

MİKROFİLLER MALZEMELERİN BETONUN MEKANİK ÖZELİKLERİNE ETKİSİ

Canan TAŞDEMİR

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak-İSTANBUL

ÖZET

Normal bir betonda çimentonun ağırlıkça %10 oranındaki kısmı kalker unu, karbon siyahı, silis unu, silis dumanı ve uçucu kül gibi beş ayrı mikrofiller malzeme (MF) ile değiştirildi. Su/(çimento+MF) oranı 0.40 da sabit tutuldu ve sodyum naftalin sülfonat esaslı bir süperakışkanlaştırıcı kullanıldı. Çimentonun bir bölümüyle yer değiştirilen mikrofiller malzemelerin betonun basınç dayanımına ve gevreklik indisine etkileri incelendi. Silis dumanı içeren betonun basınç dayanımının normal betona göre belirgin biçimde yüksek olduğu görüldü. Buna karşın, kalker filleri, karbon siyahı, silis unu ve uçucu kül içeren betonların basınç dayanımında ise belirgin değişiklik olmadı.

1. GİRİŞ

Son yıllarda yüksek mukavemetli betonlara duyulan gereksinme, mikrofiller malzemelere ilgiyi arttırdı. Bu malzemelerin süperakışkanlaştırıcılarla birlikte çimento bağlayıcılı sistemlerde kullanılması daha az boşluklu bir yapı elde edilmesi, taze betonun reolojik özelliklerinin iyileştirilmesi ve sertleşmiş betonun mekanik davranışına katkısı nedeniyle yeni bir ilgi alanı haline geldi. Bu çok ince malzemelerin betonda kullanılmasının diğer bir amacı da çimento maliyetinin bir miktar düşürülmesidir. Mikrofiller malzemeler içinde en etkili olanı silis dumanıdır. Ancak bu malzemenin fiyatı giderek artmakta ve temininde güçlük çekilmektedir. Bu durum mühendisleri yeni filler malzemeleri aramaya ve kullanmaya yönetmektedir [1]. Silis dumanı başta Norveç olmak üzere Avrupa ve A.B.D.'de yaygın biçimde kullanılmakta olup iki işleve sahiptir; birincisi betondaki boşlukları doldurma, diğeri ise puzolonik etkidir. Bu etkilerden hangisinin

belirleyici olduğu yönünde değişik görüşler vardır [2]. Ancak silis dumanının puzolonik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu mikroyapısal ve mekanik incelemelerle kanıtlandı [3]. Puzolanik etkinin hamur veya harca göre betonda daha belirgin olduğu, özellikle en büyük agrega boyutu arttıkça etkinin daha da arttığını gösterildi [4, 5].

Beton literatüründeki mevcut çalışmalara göre, genelde kalker fillerinin %5-%6 oranında çimento klinkerinin öğütülmesi sırasında katılmasının negatif bir etki yapmadığını ortaya çıkmaktadır. Krstulović ve arkadaşları [6] kalker fillerinin çimentodaki hacimsal konsantrasyonunun harç ve beton mukavemetine etkisiyle ilgili istatistiksel değerlendirmeler yaptılar ve lineer bağıntılar önerdiler. Öte yandan kalker tozu, betonun ince agregasının bir bölümüyle yer değiştirilerek de kullanılabilir. Bu amaçla Uchikawa ve arkadaşları [7] kalker filleri, yüksek fırın cürufu tozu ve silis unu kullanarak yaptıkları çalışmada, bu filler malzemelerin kimyasal katkıyla birlikte kullanılması halinde taze betonun işlenebilirliğine olumlu etkisinin olduğunu gösterdiler.

Bu çalışmanın amacı ise belli nominal doza sahip bir betonda kullanılan çimentonun ağırlıkça %10 luk bir bölümünü kalker unu, karbon siyahı, silis unu, silis dumanı veya uçucu kül gibi mikrofiller malzemelerle değiştirilmesinin betonun mekanik özelliklerine etkisini karşılaştırmalı olarak araştırmaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Çimento

Deneylerde kullanılan çimento orjinal ambalajlı PÇ 32,5 cinsinden olup özgül ağırlığı 3,17 gr/cm³ tür. Bu çimentoya ait 28 günlük standard harçların basınç dayanımı 37,0 N/mm², eğilme-çekme dayanımı 8,3 N/mm² dir.

2.1.2. Kalker Filleri

Öğütülmüş olarak laboratuvarımıza getirilen bu malzemenin özgül ağırlığı $2,73 \text{ gr/cm}^3$ bulundu.

2.1.3. Karbon Siyahı

Petkim'den sağlanan karbon siyahı % 99,5 C içermekte olup yoğunluğu $1,74 \text{ gr/cm}^3$ tür.

2.1.4. Silis Unu

Bu çalışmada kullanılan silis unu silis bakımından zengin olan kuvarzitin öğütülmesiyle elde edilmiştir. Cam üretiminde kullanılmak amacıyla hazırlanan ve laboratuvarımıza getirilen bu malzemenin özgül ağırlığı $2,66 \text{ gr/cm}^3$, en büyük tane boyutu ise 105 mikrondur.

2.1.5. Silis Dumanı

Toz halinde laboratuvarımıza getirilip deneylerde kullanılan silis dumanının özgül ağırlığı $2,56 \text{ gr/cm}^3$ dür ve % 94,96 oranında SiO_2 içermektedir.

2.1.6. Uçucu Kül

Seyit Ömer termik santralından elde edilen bu malzemenin özgül ağırlığı $2,1 \text{ gr/cm}^3$ olup, % 47 oranında SiO_2 içermektedir.

2.1.7. Agreg

Araştırmadaki betonlarda agrega olarak deniz kumu ve Ayazağa Köyü yöresinden getirilen kırmataş I ve kırmataş II kullanıldı. Agregaların fiziksel özellikleri ve granülometrik bileşimleri Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmektedir.

Çimento ağırlığının %10 u oranında kalker filleri, karbon siyahı, silis unu, silis dumanı veya uçucu kül kullanıldı. Mikrofiller malzeme içeren beş beton karışımında ve normal betonda su/(çimento+mikrofiller malzeme) oranı 0,40 da sabit tutuldu ve sodyum naftalin sülfonat esaslı bir süperakışkanlaştırıcı aynı işlenebilmeyi sağlayacak miktarlarda kullanıldı. Bütün betonlarda yaklaşık aynı çökme (8-9 cm) sağlandı. Üretilen betonlarda NB normal betonu, KUB, KSB, SUB, SDB, UKB ise sırasıyla kalker unu, karbon siyahı, silis unu, silis dumanı ve uçucu kül içeren betonları göstermektedir. Tablo 3 de beton bileşimleri ve taze beton özellikleri görülmektedir. Tablo 3 de verilen bileşimle ϕ 150 × 300 mm boyutunda silindirler üretildi. Numuneler üretimi izleyen 24 saat kalıbında tutulduktan sonra kirece doygun su içine konuldular.

Tablo 3. Beton Bileşimleri ve Taze Beton Özellikleri

Karışım Kodu	NB	KUB	KSB	SUB	SDB	UKB
Çimento (kg/m ³)	403	362	365	362	364	362
Mineral katkı (kg/m ³)	-	36	36	36	36	36
Kum (kg/m ³)	547	539	543	539	543	539
Kırmataş I (kg/m ³)	662	654	658	653	658	653
Kırmataş II (kg/m ³)	662	654	658	653	658	653
Su (lt/m ³)	165	163	164	163	164	163
Süperakışkanlaştırıcı (lt/m ³)	7,7	7,0	9,1	6,7	11,0	12,0
E/(C+mineral katkı)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Mineral katkı/C	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Çökme (mm)	70	82	80	90	82	92
Hava içeriği (%)	0,5	1,6	0,3	1,6	0,5	1,1
Komposite (m ³ /m ³)	0,823	0,814	0,824	0,814	0,820	0,814
Taze Beton Birim Ağırlığı (kg/m ³)	2447	2415	2433	2413	2434	2418

2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

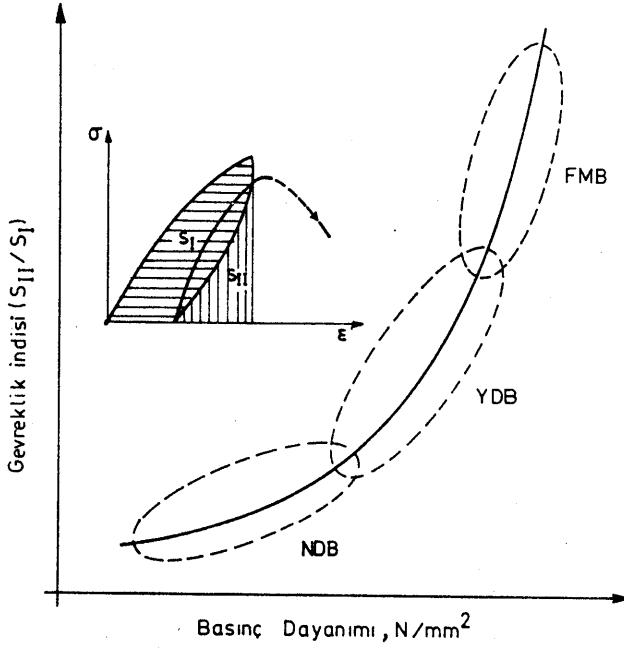
Üretilen silindir numunelerde 28. ve 90. günlerde basınç dayanımı ve gevreklik indisi değerleri bulundu. Betonların gevreklik indisleri silindir numunelerin basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden elde edildi. Şekil 2 içinde görüldüğü gibi gevreklik indisi (G.İ.) "tersinir deformasyon enerjisinin (S_{II}) tersinmez deformasyon enerjisine (S_I) oranı" olarak tanımlanır [3, 8].

$$G.İ. = \frac{S_{II}}{S_I}$$

Basınç mukavemetinin (f_c) %78-%90'ı arasında elde edilen gevreklik indisi değerleriyle betonların basınç dayanımlarının 28 ve 90 günlük sonuçları Tablo 4 de, gevreklik indisi değerlerinin basınç dayanımı ile değişimi ise Şekil 2 de şematik olarak gösterilmektedir.

Tablo 5. Gevreklik İndisi Değerleri

Karışım kodu	28 günlük			90 günlük		
	σ/f_c	S_{II}/S_I	f_c (N/mm ²)	σ/f_c	S_{II}/S_I	f_c (N/mm ²)
NB	0,90	1,59	49,0	0,86	1,55	60,6
KUB	0,86	1,93	49,4	0,90	1,85	56,0
KSB	0,84	1,81	49,0	0,82	1,82	58,9
SUB	0,84	1,51	50,1	0,85	1,48	57,0
SDB	0,88	2,22	60,3	0,78	1,92	70,8
UKB	0,89	1,86	50,8	0,88	2,06	62,1



Şekil 2. Gevreklik indisinin basınç dayanımı ile değişimi (NDB:Normal Dayanımlı Beton, YDB:Yüksek Dayanımlı Beton, FMB:Filler Malzeme İçeren Beton)

3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Tablo 5’de görüldüğü üzere kalker filleri, karbon siyahı, silis unu ve uçucu kül içeren betonların 28 günlük basınç dayanımlarında normal betona göre önemli bir değişiklik yoktur. Buna karşın silis dumanı içeren betonlarda %23 kadar artış vardır. 90 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, kalker filleri içeren beton dayanımında normal betona göre %10 oranının altında bir azalma olduğu görülmektedir. Bu fark belirgin olmayıp deney sonuçlarındaki dağılmalara bağlanabilir. Kalker fillerinin kullanılması halinde 120 günlük dayanımda bir düşüşün olmadığı ayrı bir çalışmada kanıtlanmıştır [9]. Karbon siyahı, silis unu ve uçucu kül içeren betonların 90 günlük basınç dayanımlarında normal betona göre önemli değişikliklerin olmadığı sonucuna varılmaktadır. Öte yandan 90. günde silis dumanı içeren betondaki dayanım artışı yine belirgin olup normal betona göre %17 daha fazladır.

Bu sonuçlar silis dumanının diğer mikrofiller malzemelere göre boşlukları doldurma etkisinin yanında pozolanik etkisinin daha üstün olabileceğini düşündürmektedir. Genelleme yapabilmek için daha ileri deney sonuçlarına gereksinim vardır. Bir filler malzemenin pozolanik etkisinin mi yoksa boşlukları doldurma etkisinin mi daha belirgin olduğunu kanıtlayabilmek için mikroyapısal incelemeleri de kapsayan çalışmalar yapılmalıdır. Ancak silis dumanının boşlukları doldurma etkisinin yanında pozolanik etkisinin de üstün olduğunu kanıtlayan çalışmalar vardır [5, 10, 11]. Betondaki çimento hamuru ve harcın boşluk yapısı yalın çimento hamurunun yapısından farklıdır. Betonda yalın hamura göre daha çok ve daha büyük boşluklar oluşur. Büyük boşluklar agregayı çeviren arayüz bölgesinde daha belirgindir. Mikrofiller malzemeler arayüz bölgesindeki boşlukları doldurmada etkilidirler. Tablo 5'de görüldüğü üzere inceliği yüksek olan mikrofiller malzeme içeren betonlarda gevreklik indisi daha yüksektir. Bu betonlardaki boşluklar, özellikle arayüz bölgesindeki boşluklar, filler malzeme ile dolduğundan daha homojen bir betona erişilmektedir. Arayüzeyde daha üniform gerilme yayılışları elde edilmekte ve malzeme kırılıncaya kadar lineer davranışa daha yakın bir eğilim göstermektedir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristalleriyle etrenjitin oluşumu ancak boşluklarda görülmektedir. Böylece normal betonda agrega-çimento hamuru temas yüzeyindeki büyük boyutlu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristallerine ve etrenjite rastlamak olağandır. Mikrofiller malzemelerin kullanılmasıyla bu hidrate ürünlerin oluşumu engellenebilir. Mikrofiller malzemelerin boşlukları doldurma etkisinin önemine Bentur ve Goldman işaret ettiler. Bu araştırmacılar reaktif olmayan karbon siyahının kullanılması halinde normal betona göre mukavemette artış olduğunu kanıtladılar [12]. Reaktif olmayan mikrofiller malzemelerin boşlukları doldurma amacıyla kullanılması durumunda inceliğin çok önemli bir parametre olacağı açıktır.

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1° Çimento ağırlığının %10 u kadar bir bölümünün silis dumanı ile yer değiştirmesi betonun basınç dayanımında belirgin artışa neden olmaktadır. Buna karşın aynı oranda kalker filleri, karbon siyahı, silis unu ve uçucu kül içeren betonların basınç dayanımlarında normal betona göre belirgin değişiklikler yoktur. Genelde mikrofiller malzemeler betonun gevreklik indisini arttırmaktadır.

- 2° Kalker filleri, silis unu ve uçucu kül gibi mikrofiller malzemelerin çimento klinkeriyle birlikte öğütülerek çimentoya katılması yakıt tasarrufu sağlar ve çevrenin daha az kirlenmesine katkıda bulunur. Bu filler malzemelerin çimentoya göre daha ince öğütülerek doğrudan çimentoya katılması betonun özelliklerini iyileştirme bakımından daha yararlı olur.
- 3° Kalker filleri ve silis unu gibi mikrofiller malzemeler ince agreganın bir bölümü yerine de kullanılabilir. Böylece betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega harç arayüzeylerindeki boşlukların doldurulmasında bu mikrofiller malzemeler önemli rol oynar. Betonun geçirimsizliği ve bunun sonucu olarak dırabilitesi için yararlı sonuçlar elde edilebilir.
- 4° Silis dumanı gibi mikrofiller bir malzemenin fiyatının giderek yükselmesi ve yüksek dayanımlı betonlara duyulan gereksinme kolay bulunabilir ve ucuz olan mikrofiller malzemelere yönelmeyi zorunlu kılmaktadır.
- 5° Mikrofiller malzemelerin kullanılmasıyla taze betonun özelliklerinin iyileştirilmesi de olanaklıdır. Kalker filleri, silis unu ve uçucu külün silis dumanı veya başka filler malzemelerle birlikte kullanılması hem beton teknolojisi hem de ekonomik açıdan yararlı sonuçlar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Nehdi, M., Mindess, S. and Aitcin, P.C., Optimization of High Strength Limestone Filler Cement Mortars, Cem. Conc. Res., Vol.26, No.6, 1996, pp. 883-893.
- [2] Bentur, A., Bonen, D. and Goldman, A., Discussion of a paper by Chong, X. et al., "Role of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar and Concrete", ACI Mat.Jour., July-Aug., p.376 (1993).
- [3] Taşdemir, C., Agregat-Çimento Hamuru Arayüzeyi Mikroyapısının Yüksek Mukavemetli Betonların Kırılma Parametrelerine Etkisi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ocak 1995.
- [4] Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Lydon, F.D. and Barr, B.I.G., Influence of Microsilica on the Strain Softening Response of Concrete, Proc. of Localized

Damage III., M.H. Aliabadi et al. (Eds.), Computational Mechanics Publications, Southampton, 1994, pp.417-424.

- [5] Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Lydon, F.D. and Barr, B.I.G., Effects of Silica Fume and Aggregate Size on the Brittleness of Concrete, *Cem. Conc. Res.*, Vol.26, No.1, 1996, pp.63-68.
- [6] Krstulović, P., Kamenić, N. and Popović, K., A New Approach in Evaluation of Filler Effect in Cement, I. Effect on Strength and Workability of Mortar and Concrete, *Cem. Conc. Res.*, Vol.24, No.4, 1994, pp.721-727.
- [7] Uchikawa, H., Hanehara, S. and Hirao, H., Influence of Microstructure on the Physical Properties of Concrete Prepared by Substituting Mineral Powder for Part of Fine Aggregate, *Cem. Conc. Res.*, Vol.26, no.1, 1996, pp.101-111.
- [8] Wu, K. and Zhou, J., The Influence of the Matrix-Aggregate Bond on the Strength and Brittleness of Concrete, *Bonding in Cementitious Composites*, S. Mindess and S.P. Shah (Eds.), MRS, Pittsburgh, 1988, pp.29-34.
- [9] Taşdemir, C. ve Atahan, N.H., Filler Malzemelerin Betonun Mekanik Özelliklerine ve Dürabilitesine Etkisi, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 7-8 Ekim 1996, İstanbul.
- [10] Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Grimm, R. and König, G., Microstructural Effects on the Brittleness of High Strength Concretes, in *FRAMCOS 2, Int. Conf. Frac. Mech. Concr. and Struct.*, F.H. Wittmann (Ed.), Aedificatio Publishers, Vol.1, 1995, pp.125-134.
- [11] Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Mills, N., Barr, B.I.G. and Lydon, F.D., Interfacial Effects on the Post-Peak Response of Concrete in Bending, Submitted for publication, 1996.
- [12] Goldman, A. and Bentur, A., Effect of Pozzolonic and Non-Reactive Microfillers on the Transition Zone in High Strength Concretes, in *Interfaces in Cementitious Composites*, J.C. Maso (Ed.), E and FN Spon, London, 1992, pp.53-61.