerisinde bekletilmiştir. F serileri sudan çıkarıldıkları gün, suya doymuş halde dondurucuya konulmuş ve -20 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek dondurulduktan sonra testlere tabi tutulmuşlardır. N serisi numuneler deney gününden bir gün önce sudan çıkarılmak suretiyle deneye hazırlanmışlardır. F ve N serileri üzerinde ultrases geçiş süresi, basınç dayanımı, schmidt çekici deneyleri yapılarak betonun mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca ultrases hızı ve birim ağırlıklar dikkate alınarak elastisite modülleri hesaplanarak değerler karşılaştırılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Betonun iç yapısında yer alan boşluklardaki suyun donması sonucu oluşan buzun betonun erken ve ileriki yaşlardaki özelliklerine etkisinin araştırıldığı N ve F serileri üzerinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

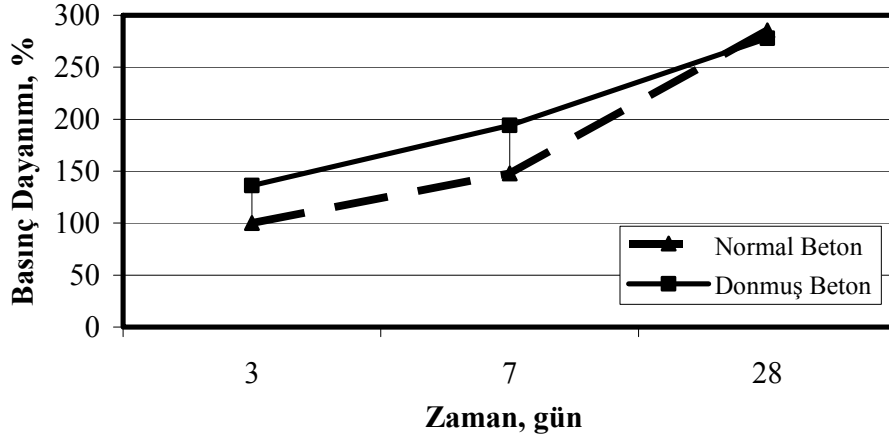
Tablo 3.1. Beton numuneleri üzerindeki deney sonuçları

Numune Yaşı	Normal Beton			
	Ultras Hızı, km/sn	Schmidt Sertliği, MPa	Basınç Day., MPa	E-modülü, MPa
3	3.83	13	7.6	33805.32
7	3.98	18	11.2	36632.12
28	4.29	24	21.7	43156.16
Dondurulmuş Beton				
3	4.70	18	10.4	52387.16
7	4.85	17	14.8	56774.78
28	4.92	24	21.1	58112.32

**Şekil-3.1.** Normal ve Donmuş Betonun Ultras Hızları Arasındaki Rölatif İlişki

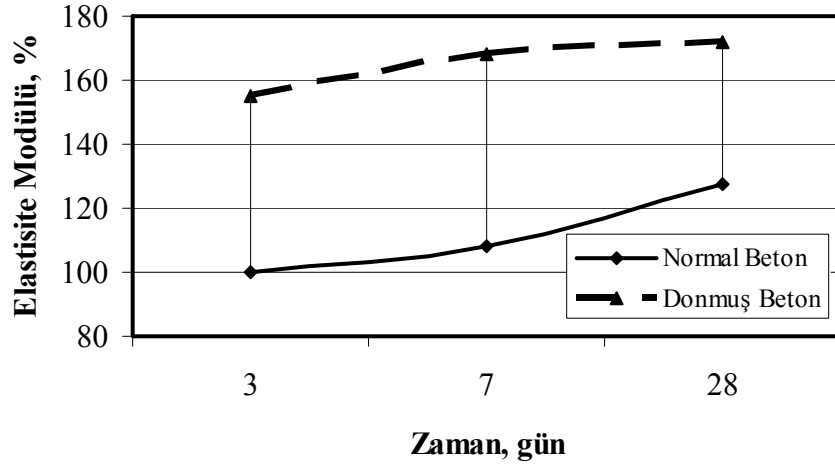
Betonların hasarsız deney yöntemlerinden olan ultras hızının zamana göre değişimi Şekil-3.1’de görüldüğü gibi, F ve N serilerinde artma eğiliminde olup benzer davranış göstermektedir. Dondurulmuş betonların ultras hızları normal betonların değerlerine göre yüksek olup her iki serinin ultras hızlarındaki artış hızı zamanla azalmaktadır. Bu durum betonun yaşının ilerlemesine bağlı olarak kılcallığının azalmasına ve erken yaşlardaki betonların nemli yapıları nedeniyle daha az su emmesine bağlanabilir. Böylece daha az emilen olan suyun donmasıyla birlikte betondaki boşluk oranı daha da azalmaktadır. İleriki yaşlarda ise her iki durumda da betonlardaki iç yapı fazla değişmediğinden ultras hızları arasındaki fark azalmaktadır.

Şekil-3.2’de her iki seriye ait betonların basınç dayanımlarının zamana göre değişimlerine bakıldığında normal ve donmuş betonun basınç dayanımları arasındaki ilişkinin de ultras hızındaki değişime benzer olduğu söylenebilir. Bu da literatürden bilinen basınç dayanımı ile ultras hızı arasında birebir ilişkinin olduğunu doğrulamaktadır. Kompartitesi yüksek betonların ultras geçiş süreleri azalacağından ultras hızları ve buna paralel olarak basınç dayanımlarının artması beklenir. Şekilden de görüldüğü gibi beton yaşının ilerlemesiyle hem normal betonun hem de donmuş betonun basınç dayanımları artış göstermektedir. Erken yaşlardaki donmuş betonun basınç dayanımı normal betona göre daha yüksek olmasına karşılık, 28 günlük betonlarda durum tersine dönmeye başlamıştır. Yani erken yaşlardaki dayanım artış hızı azalarak normal betonun dayanımından daha düşük mertebeye gelmiştir.



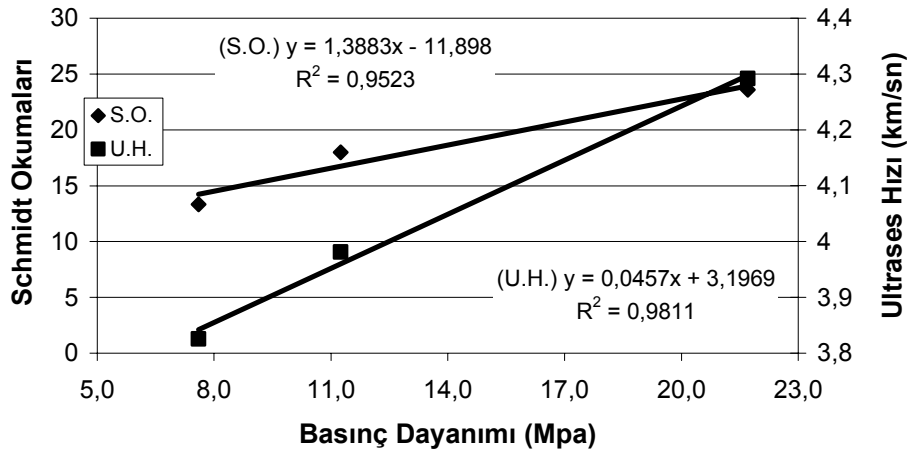
Şekil-3.2. Normal ve Donmuş Betonun Basınç Dayanımları Arasındaki Rölatif İlişki

Beton yukarıda da bahsedildiği gibi erken yaşlarda oldukça kılcal boşluklara sahiptir ve bu kılcal boşluklar su emmektedir. Erken yaşlardaki donmuş betonun basınç dayanımının normal betona göre yüksek olmasının sebebi suyun donduğunda basınç dayanımından dolayı betona dayanım kazandırması olarak söylenebilir. Betonun yaşının ilerlemesiyle birlikte betonun yapısındaki kılcal boşlukların azalmasıyla birlikte betonun dayanımının artmasının yanında emdiği su miktarı da azalır. Bundan dolayı normal betonun basınç dayanımı ile donmuş olan betonun basınç dayanımlarının aynı değere ulaştığı söylenebilir. Buna göre suyun donması sonucu betonun içindeki buzun betona ilk günlerde dayanım kazandırdığı, betonun yaşının ilerlemesiyle beton üzerinde fazla bir etki oluşturmadığı söylenebilir.

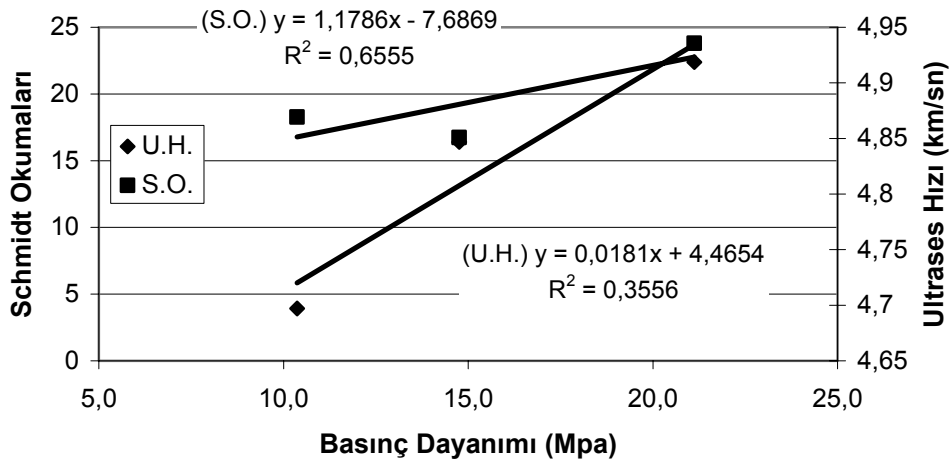


Şekil-3.3. Normal ve Donmuş Betonun E-Modülleri Arasındaki Rölatif İlişki

Normal ve donmuş betonun E-modülleri arasındaki ilişkisi incelendiğinde (Şekil-3.3), yine ultrases ve basınç dayanımları arasındaki ilişkilere benzer şekilde sonuçlar çıkmıştır. Yine 3 yaşındaki donmuş beton aynı yaştaki normal betona göre oldukça yüksek bir E-modülü değerine sahip olup bu değer 28 günlük normal betonun E-modülünden daha yüksek olduğu şekilden görülmektedir. Donmuş ve normal betonun E-Modülleri arasında büyük bir fark olduğu, bu farkın betonun yaşının ilerlemesiyle azaldığı şekilden görülmektedir. Sonuç olarak betonun içindeki suyun donması sonucu oluşan buz betonun E-modülüne de ilk yaşlarında olumlu yönde önemli bir etki yapmakta fakat betonun yaşının ilerlemesiyle bu etki azalmaktadır.



Şekil-3.4. Normal Betonun Basınç Dayanımı ile Schmidt Çekici Okumaları ve Ultrases Hızı Arasındaki İlişki



Şekil-3.5. Donmuş Betonun Basınç Dayanımı ile Schmidt Çekici Okumaları ve Ultrases Hızı Arasındaki İlişki

Şekil-3.4 ve Şekil-3.5'te normal ve donmuş betonun basınç dayanımları ile schmidt çekici okumaları (S.O.) ve ultrases hızı (U.H.) arasındaki ilişki verilmiştir. Her iki beton türü için de basınç dayanımları ile diğer özellikler arasında lineer bir ilişki vardır. Bu lineer ilişki normal betonda 0.97 ve 0.99 korelasyon katsayıları ile donmuş betona göre daha iyidir. Normal betonlarda basınç dayanımı yaklaşık 8-22 MPa arasında değerler alırken aynı betonların ultrases hızları yaklaşık olarak 3.8-4.3 km/sn arasında değerler aldığı görülmüştür. Donmuş betonlarda ise betonun boşluklarında bulunan suyun donarak daha kompozit bir yapı oluşturması sebebi ile basınç dayanımları 10-21 MPa arasında değişen betonların ultrases hızları yaklaşık 4.7-4.9 km/sn değerleri arasında değiştiği görülmüştür. schmidt çekici okumalarına bakıldığında, ilk yaşlardaki donmuş betonda normal betona göre daha yüksek olmasına karşılık ileriki yaşlarda normal beton ile donmuş betonda aynı okumalar elde edilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada kış aylarında özellikle çok soğuk bölgelerde bulunan ve uzun süre buzun etkisi altında bulunan donmuş betonların özelliklerinin belirlenmesi için yapılmış olan bu çalışmada betonun içindeki

suyun dondurulması sonucu, buzun erken yaşlardaki beton üzerindeki etkileri aşağıdaki maddelerde incelenmiştir. Buna göre;

- Beton içerisine çeşitli yollarla giren suyun donması sonucunda 3 ve 7 günlük betonların basınç dayanımını yaklaşık % 25 oranında artırırken 28 günlük betonlarda basınç dayanımında etkisi olmadığı grlmştir.
- Betonun donması erken yaşlarda (3-7 gün) ve ileriki yaşlarda (28 gün) ultras hızını etkilemiş olup, yaklaşık olarak % 20 oranında arttırdığı gözlenmiştir.
- Donmuş olan betonun E-modüllerinin de erken yaşlarda yaklaşık % 50 oranında arttığı görülürken ileriki yaşlarda bu oran yaklaşık % 40'a dşmştir.

Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi beton içerisindeki çeşitli boyutlardaki gözeneklerde bulunan suyun dış ortam sıcaklığının düşerek donması sonucunda erken yaşlarda betonun özelliklerinin iyileştiği ancak ileriki yaşlarda basınç dayanımı açısından önemli derecede etki etmediği grlmştir. Ancak her ne kadar betonun içerisine çeşitli yollarla girmiş olan suyun donmasıyla oluşan buz betona dayanım kazandırmış olsa da, ezldğnde beton içerisinde boşluk oluşturacak, donma-ezlme işlemi bira sefer daha tekrarlanması sonucunda betonda çatlamalar, parçalanmalar hatta ayrışmalar görülecektir. Bu nedenle betonun donma etkisinden mümkün olduğunca korunması gereklidir.

5. KAYNAKLAR

1. Postacıoğlu, B., “Beton”, Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi İstanbul, s. 333-337., 1987.
2. Neville, A.M., Brooks, J.J., “Concrete Technology” Longman Scientific and Technical, p. 285, 1987.
3. Budak, A., “Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-ezlme Etkisinde Mekanik zelliklerinin Araştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Blm, Bitirme Tezi, 2003.
4. Powers, T.C, Helmuth, R.A, “Theory of Volume Changes in Hardened Portland-Cement Paste during Freezing”, Proceedings, Highway Research Board 32, PCA Bull 46, 1953.
5. ACI Committee 306R-88, Cold Weather Concreting, American Concrete Institute Committee, ACI Manual of Concrete Practice, 1997.
6. TS 1248, “Beton Yapım, Dkm ve Bakım Kuralları-Anormal Hava Koşullarında”, Trk Standartları Enstits, Ankara, 1989.
7. Erdoğan, T.Y. 2003, “Beton”, ODT Geliştirme Vakfı Yayn. ve İletişim şti, Ankara, Mayıs, s.422
8. Zuber, B., Marchand, J., Delagrave, A., Bournazel, J.P., “Ice Formation Mechanisms in Normal and High-Performance Concrete Mixtures”, Journal of Materials in Civil Engineering, February, 2000.
9. Anderson, D. M, “The Interface Between Ice and Silicate Surfaces”, J. Colloid and Interface Science, 25, pp 174-191, 1967.
10. TS 3527, “Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
11. TS 802, “Beton Karışımı Hesap Esasları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.