

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİNE ATIK MERMER TOZUNUN ETKİSİ

H. Yılmaz ARUNTAŞ

Doç. Dr.

Gazi Ü. Teknik Eğitim Fakültesi
Ankara, Türkiye

Mustafa DAYI

Arş. Gör.

Gazi Ü. Teknik Eğitim Fakültesi
Ankara, Türkiye

İlker TEKİN

Öğr. Gör.

Muğla Ü. Yatağan M. Y. O.
Muğla, Türkiye

Recep BİRGÜL

Yrd. Doç. Dr.

Muğla Ü. Mühendislik Fakültesi
Muğla, Türkiye

Osman ŞİMŞEK

Yrd. Doç. Dr.

Gazi Ü. Teknik Eğitim Fakültesi
Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) özellikleri üzerine atık mermer tozunun (AMT) etkisi incelenmiştir. Üretilen betonların karışım hesabı TS 802 ye göre yapılmıştır. KYB karışımlarında s/ç oranı, hiperakışkanlaştırıcı (HA) miktarı ve bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. HA katkı, beton karışımlarına çimento miktarının (ağırlıkça) % 1.5 oranında katılmıştır. AMT, çimento ile ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ikame edilerek KYB içinde kullanılmıştır. Üretilen KYB ler ile 15 cm boyutlu küp numuneler elde edilmiştir. Küp numuneler üzerinde 3, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. AMT katkılı KYB ler fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından hem birbirleriyle hem de kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. KYB ler arasında en yüksek basınç dayanımı % 20 AMT katkılı betonda elde edilmiştir. Deney sonuçları AMT nin KYB içinde kullanılabileceğini göstermektedir.

GİRİŞ

Günümüz inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Bütün dünyada betonun 20. yüzyılda olduğu gibi 21. yüzyılda da bu özelliğini sürdüreceği düşünülmektedir. Geleneksel betonun yanı sıra, bilimsel çalışmaların artması ve teknolojinin gelişmesi sonucunda farklı ihtiyaçları karşılayabilen bir çok beton çeşidi üretilmiştir. Bunlar arasında hafif beton, lifli beton, vakumlu beton, ön gerilmeli beton, hazır beton gibi betonlar sayılabilir. Bu betonlar arasında yer alan diğer bir beton çeşidi ise kendiliğinden yerleşen beton (KYB) dur. KYB, döküm işlemi sırasında herhangi bir vibrasyon ve sıkıştırmaya ihtiyaç göstermeksizin kalıbın köşelerini ve donatının boşluklarını dolduran akıcı kıvamlı bir betondur(1). KYB dünyada ilk defa 1980 lerin ikinci yarısında Japonya' da deprem bölgelerindeki sık donatılı betonarme elemanlarda sıkıştırma işlemine gerek olmadan yerleşebilen beton ihtiyacından dolayı geliştirilmiştir (2).

KYB literatürde değişik isimler altında tanımlanmaktadır. Genellikle kendiliğinden sıkışan beton (self-compacting concrete-SCC) ismi kullanılmaktadır. Diğer kullanılan isimler ise kendiliğinden düzeyeleşebilen beton (self-levelling concrete-SCC) ve kendiliğinden çöken beton (self-consolidating concrete-SCC) dur. Türkiye'de genellikle kendiliğinden yerleşen beton (KYB) terimi kullanılmaktadır (3,4).

KYB'lerin kohezyonunu sağlamak, karışımda çimento miktarını azaltmak ve atık malzemeleri değerlendirerek daha ekonomik KYB üretebilmek için, çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Şahmaran ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, KYB içinde yüksek hacimde uçucu kül kullanmışlardır. KYB'lerin basınç dayanım değerlerinin ilk günlerde kontrol betonuna göre azalma gösterdiği, fakat ileri yaşlarda aralarındaki dayanım farkının azaldığını tespit etmişlerdir (5).

KYB karışımlarında kullanılan diğer bir malzeme taş tozudur. Yapılan çalışmalarda kireç taşı tozu KYB içinde kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (6,7,8). KYB üretiminde kullanılan başka bir puzolan da silis dumanıdır (9).

AMAÇ

Bu çalışmada KYB özellikleri üzerine atık mermer tozunun (AMT) etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla karışım içinde çeşitli oranlarda AMT kullanılarak KYB nin fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır.

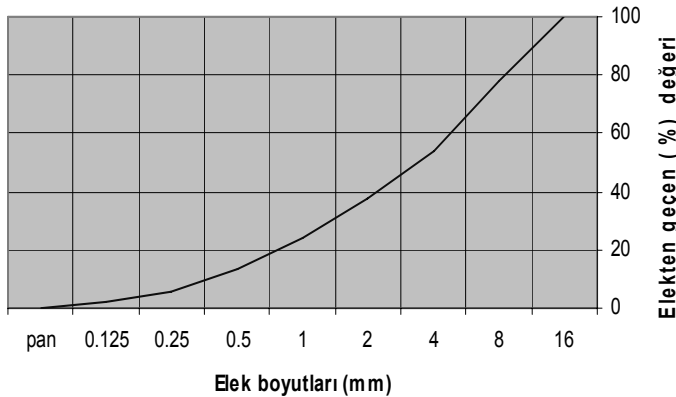
Materyal

Deney çalışmalarında Baştaş Çimento Fabrikasından alınan PÇ 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal analizi, üretici çimento firmasından alınmış, fiziksel özellikleri ise laboratuarda yapılmıştır. Çimentoya ait kimyasal kompozisyon ve fiziksel özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. PÇ 42,5 çimentosu ve AMT’ nin özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	PÇ 42,5	AMT
CaO	62,72	37,05
SiO ₂	20,00	0,55
Al ₂ O ₃	4,92	0,08
Fe ₂ O ₃	3,76	0,04
MgO	1,84	18,38
SO ₃	2,65	-
K ₂ O	0,73	0,01
Na ₂ O	0,26	-
Kızdırma Kaybı	2,54	45,98
Çözünmeyen Kalıntı	-	-
Fiziksel Özellikler		
Özgül Yüzey (blaine) (cm ² /g)	3250	
Priz Başlangıcı (saat:dk.)	2:25	
Priz Sonu (saat:dk.)	3:40	
Hacim Genleşmesi (mm)	1	
Basınç Dayanımı (MPa) 28 gün	49,1	

Taze betonların üretilmesinde, Kızılırmak doğal agregası kullanılmıştır. Agregaların en büyük tane çapı 16 mm’dir. Agreganın elek analizi deneyi, TS 3530 EN 933-1 (10)a göre yapılmıştır. Agregaların elek analiz Şekil 1’ de, özgül ağırlık ve su emme değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Agreganın granülometri eğrisi

Çizelge 2. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega grupları	Gevşek birim hacim ağırlık (g/dm ³)	Sıkışık birim hacim ağırlık (g/dm ³)	Özgül ağırlık (kg/m ³)	Su emme oranı (%)
0-2	1643	1799	2,46	2,30
2-8			2,39	2,65
8-16			2,33	2,58

Bu çalışmada, viskozite arttırıcı malzeme olarak atık mermer tozu (AMT) kullanılmıştır. AMT, Afyonkarahisar-Bayat ilçesi mermer ocaklarından elde edilmiştir. AMT, 0,149 mm elek altı malzeme olup özgül ağırlığı 2,94 gr/cm³ olarak belirlenmiştir. AMT' nin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1' de verilmiştir.

Çalışmada akışkanlaştırıcı olarak; polikarboksilat bazlı hiperakışkanlaştırıcı (HA) katkı kullanılmıştır. Katkının yoğunluğu 1,05 g/cm³ olup % 30 ile % 40 su kesme özelliğine sahiptir.

Taze betonların hazırlanmasında Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Metot

Üretilen betonların karışım hesabı TS 802 (11)'ye göre yapılmıştır. Beton sınıfı C 40 olarak alınmış ve beton karışımlarında 0/2, 2/8 ve 8/16 olmak üzere üç farklı agregata tane sınıfı kullanılmıştır. KYB karışımlarında s/ç oranı, HA ve bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. KYB karışımlarında s/ç oranı 0.35, HA miktarı çimento miktarının (ağırlıkça) % 1.5'i olarak alınmıştır. HA, firmanın önerisi dikkate alınarak su ile birlikte beton karışımına ilave edilmiştir. AMT, çimento ile ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ikame edilerek kontrol betonu dahil altı adet KYB üretilmiştir. KYB karışımları 50 dm³ kapasiteli düşey eksenli mikser kullanılarak 3 dakika süre ile karıştırılmıştır. Üretilen KYB ler ile 15 cm boyutlu küp numuneler elde edilmiştir. Numuneler sıcaklığı 20°C ± 1°C ve bağıl nemi % 60 dolayında olan laboratuarda 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda numuneler kalıplardan çıkarılarak, içilebilir ve sıcaklığı 20 °C ± 1 °C su içinde deney gününe kadar kür edilmiştir. Küp numuneler üzerinde 3, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımları ELE marka 3000 kN kapasiteli yükleme hızı 2.4 kN/s olan deney cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

KYB karışımları; AMT0, AMT5, AMT10, AMT15, AMT20 ve AMT25 olarak kodlanmıştır. Karışımda kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Beton karışımında kullanılan malzeme miktarları (kg/m³)

Karışım Kodu	S/Ç	Çimento (kg/m ³)	Mermer tozu (kg/m ³)	Kimyasal Katkı (kg/m ³)	0-2 Agrega (kg/m ³)	2-8 Agrega (kg/m ³)	8-16 Agrega (kg/m ³)
AMT0	0,35	550	-	8,25	647,79	501,88	297,54
AMT5	0,35	522,5	27,5	8,25	647,11	501,36	297,23
AMT10	0,35	495	55	8,25	646,43	500,83	296,92
AMT15	0,35	467,5	82,5	8,25	645,75	500,31	296,61
AMT20	0,35	440	110	8,25	645,07	499,78	296,30
AMT25	0,35	412,5	137,5	8,25	644,39	499,25	295,98

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Taze Beton Özellikleri

Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini tespit etmek için kullanılan yayılma deneyi ile viskozite ve geçiş yeteneğini ölçen V-hunisi deneyleri yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Taze beton deneyleri

KYB'lerin yayılma deneyi ile V-hunisi deney sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Taze betonların özellikleri

Metot	AMT0	AMT5	AMT10	AMT15	AMT20	AMT25
Yayılma (mm)	650	620	610	570	550	540
Yayılma T _{50cm}	2,4	2,0	3,5	4,3	5,6	6,0
V-hunisi (sn)	5,0	5,6	6,0	6,5	7,6	8,0

EFNARC (European Federation of National Trade Associations) tarafından hazırlanan kriterlere göre, KYB'lerde yayılma çapının 650-800 mm arasında, yayılma çapının 50 cm genişliğe erişme süresi 2-5 s arasında ve V-hunisinden akma süresi ise 6-12 s arasında olmalıdır (12).

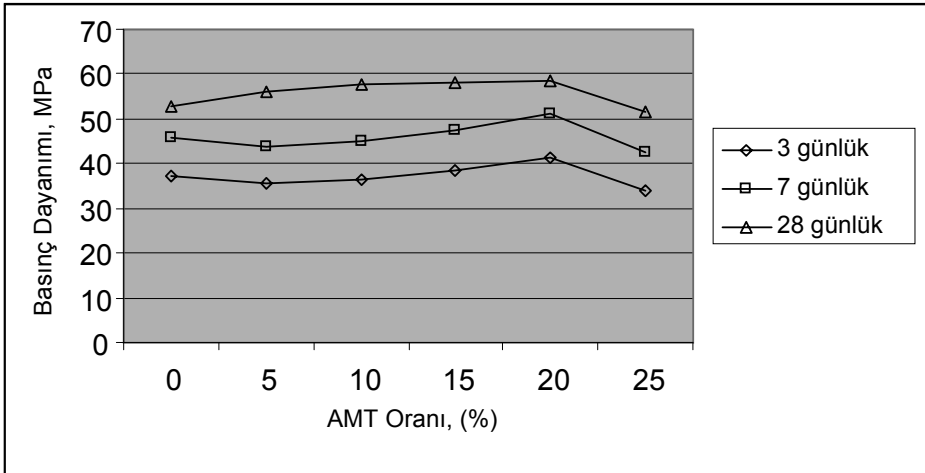
Çizelge 4'deki yayılma deneyi sonuçlarına göre bütün karışımların yayılma genişlikleri 540-650 mm, 50 cm genişliğe erişme süresi ise 2.4-6 s arasında değişmektedir. Yayılma deneyi sonuçlarına göre kontrol betonu olan AMT0 hariç hiçbir karışım KYB özelliği göstermemektedir. KYB içinde AMT oranı arttıkça yayılma azalmaktadır. Yayılma çapının 50 cm genişliğe erişme süresine göre ise KYB içerisindeki AMT oranı arttıkça yayılma süresi de artmaktadır. Aynı durum V-hunisi içinde geçerlidir. Burada da AMT miktarı arttıkça V-hunisinden KYB'lerin geçiş süresi de artmaktadır. Taze beton deney sonuçlarına göre, yayılma çapının azalması buna karşılık T_{50} süresi ile V-hunisinden geçiş süresindeki artma, KYB içerisindeki AMT miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Basınç Dayanımı

AMT ikameli KYB'lerin basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 5'de verilmektedir. KYB'lerin basınç dayanımı-AMT oranı ilişkisi ise Şekil 3'te görülmektedir.

Çizelge 5. KYB basınç dayanım değerleri

Karışım kodu	Basınç dayanımları (MPa)					
	AMT0	AMT5	AMT10	AMT15	AMT20	AMT25
3 günlük	37,1	35,5	36,4	38,4	41,2	34,1
7 günlük	46,0	44,0	45,1	47,6	51,1	42,7
28 günlük	52,9	56,2	57,6	58,2	58,7	51,6



Şekil 3. KYB'lerin basınç dayanımı-AMT oranı ilişkisi

Çizelge 5 ve Şekil 3 ten görüldüğü üzere genellikle KYB içindeki AMT oranı arttıkça % 25 AMT ikameli KYB dışında betonların basınç dayanımlarının da doğru orantılı olarak arttığı gözlenmektedir. Görüldüğü gibi bütün yaşlarda en yüksek basınç dayanımı % 20 AMT ikameli KYB da elde edilmiştir. AMT nin % 25 oranında ikame edildiği KYB karışımlarının basınç dayanım değerlerinin bütün yaşlarda en düşük değeri verdiği belirlenmiştir. Kontrol betonuna göre erken yaştaki (3 ve 7 gün) dayanımlarda AMT5 ve AMT10 KYB ler hariç AMT15 ve AMT20 daha yüksek dayanım göstermiştir. Bu durum 28 günlük dayanımlarda % 5 ve % 10 AMT ikameli KYB için değişmiştir. Bir başka deyişle AMT 25 hariç bütün KYB lerin dayanımları kontrol betonundan daha yüksektir. 28 günlük dayanımlarda KYB ler arasında AMT15 ve AMT20 de birbirine yakın değerler elde edilmiştir. En düşük dayanımlar AMT25 te elde edilmesine karşılık bu betonun 28 günlük basınç dayanımının kontrol betonuna çok yakın bir dayanım verdiği görülmektedir. Bu betonun kontrol betonu dayanımının % 98 ini karşıladığı belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. KYB içinde PÇ42,5 R çimentosunun polikarboksilat bazlı HA ile uyum sağladığı belirlenmiştir.
2. HA katkı, katkının ve s/ç oranının sabit tutulduğu göz önüne tutulduğunda taze betonun işlenebilme özelliğini artırmakta ve betonlara kendiliğinden yerleşebilir özellik kazandırmaktadır.
3. KYB'lerde viskozite artırıcı mineral katkı olarak AMT kullanıldığında; taze betonun kohezyonunu artırmaktadır.
4. AMT, KYB karışımlarında çimento ile ağırlıkça % 20 oranına kadar ikame edilerek kullanıldığında; betonların basınç dayanımını artırmaktadır. Bu oran aşıldığında basınç dayanım az da olsa azalmaktadır.
5. AMT, KYB üretiminde % 15 ve % 20 oranlarında çimento yerine kullanılabilir. Böylece KYB nin maliyeti de aynı oranda azaltılabilir.

KAYNAKLAR

1. Brouwers, H.J.H., Radix, H.J., "Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study", **Cement and Concrete Research**, 35, 2, 2116-2136, 2005.
2. Okamura, H., Ouchi, M., "Self-Compacting Concrete: Development, Present use and Future", Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, p.p.3-14, 1999.

3. Rols, S., Ambroise, J., Pera, J., "Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete, **Cement and Concrete Research**, 29, 2, 261-266, 1999.
4. Yahia, A., Tanimura, M., Shimoyama, Y., Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, **Cement and Concrete Research**, 35, 2, 532-539, 2005.
5. Şahmaran, M., Yaman, İ., Ö., Tokyay, M., "Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton", **Beton 2004 Kongresi**, İstanbul, 225-233, 10-12 Haziran 2004.
6. Felekoğlu, B., Baradan, B., "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri", **Beton 2004 Kongresi**, İstanbul, 234-243, 10-12 Haziran 2004.
7. Özkul, H., "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Genel Özellikleri", **Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu**, Ankara, 119-136, 24-25 Mart 2005.
8. Yaman, İ., Ö., Şahmaran, M., "Kimyasal ve Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçlar", **Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu**, Ankara, 137-146, 24-25 Mart 2005.
9. Türel, S., Felekoğlu, B., Silika Dumanı ve Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik ve Basınç Dayanımı Üzerine Etkileri, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 286-293, 2005.
10. TS 3530 EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, TSE, Ankara, 1999.
11. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, TSE, Ankara, 1985.
12. EFNARC, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, February, 2002.