

Kırmakumun Beton Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Değerlendirme

An Evaluation on the Effect of Limestone Fines on The Properties of Concrete

Canan TAŞDEMİR¹, Nilüfer ÖZYURT¹, Cüneyt ERTUĞRUL², Gülden KARAKA²

¹i.T.Ü., İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul
tasdemir@itu.edu.tr; nozyurt@ins.itu.edu.tr

²SOYAK Hazır Beton San. A.Ş., İstanbul
certugrul@soyak.com.tr; gkara@soyak.com.tr

ÖZ: Bu çalışmada, bütün karışımlarda ince agrega olarak kırmakum kullanıldığı beş seri beton üretilmiştir. Nominal çimento dozajı 220-300kg/m³ aralığında değiştirilmiş, yaklaşık 185±5mm lik bir çökmeyi sağlamak için linyosülfonat esaslı bir akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Agrega karışımının granülometrisi B32 referans eğrisine yakın olacak şekilde sabit tutuldu. Agrega karışım oranları %46 kırmakum, % 30 kırmataş II, ve % 24 kırmataş I olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kırmakum ve düşük çimento dozajı ile üretilen betonların basınç dayanımlarının yeterli olduğunu göstermektedir. Kırmakum ile yapılmış betonun durabilitesi önceki araştırmaların ışığında irdelenerek betonun tasarımının dayanımdan çok durabiliteye göre yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, kırmakum, basınç dayanımı, dona dayanıklılık, kılcal geçirimsizlik

ABSTRACT: Five concrete batches were produced. In all mixtures, the same limestone fines were used as fine aggregate. The nominal cement content was varied between 220 kg/m³ and 300 kg/m³. In all mixtures a lignosulphonate based water reducer was used to maintain approximately the same slump of 185±5mm. In all mixtures, the same aggregate grading curve was taken which was closer to the B32 reference curve. Mixture proportions of aggregate were kept constant such as limestone fines: 46%, coarse aggregate No.I: 30% and coarse aggregate No.II: 24%. The results obtained show that concretes produced with limestone fines and low cement content give sufficient compressive strengths. In the light of the previous works, the durability of concrete produced with limestone fines was discussed. It can be concluded that concrete should be designed taking durability into concern rather than strength.

Key words: concrete, limestone fines, compressive strength, frost resistance, capillary sorption

1. GİRİŞ

Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agreganın betonun performansında etkisi belirgindir. Maksimum su/çimento oranı ile minimum çimento dozajı gibi sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesi beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle durabiliteye göre tasarımı bu iki parametreye göre yapılır. Yapı mühendisliğinde yaygın kullanım alanı olan betonun üretiminde yuvarlak taneli doğal iri agreganın ve kumun bulunup kullanılması oldukça zordur. Bunun yerine taş ocaklarından sağlanan kırmataş iri agregaları ve kırmakum kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli beton üretiminde kırmataş iri agregası doğal çakıla göre mekanik dayanım bakımından daha iyi sonuçlar vermektedir [1-4]. Donza ve diğ. [5] yaptıkları çalışmada, kırmakumun şekil ve yüzey özellikleri nedeniyle agrega matris arayüzeyinin güçlendiğini fakat aynı özellikler nedeniyle su ihtiyacını arttırdığını görmüşlerdir. Bunun nedeni, kırmakumun içerdiği 75µm lik elek altına geçen mikrofiller bir malzeme olan kırmataş tozu ile açıklanabilir. Çelik ve Marar [6] % 30'a kadar kırmataş tozu ile doğal kumu yer değiştirerek yaptıkları çalışmada, taş tozu miktarının artışı ile su geçirimsizliğinin kılcal boşluklar ve su kanallarının tıkanmasına paralel olarak azaldığını görmüşlerdir.

Betonda doğal kumun bir bölümü kırmakum ile yer değiştirilirse, sürekli granülometri elde edilir, kalkerin çimento ile aderansının daha iyi olması ve kırmakumun içerdiği kalker fillerinin çimento hamuru-agrega arayüzeyindeki boşlukları doldurması nedeniyle mukavemette artış sağlanır ve aynı zamanda ekonomik çözüm bulunur. Buna karşın, işlenebilme olumsuz etkilenir, betonun su gereksinimi, dolayısıyla su/çimento oranı artar ve ince agrega tanelerini sarmak için daha çok çimento gerekir.

Bu çalışmada, ince agregası kırmakum olan betonlar üretilmiş ve 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları elde edilmiştir. Beton, sadece basınç dayanımına göre değerlendirilmeyip daha önce yapılmış

çalışmalar da [7,8] göz önüne alınarak durabiliteye göre irdelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Çimento

Üretimlerde PÇ42,5 cinsi bir çimento kullanıldı. Çimentonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 40,2 MPa ve 53,2 MPa'dır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.19
Blaine özgül yüzeyi (m ² /kg)	310
Normal kıvam suyu (%)	27
Priz başlangıcı (dk)	146
Priz sonu (dk)	181
Le Chatelier iğnelerinin açılması (mm)	2
MgO (%)	1.69
SO ₃ (%)	3.04
K ₂ O (%)	0.46
Cl (%)	0.01
C ₄ A (%)	9.3
C ₃ S (%)	45.4
Serbest CaO (%)	1.25
Kızdırma kaybı (%)	0.73
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.49

2.1.2. Agregalar

Üretilen betonlarda kalker esaslı kırmataş I, kırmataş II ve kalker kırmakumu kullanıldı. Kırmakumun 200 nolu elek altına geçen malzeme miktarı % 12,6 dır. Agregaların fiziksel özellikleri ve granülometrik bileşimleri sırasıyla Çizelge 2 ve 3' de verilmektedir.

Çizelge 2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Cinsi	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Su Emme (%)
Kırmakum	2.71	2.1
Kırmataş I	2.69	0.7
Kırmataş II	2.69	0.5

Çizelge 3. Agregaların Granülometrik Bileşimi

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)							
	315	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Kırmakum	100	100	100	97	85	63	43	26
Kırmataş I	100	99	57	5	0	0	0	0
Kırmataş II	100	62	0	0	0	0	0	0

2.1.3. Katkı Maddesi

Üretilen betonlarda rafine linyosülfonat esaslı akışkanlaştırıcı bir katkı maddesi kullanılmıştır.

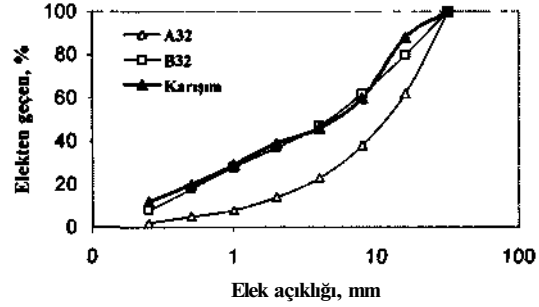
2.2. Beton Üretimi

Beton bileşim hesaplarında mutlak hacim yöntemi esas alınmış, nominal çimento dozajı 220-300 kg/m³ aralığında olan toplam 5 seri beton üretilmiştir. Karışımların granülometrisi TS 706 da belirtilen B32 referans eğrisi üzerinde ve pompa betonu üretiminde önerilen aralıkta olacak şekilde, %46 kırmakum, % 30 kırmataş II, ve % 24 kırmataş I seçildi. Karışımlara ait granülometri eğrisi A32 ve B32 eğrileri ile birlikte Şekil 1'de verilmektedir. Bütün karışımlarda çökme 180-190 mm'de sabit tutularak çimento dozajının %0,5-0,8'i arasında değişen miktarlarda akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanıldı.

Çizelge 4. Beton Bileşimleri ve Taze Beton Özellikleri

Beton Kod'u	D300	D280	D260	D240	D220
Çimento (kg/m ³)	305	282	259	237	214
Su (kg/m ³)	198	194	200	197	203
Kırmataş II (kg/m ³)	560	568	573	579	582
Kırmataş I (kg/m ³)	448	454	458	463	466
Kırmakum (kg/m ³)	859	870	878	887	893
Katkı Maddesi (kg/m ³)	1.60	1.50	1.40	1.90	1.70
Katkı maddesi / Çimento (%)	0.53	0.53	0.54	0.80	0.80
Su / Çimento	0.65	0.69	0.77	0.83	0.95
Çökme (mm)	19	18	18	18	18
Birim ağırlık (kg/m ³)	2372	2370	2369	2365	2360

Çizelge 4'de bileşimleri ve taze beton özellikleri verilen betonlarla bir kenarı 150 mm olan küp şeklinde numuneler üretilmiştir. Numuneler üretimden 24 saat sonra kalıplarından çıkarılarak +20±2°C de kirece doymun su içine konuldu.



Şekil 1. Üretilen Betonlara ait Agregat Karışımının Granülometri Eğrisinin B32 Referans Eğrisi ile Karşılaştırılması

2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleleri

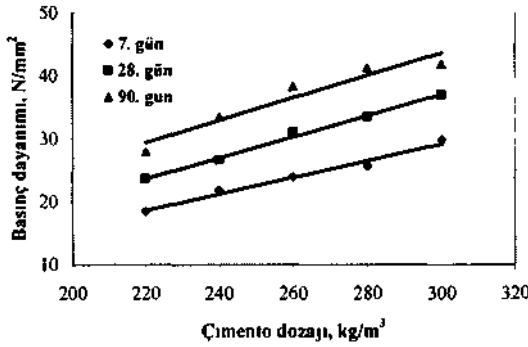
Bütün karışımlardan elde edilen ve deney gününe kadar +20±2°C kirece doymun su içinde tutulan küp şeklindeki numunelerin 7., 28., ve 90. günde basınç dayanımları bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5' de verilmektedir.

Çizelge 5. Küp Şeklindeki Numunelerin Basınç Dayanımları

Numune Kod'u	Küp Basınç Dayanımları, MPa		
	7. eün	28. sün	90. sün
D 300	29.9	37.0	41.9
D 280	25.7	33.5	41.3
D 260	24.0	31.0	38.3
D 240	21.9	26.7	33.5
D 220	18.5	23.7	28.0

3. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME

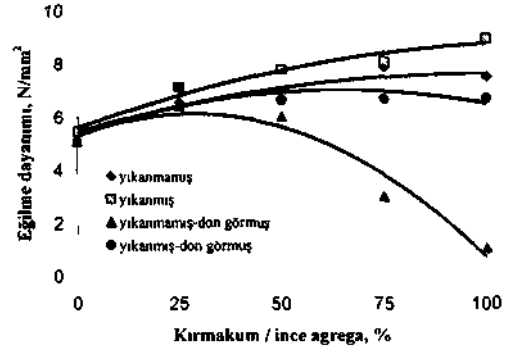
Çizelge 5 ve Şekil 2'den de görüldüğü gibi yapılan deneylerde çimento dozajının artmasıyla 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları artmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kırmakumun % 12,6'sı 200 nolu elek altına geçen mikrofiller malzemedir. Bu mikrofiller malzemenin daha yoğun ve boşluksuz bir iç yapı oluşturmasına bağlı olarak basınç dayanımları artmaktadır. Mikrofiller malzemenin aşırı artışı ise ince malzemenin dolayısıyla yüzey alanının artışına bağlı olarak su ihtiyacını artırır.



Şekil 2. Çimento Dozajı - Basınç Dayanımı İlişkisi

Taşdemir ve diğ.[7], yıkanmış ve yıkanmamış kırmakumun doğal kum ile yer değiştirilmesinin betonun mekanik özelliklerine ve donma-çözülme dayanıklılığına etkisini araştırmışlardır. Söz konusu çalışmada, "kırmakum/ince agrega" oranları hacimce %0, %25, %50, %75 ve %100 olmak üzere yıkanmış ve yıkanmamış kırmakum kullanılarak üretilen betonların 90. günde basınç dayanımları ile 90.

günde eğilme dayanımları ölçülmüştür. Beton serilerinin donma çözülme deneyleri 60. çevrimde sona erdirilmiştir. Kirece doymun su içinde bekletilen prizmatik numunelerle donma-çözülme çevrimi uygulanmış numunelerin 90. günde eğilme dayanımları ve eğilmeden kalan parçalar üzerinde basınç dayanımları ölçülmüş, bu numunelerin 90 günlük eğilme dayanımları Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. "Kırmakum/ince Agrega" - Eğilme Dayanımı İlişkisi [7]

Şekil 3'ün incelenmesinden görüldüğü üzere, donma-çözülme deneyine tabi tutulan numunelerde don etkisiyle oluşan hasar yıkanmamış kırmakum içeren betonlarda daha fazladır. Donma-çözülme etkisinde kalmış ve yıkanmış kırmakum içeren betonların 90 günlük eğilme dayanımlarının "kırmakum/ince agrega" oranıyla değişmemesine karşın, yıkanmamış kırmakum içeren betonların eğilme dayanımları söz konusu oranın artmasıyla dramatik bir biçimde düşmektedir. İnce agregasının tümü yıkanmış kırmakum olan betonların 90 günlük eğilme dayanımı donma-çözülme etkisiyle %25 oranında azalırken, yıkanmamış kırmakum içerenlerde ise eğilme dayanımındaki azalma %86 olmaktadır. Yıkanmamış kırmakum kullanılması halinde "su/çimento" oranı yükselmekte bunun sonucu olarak agrega-matris temas yüzeyi zayıflamaktadır. Bu araştırmanın sınırları içinde mekanik dayanım ve donma-çözülme bakımından en uygun "kırmakum/ince agrega" oranının yıkanmamış kırmakum içeren betonlarda %25, yıkanmış olanlarda ise %50'de

optimum bir değerde olabileceği sonucuna varılmaktadır.

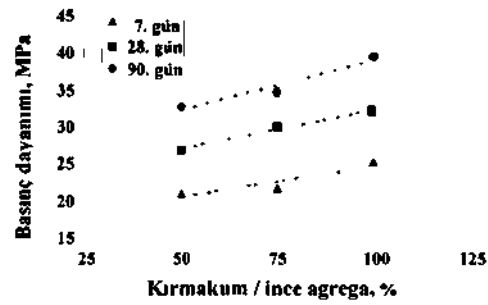
"Su/çimento" oranının artmasıyla matris fazının dayanımı düşer, çimento hamuru-agrega arayüzeyi zayıflar ve bunun sonucu olarak da betonun basınç dayanımı azalır. Ayrıca karışımındaki mikrofiller malzeme içeriği arttığında agrega yüzey alanı artacağından bu yüzeyleri kaplamak için daha çok çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece-yüksek oranda kırmakum kullanılması halinde mikrofiller malzemeyi homojen dağıtabilmek için bir süper akışkanlaştırıcıdan yararlanmak ve dozajı da yükseltmek gerekir. Böyle bir uygulama için teknik özelliklerin yanında betonun ekonomik olup olmadığının ayrıntılı biçimde incelenmesi zorunludur.

Özyurt ve diğ.'nin [8] yaptığı çalışmada kırmakum ile doğal kumun belirli oranlarda yerdeğişiminin uçucu kül içeren betonların mekanik özelliklerine ve donma-çözülme dayanıklılığına ve kılcal geçirimsizliğine etkisi araştırılmıştır, ince agreganın %50, %75 ve %100'ü kırmakumdan oluşan betonlar üretilmiştir. Betonlarda, çimento miktarı 230 kg/m³ ve uçucu kül miktarı 70 kg/m³ olmak üzere, nominal toplam bağlayıcı miktarı 300 kg/m³'de, su/bağlayıcı oranı 0,65'de sabit tutulmuştur. Şekil 4'den de görüldüğü gibi K50, K75, K100 karışımlarından elde edilen numuneler üzerinde yapılan deneylerde "kırmakum/ince" agrega oranının artmasıyla 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları da artmaktadır.

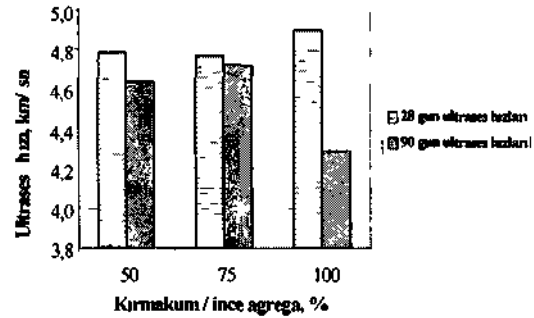
Şekil 5'de K50, K75 ve K100 numunelerinde 28.günde ölçülen ultrases hızı değerleri ile 75 donma çözülme çevrimi sonunda ölçülen ultrases hızları karşılaştırılmaktadır.

Şekil 5. incelendiğinde ince agregasının tamamı kırmakum olan K100 serisinin ultrases hızı değerlerinin, K50 ve K75 numunelerine göre çok daha fazla azaldığı görülmektedir. K75 ve K50 numunelerinde azalma miktarları

sırasıyla %1 ve %3 iken K100 numunelerinde %12,4 elde edilmiştir.

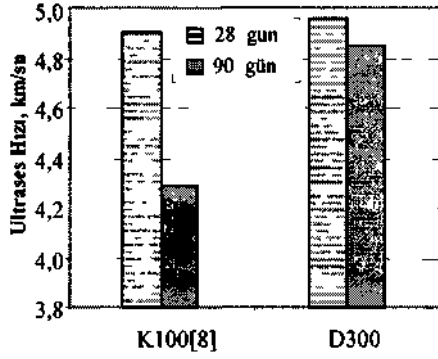


Şekil 4. Küp Basınç Dayanımlarının "Kırmakum/İnce Agregası" Oranı ile Değişimi [8]



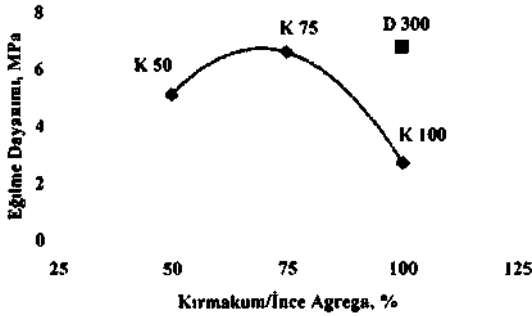
Şekil 5. Donma-Çözülme Etkisi ile "Kırmakum/İnce Agregası"-Ultrases Hızı ilişkisi [8]

Şekil 6'da K100 betonu ile ince agregasının tamamı kırmakum olan uçucu kül içermeyen D300 betonunun 28. günde ölçülen ultrases hızı değerleri ile 75 donma-çözülme çevrimi sonunda ölçülen ultrases hızları karşılaştırılmaktadır. Şeklin incelenmesinden görüldüğü gibi, K100 betonunun 75 donma-çözülme çevriminden sonra ultrases hızındaki düşüş oranı %12,4 iken, bağlayıcısının tamamı çimento olan D300 betonunda %2 dir.



Şekil 6. K100 ve D300 Betonlarının Donma-Çözülme Etkisi ile Ultrases Hızlarındaki Azalmanın Karşılaştırılması

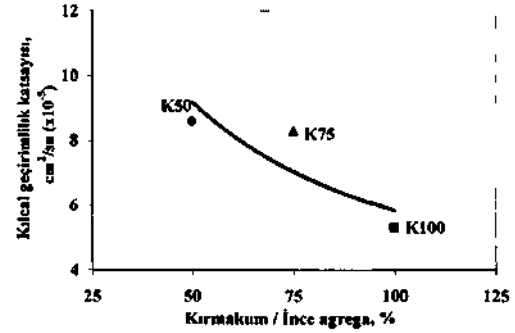
Şekil 7' de donma-çözülme çevrimi uygulanmış K50, K75 ve K100 numunelerinin eğilme dayanımları karşılaştırılmaktadır. Şekil 7 incelendiğinde, ince agregasının tamamı kırmakum olan uçucu küllü K100 numunesinin eğilme dayanımının diğer numunelere göre çok düşük olduğu görülmektedir. Bağlayıcısının tamamı çimento olan D300 betonunun 75 donma-çözülme çevriminden sonra elde edilen eğilme dayanımı ise K100 betonunun eğilme dayanımından oldukça yüksektir.



Şekil 7. Donma-Çözülme Çevrimi Uygulanmış Numunelerin Eğilme Dayanımlarının "Kırmakum/İnce Agregası" Oranı ile Değişimi [8]

Şekil 8'de "kırmakum/ince agregası" oranının artışıyla kılcıllık geçirimsizliğinin azaldığı görülmektedir. Kırmakum miktarı ile birlikte

mikrofiller malzeme artmakta, geçirimsizlik azalmaktadır.



Şekil 8. "Kırmakum/İnce Agregası" Kılcıllık Geçirimsizlik Katsayısı ilişkisi [8]

Uçucu küllü betonlarda "kırmakum/ince agregası" oranının artması ile kılcıllık geçirimsizlik azalmakla birlikte, donma dayanıklılık %100 kırmakum kullanımı halinde belirgin biçimde azalmaktadır. Ortamda artan ince malzeme tanelerini saracak kadar çimento bulunmaması sonucu arayüzeyler zayıf kalmakta ve beton hasar görmektedir. Boşlukların azalmasıyla basınç dayanımı artmakta buna karşın en zayıf halka olan temas yüzeyindeki fiziksel temasın zayıf kalması nedeniyle donma dayanıklılık olumsuz biçimde etkilenmektedir.

Betonun donmaya dayanıklılığı pek çok etkene bağlıdır. Çimento hamuru mukavemeti ve betonun deformasyon yeteneği bunların başında gelir [9]. Betonun mukavemeti arttıkça deformasyon yeteneği de artmaktadır [10]. Bununla beraber donma derecesi ile çimento hamuru boşluk yapısı da donma-çözülmede etkilidir. Betonda ince malzeme ve çimento artarsa plastik rötre artar, çünkü menisk çapları küçülür ve çekme gerilmeleri artar. Bu durumda bir optimum çözüm bulmak gereklidir. Çimentonun ve ince tanelerin belirli bir değerden az olması durumunda ise terleme artar, bu da çatlakların büyümesine ve derinleşmesine yol açar [11].

Donmaya dayanıklılığı arttırmak için çimento dozajı yeterli düzeyde olmalı, betonun çökmesi fazla olmamalıdır. Bileşim, karışım, yerleştirme ve mastarlama standartlara uygun

biçimde yapılmalıdır. Özellikle havaalanı, park ve yol betonu gibi satıh betonlarının yüzeylerinin kötü düzeltilmesi, plastik rötrenin ve aşırı terlemenin olması beton yüzeylerinin zayıf bir çimento hamuru veya zayıf bir harca sahip olmasına neden olur. Donma-çözülme etkisinde soyulmalar yüzeye yakın agregalar civarında yani temas yüzeylerinin zayıf olduğu bölgelerde olur. Bu hasarlara karşı agregalar biçim bozukluklarına sahip olmamalı, temiz ve dayanıklı olmalı, agrega karışımının granülometrisi standartlara uygun olmalı ve uygun içerikte katkı maddesi kullanılmalıdır.

4. SONUÇLAR

Bu araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. İnce agregasının tamamı kırmakum olan betonlarda çimento dozajı arttıkça basınç dayanımı artmaktadır.
2. İnce agregasının tamamı kırmakum olan betonlarda çimento dozajının 220 kg/m³ olması halinde C16, dozajın 300 kg/m³ olması halinde ise C25 sınıfında beton elde edilebilmektedir.
3. "Kırmakum/ince agrega" oranı arttıkça, beton basınç dayanımı artmaktadır.
4. % 100 kırmakum içeren uçucu küllü betonlarda kılcal geçirimsizlik azaldığı halde donma-çözülme hasarı artmakta.bağlayıcısının tamamının çimento olması halinde donma-çözülme hasarı daha az olmaktadır.

Kaynaklar

[1] Taşdemir, C, Taşdemir, M.A., Mills, N., Barr, B.I.G. and Lydon, F.D., "Combined Effects of Silica Fume, Aggregate Type, and Size on the Post-Peak Response of Concrete in Bending", ACI Materials Journal, V.96, No.1, 1-10, 1999.

[2] Taşdemir, C, Taşdemir, M.A., Grimm, R. and König, G., "Microstructural Effects on Brittleness of High-Strength Concretes", Fracture Mechanics of Concrete Structures, Proceedings FRAMCOS-2, F. H. Witmann, ed. Aedificatio Publisher, Fteiburg, Germany, 125-134, 1995.

[3] Ho, D.W.S. and Chirgwin, G.J. "A Performance Specification for Durable Concrete, Construction and Building Materials", Vol.10, No.5, pp.375-379,1996.

[4] Malhotra,V.M. (Ed), "Supplementary Cementing Materials for Concrete", CANMET, Ottawa., 428pp., 1987.

[5] Donza, H., Cabrera, O.and Irassar, E.F., "High-Strength Concrete with Different Fine Aggregate", Cement and Concrete Research Vol.32. No.1 1,1755-1761, 2002

[6] T.Çelik, K.Marar, "Effects of Crushed Stone Dust on Some Properties of Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.26, No.7, 1121-1130, 1996

[7] Taşdemir, C, Kara, G. ve Başkoca, A., "Kırmakumun Betonda Kullanılabilirliği", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3, TMMOB, Eskişehir, 245-258, 1997.

[8] Özyurt, N., Taşdemir, C, Kara, G. ve Ertuğrul, C, "Uçucu Küllü Betonlarda Kırmakum İçeriğinin Beton Özelliklerine Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, Ekim, İstanbul,293-301, 2003 .

[9] Neville, A. M., Properties of Concrete, Pitman Publishing, London, 687 pp, 1975.

[10] Taşdemir, M.A., Lydon, F.D. and Barr, B.I.G. "The Tensile Strain Capacity of Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol.48, No. 176, 211-218,1996.

[11] Akman, M.S., "Hava Alanı Betonlarının Üretim ve Denetim Sorunları", Malzeme Seminerleri, İTÜ İnşaat Fakültesi, 19-38,1984.

