

YÜKSEK MUKAVEMETLİ BETON : TÜRKİYE'DE UYGULAMA

Necat CILASON
İnş.Y.Müh.

İlkin BALTA
Dr.Müh.

Turgut GENÇOĞLU
Mimar

Necdet AKSOY
İnş.Y.Müh.

STFA Kalite Müşavirlik Araştırma Kontrol & Gözetim Ltd.
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bildiri iki kısımda sunulmaktadır. 1- Eldeki mevcut lokal malzemeleri kullanarak Türkiye'de bu güne kadar ürettiğimiz yüksek mukavemetli betonlar hakkında ana hatlarıyla bilgi. 2- Mineral katkı ile takviye edilerek daha yüksek mukavemetlere ulaşmayı ve bu betonlara alt, taze ve sertleşmiş beton özellikleri ile durabilirliyi etkileyecek bazı özellikleri araştırmak üzere STFA kalite Ltd. Şti tarafından başlatılmış olan bir araştırma programı hakkında bilgi.

1. GİRİŞ

Bu bildiri, araştırmanın inşaat adaptasyonundan ziyade inşaat araştırma yaklaşımı hedefleyen çalışmalarımızdan biridir. 70 li yılların başlarında büyük çoğunlukla B25 ve B30 olan beton sınıfları gelişen inşaat tekniklerine ve gereksinimlere uyum sağlayabilmek için, takip eden yıllarda B45 ve hatta B50 lere ulaşmıştır. Böylece bütün dünyada bir "yüksek mukavemetli beton" kavramı oluşmuştur. Başta ABD olmak üzere, Kanada, Avustralya ve bazı Avrupa ülkeleri yüksek mukavemetli betonu üretmiş ve sürekli olarak kullanmaya başlamışlardır [1,2,3]. Bu ülkelerde yüksek mukavemetli betonun kullanıldığı yerler daha ziyade çok katlı binalardır.

Dünyada durum böyleyken Türkiye'de de 80 li yılların başından itibaren bazı büyük kuruluşlar tarafından yüksek mukavemetli beton üretilmeye başlanmıştır. Bu kuruluşlardan biri de, bugüne kadar beton sınıfı B40 ve üzerinde olarak 345000 m³ beton dökmüş olan STFA İnş A.Ş. dir [4]. Bu betonlara ait detaylı

bilgiler Ek-1 de verilmiştir. Bildirimizde önce STFA İnş A.Ş.'nin ürettiği yüksek mukavemetli betonlara alt özellikleri özetlemeye çalışacağız. İkinci kısımda ise STFA İnş A.Ş.'nin saha laboratuvarlarında başlatılan ve daha kapsamlı bir şekilde STFA Kalite Ltd. tarafından Pendik merkez laboratuvarında yürütülmeye devam edilen yüksek mukavemetli beton araştırma programı hakkında bilgi verilecektir.

2. STFA İNŞAAT A.Ş. DE ÜRETİM

Yüksek mukavemetli beton üretimi seksenli yılların başlarına rastlamaktadır. Bu dönemde TCK, DSİ ve İSKİ'ye karşı yükümlü olunan projelerin bazı betonlarının karakteristik mukavemetleri B40 ve B45 olmuştur. Ayrıca bazı proje betonları B45 gerektirmezken zaman ve kalıptan ekonomi sağlamak gerekmiş ve beton mukavemeti B45'e çıkartılmıştır. Böylece yüksek mukavemetli beton bu iki kategoriye hizmet verecek şekilde üretilmeye başlanmıştır:

- a- Proje mukavemetinin bir gereği olarak
- b- Zaman ve kalıp ekonomisini amaçlayan inşaat yönteminin bir gereksinimi olarak.

2.1. Üretimde Ana Prensipler

- a - Beton 'beton' olmalıdır: Beton projenin gerektirdiği özelliklere sahip olmalıdır; yani:
 - * Beton gerekli mukavemeti vermelidir.
 - * Beton işin gerektirdiği işlenebilirliğe sahip olmalıdır.
 - * Betonun priz müddeti uygun olmalıdır.
- b - Kullanılacak malzemeler kolay temin edilebilir olmalıdır; yani lokal malzemenin kullanımı sağlanmalıdır.
- c - Üretimde kalite sürekliliği sağlanmalıdır.

2.2. STFA İnşaat AŞ. nin Ürettiği Yüksek Mukavemetli Betonlara Ait Örnekler.

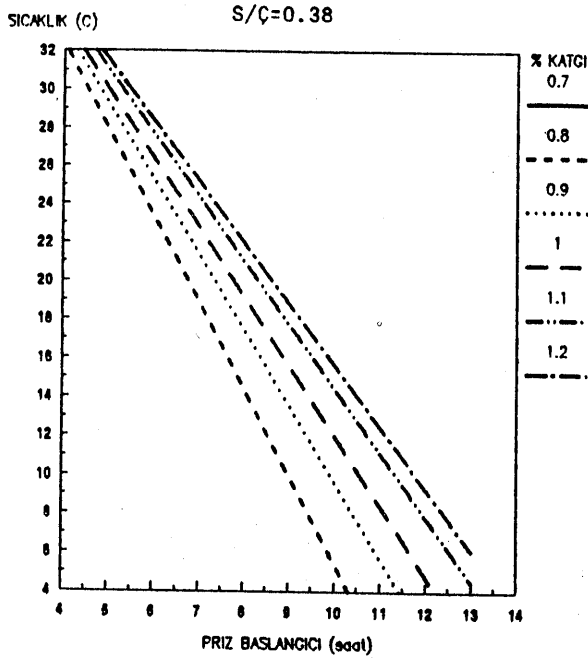
2.2.1. Tohma Müşterek Karayolu-Demiryolu Köprü İnşaatı

Bu şantiyede üretilen betonlarda aşağıdakiler istenmiştir: a. Öngerme için erken mukavemet vermeliydi. Bu mukavete (25 MPa) 36-56 saatte erişilmiştir. b. İşlenebilirlik çok yüksek olmalıydı. Tatbıkatta çökme, plent çıkışında 250 mm, kovaya boşaltılırken 200 mm ve kalıpta 180-190 mm arası olmuştur. c. Kayar kalıp betonlarında priz müddetli kontrol altında tutulmalıydı. Yapılan priz müddetli tayini denemeleri ile kayar kalıpla dökülen betonlar hiç bir problemle karşılaşmadan bitirilmiştir. Bunu temin için, test neticelerinden elde edilen verilere göre ve hava şartlarına bağlı olarak katkı miktarı değiştirilmiştir. Şekil-1 de Tohma köprüsüne alt sıcaklık-katkı miktarı-priz müddetli ilişkisi gösterilmiştir. Tablo-I de projenin toplam miktarı 17105 m³ olan beton özellikleri verilmektedir.

Tablo-I: Kömürhan-Tohma Projesi: Beton Özellikleri.

Beton Sınıfı	Su/Çim	Çökme mm	Nümuneye Sayısı	Ort.Muk. MPa	S.Sapma MPa	V.Kats. %
Segment	0.38	150-200	153	45.2	3.25	7.2
Kiriş	0.38	150-200	404	49.0	2.68	5.5
2.Segment	0.38	150-200	137	46.6	2.98	6.4
K.Kalıp	0.40	250	73	42.9	3.18	7.4

Malzemeler: Kum(Kömürhan), Çakıl(Tohma), Çimento PÇ 500(Elazığ), Katkı Reobuild 878, Sikament R4



Şekil-1: Tohma Kömürhan Köprüsü, Sıcaklık-Katkı Miktarı-Priz Müddeti İlişkisi.

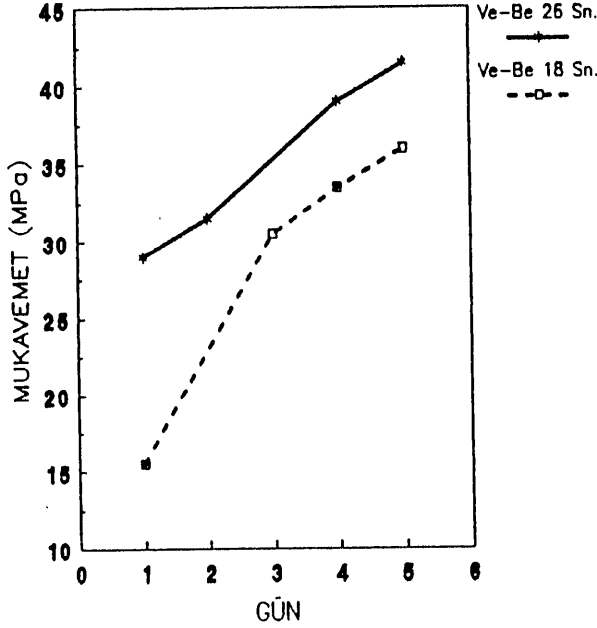
2.2.2. İSKİ Kuzey ve Güney Haliç Kolektör İnşaatları

Bu proje betonları ve beton tekniği özetle şöyledir: Döküm yöntemi bant; kum (podima-Karadeniz), kaba agrega kalker, Cebeci ve İstinye, İstanbul; çimento Tip V, Aslan ve %70 Y.F.Curufu (TS 20), Temel Taş ve Madencilik, Pendik; süperakışkanlaştırıcı Grace 190 HC, Temel Kimya, Pendik. Prekast segment betonlarının çökmesi sıfır olmak zorundaydı. Bu nedenle betonun işlenebilirliği çökme hunisi ile takip edilememiş, ve-be deney metodu kullanılmıştır (Şekil-2). Bu betonlar proje gereği olarak üretilen yüksek mukavemetli betonlara örnek olarak verilmiştir. Tablo-II de özellikler özetlenmiştir.

Tablo-II: İSKİ Haliç Kollektör İnşaatları: Beton Özellikleri.

Beton Yeri	Miktar m ³	İşlen. s/ç	İşlen. mm	N.Sayısı seri	Ort.Muk. MPa	S.Sap. MPa	V.Kat. %
Segment	20000	0.38	18sn*	1821	59.8	7.1	12
Boru	4000	0.38	60-80mm	355	51.0	3.9	7.7

*ve-be ile



Şekil-2: Prekast Segment Betonu Ve-Be Değeri-Mukavemet İlişkisi.

2.2.3. Yeni Galata Köprüsü İnşaatı

Yeni Galata Köprüsü tabliye betonları statik projesinde B35 olmasına rağmen B45 olarak dizayn edilmiştir. Çünkü beton dökümünden sonraki hafta içinde germe (post-tension) yapabilmek için 32 MPa mukavemet gerekmiştir. Beton B35'e göre dizayn edilmiş olsa, germe yapabilmek için üç hafta beklemek gerekecekti. Halbuki B45 dizaynla bu mukavemete 7 günde ulaşmıştır. Özellikler Tablo-III de verilmiştir.

Tablo-III: Yeni Galata Köprüsü Projesi Beton Özellikleri.

Betonun Yeri	Miktar m ³	Çökm. Su/Çim	Numune mm	Ort.Muk. seri	Ort.Muk. MPa	S.Sapma MPa	V.Katsayısı %
Tabliye	20000	0.34	130-150	300	52.2	23.5	4.5
Keson	9000	0.34	150-180	33	46.3	33.5	7.2

Döküm yöntemi sabit pompa ve distrübütör; kum podİma-Karadeniz, agrega kalker-İstinye, çİmento %70 Y.F.Curufİu (TS 20), Temel Taş Madencilik A.Ş Pendik, süperakışkanlaştıracı Daracem 190 HC, Temel Kimya, Pendik.

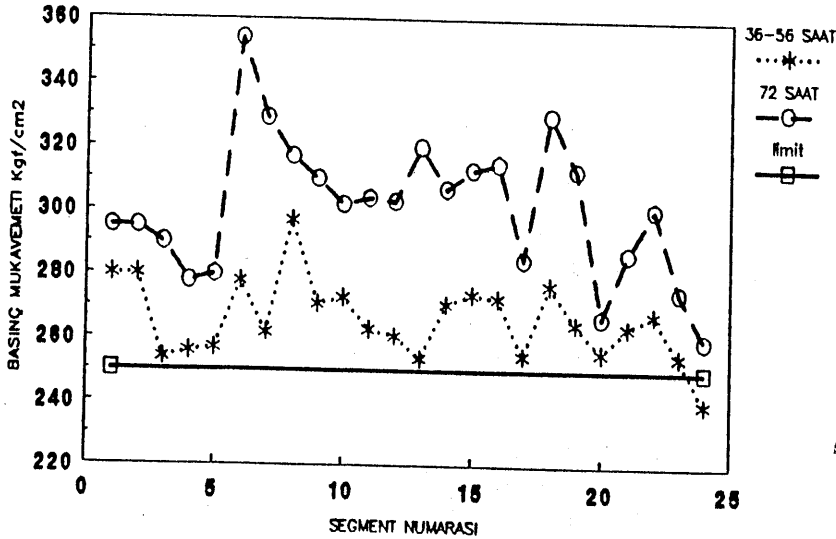
2.2.4. Örnek Olarak Verilen Betonların Diğer Özellikleri:

2.2.4.1. Soğuk havalarda beton dökümü

Bütün beton sınıfları için sorun olan soğuk hava betonlamaları yüksek mukavemetli betonlar için de aynı derecede sorun olmuştur. Bu problem değişik şantiyelerde farklı metodlar kullanılmak suretiyle çözülmüştür. Bunlardan biranesi artık klasikleşmiş sayılabilecek sıcak su kullanımıdır, ki bu metolla +4°C olan beton sıcaklığı +(12-14)°C ye kadar yükseltilebilmiştir. Kullanılan su sıcaklığı İse (70-80)°C olmuştur. İkinci metod olarak bazı şantiyelerde de sıcak su buharı kullanılmıştır. Su buharı direkt olarak plentin karıştırıcı kazanına verilmiş ve beton, karıştırma sırasında ısıtılarak yeterli sıcaklığa ulaşmıştır.

2.2.4.2. Erken yaşlarda mukavemet kazanma hızı

İnşaat sırasında bazı betonların, çeşitli nedenlerle erken mukavemet alması ve mukavemet kazanma hızının bilinmesi zaruri olmuştur. Bunu temin için gerekli deneyler yapılarak ve İşe uygun metodlar kullanmak suretiyle İstenilen mukavemet kazancını veren karışımlar hazırlanmış ve kullanılmıştır. Örnek olarak yukarıda İSKİ Halic Kollektör İnşaatları'nın prekast segment betonları ve aşağıda Şekil-3 de Kömürhan-Tohma Köprüsü segment betonları verilmektedir.



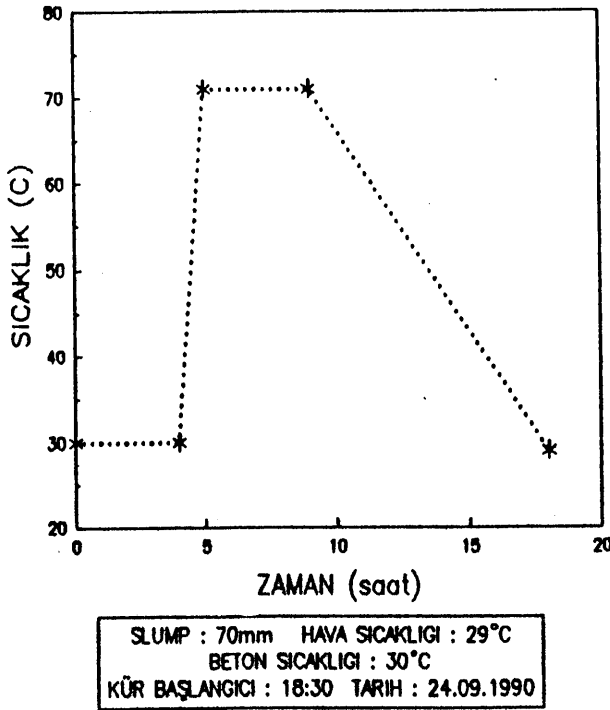
Şekil-3: Kömürhan Köprüsü, Malatya Ayağı, 72 ve 36-56 Saatlik Mukavemetler.

2.2.4.3. Buhar kürü

Bilhassa prekast üretimlerinde, kalıp sökülmesi ve prekast elemanlarının kaldırılıp taşınabilecek mukavemete çok çabuk ulaşabilmesi için bir çok şantiyede buhar kürü uygulanmıştır. Buhar kürü çok sıkı takip edilmedikçe ve uygun olmayan şekillerde tatbik edildiği takdirde büyük problemlerle karşılaşılacağı bilinmektedir. Bu bilinçle ve aşağıdaki ana tedbirleri alarak, değişik yöntem uygulamalarıyla, bir çok şantiyede buhar kürü uygulaması yapılmıştır:

1. Beton dökümünden sonra ortalama 2 saat bekleme,
2. Betonun her tarafına homojen bir şekilde buhar verebilecek bir sistem geliştirmek
3. Sıcaklığı düzenli ve sürekli bir şekilde kontrol ve takip edebilecek düzen.
4. Buhar kürü bitiminden sonra betonları normal ortam sıcaklığına gelinceye kadar dış etkenlerden koruyacak sistemli oluşturmak.

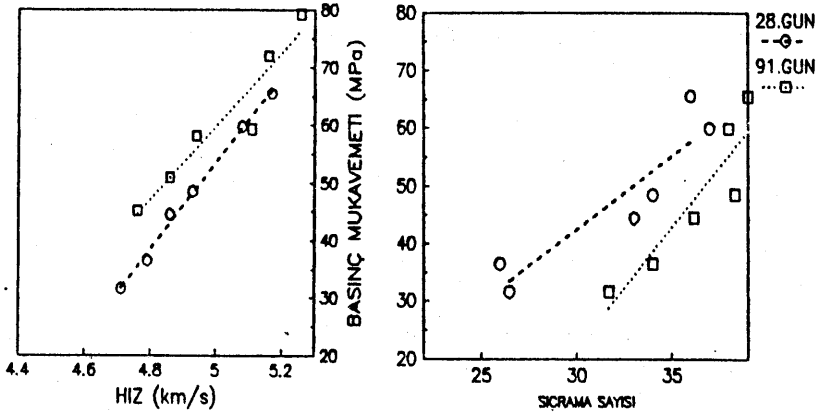
Bu tedbirlerle buhar kürü uygulaması yapılan betonlarımızdan birine alt kür kayıtları Şekil-4 te gösterilmektedir.



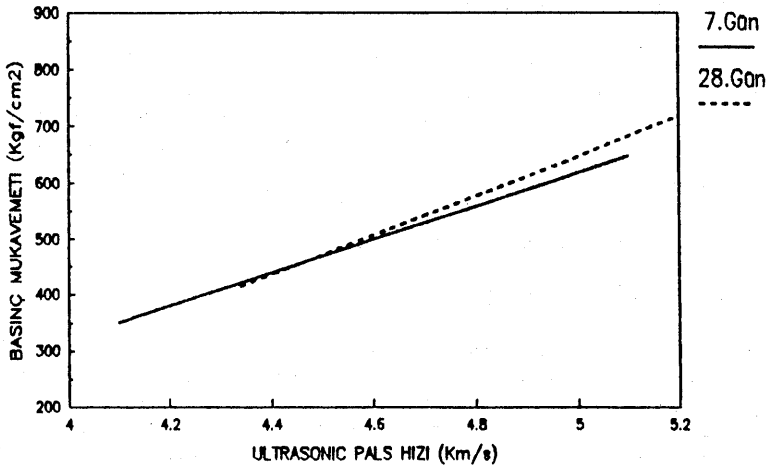
Şekil-4: Boru Betonlu Buhar Kürü Takip Grafiği (İSKİ Kolléktör İnşaatı).

2.2.4.4. Sertleşmiş beton özellikleri

Basınç dayanımı ölçme metodları: Klasik basınç ölçme metodlarına ilave olarak Ultrasonik Pals Hızı (UPV) ölçer ve beton çekici (Schmidt) kullanılarak hem sahada dökülmüş betonlar hemde laboratuvarda hazırlanan beton karışımlarına ait deneyler yapılmış ve neticeleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Bu grafikler sayesinde şantiyelerimizde kullanılan betonların herhangi bir zamandaki mukavemetleri hakkında fikir sahibi olmak mümkün olmuştur (Şekil-5 a,b,c). UPV ölçümleri direkt, sıçrama sayıları (ss) yatay olarak okunmuştur.



(a) LABORATUVAR KARIŞIM NETİCELERİ (b)



(c) PREKAST SEGMENT SAHA NETİCELERİ

Şekil-5: UPV ve Beton Çekici S.S. ile Basınç Mukavemeti İlişkisi.

Metodların karşılaştırılması: Yapılan testlerin neticeleri basınç mukavemeti ile UPV ve Beton çekici arasındaki ilişkinin sadece basınç mukavemetine bağlı olduğunu göstermiştir. Bu ilişkiler betonun yaşı ile de farklılık göstermiştir. (Tüm betonlarda aynı malzemeler kullanılmıştır.) Beton yaşına bağlı olarak basınç mukavemeti ile UPV ve Beton çekici arasındaki ilişkiyi veren doğruların eğimi değişmektedir (Şekil-5 a,b,c).

3. YÜKSEK MUKAVEMETLİ BETON ARAŞTIRMASI

1989-1990 bütün STFA İnşaat A.Ş. şantiyelerindeki Kalite Kontrol Departmanlarının şantiyede kullanılan beton agregaları ile yüksek mukavemetli beton üretme çalışmalarına girdikleri yıllar olmuştur. Bu çalışmalar, 1990 yılında STFA Kalite Müşavirlik Araştırma Kontrol ve Gözetim Ltd. Şti.'nin yürütmekte olduğu yüksek mukavemetli beton araştırmasının da ilk adımını teşkil etmiştir. Şantiye Kalite Kontrol ekiplerinin bu çalışmaları sonucunda

- İstanbul civarında yüksek mukavemetli beton için en uygun iri agreganın Çorlu civarı Karatepe Bazalt taşı olabileceği görülmüş, ve
- Yüksek mukavemetli beton üretiminde Kalite Kontrol ekiplerimiz fevkalade deneyim kazanmışlardır.

Bu araştırmaların, diğer ülkelerde yapıldığı gibi mineral katkı maddesi olarak silis tozu ve de uçucu kül ile yapılması arzu edilmiştir. Ülkemizde yerli olarak temin edilebilen uçucu külün uluslararası yüksek standartlara uymayışı, bunların araştırmada kullanılmasını engellemiştir.

Kullanılan diğer mineral katkı 'silis tozu'(İng: silica fume) ise ithal malzemesidir. Yurdumuzda yüksek mukavemetli beton için veya bir başkamaksat için kullanılmasında getireceği aşırı maliyet artışı daima göz önüne alınmalıdır. Araştırmaya dahil edilişinin en büyük nedeni, lokal beton malzemeleri ile kullanıldığında başkalarının bildirilen özelliklerin tekrardan tetkik edilmesidir. Bu araştırma, yüksek mukavemetli (ym) beton için silis tozu kullanılmasına kat'lyyen bir tavsiye niteliği taşımamaktadır.

3.1. Ön Araştırma Neticeleri

Bütün şantiye laboratuvarlarının yapmış olduğu çalışmalar yüksek mukavemetli beton üretimi için kullanılacak beton malzemeleri hakkında ön bilgi vermiştir. Buna göre daha kapsamlı olarak STFA Kalite Ltd. tarafından yürütülecek olan yüksek mukavemetli beton araştırmaları için PÇ 400, podima kumu, Karatepe Bazalt'ından kırma agrega ve Daracem 200 süperakışkanlaştırıcı katkı beton bileşenleri olarak seçilmişlerdir.

Şantiye laboratuvarlarının yapmış olduğu ym beton çalışmalarının önemli özellikleri Tablo-IV'de özetlenmiştir.

Tablo-IV: Yüksek Mukavemetli Beton Şantiye Ön Araştırma Özetleri.

Şantiye	CATALCA	GALATA	PENDİK	PIYALEPASA
En Yüksek Muk.(MPa)	107.4	70.0	70.5	68.0
Su/çimento oranı	0.16	0.20	0.20	0.20
Çimento cinsi	PÇ400	PÇ400	PÇ400	PÇ400
Tabii Kum	Podima	Podima	Podima	Podima
Kırma Kum	Bazalt	-	-	-
Kaba agrega	Bazalt	Kalker	Kalker	Kalker
	(Karatspe)	(İstinye)	(İstinye)	(İstinye)
Dmax (mm)	20	20	20	20
Çökme Değeri (mm)	60	70	65	75
Katgı (%)	6	5	6	5

3.2. Araştırmanın Bölümleri

3.2.1. Amaç

Mineral katgılı (sıllı tozu) ve katgisiz yüksek mukavemetli betonlar üretmek sıllı tozunun taze ve sertleşmiş beton fiziki özelliklerine etkisinin araştırılmasıdır.

3.2.2. Program

Dozajın 600 kg/m³ olarak seçildiği bu çalışmada karışım suyu 120,156,192 kg/m³ olarak belirlenmiş ve çimento ağırlığına göre, % 5,10 ve 15 oranlarında sıllı tozu ve 100-150 mm çökme elde edilecek şekilde katgı ilavesiyle üretilen betonlarda aşağıdaki hususlar araştırılmıştır.

- Taze beton özellikleri: İşlenebilirlik, Hava miktarı, Birim ağırlık
- Sertleşmiş beton özellikleri: Basınç mukavemeti, Çekme mukavemeti, UPV değerleri, beton çekici değerleri
- Durabilite özellikleri: Permeabilite özellikleri

Seçilen çökme değerleri yüksek gözükebilir; fakat bu tür betonların genellikle çok yüksek yapılarda kullanıldığı göz önünde tutulursa betonlamada pompa kullanımının kaçınılmazlığı ortadadır. Pompa ile beton dökümünde, hele yükseklik de fazla ise çökme değeri kollepsi olan betonlar üretimde kaçınılmazdır. Türkiye'de de durumun farklı olmayacağı bellidir. 50-100 mm gibi slamplarla bu işi yürütmek imkansızdır denilebilir. Sıllı tozunun kullanılma gayesi taze betondan ziyade sertleşmiş betonun özelliklerinin geliştirilmesidir. Bu amaçla kullanıldığı zaman sıllı tozlu betonun maliyeti bugünkü beton maliyetlerinin iki katına ulaşabilir. Sıllı tozu betonun maliyetini düşürücü bir malzeme olarak düşünülmemelidir. Bu çalışmada basınç mukavemetini tesbit için 150 mm lik küp, yarmada çekme mukavemeti için Ø 152.4x304.8 mm silindirdir, permeabilite (geçirimsizlik) için Ø 152x304.8 mm silindirdir ve Ø 100x19 mm lik diskler kullanılmıştır.

3.2.3 Deney Neticeleri.

3.2.3.1 Basınç mukavemeti-s/ç oranı münasebeti ve mukavemet kazanma hızı

Mevcut literatürün bazılarında mineral katkı çimento gibi düşünülmekte ve karışım suyu hesabında su/çimento+mineral katkı oranı esas alınmaktadır [5]. Bu araştırmada ise mineral katkının suyla direk reaksiyona girmeyeceği ancak çimentonun kireci ile reaksiyona girdiği düşünülmüş ve beton özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Basınç mukavemeti değerlendirilirken mineral katkı miktarına bağlı olarak değişen s/(ç+mineral katkı) oranları dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil-6 a,b,c de verilmektedir.

Tablo-V den görüleceği üzere sllis tozu katılmayan betonlarda basınç mukavemeti sllis tozu katılanlara nispeten az çıkmıştır.

Tablo-V: Basınç mukavemeti özet neticeler.

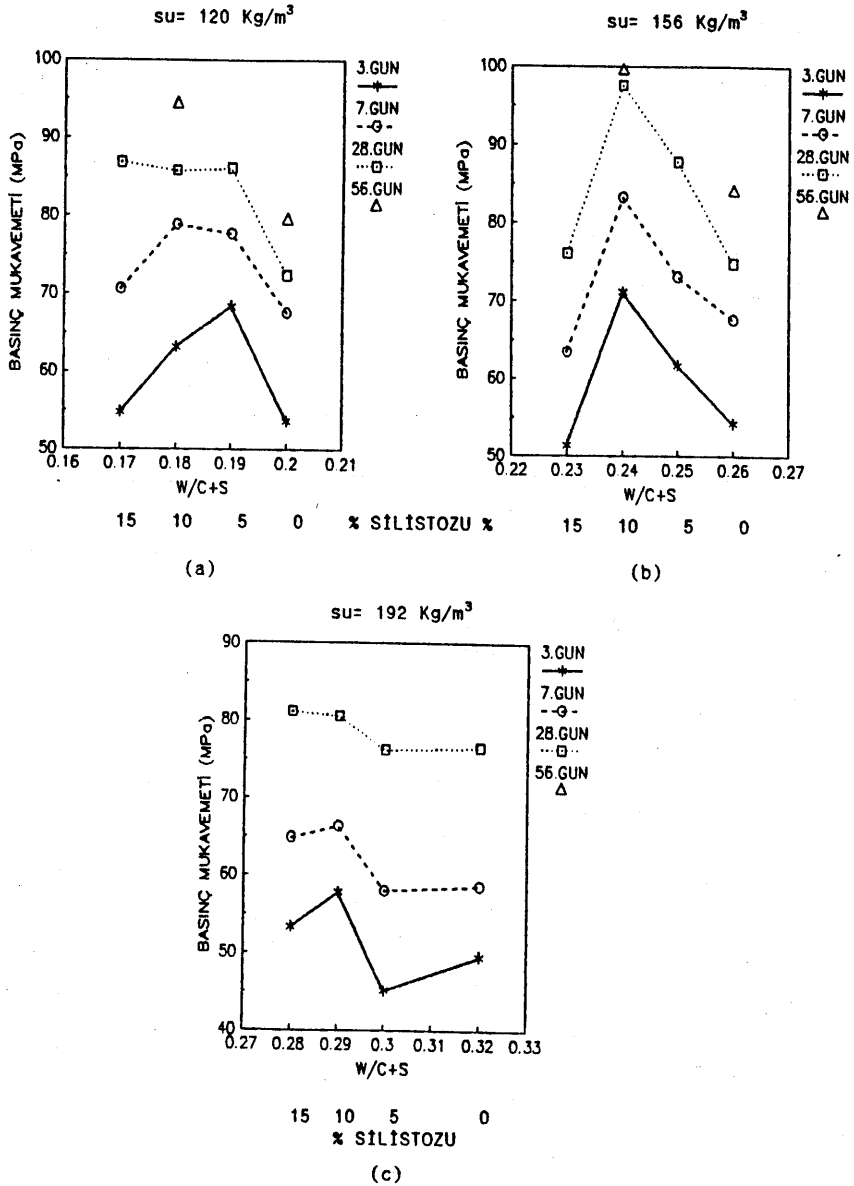
Betonun yaşı (gün)	Su (Kg)	Basınç Mukavemeti (MPa)			
		% 0 Sllis Tozu	% 5 Sllis Tozu	% 10 Sllis Tozu	% 15 Sllis Tozu
3	120	53.6	72.6	63.7	54.7
7		65.8	83.8	80.2	70.6
28		72.4	87.7	85.9	86.0
56		79.5	-	94.4	-
3	156	55.1	63.2	73.4	51.4
7		65.2	75.3	83.8	63.4
28		74.8	90.3	97.7	76.2
56		84.0	-	99.5	-
3	192	51.3	48.6	57.8	53.8
7		63.8	59.9	66.3	64.8
28		76.6	76.3	80.6	81.2
56		-	-	-	-

3.2.3.2 Yarmada çekme mukavemeti

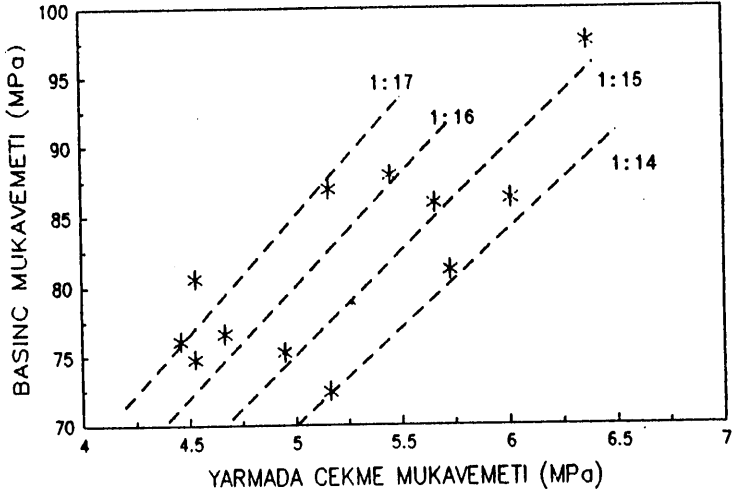
Aynı su ve sllis miktarlarına sahip karışımlardan, yarmada çekme deneyi yapmak için silindirik numuneler hazırlanmış ve bunların üzerinde deneyler yapılmıştır. Basınç mukavemeti-çekme mukavemeti arasında 1/14 ile 1/17 arasında değişen oranlar gözlenmiştir. Basınç mukavemeti arttıkça çekme mukavemetinin basınç mukavemetine oranı artmaktadır (Şekil-7).

3.2.3.3 Basınç Mukavemeti ile UPV ve Beton Çekici S.S. ilişkisi.

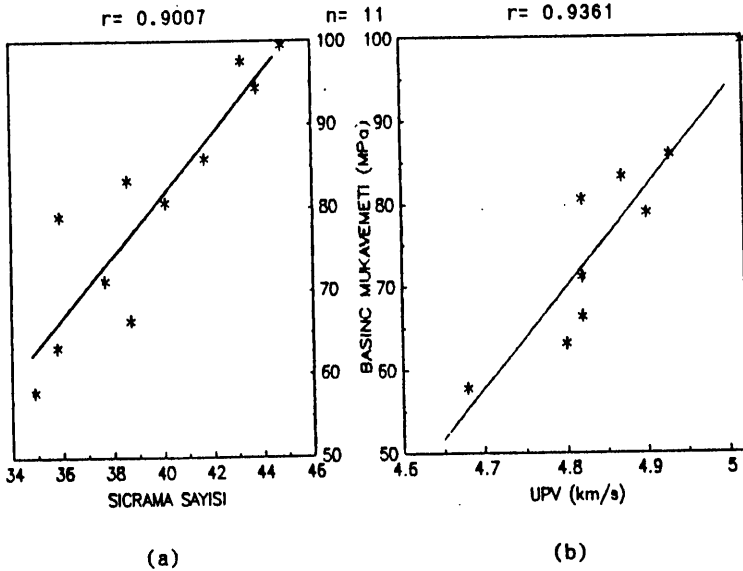
Bütün numunelerde UPV, beton çekici ve basınç mukavemeti deneyleri yapılmış ve elde edilen bilgiler aşağıda gösterilmiştir (Şekil-8).



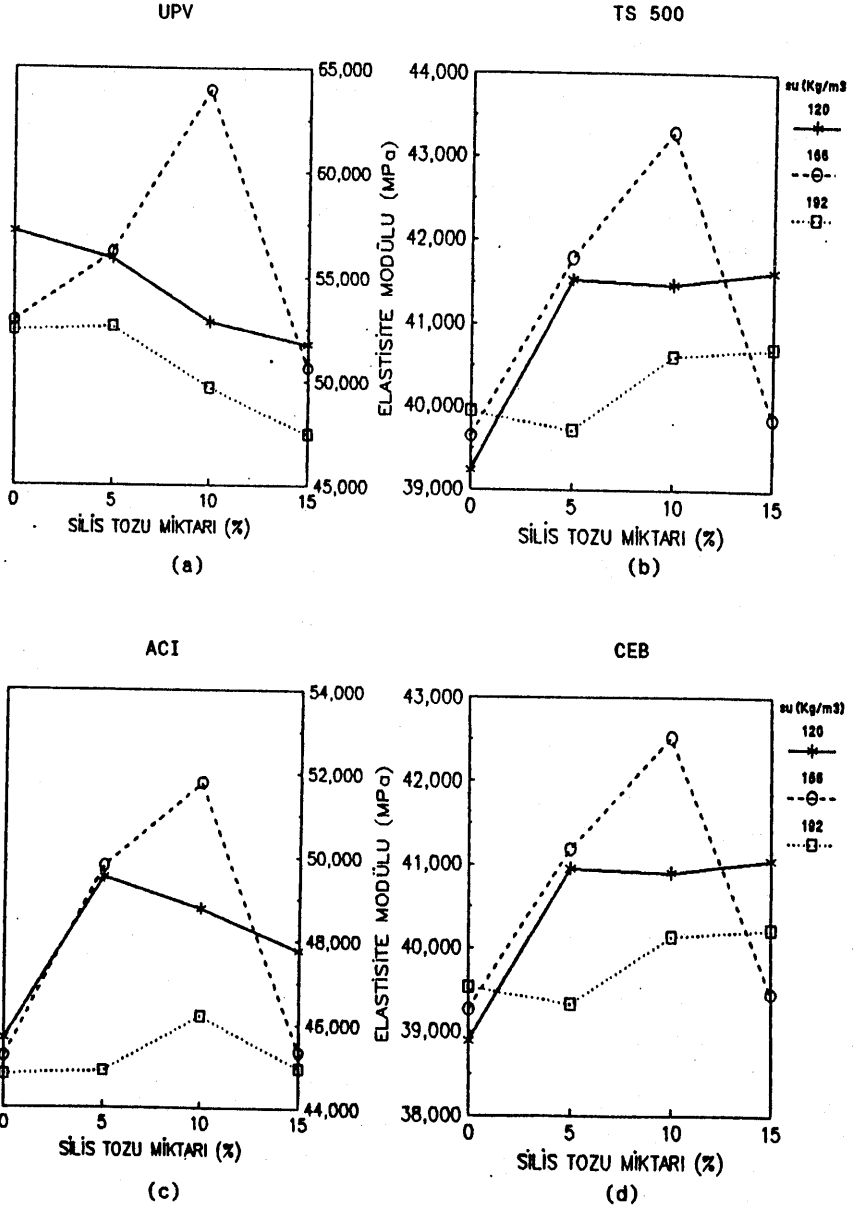
Şekil-6: Silicofume ve w/c+s Oranının Mukavemete Etkisi



Şekil-7: Basınç-Yarmada Çekme Mukavemetleri İlişkisi



Şekil-8: Basınç Mukavemetinin S.S. ve UPV ile Tahmini



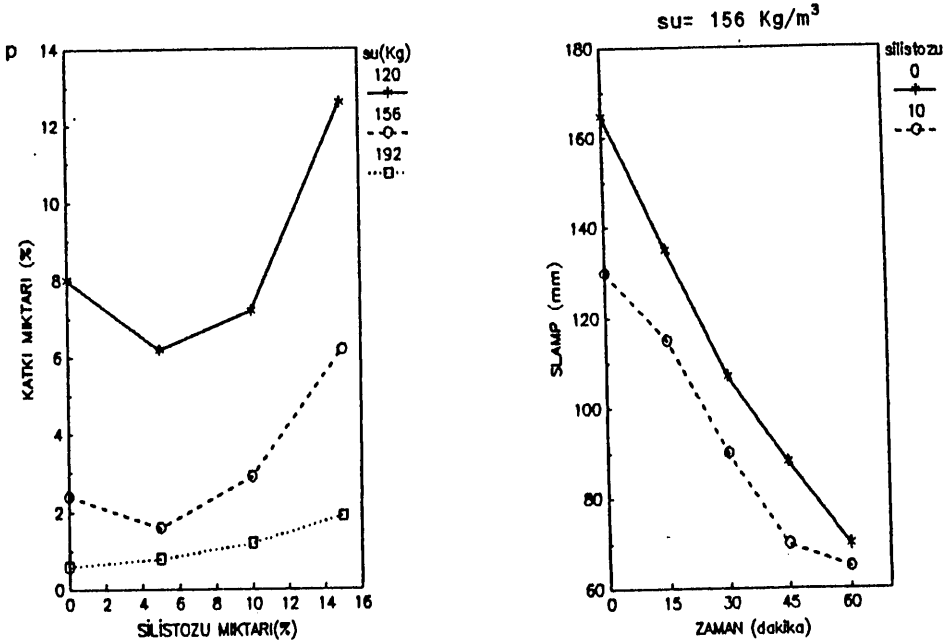
Şekil-9: Hesaplanmış Elastisite Modülü- $\times$ Silistozu ilişkisi

3.2.3.4. Elastisite modülü

Ele alınan karışımların elastisite modülleri hesap yoluyla bulunmuştur. Hesaplar dört ayrı şekilde yapılmıştır. Bunlardan biri UPV değerlerini esas alarak [6], diğerleri ise TS 500, ACI 313-83 ve CEB-78 [7] in verdiği mukavemet parametrelri regresyon denklemleri kullanılarak yapılmıştır (Şekil-9).

3.2.3.5. Taze beton özellikleri

Bu amaçla iki test yapılmıştır. Birincisinde, çökme 100-130 mm arasında tutulmuş ve değişik silis tozu miktarları için gerekli akışkanlaştırıcı miktarları kaydedilerek silis tozu miktarının işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır (Şekil-10). İkinci olarak bazı karışımlarda zamanla çökme kaybı araştırılmış ve çökmesi 50 mm nin altına düşen karışımlara tekrar akışkanlaştırıcı ilave edilmek suretiyle karışım yeniden canlandırılmıştır. Karışımlarda çökme, bir saat sonunda çoğunlukla 60 mm nin üstünde bulunmuştur.



Şekil-10: Silis Tozu Miktarının İşlenebilirliğe Etkisi, Çökme Kaybı

3.2.3.6. Geçirimsizlik

Sertleşmiş betonun dayanıklılığı -kimyasal etkiler, donma çözülme veya beton içindeki donatının paslanmasına neden olacak çevre koşullarına mukavemeti- beton içindeki boşlukların yapısı, büyüklüğü ve birbirleri ile olan bağlantısından etkilenmektedir. İyi yerleştirilmiş bir betonda bu boşlukları dolayısı ile geçirgenliğini s/ç oranı kontrol etmektedir. Değişik s/ç oranlarında, değişik miktarlarda silis tozu kullanılarak üretilen betonlarda geçirgenlik

deneyleri yapılmıştır. Literatürde [8] da tanımlanan *betonda su geçirimsizliği* deneyi üretilen silindirlere kesilerek hazırlanan disk numuneler üzerinde yapılmıştır. Silindir numunelerde ayrıca, yüksek basınçla deney yapmanın mümkün olduğu bir geçirgenlik aletiyle [9] de deney yapılmıştır.

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

4.1. Genel

Yüksek mukavemetli ve arzu edilen işlenebilirlikteki (0-250 mm çökme) betonun, ocak seçiminden başlayarak agrega üretimi, taze beton dizaynının hazırlanması ve bunların rutin, günlük kalite kontrolleri en iyi şekilde yapılmış ve taze ve sertleşmiş betonda arzu edilen nitelikler uluslararası kabul edilmiş limitlerin çok iyi bölgesi içinde kalmıştır.

Gaye hiçbir zaman 1 veya 5 defaya mahsus ym beton elde etmek olmamalı ama her zaman bu niteliği temin etmek olmalıdır. Aksi takdirde ym betonun getireceği diye düşündüğümüz faydalar bir anda yapının servis ömrünü çok kötü bir şekilde etkileyebilecek zararlara sebebiyet verebilir. Normal betonlarda, mesela B30 da, 28 günlük basınç mukavemetinde $\pm 15\%$ tolerans, ym betonda ne olabilir? Bu soru, gerek tasarımcının ve gerekse üreticinin, kalite sürekliliği bakımından kat'iyen akıldan çıkarmaması gereken bir husustur.

4.2. Basınç Mukavemeti

Şekil-6 ve Tablo-V den görüleceği üzere silis tozu betonun mukavemet kazanmasına yardımcı olmuş, ancak bu betonun yaşına ve silis tozunun miktarına bağlı olarak değişmiştir. 120 kg/m^3 su miktarı için (Şekil-6 a), %5 oranındaki silis tozu içeren beton % 10 ve 15 silis içerenlerden daha fazla mukavemet vermektedir. Silis tozu oranı % 15 e çıktığında 3 günlük mukavemetin silissiz betonla aynı olduğu görülmüş ancak ilerleyen yaşlarda silisli betonun daha fazla mukavemet kazandığı görülmüştür. s/ç oranının düşük, mineral katkı oranının yüksek olduğu bu karışımlarda amaçlanan çökme değerine ulaşabilmek için % 12 lere kadar çıkan oranlarda süperakışkanlaştırıcı katkı kullanmak gerekmiştir.

Suyun 156 kg/m^3 olduğu betonlardada silis tozunun mukavemete olan etkisi (Şekil-6 b) beklenildiği gibi olmuştur. Mineral katkının % 10 olduğu betonda her yaş için silissiz betona göre daha yüksek mukavemete erişilmiştir. % 15 silis tozu içeren betonlarda 3 ve 7 günlük mukavemetler silissiz betonla aynı çıkmış, 28 günlük basınç mukavemeti ise daha yüksek çıkmıştır.

Su miktarını 192 kg/m^3 e çıkarıp % 5, 10 ve 15 oranında silis tozu kullanıldığında, % 5 ve 15 katgılı betonlarda 3 ve 7 günlük basınç mukavemetleri silissiz betona göre düşük çıkmış ancak 28 günlük neticeler alındığında mukavemetin artmaya başladığı görülmüştür.

Kullanılan bütün su miktarlarında sili tozu, katıldığı orana bağlı olarak mukavemet artışına sebep olmaktadır. Aktif bir puzzolan olan sili, çimento hidratasyonunun başlaması ile birlikte puzzolanik aktiviteye başlamakta, zayıf olan kalsiyum hidroksit yerine bağları daha güçlü olan hidrate kalsiyum silikatların oluşmasına sebep olarak mukavemet artışı sağlamaktadır.

4.3. Çekme Mukavemeti

Elde edilen yarmada çekme mukavemetlerinin basınç mukavemetine oranı, yükselen basınç mukavemetleri ile birlikte artmıştır. Bu durum, basınç mukavemetinin yükselmesiyle birlikte betonların daha da gevrek özellik kazandığını göstermektedir. *Basınç mukavemeti/çekme mukavemeti oranı*'nın değişim aralığı 1:14 ile 1:17 olmuştur. Buradan, klasik betonarme hesap esaslarında gözönüne alınan basınç ile çekme mukavemeti ilişkisinin yüksek mukavemetli betonlar için tamamen geçersiz olduğu anlaşılmıştır.

4.4. Tahribatsız Deneyler

Araştırmada üretilen beton küp örneklerinde elde edilen beton çekici sonuçları, normal betonlar için bilinen değerler düzeyinden başlayarak 45 e kadar yükselen sıçrama sayıları vermiştir. Sonuçların genel bir değerlendirmesi, beton çekicinin yüksek mukavemetli betonlarda mukavemetin tahmin edilmesi için güvenle kullanılabileceğini göstermektedir.

Aynı örnekler üzerinde yapılan UPV deneylerinin verdiği sonuçlar ise normal betonlar için bildiğimiz değerler seviyesinde düşük rakamları da içermekte ve yükselen mukavemete karşılık çok fazla artışlar göstermemektedir. Genel bir değerlendirme yaptığımızda, UPV yöntemi ile mukavemet tahmin etmenin ancak ilgili beton karışımları için yöntemin kalibre edilmesiyle güvenli olabileceğini söyleyebiliyoruz.

4.5. Elastisite Modülü

Literatürde verilen elastisite modülü hesap esasları ile bulunan değerler, normal betonlar için bilinen değerlerin iki katı gibi yüksek seviyelerde olmuştur. Dört ayrı hesap yönteminden, UPV değerleriyle hesap yönteminin verdiği sonuçlar diğer üç yöntemle göre genelde farklı olmuştur. Bu durum, mukavemete bağlı hesap yöntemlerinin yüksek mukavemetli betonlarda geçerliliğine güvenilemeyeceğini göstermektedir.

4.6. Taze Beton Özellikleri

Sili tozunun kullanıldığı düşük su/çimento oranlı betonlarda iyi bir işlenebilirlik elde edilebilmesi için süperakışkanlaştırıcı kullanmanın şart olduğu ve hatta çok yüksek dozların gerektiği anlaşılmıştır. Araştırmada üretilen beton karışımlarının bir saat içindeki işlenebilirlik kayıpları önemli ölçüde olmuş ise de, yeniden süperakışkanlaştırıcı eklenerek işlenebilirliğin kolayca normal düzeye getirilebildiği görülmüştür.

4.7. Gecirimsizlik

Silis tozu kullanılmadan üretilen betonlarda geçirgenlik 10E-11 m/sn olarak bulunmuştur. Silistozu kullanıldığında katsayı 10E-14 ye yükselmiştir. Bu beklenen bir sonuç olmuştur. Çünkü silistozu, oluşturduğu bağlayıcı ürünlerin özellikleri nedeniyle poroziteyi azaltmaktadır [10].

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmaya emeği geçen STFA Kalite Müşavirlik Araştırma Kontrol ve Gözetim Limited Şirketi çalışanlarına içten teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

1. Randal V., Foot, K., "High-Strength Concrete for Pasific First Center", Concrete International, April 1989.
2. Burnet I., "High Strength Concrete In Melbourne, Australia", Concrete International, April 1989.
3. Howard N.L., Leatham D.M., "The Production and Delivery of High-Strength Concrete", Concrete International, April 1989.
4. STFA İnşaat A.Ş., Kalite Kontrol Raporları, 1980-1990.
5. F.I.P., Condensed Silica Fume In Concrete, FIP (Federation Internationale de la Precontrainte), State of Art Report, Th.Telford, London 1988.
6. Akman M.S., "Ultrasonik Titreşimlerin Betona Uygulanması", I.T.Ü. Dergisi, Cilt 23, yıl 23, Sayı 3, 1965
7. Ersoy U., Betonarme, 2.Baskı., Evrim, İstanbul, 1987.
8. Ludirdja D., Berger R.I., Young F.J., "Simple Method for Measuring Water Permeability of Concrete", ACI Materials Journal, Vol.86, No.5, September October 1989.
9. U.S.A.C.E., "Specification CRD-C-48-73", U.S. Army Corps of Engineers, Director of Publications, Washington, D.C., U.S.A.
10. Scall J.M., Chin D., Berke N.S., "Effect of Microsilica and Fly Ash on Microstructure and Permeability of Concrete", Proc 9th I.C., Cement Microscopy, Reno, Nevada, USA, April 1987.



STFA KALİTE MÜŞAVİRLİK ARAŞTIRMA KONTROL VE GÖZETİM LTD. ŞTİ.

BETON KARISIM RAPORU

TARİH: 26.1.1991

PROJE : STFA KAL. LTD		İMALATTAKİ YERİ: ARASTIRMA BETONU		Mix No: 01/91-2										
BETON SINIFI : B 80		BASINÇ MUKAVEMETİ: 80 MPa												
BETONİYER : Lab.		YERLESTİRME: vibrator												
KATKI : GRACE 200		HAYA KAT:---- KATILAN HAYA:----		SU/ÇİMENTO: 0.20										
ÇİMENTO : PC 400, Aslan		SU: Lokal												
DOZ : 800 Kg/m3		ÇOKME:100-130mm												
		KÜR MALZEMESİ:----												
		ELEK ACIKLIĞI												
MALZEME		Kaynağı	Sp.Gr.	Mix										
		Source	gr/cm3	Abs. %	20	16	8	3.35	2	#16 1.18	#30 0.6	0.425	#100 0.15	#200 0.075
İNCE AGG.		FA1 sultanbey D	2.63	1.1 16	100	100	100	99	98	84		4	1	0
		FA2 karatepe K	2.75	1.5 25	100	100	100	84	57	39		15	4	0
KABA AG		CA1 karatepe K	2.89	1.5 38	100	100	64	2	0					
		CA2 karatepe K	2.89	1.0 21	100	67	1	0						
		CA3 karatepe K	---	---	0	0	0							
SİLİS TOZU- ÇİMENTO			2.21		100	93.1	85.5	37.6	29.6	23.2	0.0	4.4	1.2	
			3.14		KARISIM									

*D=DOĞAL

K=KIRMA

1 m3 BETON İÇİN KARISIM HESAPLARI

MALZEMELER					HACİM (lt)	DYK.OZA (gr/cm3)	AGIRLIK (kg)	
CİMENTO					191.08	3.14	600	
SU					120.00	1	120	
SİLİS TOZU					27.15	2.21	60	
HAYA					20.00			
KİSMİ HACİM TOPLAMI					358.23		780	
AGREGALAR					641.77			
Agrega hacmi =1000 - kısmi hacim toplamı								
İNCE	FA1	641.77	x	16	=	102.88	2.63	270
	FA2	641.77	x	25	=	160.44	2.75	441
KABA	CA1	641.77	x	38	=	243.87	2.89	705
	CA2	641.77	x	21	=	134.77	2.89	389
	CA3	641.77	x	0	=	0.00	---	0
KATKI								
MİKTAR (%) :					TOPLAM KATGI MİKTARI(Kg):	TOPLAM	1000	2588



STFA KALİTE MÜŞAVİRLİK ARASTIRMA KONTROL VE GÖZETİM LTD. STİ.

LAB. REF. NO: YMB - 01/91-21
PROJE: Y.M. Beton

AGREGA DENEY SONUÇLARI

SAYFA NO:
TARİH:

ELEK		GRADASYON									
		AGREGALAR					KARISIMLAR -			D	
inc	TS	mm	FA1	FA2	CA1	CA2	CA3	M1	M2	M3	mm
3		75									75
2		50									50
1 1/2		38									38
	31.5		100	100	100	100		100	100	100	31.5
3/4		20	100	100	100	100		100	100	100	20
	16.0		100	100	100	87		91.8	93.1	93	16
	8.0		100	100	84	1		84.5	84.5	86	8
	3.35		99	84	2			40.7	36.2	38	3.35
	2.00		98	57				31.5	30.6	30	2
	1.18		84	39				24.3	25.2	23	1.18
	0.425		4	15				5.1	3.2	4	0.425
#30											
#100	0.150		1	4				1.4	0.8	1	0.15
#200	0.075							0.0	0.0	0	
KARISIMDA %		M1	15	30	30	25	DİĞER: Asınma % 8.6				
		M2	23	15	41	21					
		M3	16	25	38	21					
			2.63	2.75	2.89	2.89	< DKY Oz. Agirlik				
			1.10	1.50	1.50	1.00	< Su Emme, %				

NOTLAR: 1- Üretilen beton için M3 karışımı kullanılmıştır.

[illegible]