

I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul -1996, ISBN 975-395-196-5

**FİLLER MALZEMELERİN BETONUN  
MEKANİK ÖZELİKLERİNE VE  
DÜMABİLİTESİNE ETKİSİ**

**EFFECT OF MICROFILLER MATERIALS ON  
THE MECHANICAL PROPERTIES AND  
DURABILITY OF CONCRETE**

Canan TAŞDEMİR      Hakan N. ATAHAN  
İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak-İstanbul

**ÖZET**

Aynı çimento ve agrega kullanılarak üç farklı beton karışımı hazırlandı. Kontrol betonu karışımından başka, biri kalker filleri diğeri silis dumanı içeren betonlar üretildi. Kalker filleri ve silis dumanı çimento ağırlığına göre % 10 oramda kullanıldı. Su/(çimento+filler malzeme) oram %40 da sabit tutuldu ve sodyum naftalin sülfonat esaslı bir süperakışkanlaştırıcı kullanıldı. Filler malzemelerin betonun mekanik özelliklerine ve dürabilitesine etkileri incelendi. Çimentonun bir bölümünün kalker filleri ile yer

değiştirmesinin mekanik özellikleri 90. günde belirgin biçimde etkilemediği görüldü. Betonun mekanik özelliklerine sülfatın etkisi de değerlendirildi. Çimentonun bir bölümünün kalker filleri ile yer değiştirmesi çimentonun daha etkin kullanımını, daha az enerji harcanmasını ve hava kirliliğinin daha aza indirilmesini sağlayabilir. Bununla birlikte kalker fillerinin çimento esaslı bağlayıcının temel rolünü oynamayacağı da açıktır.

#### ABSTRACT

Three different concrete batches were prepared from the same Portland Cement and aggregate. Apart from the normal concrete mix, two different concretes one with limestone filler and one with silica fume were cast. Both silica fume and limestone filler were 10 percent by weight of cement. The water/(cement+filler material) ratio was kept at 0.40 in all three concretes and sodium naphthalene sulfonate type superplasticizer was used for all mixes. Effects of microfillers on the mechanical properties and durability of concrete were investigated. Limestone filler replacement did not significantly affect the strength of concrete at 90 days up to 10 percent by weight. The influence of sulfate attack on the mechanical properties of concrete is also evaluated. Partial replacement of cement by limestone filler may provide a more efficient use of cement, with less energy consumed and less hazardous emission released in air. However, it is clear that the limestone filler itself will not play the basic role of cementitious binder.

#### 1. GİRİŐ

Son onbeş yıldı betonda kalker filleri kullanımına yönelik bazı araştırmalar yapıldı. Bu mineral filler malzemelerin betonda kullanılmasının en önemli amacı çimento maliyetini bir miktar düşürmek ve taze betonun işlenebilirliğini ve stabilitesini iyileştirmektir. Son yıllarda yüksek mukavemetli betonlara duyulan önemli gereksinme, mikroiUer malzemelere ilgiyi daha da arttırdı. Bu çok ince toz malzemelerin süperakışkanlaştırıcılarla birlikte çimento bağlayıcılı sistemlerde kullanılması daha az boşluklu bir yapı elde edilmesi, taze betonun reolojik özelliklerinin iyileştirilmesi ve sertleşmiş betonun mekanik davranışına olumlu katkısı nedeniyle yeni bir ilgi alanı haline geldi.

Mikrofiller malzemelerin en etkili olanı silis dumanıdır. Ancak, bu malzemenin fiyatı giderek artmakta ve temininde güçlük çekilmektedir. Bu durum yeni filler malzemeleri arama ihtiyacını doğurmaktadır [1]. Silis dumanı başta Norveç olmak üzere Avrupa ve ABD'de yaygın biçimde kullanılmakta olup iki işleve sahiptir; birincisi betondaki boşlukları doldurma, diğeri ise puzolanik etkidir. Bu etkilerden hangisinin belirleyici olduğu yönünde değişik görüşler vardır [2]. Ancak silis dumanının bu iki etkisinden biri olan puzolanik etkinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu mikroyapısal incelemeler ve mekanik deneylerle kanıtlandı [3]. Puzolanik etkinin hamur veya harca göre betonda daha belirgin olduğu, özellikle en büyük agrega boyutu arttıkça etkinin daha da arttığı gösterildi [4], [5].

Birçok araştırmacı kalker fillerinin çimento özelliklerine etkilerini incelediler. Beton literatüründe mevcut çalışmalara göre, genelde kalker fillerinin %5-%6 oranında çimento klinkerinin öğütülmesi sırasında katılmasının negatif bir etki yapmadığı sonucu çıkmaktadır. Krstulovic ve arkadaşları [6] kalker fillerinin çimentodaki hacimsel konsantrasyonunun harç ve beton mukavemetine etkisiyle ilgili istatistiksel değerlendirmeler yaptılar ve lineer bağıntılar önerdiler. Ülkemiz önemli bir çimento üreticisi olup, Avrupa'da üçüncü, Dünya'da sekizinci sıradadır [7]. Başta büyük şehirler olmak üzere beton üretimi için önemli miktarda agregaya gereksinim vardır. Bu agregalardan iri olanı genelde İstanbul yakınlarındaki kalker ocaklarından elde edilmektedir. Çimento fabrikalarına da yakın mesafede olan ve büyük potansiyeli bulunan bu ocaklardan kırmataş ile birlikte önemli miktarda kırmataş tozu da yan ürün olarak elde edilmektedir. Bu toz malzemenin ekonomiye kazandırılması oldukça önemlidir. Klinker ile birlikte öğütülerek veya ince toz haline dönüştürüldükten sonra çimentonun sınırlı bir bölümüyle yer değiştirilip kullanılması olanakların araştırılmasına gereksinim vardır. Böyle bir çaba daha az yakıt kullanılmasını sağlar ve çevrenin daha az kirlenmesine katkıda bulunur. Öte yandan, kalker tozu betonun ince agregasının bir bölümüyle yer değiştirilerek de kullanılabilir. Bu amaçla Uchikawa ve arkadaşları [8] kalker fillerini, yüksek fırın cürufu tozu ve silisli taş tozu kullanarak yaptıkları çalışmada, bu filler malzemeler kimyasal katkıyla birlikte kullanılarak betonun plastik viskozitesinin artacağı sonucuna vardılar.

Bu çalışmanın amacı ise belli nominal dozaja sahip bir betonda kullanılan çimentonun bir bölümünü silis dumanı veya kalker filleri ile değiştirerek bu filler malzemelerin betonun mekanik özelliklerine ve dürabilitesine etkisini karşılaştırmalı olarak araştırmaktadır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Kullanılan<sup>1</sup> Malzemeler

#### 2.1.1. Çimento

Deneylerde kullanılan çimento Akçimento Fabrikası üretimi olup, aynı gündeki üretimden alınarak laboratuvarımıza getirilen orjinal ambalajlı PC 32,5 cinsindeki çimentodur. Bu çimentonun 28 günlük standard harçlarının basınç ve eğilme-çekme dayanımları sırasıyla 37,0 N/mm<sup>2</sup> ve 8,3 N/mm<sup>2</sup>, özgül ağırlığı ise 3,17 gr/cm<sup>3</sup> dür.

#### 2.1.2. Silis Dumanı

Silis dumanı, Elkem-Koca Hazır Beton firmasının üretimi olup toz halinde laboratuvarımıza getirildi. Beton üretiminde ağırlıkça % 50 silis dumanı + % 50 su olacak şekilde bulamaç yapılarak kullanıldı. Deneylerde kullanılan silis dumanının özgül ağırlığı 2,56 gr/cm<sup>3</sup> olup, %94,96 oranında SiO<sub>2</sub> içermektedir.

#### 2.1.3. Kalker Filleri

Deneylerde kullanılan kalker filleri malzemesinin özgül ağırlığı 2,72 gr/cm<sup>3</sup> olup Cebeciköy yöresindeki Yol-Yapı firmasına ait taş ocağından bulamaç halinde laboratuvarımıza getirildi. Kurutulduktan sonra 88 mikronluk eleğin altında kalan ve özgül yüzeyi 794 m<sup>2</sup>/gr olarak bulunan kısmı beton üretiminde kullanıldı.

#### 2.1.4. Agregası

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

Tablo 1. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Cinsi	Birim Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	Özgül Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )
Kum	1,43	2,62
Kırmataş I	1,39	2,72
Kırmataş II	1,37	2,72

Tablo 2. Agregaların Granülometrik Bileşimleri

Elekt göz boyutu (mm)	Elekten Geçen Malzeme (%)							
	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Kum	100	100	100	100	97	94	80	1
Kırmataş I	100	100	59	0	0	0	0	0
Kırmataş II	100	68	1	0	0	0	0	0

## 2.2. Beton Üretimi

Bu çalışmadaki beton bileşim hesaplarında temel yöntem olarak mutlak hacim yöntemi kullanıldı. Beton agregası karışımının granülometri eğrisi TS 706'da belirtilen A32-B32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde karışım oranları kum %30, kırmataş I ve H'ninherbiri %35'er olarak bulundu. Karışımın granülometrisi Şekil 1 'de verilmektedir.

Mutlak hacim yöntemine göre herbir agreganın miktarı aşağıdaki gibi hesaplandı.

$C$  :  $\text{m}^3$  yerleşmiş betondaki çimento ağırlığı (kg)

$e$  :  $\text{m}^3$  yerleşmiş betondaki su hacmi

$\hat{a}_c$  : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm<sup>3</sup>)

$\hat{o}_a$  : (i) agregasının birim hacim ağırlığı (kg/dm<sup>3</sup>)

$P_i$  : (i) agregasının karışım yüzdesi

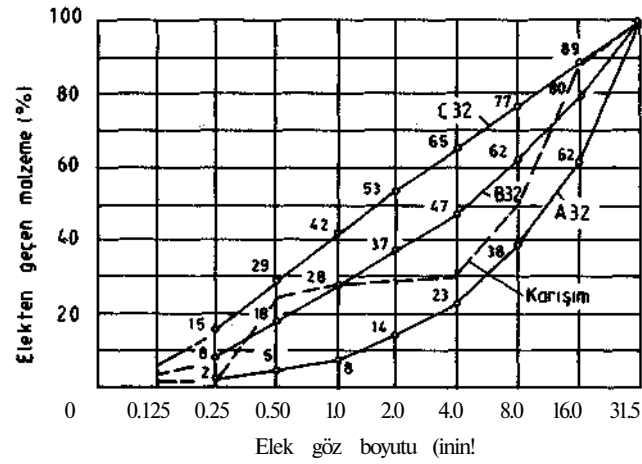
$V_a$  : Toplam agreganın hacmi (dm<sup>3</sup>)

$h$  :  $\text{dm}^3$  yerleşmiş betondaki hava hacmi ( $\text{dm}^3$ )

$$V_a = 1000 - \left( \frac{C}{\delta_c} + e + h \right) \text{ yazılır}$$

$G_i$  : (i) agregasının ağırlığı ise aşağıdaki gibi elde edildi:

$$G_i = V_a \cdot P_i \cdot \delta_{a_i}$$



Şekil 1. Beton agregası karışımının granülometrisi

Çimento ağırlığının %10'u oranında mineral filler malzeme (kalker filleri veya silis dumanı) kullanıldı. Her üç betonda da su/(çimento+filler 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 betonlara NB, KB ve SB kodları verildi. Bunlar sırasıyla normal betonu (kontrol betonu), kalker filleri içeren betonu ve silis dumanı içeren betonu göstermektedir. Tablo 3'de betonların bileşimi ve taze beton özellikleri görülmektedir.

Tablo 3. Beton Bileşimleri ve Taze Beton Özellikleri

Karışım Kodu	NB	KB	SB
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	402	367	368
Mineral Katkı (kg/m <sup>3</sup> )	-	37	37
Kum (kg/m <sup>3</sup> )	544	546	548
Karmataş I (kg/m <sup>3</sup> )	659	662	664
Kırmataş II (kg/m <sup>3</sup> )	659	662	664
Su (lt/m <sup>3</sup> )	161	161	162
Süperakışkanlaştırıcı (lt/m <sup>3</sup> )	4,5	7,6	6,8
Su/(Çimento+Mineral Katkı)	0,40	0,40	0,40
Mineral Katkı/Çimento	-	0,10	0,10
Çökme (mm)	85	90	80
Hava içeriği (%)	1,7	0,9	0,5
Kompasite (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0,818	0,822	0,826
Taze Beton Birim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	2430	2443	2450

Tablo 3'de verilen bileşimle  $\varnothing$  150<sup>^</sup>300 mm boyutunda silindire ve 70\*70\*280 mm boyutunda prizmatik numuneler üretildi. Numuneler üretimi izleyen 24 saat kalıbında tutulduktan sonra kirece doymuş su içine konuldular.

### 2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

#### 2.3.1. Mekanik Dayanımlar

Üretilen silindir numuneler üzerinde 28. ve 90. günlerde basınç dayanım deneyleri ile gevreklik indisi deneyleri yapıldı. Prizmatik numuneler üzerindeki deneyler ise kontrol betonunda (NB) ve filler malzeme içeren betonlarda (KB ve SB) kirece doymuş su içinde bekletilen numunelerin bir kısmı üzerinde 28. günde yapıldı. Prizmatik numunelerin diğer kısmı ise iki gruba ayrıldı. Bunlardan birinci bölümü olan NB1, KB1 ve SB1 betonları 120. güne kadar yine kirece doymuş su içinde, ikinci bölümü olan NB2, KB2, SB2 betonları ise 28. günden başlayarak 120. güne kadar %40 konsantrasyonlu MgSO<sub>4</sub> çözeltisinde bekletildiler. Çözelti hazırlandığı gün pH derecesi

7 idi. pH derecesi 9 olduğunda çözelti yenilendi. Prizmatik numunelere ait sertleşmiş beton deney sonuçları Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Kirece Doygun Suda ve  $MgSO_4$  İçeren Ortamda Tutulan Prizmatik Numunelerin Sertleşmiş Beton Özellikleri

Numune Kodu	Kür Süresi (Gün)	Eğilme Dayanımı ( $N/mm^2$ )	Basmç Dayanımı ( $N/mm^2$ )
NB1	28	6,65	51,2
	120	9,72	60,2
NB2	120	10,90	52,8
KB1	28	7,31	47,1
	120	9,69	67,9
KB2	120	10,70	51,6
SB1	28	8,72	57,6
	" 120	9,32	62,7
SB2	120	9,00	57,7

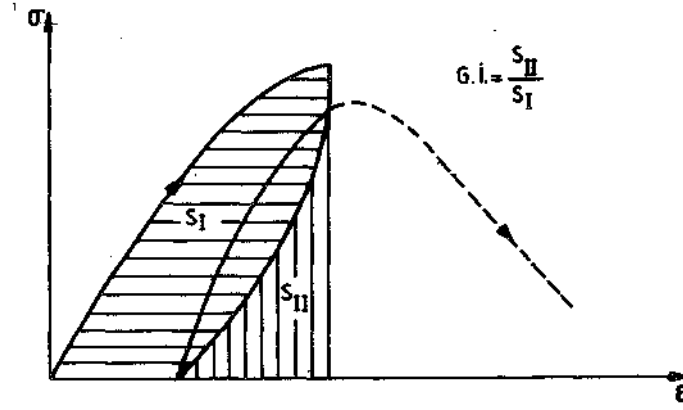
Tablo 4'de verilen basmç dayanımı değerleri eğilme deneyinden arta kalan parçalar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardır.

### 2.3.2. Gevreklik İndisi

Kullanılan filler malzemelerin betonun gevrekliğine etkisini araştırmak amacıyla bu deneyler yapıldı. Betonların gevreklik indisleri silindir numunelerin basmç altında gerilme-şekî değiştirme eğrilerinden elde edildi. Şekil 2'de de gösterildiği gibi betonun gevreklik indisi (G.İ.) basmç mukavemetinin %80-%100'ü arasında, "tersinir deformasyon enerjisinin ( $S_{ff}$ ) tersinmez deformasyon enerjisine ( $S_c$ ) oranı" olarak tanımlanır.

Basmç mukavemetinin çeşitli yüzdelerinde elde edilen gevreklik indisi değerleriyle bu betonların basmç mukavemetlerinin 28 ve 90 günlük sonuçları Tablo 5'de, gevreklik indisi değerlerinin basmç mukavemeti ile değişimi ise Şekil 3'de gösterilmektedir.

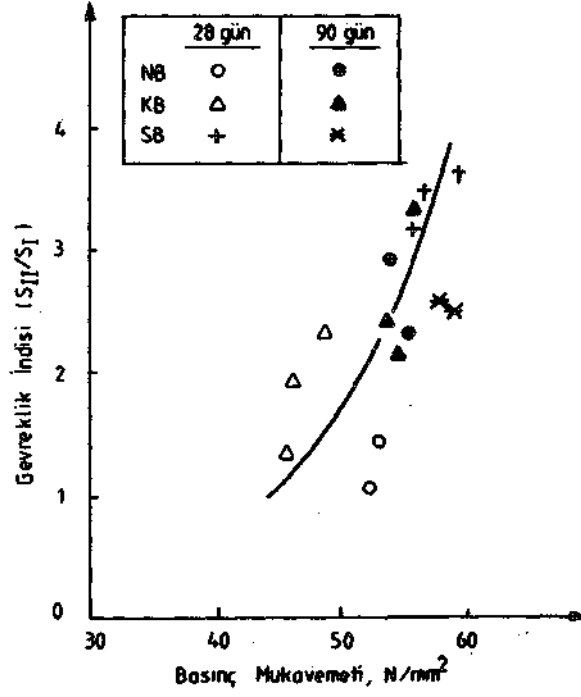




Şekil 2. Betonun gerilme-şekil değıştirme eğrisi ve gevreklik indisi [3], [9]

Tablo 5. Gevreklik İndisi Değerleri

Numune Kodu	Kür Süresi (Gün)	$\sigma/f_c$	$S_{II}/S_I$	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
NB	28	0,90	1,48	53,2
		0,96	1,02	52,6
	90	0,86	2,92	53,8
		0,88	2,28	55,5
KB	28	1,00	1,96	46,1
		0,81	1,33	45,3
		0,99	2,33	48,9
	90	0,81	3,13	56,0
		0,90	2,13	54,6
		0,84	2,40	53,8
SB	28	1,00	3,66	59,9
		0,90	3,19	56,2
		0,96	3,51	56,8
	90	0,92	2,57	58,3
		0,93	2,51	59,4



Şekil 3. Gevreklik indisinin basınç mukavemeti ile değişimi

### 3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

#### 3.1. Mekanik Dayanımlarla İlgili Sonuçların İrdelenmesi

Tablo 4'de görüldüğü üzere kalker filleri içeren 28 günlük betonun basınç dayanımı kontrol betonuna göre düşük değerdedir. Buna karşın eğilme dayanımı artış göstermiştir. Kalker filleri içeren betonun 120. gündeki basınç dayanımı ise normal betonun üzerine çıkmıştır. Kalker fillerinin %10 oranında kullanılmasının 28. gündeki mukavemeti pratik olarak düşürmediği söylenebilir, çünkü düşüş oranı sadece %8 civarındadır. Silis dumanı içeren betonda 28. ve 120. gündeki mukavemetler normal betona göre daha yüksektir.

Genelde betona katılan filler malzeme puzolan ise bunun mukavemete ilk günlerdeki etkisi belirgin değildir. En az 14 gün kür uygulandıktan sonra bu etki ortaya çıkmaya başlar. Bu nedenle betona puzolanla birlikte ince toz bir filler malzemeyi katarak çimentonun hidratasyonun hızlandırılması da hedeflenir. Bu amaçla Gutteridge ve Dalziel [10], titania ( $TiO_2$ ) tozunun hidratasyonun gelişimine ilk 7 saatten itibaren önemli katkısının olduğunu gösterdiler. Aynı araştırmacılar [11], hidratasyonun gelişimine özgül yüzeyi yüksek olan uçucu kül ve yüksek fırın cürufalarının düşük olanlarına göre daha etkili olduklarını kanıtladılar. Beedle ve arkadaşları [12] da amorf silis ( $SiO_2$ ),  $\alpha$  ve  $\gamma$ -alümina ( $Al_2O_3$ ), titania ( $TiO_2$ ), kil (doğal sodyum montmorillonite kili veya magnezyum silikat) ve grafit tozlarının  $C_3S$ 'in hidratasyonunun hızlandırılmasına etkisini incelediler. Bu araştırmacılar, grafit ve  $\alpha$  alüminanın hidratasyonu hiç etkilemediği, titanianın çok az bir etkisinin olduğu, buna karşılık amorf silis ile kilin hızlandırıcı  $\gamma$ -alüminanın ise geciktirici yönde etkilerinin olduğunu gösterdiler.

Böylece, kalker filleri ve silis dumanının yanında hidratasyonu hızlandırmak için bir başka mikrofiller malzemenin de birlikte kullanılması yararlı olabilir.

### 3.2. Gevreklik indisi Değerlerinin İrdelenmesi

Şekil 3'de görüldüğü üzere beton basınç mukavemeti arttıkça gevreklik indisi artmaktadır. Tablo 5'e göre kalker filleri içeren betonun normal betona göre daha fazla gevrek davranış gösterme eğilimi vardır. Ancak beklendiği üzere silis dumanı içeren karışımlarda 28. günde bulunan gevreklik indisi değerleri hem kontrol betonundan hem de kalker filleri içeren betondan belirgin biçimde yüksektir. Ancak 90. günde kalker filleri içeren betonla silis dumanı içeren betonların gevreklik indisi değeri arasındaki fark belirgin değildir. Öte yandan 28 günlük silindir basınç mukavemetleri karşılaştırıldığında kalker filleri içeren betonun basınç mukavemeti normal betona göre değişmemiş, silis dumanı içeren betonun silindir basınç mukavemeti ise sadece %7,7 artmıştır. Bu da silis dumanının puzolanik etkisinin daha üstün olabileceğini düşündürmektedir. Bu konuda genelleme yapabilmek için daha çok deney sonucuna gerek vardır. Bir filler malzemenin puzolanik etkisinin mi yoksa boşlukları doldurma etkisinin mi daha belirgin olduğunu kamtlayabilmek için mikroyapısal incelemeleri de kapsayan ileri çalışmalar yapılmalıdır.

### 3.3. Dürabilite Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Tablo 4'ün incelenmesinden görüldüğü üzere kalker filleri içeren betonların eğilme dayanımında sülfat etkisinden dolayı bir düşüş olmamıştır. Buna karşılık basınç mukavemetinde ise 120. güne kadar kirece doymun ortamda tutulana göre %24 düşüş, 28. günde aynı karışımına göre %6 artış olmuştur. Aynı tablonun incelenmesinden görüldüğü üzere KB2 betonun basınç mukavemeti kontrol betonunun 28. günde değeri kalmıştır. Benzer biçimde normal betonda da sülfat etkisiyle eğilme mukavemetinde artış, buna karşın basınç mukavemetinde kirece doymun ortamda tutulana göre %12 düşüş olmuş ve mukavemet 28. günde değeri inmiştir. Silis dumanı içeren betonun 120. günde eğilme dayanımının sülfat etkisinde de aynı değerde kaldığı, basınç dayanımının ise 120. günde kirece doymun ortamda tutulana göre %8 düşdüğü, 28. günde aynı karışımın basınç dayanımı ile eşit değerde olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre bütün betonlar yüksek konsantrasyonlu sülfattan olumsuz etkilenmişlerdir. Ancak silis dumanı içeren betondaki etki diğerlerine göre daha az olmuştur.

Betonun sülfat etkisi gibi zararlı ortamda tahribatının incelenmesi servis ömrünü tahmin etmeye ve gerekli önlemleri almaya olanak sağlar. Zararlı ortamda göçme mekanizması çok karmaşıktır. Esas neden beton içinde hacim genişlemesine yol açan kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan ürünün tahribat yapmasıdır. Bu reaksiyonlardan biri sülfat korrozyonu olup hacim sabitliğini bozan etrenjittir. Bu zararlı ürün kristalleşme süresince beton içinde büyük gerilmelere yol açar. Sawicz ve Heng [13], %5 konsantrasyonlu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , çözeltilisinde betonun dürabilitesine su/çimento oranının ve kalker fillerinin etkisini incelediler. Kalker fillerinin betonun dürabilitesi üzerine su/çimento oranının 0,60 dan küçük değerlerinde daha yararlı olduğunu, bunun üstünde bu tozun sülfata karşı yararlı etkisinin olmadığı sonucuna vardılar. Betonun tahribatı büyük ölçüde geçirimsizliğe bağlıdır. Bundan dolayı su/çimento oranının mertebesi de önemlidir. Betondaki çimento hamuru ve harem boşluk yapısı yalın çimento hamurunun yapısından farklıdır. Betonda yalın hamura göre daha çok ve daha büyük boşluklar oluşur. Büyük boşluklar agregayı çeviren arayüzey bölgesinde daha belirgindir. Kalker filleri arayüzey bölgesindeki boşlukları doldurmada etkili olabilir. Sawicz ve Heng kalker fillerini kullanırken çimento dozajında herhangi bir azaltma yapmadılar. Bu araştırmacılar ayrıca kalker ununun etrenjiti ( $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CS} \cdot \text{H}_{32}$ ), monosülfata ( $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CS} \cdot \text{H}_{12}$ )

ve hemisülfata ( $C_3A.1/2 CS.1/2 CH.H_{12}$ ) dönüşmesini engellediği, bu fazların yerine monokarbonat ( $C_3A.CC.H_n$ ) ve hemikarbonat ( $C_3A.1/2 CC.1/2 CH.H_n$ ) oluştuğunu gösterdiler. Torii ve Kawamura [14], uçucu kül ve silis dumanı içeren harçlarda fiziksel ve kimyasal değişimleri %2  $H_2SO_4$ , %10  $Na_2SO_4$  ve %10  $MgSO_4$  çözeltileri etkisinde 3 yıl süreyle incelediler. Silis dumanı ile uçucu külün sülfirik asit ve sülfat çözeltilerine karşı direnci arttırdığı sonucuna vardılar. Buna karşın zararlı etki için kullanılan uçucu kül ve silis dumanının sülfirik asitin ve sülfat çözeltisinin tipine belirgin biçimde bağlı olduklarını da gösterdiler. %2 konsantrasyonlu  $H_2SO_4$  çözeltisinin düşük pH derecesinde, çimentonun bir bölümünün uçucu kül ve silis dumamıyla değiştirilmesinin harçların dökülme ve soyulmasına karşı etkili olmadığını vurguladılar. %10  $NaSO_4$  çözeltisi etkisinde iken uçucu kül içeren karışımların sülfat etkisindeki hacim genişlemesi uçucu kül içeriği % 30'dan büyük iken azaltılabildiğine karşın, silis dumamıyla %5 gibi düşük bir yüzde de bile bu etkinin azaltılabildiğini kanıtladılar. Buna karşılık % 50 ve % 70 gibi yüksek oranlı silis dumanı ve uçucu kül kullanılanlarda ise tahribatın düşük yüzdelilere kıyasla daha fazla olduğunu gösterdiler.

Bu çalışmada çimentoyla yer değiştirilen silis dumam içeriği % 10 dur. 120 gün sülfat etkisine bırakılan silis dumam içeren numuneler kontrol betonuna ve yine %10 kalker filleri içeren betona göre daha az zarar gördü. Ancak etkiyi hızlandırma amacıyla yüksek konsantrasyonda tutulan çözeltiler bütün betonlarda genelde tahribata yol açtı.

#### 4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1°. Çimento ağırlığının %10'u kadar kalker filleri kullanımı betonun mekanik dayanımlarını fazla etkilememektedir.
- 2°. Kalker fillerinin çimentonun klinkeriyle birlikte öğütülerek veya çimentoya doğrudan katılarak kullanılması yakıt tasarrufu sağlar ve çevrenin daha az kirlenmesine katkıda bulunur.
- 3°. Kalker filleri ince agreganın bir bölümü yerine de kullanılabilir. Böylece betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-harç arayüzeyindeki boşlukların doldurulmasında kalker filleri önemli rol oynar. Betonun geçirimsizliği ve bunun sonucu olarak dürabilitesi için yararlı sonuçlar verebilir.

- 4°. Bazı filler malzemelerin giderek fiyatlarının yükselmesi ve yüksek mukavemetli betonlara ihtiyacın artması kalker filleri gibi kolay bulunur ucuz bir malzemenin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.
- 5°. Kalker fillerinin kullanılmasıyla taze betonun özelliklerinin iyileştirilmesi de olanaklıdır. Bu malzemenin silis dumanı veya bir başka filler malzemeyle birlikte kullanılması teknik ve ekonomik yararlar sağlayabilir.
- 6°. Bu çalışmada kısa sürede sonuç almak amacıyla yüksek konsantrasyonlu sülfat çözeltisinde deneyler yapıldı. Kontrol betonu gibi kalker filleri ve silis dumanı içeren betonlarda da tahribatlar oluştu. Sülfat konsantrasyonunu düşürerek uzun süreli dürabilite deneyleri daha ileri araştırmaların konusu olabilir.

#### S. KAYNAKLAR

- [1] Nehdi, M., Mindess, S. and Aİtcin, P.C., Optimization of High Strength Limestone Filler Cement Mortars, Cem. Cone. 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, Agrega-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 Aggrega Size on the Brittleness of Concrete, Cem. Cone. Res., Vol.26, No.1, pp.63-68, 1996.
- [6] Krstulovic, P., Kamenic, N. and Popovic, K., A New Approach in Evaluation of Filler Effect in Cement, I. Effect on Strength and Workability of Mortar and Concrete, Cem. Cone. Res., Vol.24, No.4., 1994, pp.721-727.
- [7] İ.T.Ü.-T.Ç.M.B.-O.D.T.Ü.-Sanayi-Üniversite Araştırma Geliştirme ve Laboratuvar Hizmetleri İşbirliği, Aralık 1995.

- [8] 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. Cone. Res.*, Vol.26, No.1, 1996, pp.101-111.
- [9] Wu, K. and Zhou, J., The Influence of the Martix-Aggregate Bond on the Strength and Brittleness of Concrete, *Bonding in Cementitious Composites*, S.Mindess and S.P.Shah (Eds.), MRS, Pittisburgh, 1988, pp.29-34.
- [10] Gutteridge, W.A. and Dalziel, J.A., Filler Cement: The Effect of Secondary Component on the Hydration of Portland Cement, PartI:A Fine Non-hydraulic Filler, *Cem. and Cone. Res.* Vol.20, 1990, pp.778-782.
- [11] Gutteridge, W.A. and Dalziel, J.A., Filler Cement: The Effect of Secondary Component on the Hydration of Portland Cement, Part II: Fine Hydraulic Binders, *Cem. Cone. Res.*, Vol.20, 1990, pp.853-861.
- [12] Beedle, S.S., Groves, G.W. and Rodger, S.A., The Effect of the Pozzolanic and Other Particles on Hydration of  $C_3S$ , *Advances in Cement Research*, Vol.2, No.5, 1989, pp.3-8.
- [13] Sawicz, Z. and Heng, S.S., Durability of Concrete with Addition of Limestone Powder, *Magazine of Concrete Research*, Vol.48, No. 175, 1996, pp. 131-137.
- [14] Torii, K. and Kawamura, M., Effects of Fly Ash and Silica Fume on the Resistance of Mortar to Sulfuric Acid and Sulfate Attack, *Cem. Cone. Res.*, Vol.24, No.2, 1994, pp.361-370.

