

BETON BORULARIN DAYANIMI VE DÜRABİLİTESİ

Sevtap HABERVEREN

Mehmet ÇAĞLAYAN

İSTON (İstanbul Beton Elemanları ve Hazır Beton Fabrikaları San. Tic. A.Ş.)
Kalite Birimi, Küçükköy, İstanbul

Mehmet Ali TAŞDEMİR

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Doğal ve yapay puzolanlar donatılı ve donatısız beton boruların üretiminde kullanılmaktadır. Mineral katkılı çimentolar zararlı ortamlarda kimyasal etkilere karşı dayanıklılıkları nedeniyle tavsiye edilirler. Hasarın hızı ve miktarı düşük çimento dozajı ve yüksek su/çimento oranı ile artar. Betonun düşük geçirimliliğe sahip olması C_3A içeriğinden daha belirgin bir etkidir. Kürün tam uygulanması durumunda mineral katkıları betonun daha düşük bir poroziteye sahip olmasını sağlar ve puzolanik reaksiyon betondaki kalsiyum hidroksit içeriğini azaltır, fakat yetersiz kür yüksek poroziteye neden olur, bu da dürabilite açısından sakıncalıdır. Eğer beton uygun bir şekilde üretilmiş ve kür uygulanmış ise dürabilitede iyileşmeden söz edilebilir.

1. GİRİŞ

Betondan beklenen ana nitelikler; dayanım ve dürabilitenin (kalcılığın) yeterli, ekonomik ve fonksiyonel olması yanında görünüşünün de iyi olmasıdır. Tasarımı yapan, uygulamayı gerçekleştiren, servisteki betonun bakım ve onarımını yüklenen mühendisler bu ana nitelikleri birleştirmek ve en uygun çözümü bulmak zorundadırlar. Beton serviste bulunduğu süre içinde dış etkilerden etkilenmeden kalcılığını yani dürabilitesini yitirmemelidir. Söz konusu çevresel etkiler; kıyı veya açık deniz yapılarındaki dalga hareketi, akıntı sırasında askı halindeki maddelerin çarpması, donma-çözülme ve ıslanma-kuruma gibi fiziksel nedenlerden ileri gelebileceği gibi asit, klor ve sülfat etkisi ve alkali-silika reaksiyonu gibi kimyasal nedenler de söz konusudur. Alt yapıda ve binalarda kullanılan beton için üretim sırasında ve serviste gerekli önlemlerin alınmaması durumunda dürabilite sorunlarıyla karşılaşılır.

Bu çalışmada sülfat ve asit etkilerinin makro düzey modellemeleri ile korozyon, donma-çözülme, sülfat ve asit etkilerini gösteren geçirimlilik hasar girişiminin bileşik modeli verilmektedir. Ayrıca İston'da üretilen beton ve betonarme boruların dayanım ve dürabilitesi üzerine bir değerlendirme yapılmakta, kalite denetimiyle ilgili süreçler

açıklanmaktadır. Sülfata dayanıklı boru üretiminde; zeminde ve yeraltı suyundaki sülfat konsantrasyonuna karşı kullanılması gerekli çimento tipleri için bazı standard kısıtlamalar, minimum çimento içeriği ve maksimum su/çimento oranı ile ilgili olarak bazı standartların öngördüğü sınırlamalar verilmekte ve bazı değerlendirmeler yapılmaktadır.

2. DÜRABİLİTENİN MAKRO DÜZEYDE İNCELENMESİ

Betonun hasar mekanizmasını mikroyapı belirler. Geçirimsizlik özellikleri de doğrudan mikroyapıya bağlıdır. Betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması dürabilite bakımından yararlıdır. Betonda dürabilite ve geçirimsizlik birbiriyle yakından ilgili olan iki olaydır. Betonun akışkan geçirimsizliği; 1) Basıncılı su geçirimsizliği, 2) Kılcal su emme ve 3) Buhar geçirimsizliğinden oluşur. Geçirimsizlik bakımından gerekli önlemlerin alınmaması durumunda dürabilite sorunlarıyla karşılaşılır.

Betonun çevre etkilerine karşı kalıcılığını sürdürmek için en önemli önlem geçirimsizliği sağlamaktır. Geçirimsizlikte en büyük etken dışa açık boşluklar ile çatlaklardır. Beton dürabilitesinde olumsuz etki yapan bu boşluklar ve çatlaklar en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyinde daha belirgindir. Su/çimento oranının yüksek olması dolayısıyla kılcal boşlukların artması dürabiliteyi olumsuz yönde etkileyen en önemli nedenlerden biridir. İlk 7 gün içinde betonun bakım ve kürüne özen gösterilmemesi durumunda önemli dürabilite sorunlarıyla karşılaşılır. Özellikle puzolanlı çimentoların kullanılması durumunda betonun bakım ve kürüne daha çok özen gösterilmesi ve kür süresi normal çimento ile üretilen betonlara göre daha da uzatılmalıdır (Taşdemir, 1998). Bu durum doğal veya yapay puzolan içeren çimentolar için bir olumsuzluk değildir, aksine betonun dürabilitesi için yararlıdır ve bütün dünyada yaygın biçimde kullanılmaktadır.

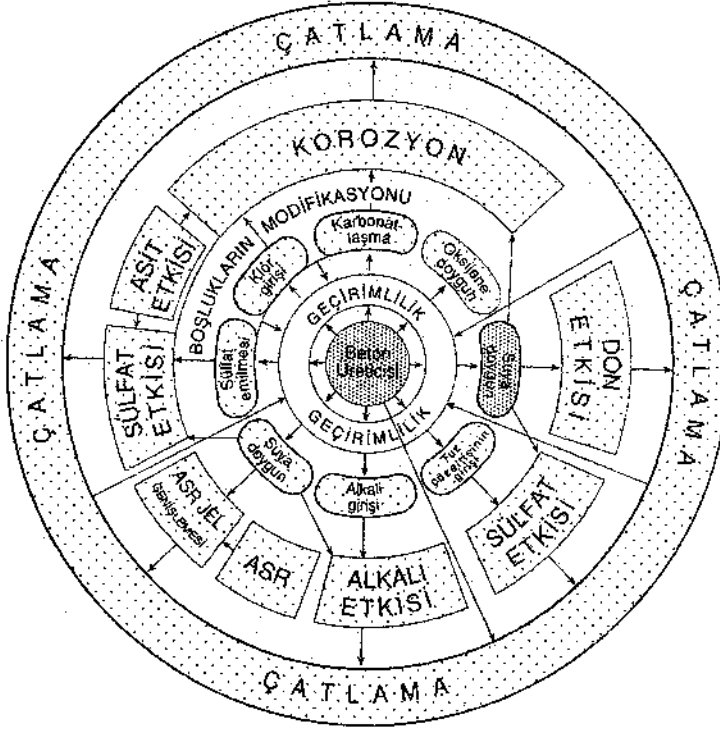
Betonun dürabilitesinin değerlendirilmesi ölçülen geçirimsizlik özelliklerine göre yapılmalıdır. Betonun içine gömülü donatı çeliği, çıplak çeliğe göre daha iyi korunur. Oksijen konsantrasyonundaki farklılık çelik üzerindeki anot ve katot bölgelerini oluşturur. Betona gömülü çelik donatının korozyonunda klor iyonlarının işlevi büyüktür. Klor iyonları elektrolitliği yükselterek anot ile katot arasındaki iyon alış-verişini kolaylaştırdığından korozyonu artırır.

Betonu oluşturan agrega ve bağlayıcı faz ve çimento hamuru-arayüzey özellikleri betonun donma-çözülme dayanıklılığında önem taşır. Çimento hamuru fazında bulunan kılcal boşluklardaki suyun bir kısmı donunca genişler ve boşluk içindeki su çeperlere hidrolik basınç uygular. Ayrıca donma sonucu boşluk suyundaki tuz ve kireç konsantrasyonu farklılaşır ve içte ozmotik basınç doğar. Bu çevrimler sonucu betonun düşük olan çekme şekil değiştirme kapasitesinin yenilmesiyle betonda çatlama oluşur. Daha çok havaalanı gibi yüzey betonlarında, kış aylarında buz çözücü tuzların kullanılması sırasında yetersiz çimento dozajı, yerleştirmenin iyi yapılmaması, ikinci mastarlama işleminin uygulanmaması, hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmaması durumunda donma-çözülme hasarları artmaktadır.

Betonda sülfat etkisi en önemli dürabilite sorunlarından biridir. Sülfat ortamı yapının bulunduğu yere göre değişir. Deniz suyu ve endüstriyel bölgelerdeki atıkların etkileri farklılıklar sergiler. Beton bileşenleri, betonun hazırlanması ve izleyen işlemler sülfat

etkisinde önemli rol oynarlar. Sülfat etkisi suda çözülmüş olan kalsiyum sülfat ile alüminatın reaksiyonu sonucu ortaya çıkar. Oluşan yüksek sülfatlı sülfö-alüminat tuzu diğer bir deyişle etrenjit büyük hacim artışı yaratır ve betonun çatlamasına neden olur (Akman, 1992). Etrenjitin oluşabilmesi için trikalsiyum alüminatın bir kısmının monosülfata dönüşmesi gerekir. Asitin bütün Portland çimentolarına etkisi vardır. Asit etkisinin derecesi başta asitin pH'ı olmak üzere birçok etkene bağlıdır.

Genel olarak korozyon, donma-çözülme, sülfat etkisi, asit etkisi ve alkali-silika reaksiyonu gibi etkilerden oluşan geçirimsizlik-hasar girişiminin bileşik modeli de Şekil 3'de verilmektedir. Şekilde ok yönü okun başlangıcındaki parametrelerin ok ucundaki parametreleri etkilediğini göstermektedir.



Şekil 1. Geçirimsizlik-Hasar Girişim Diyagramı (Basheer ve ar., 1996)

Şekil 1'in incelenmesinden görüldüğü gibi bileşenleri bakımından uygun tasarlanmayan, boşluklu, iyi yerleştirilmemiş ve uygun kür uygulanmamış bir beton zararlı ortamların etkisinde kaldığında çatlaklar daha da büyür. Çatlakların sayısı ve miktarı arttıkça beton daha da geçirimli olur. Böylece yığışımli olarak çatlakların artması betonun hasarına yol açar ve dürabilite nedeniyle fonksiyonunu yitirmesiyle sonuçlanır.

3. BETONUN KALICILIĞI İÇİN ÖNLEMLER

Günümüzde betonun arayüzeylerinde ve çimento hamurundaki boşlukları doldurmak için ultra incelikte silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik ve mikrofiller malzemelerin süperakışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılması beton teknolojisinde büyük ilerlemelere neden olmuştur. Bu iki önemli gelişme yani hem ultra incelikteki mineral katkıların hem de süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkıların birlikte kullanılması betondaki su/çimento oranının düşmesini sağlamış ve boşlukların da doldurularak daha yoğun bir malzemenin oluşmasına neden olmuştur. Sonuçta betonun hem dayanımı hem de dürabilitesi artmıştır.

Hem doğal hem de yapay puzolanların betonun kimyasal dayanıklılığını arttırmada önemli işlevleri vardır. Portland çimentolarına kıyasla puzolan içeren çimentolar daha düşük geçirimsizliğe sahip beton elde edilmesine olanak sağlarlar. Daha yoğun bir kalsiyum silikat hidrate elde edilir. Bu da beton dürabilitesinin artmasını sağlar. Puzolanlı çimentolar zararlı sularda kirecin yıkanmasına karşı koyar. Bazı yapay puzolanların oksit bileşenlerinin çimento ile karşılaştırılması Tablo 1'de verilmektedir. Bu tablodaki puzolanik malzemelerin tümü uygulamada mevcuttur ve betonda kullanılmaktadır. Tablo 2'de ise bu mineral katkıların fiziksel özellikleri verilmektedir.

Tablo 1. Yapay Puzolanların ve Çimentonun Tipik Oksit Bileşimleri (ağırlıkça %) (Illston, 1996)

Oksit	Uçucu Kül		ÖYFC	Silis Dumanı	Portland Çimentosu
	F tipi	C tipi			
SiO ₂	48	40	36	97	20
Al ₂ O ₃	27	18	9	2	5
Fe ₂ O ₃	9	8	1	0.1	4
MgO	2	4	11	0.1	1
CaO	3	20	40	-	64
Na ₂ O	1	-	-	-	0.2
K ₂ O	4	-	-	-	0.5

Tablo 2. Yapay Puzolanların ve Çimentonun Fiziksel Özellikleri (Illston, 1996)

	Uçucu Kül	Silis Dumanı	ÖYFC	Portland Çimentosu
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.1	2.2	2.9	3.15
Tane boyut aralığı (mikron)	10-150	0.01-0.5	3-100	0.5-100
Özgül yüzey alanı (m ² /kg)	350	15000	400	350

Tablo 2'nin incelenmesinden görüldüğü gibi uçucu kül Ögütülmüş Yüksek Fırın Cürufu (ÖYFC) ve Portland çimentosunun tane boyut aralıkları ve özgül yüzeyleri birbirine yakındır. ÖYFC'nun tane biçimleri çimentonunkine benzer olup yaklaşık küresel biçimdedir. Uçucu külün tane biçimi küreye daha yakındır. Silis dumanının tane biçimi de yaklaşık küreseldir, özgül yüzey alanı ise çok yüksektir, böylece bu malzeme ultra incelikte kabul edilebilir. Silis dumanının betonda kullanılması durumunda taze betonda işlenebilme güçleşmekte, su gereksinmesi artmakta ve süperakışkanlaştırıcı kullanılması zorunlu olmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılarla silis dumanı kolaylıkla

homojen dağılmakta, özellikle çimento hamuru-agrega temas yüzeyindeki boşluklar doldurulmakta ve beton daha yoğun ve boşluksuz olmakta dolayısıyla dürabilite açısından yarar sağlanmaktadır (Taşdemir ve ar., 1996, 1998a, 1998b, 1999).

Katkılı çimentoların üretiminde ÖYFC'nun kullanımı çok yaygındır. Demir üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilen ÖYFC geçmiş yıllarda çimento ile yer değiştirilen bir malzeme olarak geniş biçimde kullanıldı. Yüksek fırında ergimiş metalin herbir tonundan 280-340 kg kadar elde edilen ergimiş cüruf, camsı kristal olmayan granüle malzemeyi üretmek üzere hızla soğutulur. Daha sonra Portland çimentosunun inceliğine yakın bir incelikte öğütülür. Çimento üretiminde ÖYFC'nun kullanılması ile önemli ölçüde enerji kazanımı ve çevresel yarar elde edilir. Betonda kullanılan cürufllu çimento genellikle Portland çimentosu ile ÖYFC'nin karışımı şeklindedir. Bu çimentolar da özellikle zararlı ortamlarda kimyasal etkilere dayanıklılıkları nedeniyle tavsiye edilirler.

Katkılı çimento üretiminde kullanılan diğer bir yapay puzolan uçucu küldür. Bunlar termik santralde toz kömürünün yanmasıyla oluşan baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçalarıdır. Bu atık malzemeler elektrostatik yöntemlerle elektrofiltrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazlarıyla atmosfere çıkışları engellenmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi genelde küresel biçimli olan uçucu küllerin boyutları 1-150µm arasında değişmektedir. Uçucu kül de betonda puzolanik malzeme olarak kullanılır. Kullanımında iki önemli amaç vardır: 1)Ekonomik oluşu, 2) Beton özelliklerine olumlu katkısıdır.

Ülkemizde yaklaşık olarak 13,5 milyon ton uçucu kül üretilmesine karşın inşaat sektöründe yaygın kullanılmamasının iki önemli nedeni vardır: 1) Türkiye'de üretilen uçucu küller hakkında yeterince veri bulunmaması, 2) Uçucu küllerin özelliklerinin üniform olmaması ve standartları sağlamayan bazı küllerin varlığıdır (Tokyay, 1998). ABD Uçucu Kül Standardı ASTM C 618 iki sınıfı öngörür. Bunlar; a) C Sınıfı: Linyit kömürü ve turbalardan elde edilen yüksek kalsiyumlu uçucu küller, b) F Sınıfı: Bitümlü kömürlerden elde edilen düşük kalsiyumlu uçucu küllerdir. Betonda uçucu kül kullanımı aşağıdaki yararları sağlar: i) çimento miktarını azaltarak beton maliyetinde düşüş, ii) hidrasyon ısısında azalma, iii) işlenebilmenin iyileşmesi, iv) yaklaşık 90 günden sonra beton dayanımında artış. Pratikte, uçucu kül iki şekilde betona katılır: 1) Çimento üretimi sırasında çimentoaya katılarak uçucu kül içeren katkı çimento elde edilmesinde, 2) Beton üretim tesisinde uçucu kül bir beton bileşeni gibi, diğer bir deyişle mineral katkı biçiminde betona katılır (Berry ve Malhotra, 1987). Genel olarak da çimentonun bir bölümüyle yer değiştirilerek kullanılır. Katılan uçucu kül bağlayıcı matrisin bir bileşeni olur ve dürabilite ile dayanımı etkiler. Ancak kalite bakımından büyük değişkenliğe sahip Türk Uçucu Küllerinin bazı standard değerleri sağlamadıkları bilinmektedir. Bu külleri beton üretiminde kullanmadan önce EN 450'de belirtilen minimum sıklıkta deney yapılması zorunludur. Aşağıda betonun kalıcılığı için gerekli önlemler sıralanmaktadır.

3.1. Bağlayıcı İle İlgili Önlemler

TS 10157'ye göre sülfata dayanıklı çimento, "C₃A (Trikalsiyum Alüminat) içeriği en çok %5 olan Portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı (CaSO₄.2H₂O) eklenmesi ile öğütülerek elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır." Aynı standarda göre C₄AF+2C₃A oranı ise en çok %25 olarak sınırlandırılmaktadır.

Sülfata dayanıklı bu çimento, ASTM Tip V çimentosunun karşılığıdır. Bu çimento ile üretilen betonlar, Portland çimentosu ile üretilenlere göre deniz suyuna, sülfatlı yeraltı sularına ve sülfat içeren diğer ortamlara karşı üstün dayanıklılık sergilerler.

Betonda çimentonun C_3A ($3CaO.Al_2O_3$) bileşeni ile alçı taşı ($CaSO_4.2H_2O$) arasındaki veya zararlı ortamlarda betonun içine sülfatlı sularla giren sülfatlar arasındaki kimyasal reaksiyonlar, monosülfat ($3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.12H_2O$) ve etrenjit ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$) gibi hacim arttırıcı özeliğe sahip sülfö-alümino-hidrat ürünlerinin oluşmasını sağlarlar. Bu bileşikler betonun hacim sabitliğini bozarlar ve çatlama hasarına yol açarlar. Böylece sülfatlı ortamlarda kullanılacak olan çimentolarda C_3A oranı düşük tutulmakta ve hacim sabitliğini bozan ürünlerin oluşumu engellenmektedir. İston'da kullanılan Akçansa üretimi SDÇ çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin tipik değerleri aşağıda verilmektedir.

Tablo 3. SDÇ nun kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellik	Kullanılan SDÇ Ortalaması (%)	TS 10157'e Göre En Çok (%)
Kızdırma kaybı	1,60	5,0
Çözünmeyen kalıntı	0,47	1,5
Kükürt trioksit (SO_3)	2,02	3,5
Trikalsiyum Alüminat (C_3A)	0,93	5,0
Magnezyum oksit (MgO)	3,80	5,0
Tetra Kalsiyum Alüminat Ferrit + 2Trikalsiyum Alüminat (C_4AF+2C_3A)	19,91	25
Klorür (Cl)	0,0119	0,1

Tablo 4. SDÇ nun Fiziksel Özellikleri

	Kullanılan SDÇ Ortalaması	TS 10157
Priz süresi: Priz başlangıcı (saat, dak.)	3-36	≥ 1
Priz sonu (saat, dak.)	4-42	≤ 10
Toplam hacim genişlemesi (mm)	1	≤ 10
Özgül yüzey (cm^2/gr)	3390	≥ 2800

Tablo 5. SDÇ nun Mekanik Özellikleri

Gün	Basınç Dayanımları, N/mm^2	TS 10157'e Göre En Az
1	14,4	-
2	25,4	10,0
7	38,5	21,0
28	47,0	32,5

Yukarıdaki tablolardan görüldüğü gibi kullanılan çimentonun kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri TS 10157'de belirtilen SDÇ standardına uygundur.

Zeminde veya yeraltı suyundaki sülfat konsantrasyonuna bağlı olarak dayanıklı beton üretmek için çimento seçimi İngiliz Standardına göre Tablo 6'da gösterildiği gibi yapılabilir:

Tablo 6: Sülfat Etkisindeki Betonlar İçin İngiliz Standardına Göre Öneriler (BS 8110:1985)

Sınıf	Sülfat Konsantrasyonu		Çimento Tipi	Minimum	
	Zeminde (%)	Yeraltı Suyunda (gr/lit)		Çimento İçeriği (kg/m ³)	Maksimum Su/Çimento Oranı
1	< 0,2	< 0,3	Portland çimentosu	Sınır yok	Sınır yok
2	0,2-0,5	0,3-1,2	Portland çimentosu	330	0,50
			Portland çimentosu + (%25-%40) UK	280	0,55
			Portland çimentosu + (%70-%90) ÖYFC		
3	0,5-1,0	1,2-1,5	Sülfata dayanıklı çimento (SDÇ)	280	0,55
			Portland çimentosu + (%25-%40) UK	380	0,45
			Portland çimentosu + (%70-%90) ÖYFC		
4	1,0-2,0	2,5-5,0	SDÇ	330	0,50
			SDÇ	370	0,45
5	> 2,0	> 5,0	SDÇ + Korumucu örtü	370	0,45

UK : Uçucu Kül

ÖYFC : Ögütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

Puzolanlı çimentolar genel olarak betonda sülfat etkisine, klor yayılımına alkali agrega reaksiyonuna asit etkisine karşı olumlu katkıları vardır. Ancak donma-çözülme etkisinde puzolanların doğrudan bir etkisi olmayıp, başlıca hava sürükleyici katkıların olumlu etkisinden söz edilmelidir (Massazza, 1997).

Ögütülmüş yüksek fırın cürufunun (ÖYFC) beton dürabilitesine katkısı için Tablo 7'deki örnek verilebilir. Bu tabloda bir yıl süreyle deniz suyu içinde tutulan 40x40x160 mm boyutundaki ISO harç çubuğunun lineer genişlemesini vermektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi Normal Portland çimentosundaki şişme cürufu çimento içeren harçların herbirinden daha yüksektir. Yüksek fırın cürufu çimento ile üretilen betonda çimentodaki cüruf içeriği %60 iken sülfat etkisine karşı mükemmel bir dayanım elde edilmektedir (Smolczyk, 1977).

Tablo 7. Deniz Suyu İçinde Bir Yıl Süreyle Tutulan ISO Harç Çubuklarının Lineer Genleşmesi (Regourd, 1986)

Çimento	$\Delta l/l, \mu\text{m}/\text{m}$
PÇ	1000
PÇ + %25 cüruf	750
PÇ + %30 cüruf	690
PÇ + %80 cüruf	190

Ögütülmüş yüksek fırın cürufunun en yararlı etkilerinden biri klorun geçiş hızını ve dolayısıyla klorun neden olduğu korozyonu önemli ölçüde azaltmasıdır. Bazı araştırmacılara göre ÖYFC içindeki yüksek alüminatlar bağlayıcılık sağlarlar. ÖYFC hamurunun normal Portland çimentosu hamuruna göre daha yüksek klor bağlama kapasitesine sahip olduğunu ve bu farkın ÖYFC'nun yerdeğiştirme miktarı ile arttığını gösterdiler.

Betonun geçirimsizliği, betona (veya çimento hamuruna) çözeltilerin veya gazların ilerlemesini ve hızını kontrol eder. Betonun geçirimsizliği su/çimento oranından etkilenir. Klor iyonları çok tahrip edicidir, buna özellikle kış aylarında buz çözücü olarak kullanılan tuzlar neden olur. Tablo 8'de gösterildiği gibi betonda ÖYFC kullanımı klor difüzyonu riskini önemli ölçüde azaltır. Yine tabloda görüldüğü gibi PÇ ile üretilen betonlara klor iyonlarının geçişi ÖYFC'li benzer karışımlarının 10 katıdır.

Tablo 8. Klor İyonları Geçişinin Bağlı Değeri (RMC, 1991)

Çimento Tipi	Cl Geçirgenliğinin Bağlı Değeri
PÇ + %60 ÖYFC	1
PÇ + %30 uçucu kül	3
PÇ	10

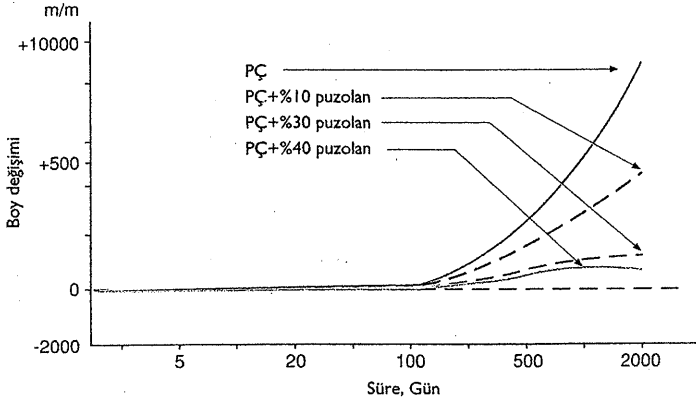
Smolczyk cürufu çimentolar ile üretilen betonların hareketli iyon difüzyonuna karşı direncinin Portland çimentosu ile üretilenlere göre belirgin biçimde yüksek olduğunu gösterdi. Diğer araştırmacılar da benzer sonuçlar elde ettiler.

Alkali-silika reaksiyonu agregalar alkali etkisinde kalırsa olur. Çimentonun bir bölümü ÖYFC ile yer değiştirilerek kullanılması alkali miktarını azaltabilir. Alkali-silika reaksiyonundan ileri gelen hasar riskini azaltmak için önerilen çok sayıda alternatif çözüm vardır. Bunlar: i) betonun alkali içeriğinin sınırlandırılmasını, ii) ÖYFC veya uçucu kül kullanımını, iii) düşük alkalili çimento kullanımını, iv) reaktif olmayan agrega kullanımını içerir.

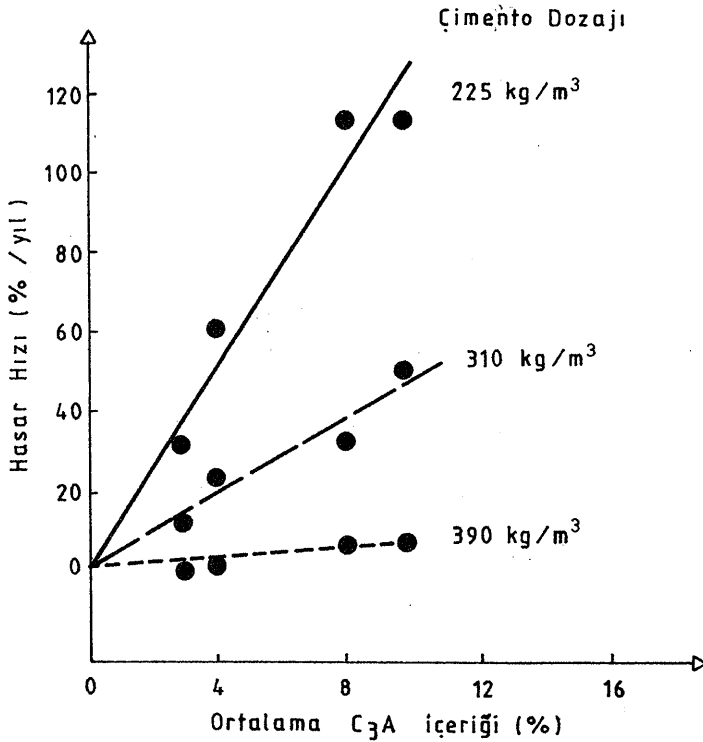
Asitin bütün Portland çimentolarına önemli etkisi vardır. Asit etkisinin derecesi asitin pH'ı gibi birçok etkene bağlıdır. Cürufu çimento ile üretilen betonlar 3,5 ile 5,5 pH derecesine sahip ortamda asit etkisine karşı yararlı olabilir. Bununla birlikte, 3,5'un altındaki pH değerleri için ek koruma önlemleri gereklidir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi Portland çimentosunun %30-%40'lık bir bölümü doğal puzolanla değiştirildiğinde 6 yıl süreyle %1'lik MgSO₄ çözeltisinde tutulan harçların genleşme değerlerini önemli ölçüde azaltmaktadır (Massazza, 1997). Böylece sodyum sülfat etkisine göre çok daha şiddetli etkiye sahip magnezyum sülfata karşı doğal puzolanların etkisinin belirgin olduğu anlaşılmaktadır. Ancak betonun uzun süreli performansında doğal puzolanın türünün de farklı biçimde etki edebileceğini belirtmek gerekir.

Sülfatın tipine ve konsantrasyonuna bağlı olarak betondaki hasarın miktarı ve hasarın artma hızı çimentodaki C₃A içeriğine bağlıdır. Ancak Şekil 3'in incelenmesinden görüldüğü gibi yüksek çimento içeriği, düşük su/çimento oranı hasarın hızını belirlemede etkindir. Betonun geçirimsizliğinin sağlanması C₃A'nın azaltılmasından daha yararlıdır.



Şekil 2. Harç Genleşmesine Puzolan Kullanımının Etkisi (Çimento : Kum Oranı = 1 : 3, Boyutlar 2x4x25 cm, Çözelti: %1'lik MgSO₄, Massazza, 1997)



Şekil 3. %10 Na₂SO₄ İçeren Bir Ortamda Betonun Hasar Hızına Çimento Dozajının ve Çimentodaki C₃A İçeriğinin Etkisi (Verbeck, 1968)

3.2. Agrega İle İlgili Önlemler

Agregaların çimento ile bağlantısının mükemmel olması için minerolojik yapılarına ve sertliklerine özen gösterilmelidir. Sert ve yoğun olan kalker kökenli agregalar bu iki niteliğe aynı zamanda sahip olurlar. Sülfata dayanıklı betonda kullanılacak agregalarda petrografik ve kimyasal deneyler de yapılmalıdır. Agrega granülometrisinin sürekli olması ve ince tanelerin yeterli düzeyde bulunması geçirimsizlik açısından tercih edilir.

3.3. Diğer Önlemler

Sülfata dayanıklı betonda bileşen malzemeler dışında aşağıdaki önlemler de alınmalıdır:

- Betonarme yapılarda pas paylarına özen gösterilmelidir. Örnek olarak BS 20 için pas payı en az 3,5 cm, BS 25 için pas payı en az 3,0 cm olmalıdır.
- Betonun slumpı yüksek olmamalı, en fazla 7-8 cm olmalıdır. İyi bir şekilde vibrasyon uygulanmalı, boşluk bırakmadan yerleştirme sağlanmalıdır.
- Çimento hamurunda ve agrega-çimento hamuru temas yüzeyinde çatlakların minimum düzeyde kalması için betonun üretimini izleyen günlerdeki kürrüne özen gösterilmelidir. Betonun sürekli ıslak tutulmasına çalışılmalıdır. Diğer bir önemli nokta da plastik rötre olmaması için gereken özen gösterilmelidir.
- Genel olarak bileşim, karışım, yerleştirme ve tesviye (düzeltme) standartlara uygun yapılmalıdır. Yüzeylerin kötü düzeltilmesi halinde, plastik rötre ve aşırı terleme sonucu yüzeyler zayıf bir çimento hamuru veya zayıf bir harca sahip olma eğilimi gösterirler. Bunun sonucunda sülfat yüzeye yakın iri agregalar civarında soyulmalara yol açar. Önlem olarak beton yüzeylerinde ikinci mastarlama işlemi yapılmalıdır.
- Sülfat içeriğinin fazla olduğu durumlarda sertleşmiş beton yüzeyine polimer emdirilmelidir.

4. KALİTE DENETİM SÜRECİ

İston'da beton ve betonarme borular üzerinde TS 821'e göre sızdırmazlık, tepe basınç yükü deneyleriyle, bu deneylerden elde edilen parçalar üzerinde su emme deneyleri sürekli biçimde yapılır. Üretilen borular üç gruba ayrılır: 1) Muflu Beton Borular (MBB), 2) Muflu Betonarme Borular (MBA), 3) Lamba Zıvanalı Betonarme Borular (LZB).

4.1. Boyutlar ve Toleranslar

Boyut ölçümleri ve toleranslar TS 821'e göre yapılır. Beton ve betonarme borular muf ağzı aşağıya gelecek biçimde üretildiğinden ve taze halde taşınırken gerekli önlemler alındığından genelde boyut tolerans değerlerinde zorlanmalar söz konusu olmamaktadır.

4.2. Sızdırmazlık Deneyleri

TS 821'e göre 0.5 atmosfer su basıncı altında yapılan sızdırmazlık deneyinde boru iç yüzeyinin her m²'si için boru anma çapına karşılık su kaybı değerlerinin standard değerlerle karşılaştırılması Tablo 9 da gösterilmektedir.

Tablo 9. Tipik Sızdırmazlık Deney Sonuçları

Kod	Anma Çapı, mm	Deneyle Ölçülen Su Kaybı, lt/m ²	TS 821'e göre Kabul Edilebilir Su Kaybı, lt/m ²
MBB	200	0,03	-
	300	0,06	0,08
	400	0,06	0,08
	500	0,05	0,08
	600	0,02	0,08
	700	0,04	0,07
MBA	800	0,03	0,07
	900	0,04	0,07

4.3. Tepe Basınç Yüğü

Anma çapı 800 mm'nin altında olan beton boruların et kalınlığı değerleri normal cidarlı betonlarınki gibidir. Buna karşın anma çapı 800 mm olan betonarme borunun et kalınlığı normal cidarlı ile kalın cidarlı boru arasındadır. Bütün betonarme borular ise kalın cidarlı sınıfa dahildirler. İstön' da üretilen beton boruların tepe basınç yüğü deney sonuçlarının tipik değerleri Tablo 10 da verilmektedir.

Tablo 10. Tipik Tepe Basınç Yüğü Değerleri

Kod	Boru Anma Çapı, mm	Deneyle Ölçülen Kırılma Yüğü, kN/m	TS 821'e göre Minimum Kırılma Yüğü, kN/m
MBB	200	60,9	27
	300	62,4	30
	400	74,8	32
	500	84,8	35
	600	79,7	38
	700	96,2	41
MBA	800	141,4	76
	900	143,9	82
	1000	118,2	90
	1200	158,6	100
LZB	1400	202,2	107,5
	1600	205,2	125,0

Beton borularda beton basınç mukavemeti TS 500'de belirtilen beton sınıflarından en az BS 30 kalitesinde olmalıdır. Betonarme borularda ise normal mukavemet sınıfındaki betonlarda BS 35, üstün mukavemet sınıfındaki betonlarda ise BS 40 olmalıdır. Tablo 10 da betonarme borular için TS 821'deki minimum kırılma yüğü değerleri BS 40'a göre verilmiştir.

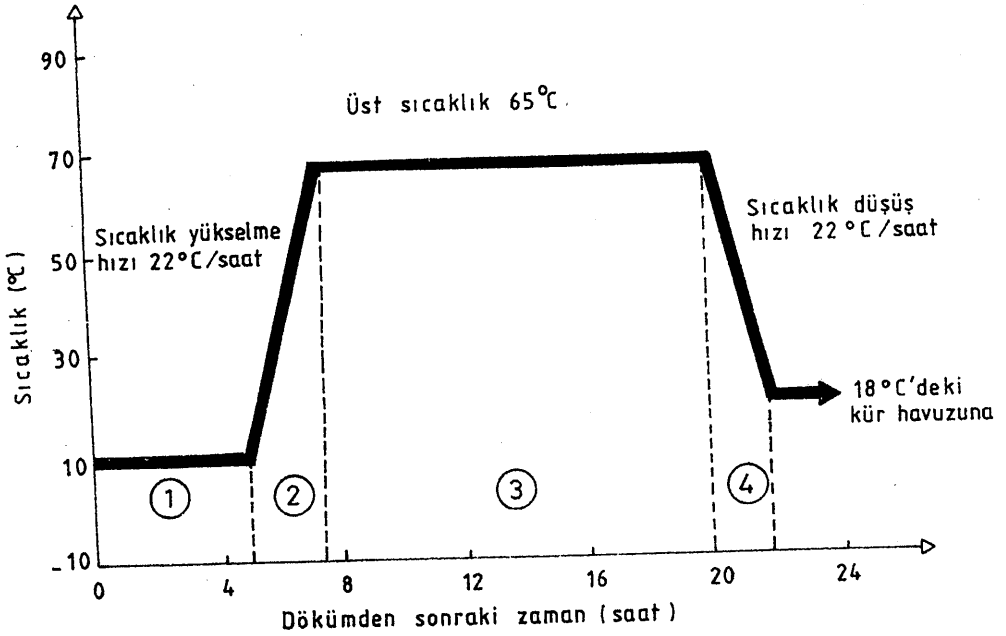
Tablo 9'daki tipik sızdırmazlık değerlerinin incelenmesinden görüldüğü gibi bütün beton ve betonarme borular TS 821'de belirtilen kabul edilebilir su kaybı değerlerine uygundur. Tablo 10'un incelenmesinden de görüldüğü üzere beton ve betonarme boruların "Tepe Kırılma Yüğü" değerleri TS 821'de belirtilen minimum değerlerin çok üstündedir; bazıları standardın öngördüğü kırılma yüğü değerlerinin 2 katından da fazladır.

4.4. Su Emme

Tepe basınç yükü deneyinden kalan parçalar üzerinde TS 821'e göre kaynatarak yapılan su emme deney sonuçları ise %4,0-%5,5 aralığında değişmektedir. Bu da söz konusu standardın öngördüğü %8,0 değerinin altındadır.

4.5. Buhar Kürü Uygulaması

İston'da beton ve betonarme borulara kür uygulaması nem kaybını önleyici membran kullanılarak yapılmaktadır. Buhar kürü şu aşamaları kapsamaktadır: 1) Buhar kürü öncesi dinlendirme (2-5 saat arasında, örnek olarak, 10°C çevre sıcaklığında 5 saat), 2) Sıcaklık yükseltme (sıcaklık yükselme hızı 22°C/saat, 2,5 saat süreyle), 3) Üst sıcaklıkta bekleme (65°C sıcaklıkta, 12,5 saat), 4) Soğutma (sıcaklık düşüş hızı 22°C/saat, 2 saat süreyle). Bu aşamaları içeren bir buhar kürü uygulaması Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Beton ve Betonarme Borulara Uygulanan Tipik Bir Buhar Kürü Süreci

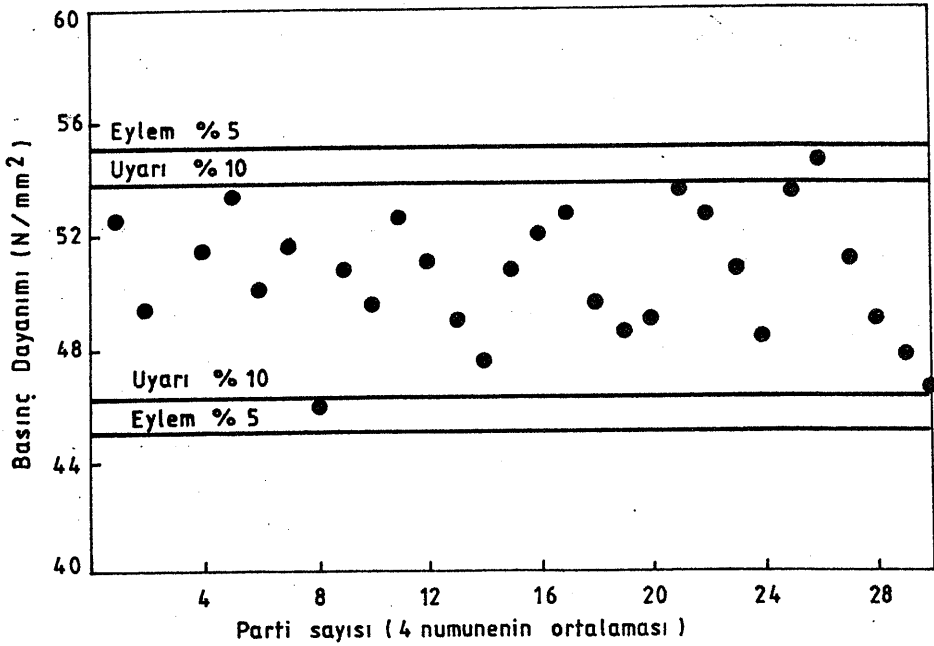
4.6. Borularda Kullanılan Betonun Basınç Dayanımı

Sınıf dayanımının 40 N/mm² olması durumuna göre %95 güvenlik ve 6 N/mm² standard sapma öngörülür. Amaç dayanımı (fca), $fca = fcd + t\sigma = 40 + 1,64 \times 6 \approx 50$ N/mm²

olarak hesaplanır. Deneylerde herbir parti 4 numunenin aritmetik ortalaması olduğundan bunların standard sapması:

Bireysel sonuçların standard sapması / $\sqrt{\text{partideki numune sayısı}} = 6 / \sqrt{4} = 3 \text{ N/mm}^2$ dir.

Böylece 4'er numunenin ortalamalarının %5'den fazlası $50 - 1,64 \times 3 = 45 \text{ N/mm}^2$ 'nin altında, yine 4'er numunenin ortalamasının %5 den fazlası da $50 + 1,64 \times 3 = 55 \text{ N/mm}^2$ 'nin üstünde çıkmamalıdır.



Şekil 5. İston'daki Beton ve Betonarme Borulardaki Beton Kalitesinin Gidişini Gösteren Kontrol Kartı

Şekil 5.'de görüldüğü gibi 45 N/mm^2 ve 55 N/mm^2 eylem (iş durdurma) sınırlarıdır. Öte yandan partilerden %90 olasılıklı güvenliğe karşı gelen üst ve alt sınırlar ise $50 \pm 1,28 \times 3 = 53,8 \text{ N/mm}^2$ ve $46,2 \text{ N/mm}^2$ dir.

Şekil 5'de görüldüğü üzere üretimin gidişi normaldir. Sonuçlar eylem (iş durdurma) sınırlarını aşmamaktadır ve ortalama etrafında belirtilen sınırlar içinde yaklaşık olarak dengeli dağılmaktadır.

4.7. Karot Numunelerle Denetim

Özellikle büyük çaplı borulardan zaman zaman karot numuneler alınarak da denetim yapılmaktadır. 1600 mm çaplı betonarme borulardan alınan karot silindir numuneler üzerinde elde edilen sonuçlar Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 8. Beton Karot Deneysel Sonuçları

Karot Çapı, mm	Karot Yüksekliği, mm	Basınç Dayanımı N/mm ²	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı, N/mm ²
98	172	57,3	69,2
98	172	50,0	60,4
88,5	167	48,1	59,2
98,5	155	52,0	60,9
Ortalama		51,9	62,4

Yukarıda belirtildiği gibi betonarme borular için TS 821 de istenen yüksek dayanımlı beton kalitesi BS 40 dır. Tablo 8 den de izlendiği üzere beton borulardaki beton kalitesi BS 40 sınıf dayanımının üstündedir, hatta BS 50 yi de sağlamaktadır.

SONUÇLAR

Beton boruların dayanım ve dırabilitesi ile ilgili olarak varılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Hasar hızı ve miktarı düşük çimento dozajı ve yüksek su/çimento oranı ile arttığından, beton boru üretiminde baskı tekniğinin kullanılması nedeniyle su/çimento oranı doğal olarak düşüktür. Yeterli dozaj ve iyi bir granülometri kullanarak boşluksuz beton üretimi gerçekleştirildiğinden hem dayanım hem de dırabilite bakımından beklenen iyi sonuçlar elde edilebilir.
2. Su/çimento oranı düşük, çimento dozajı yüksek ve düşük geçirimliğe sahip betonlardaki hasar azdır. Geçirimsizlik etkisi C₃A iğerinin azaltılmasından daha belirgindir.
3. Kürün tam uygulanması durumunda mineral katkıları betonun daha düşük poroziteye sahip olmasını sağlar ve puzolanik reaksiyon sonucu kalsiyum hidroksit içeriği azalır, yetersiz kür özellikle dırabilite açısından sorun yaratır.
4. Sülfata dayanıklı betonda çimento hamuru fazı üstün nitelikli olmalı ve çimento hamuru agregaya bağlantısı çok iyi olmalıdır. Sülfat etkisine karşı bağlayıcı kapsamında alınacak önlemler şöyle özetlenebilir: i) sülfat konsantrasyonuna bağlı olmakla birlikte genel olarak çimento dozajı en az 370 kg/m³ olmalıdır, ii) su/çimento oranı olabildiğince düşük olmalı, iii) çimento tercihen SDÇ veya cürüflü çimento olmalı, bunların bulunmaması durumunda traslı, cürüflü veya katkılı çimento kullanılmalıdır. Sülfat etkisine karşı normal çimento kullanılmamalıdır, iv) betondaki boşlukları doldurmak için silis dumanı gibi mineral katkıları da kullanılabilir. Bu katkının puzolanik özelliğinin olması ayrı bir üstünlük sağlar.

5. Doğal ve yapay puzolanların beton dürabilitesinin artırılmasına önemli katkıları vardır. Eğer beton uygun bir şekilde üretilmiş ve kür uygulanmışsa dürabilitedeki iyileşmeden söz edilebilir. Bunun anlamı şöyle özetlenebilir: i) amaca uygun malzeme seçimi, ii) yüksek kaliteli malzemelerin kullanılması, iii) su da dahil olmak üzere malzemelerin uygun bileşimi ve karışımı, iv) uygun sıkıştırma, v) betonun olgunlaşmasını sağlamak için uygun kür, vi) ilk sertleşme sürecinde beton içindeki yüksek sıcaklık ve sıcaklık farkından kaçınmak.

KAYNAKLAR

- AKMAN, M.S., (1992), "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, *İ.T.Ü. Yayını*.
- BASHEER, P.A.M., CHIDIAC, S.E. and LONG, A.E., (1996), "Predictive Models for Deterioration of Concrete Structures", *Construction and Building Materials*, Vol.10, No.1, pp.27-37.
- BERRY, E.E., and MALHOTRA, V.M., (1987), "Fly Ash in Concrete, in *Supplementary Cementing Materials in Concrete*", CANMET, Ottawa, pp.37-163.
- ILLSTON, J.M. (Ed.), (1996), "Construction Materials: Their Nature and Behaviour", E. and F.N. Spon, London.
- MASSAZZA, F., (1997), "Pozzolanlar ve Dürabilite of Concrete, in 1st Int. Sym. *Mineral Admixtures in Cement*", Turkish Cement Manufacturers Association, 6-9 Nov.1997, pp1-22.
- REGOURD, M., (1986), "Slags and Slag Cements, in *Concrete Technology and Design: Cement Replacement Materials*", R.N. (Ed.), Surrey University Press, London, pp.73-98.
- RMC, (1991), GGBS, Readymix-Technical Information, Cardiff.
- SARKAR, S.L., (1994), "The Importance of Microstructure in Evaluating Concrete", in *Advances in Concrete Technology*, V.M. Malhotra (Ed.), CANMET, Ottawa, Second Edition, pp.125-160.
- SMOLCZYK, H.G., (1977), "The Use of Blastfurnace Slag Cement in Reinforced and Prestressed Concrete", *VI. International Steelmaking Day*, Paris.
- TAŞDEMİR, C., (1998), "Mikrofiller Malzemelerin ve Kür Koşullarının Betonun Kılcal Geçirimsizliğine Etkisi", *DSİ Çimento-Beton ve Boya Semineri*, 24-26 Haziran 1998, Ankara, s.47-56.
- TAŞDEMİR, C., TAŞDEMİR, M.A., LYDON, F.D. and BARR, B.I.G., (1996), "Effect of Silica Fume and Aggregate Size on Brittleness of Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.26, No.1, pp.63-68.

TAŞDEMİR, C., TAŞDEMİR, M.A., MILLS, N., BARR, B.I.G. and LYDON, F.D., (1999), "Combined Effect of Silica Fume, Aggregate Type and Size on Post-peak Response of Concrete in Bending", *ACI Materials Journal*, Jan.-Feb., pp.74-83.

TAŞDEMİR, M.A., TAŞDEMİR, C., AKYÜZ, S., JEFFERSON, A.D., BARR, B.I.G. and LYDON, F.D., (1998), "Evaluation of Strains at Peak Stresses in Concrete: A Three-Phase Composite Model Approach", *Cement and Concrete Composites*, Vol.20, pp.301-318.

TAŞDEMİR, M.A., TAŞDEMİR, C., HACIKAMILOĞLU, M., ÖZBEK, E. and ALTAY, B., (1998), "Fineness Effect of GGBS on the Mechanical Properties of Concrete", *ERMCO 98: 12th European RMC Congress*, 23-26 June 1998, Lizbon, pp.660-672.

TOKYAY, M., (1998), "Characterization of Turkish Fly Ashes", Turkish Cement Manufacturers Association, Ankara.

STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETE PIPES

ABSTRACT

Natural and artificial pozzolanas are used in the production of reinforced and unreinforced concrete pipes. Cements with these mineral admixtures are recommended in aggressive environments because of their high resistance to the chemical attack. The rate and amount of the deterioration increase with lower cement content and higher water/cement ratio of the concrete. It can be concluded that the lower permeability of concrete is a more significant factor than the C₃A content. Mineral admixtures can result in lower overall porosity with full curing and the pozzolanic reaction can also reduce the calcium hydroxide content in concrete, but insufficient curing can lead to higher porosity which is a disadvantage for the durability. It should be noted that durability enhancement is achieved if the concrete is produced and cured in a correct manner.