

**TÜRKİYE'DE OTOYOL ŞANTİYELERİNDE ÜRETİLEN YÜKSEK DAYANIMLI
BETONLARLA İLGİLİ BİR İSTATİSTİKSEL ÇALIŞMA VE ÜRETİM-KALİTE
SORUNLARI**

Yurtcan GÜRSU
Fizik Y.Müh.
KARAYOLLARI ANK. TÜRKİYE

Mehmet KALMIŞ
Fiz. Y.Müh. - İnş. Müh.
KARAYOLLARI ANK.TÜRKİYE

Ünal AKDAĞ
Kimya Müh.
KARAYOLLARI ANK. TÜRKİYE

Berrin PARLA
İnş. Y.Müh.
KARAYOLLARI ANK.TÜRKİYE

ÖZET

Laboratuvarıda 475, [1] şantiye koşullarında ise 100-140 MPa [2] serbest basınç dayanımına sahip yüksek dayanımlı betonun elde edildiği sürecin kısaca gözden geçirilmesinden sonra; yüksek dayanımlı betonun kimi karakteristik özellikleri belirtilmiştir. Daha sonra ülkemiz koşullarında prefabrikasyon ve otoyol benzeri büyük projelerde fiilen üretilen ve karakteristik dayanımı 45-52.5 MPa olan betonlarla ilgili olarak 1987 yılından beri yaklaşık 12500 adet 28 günlük serbest basınç dayanım değeri kullanılarak istatistiksel bir değerlendirme yapılmıştır. Bu istatistiksel çalışmanın anlam kazanması için; hazırlanan bir anket çalışması-Bildiri ekinde sunulmaktadır- ile üretim koşulları detaylı olarak belirlenip ana hatlarıyla bildiride vurgulanmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanmaya çalışılmış ve üretim sürecinde karşılaşılan önemli temel sorunlar belirtilmiştir.

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve ekonomik gelişimin doğal sonucu olarak hem hızlı bir kentleşmeyle, hem de toplumun gelişen yaşam düzeyine bağlı olarak konfor gereksinimindeki artışla yüz yüze gelinmektedir. Tüm bu olgular beraberinde standartları yüksek yol, modern konut ve yapılara duyulan ihtiyaçla birlikte kapasite, nitelik ve kalitede artışı zorunlu kılmaktadır. Bütün bu gelişmeler günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılan beton için de geçerlidir. Özellikle 1970'lerden sonra bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak betonun hem yapısal davranışının giderek daha net bir şekilde belirlenmesi, hem de kendisinden beklenen temel karakteristik özelliklerin sürekli ve inanılması güç gelişmeler göstermesi nedeniyle; ülkemizde de prefabrikasyon, büyük iş merkezleri ve otoyol gibi bir çok büyük hacimli işlerde, basınç dayanımı 30-35 MPa'dan daha yüksek dayanımlı betonlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Giderek

artan bir şekilde kullanılacağı göz önüne alınarak bu tür betonların ülkemiz koşullarındaki üretiminde, nitelik ve kalite kontrolünde; gerek kullanılan malzemelere, gerek teknoloji, gerekse insan ve diğer girdilerle ilgili anlamlı çalışmaların yapılması oldukça yararlı olacaktır.

1.1. Betonun Gelişimi

Yapıda bağlayıcı malzemelerin kullanımı oldukça eskidir. Eski Mısırlılar kalsine olmuş alçı kullanmışlardır. Eski Yunan ve Romalılar ise kalsine olmuş kireç taşına kireç, su, tuğla, kırma taş vb malzemeler karıştırmışlardır. Kirecin su altında sertleşmemesi nedeniyle Romalılar, kireci volkanik kül ya da fırınlanmış killi kiremitlerle karıştırmışlardır. Küldeki aktif silica ve alümin kireçle birleşip puzzolanik bir bağlayıcı oluşturur. İlk portland çimentosu 1824 yılında alçı taşı ve kilin kalsine olması ile elde edilmiştir. Özellikle zamanla geliştirilmiş ve günümüzde özellikle erken dayanımı -2,3 günlük harç küpü - 25 MPa olan çimentolar oldukça kolay elde edilir hale gelmiştir. Bu ise şartnamelere daha yüksek beton dayanım dizayn limitleri konmasını doğurmuştur. 1970 başlarında silica külü ve geliştirilmiş akışkanlaştırıcıların kullanımı ile su-çimento oranı oldukça düşük, (0.28) kolay işlenebilir çok yüksek dayanımlı hazır beton üretimi gerçekleştirilmiştir. [3]

1950'li yıllarda basınç dayanımı 34 MPa'dan fazla olan betonlar, yüksek dayanımlı olarak adlandırılırken; [4] 1960 sonrasında 41-52 MPa'lık betonlar rahatlıkla üretilebilmiştir. 1970 başlarında 60 MPa'a ulaşılmış, günümüzde ise gelişmiş birkaç ülkede binalarda 75-100 MPa'lık dizayn değerleri kullanılmaktadır. Genel olarak 40 MPa ve daha yüksek dayanımlı betonlar, yüksek dayanımlı olarak kabul edilmektedir. [5,6]

2. YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİ

2.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı testinde normal yükleme olarak bilinen kısa süreli (0-3 kgf/cm² sn) yüklemede ulaşılan taşıma gücünün, yaklaşık %80'inden daha büyük bir eksenel yükleme uzun süre yüklemede betonun deformasyon nedeniyle taşıma gücüne ulaştığı yapılan deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. (Sünme etkisi) [7,8] Yüksek dayanımlı betonlarda bu oran %75-80 mertebesinde; normal betonlarla karşılaştırıldığında birbirine yakın veya daha küçüktür denebilir. [9,10]

2.2. Gerilme Deformasyon ilişkisi

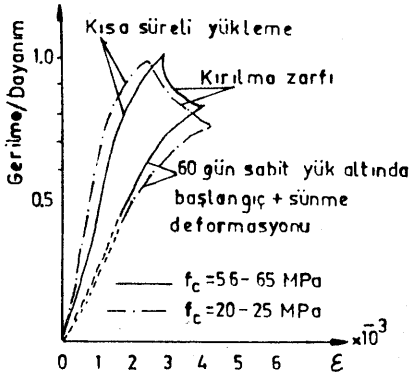
Normal ve yüksek dayanımlı betonlar bu yönden karşılaştırıldığında şunlar söylenebilir.

1. Yüksek dayanımlı betonlarda, taşınabilen maksimum gerilmenin daha büyük bir yüzdesine kadar daha doğrusal bir gerilme-deformasyon ilişkisi gözlenir. Bu durum ŞEKİL-1'de görülmektedir. [5]

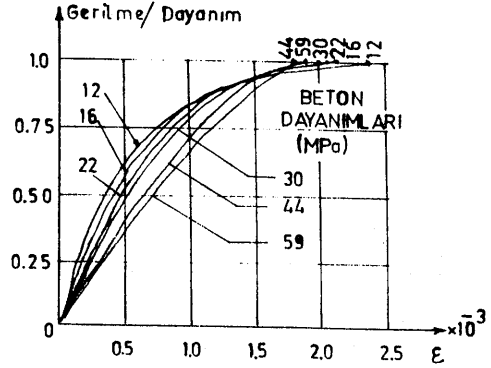
2. Taşınabilen maksimum gerilmede daha büyük deformasyon gözlenir ancak normal ve yüksek dayanımlı betonlar bu açıdan karşılaştırıldığında, deformasyonların oranı, dayanımların

orandan oldukça küçüktür. Bu ilişki TABLO-1'de [6] çok net olarak görülmektedir. Başka bir deyişle beton dayanımı arttıkça sekant elastisite modülü büyür. ŞEKİL-2'deki [6] davranış bu yargıyı doğrulamaktadır.

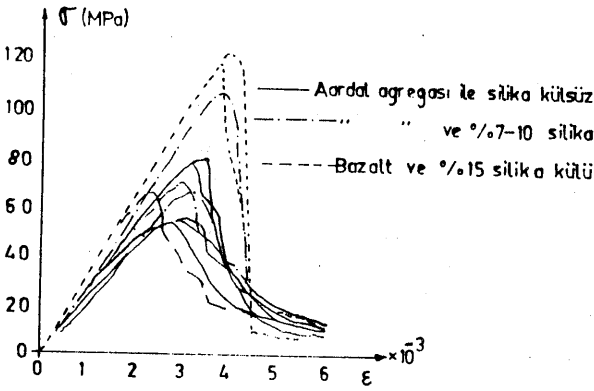
3. Yüksek dayanımlı betonlar ŞEKİL-3'te [5] de görüldüğü gibi, normal betonlara nazaran daha gevrek (ani) bir kırılma davranışı sergilerler.



ŞEKİL - 1



ŞEKİL - 2



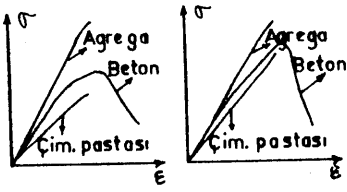
ŞEKİL - 3

BASINÇ DAYANIMI MPa	ORTALAMA E MODÜLÜ GPa
20	25
25	26
30	28
40	31
50	34
60	36

TABLO - 1

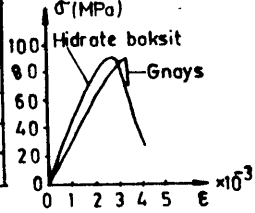
Yüksek dayanımlı betonların sergilediği bu farklılıkların ana nedenleri, hem kullanılan beton bileşenlerinin hem de agrega-harç bağının iyileştirilmesidir. Şekil-4'ten [5] de görüleceği gibi, yüksek dayanımlı betonda agrega ve çimento pastasının rijitlikleri farkı; normal betondan çok daha azdır. Bu durum, yüksek dayanımlı betonlarda daha homojen bir gerilme dağılımı oluşumuna yol açarken; diğer yandan malzemenin sünekliğini azaltır. Genellikle agrega dayanımının bağlayıcıdan daha fazla olduğu ve agrega-bağlayıcı rijitlik farkının azalması birlikte göz önüne alınırsa; düşük gerilme düzeylerinde erken mikro çatlak oluşma olasılığı azalır. Bu ise dayanımın artışı anlamına gelir. Kullanılan agreganın elastisite modülü büyüdüğü ölçüde, betonun rijitliği artmakta ve maksimum gerilme altında daha düşük deformasyonlar oluşurken,

dayanım artmaktadır. Bu durum ŞEKİL-5'te [11] görülmektedir.



ŞEKİL-4

Kayac türü	E Modülü(GPa)
Granit	40-45
Bazalt	60-70
Gabro	60-70
Kuarts diorit	50-70
Hidrate boksit	>100



ŞEKİL-5

2.3. Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımı kadar önemli bir karakteristik özellik değildir. Ancak, özellikle çatlakların ilerlemesi, betonun dayanıklılığı, donatı korozyonu, aderans boyu, betonun kayma ve burulma kapasitesine katılımı ile, kirişsiz döşemelerde zımbalama dayanımı yönünden oldukça önemlidir. [8] Çekme dayanımı basınç dayanımı arttıkça artar. Ancak bu ilişki lineer değildir. A.C.I Committee 363'e [12] göre, düşük dayanımlı betonun yarmada-çekme dayanımı, basınç dayanımının %10'na ulaşabilirken, yüksek dayanımlı betonlarda (84 MPa'a kadar) bu değer %5'e düşebilir. Normal yoğunluktaki

betonun yarmada-çekme dayanımı için $f_{ct} = 0.54 \cdot (f_{cc})^{0.5}$ MPa

formülü önerilmektedir, [13] Norveç standardlarında [14] yarmada-çekme yerine, doğrudan çekme dayanımı esas alınmakta ve yarmada çekmenin 2/3 olarak kabul edilmektedir.

Thornfeldt, doğrudan çekme dayanımı için; $f_{ct} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{0.6}$ (MPa)

eşitliğini kullanmıştır. [15] Bu eşitlik Norveç dizayn standartlarında kullanılmaktadır. Yapının basınç dayanımı 75 MPa'dan fazla ise, $f_{ck} = 75$ MPa'a karşı gelen çekme dayanımı kullanılmaktadır.

2.4 Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

Elastisite modülü kullanılan agrega ve çimento pastasının özellikleri ve rijitlikleriyle oldukça yakından ilişkilidir. Carrasquillo [13] yüksek dayanımlı betonlar için

$E_c = 3320 \cdot (f_{cc})^{0.5} + 6900$ MPa 21 MPa < f_{cc} < 83 MPa, eşitliğini

önerir. Yüksek dayanımlı betonlarda Poisson oranı için deneysel veri oldukça azdır. Ancak 1988'de Ahmad S. Shah [16] tarafından yapılan çalışma sonucuna göre, yüksek dayanımlı betonda elastik bölgede poisson oranı, düşük dayanımlı beton değerleri ile kıyaslanabilir ve gerilme seviyesine bağlı olarak 0.18 - 0.24'e yaklaşmaktadır.

2.5. Büzülme

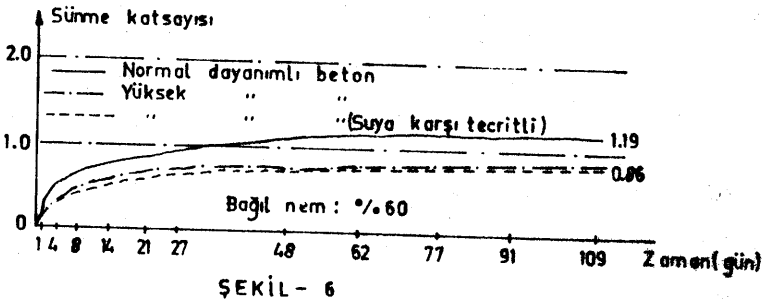
Özgül yüzeyi çimentodan daha büyük bileşenlerin (Silica

fume) ve akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı ile üretilen yüksek dayanımlı betonlar, normal betonlara göre daha ince bir mikroskobik yapıya ve daha düşük su-çimento oranına sahiptirler. Bu iki nedenledir ki, yüksek dayanımlı betonlarda hidratasyon nedeniyle oluşan büzülme, su-çimento oranı daha yüksek olan normal betonlardaki büzülmeden daha fazladır. Ancak kuruma büzülmesi, beton bünyesindeki buharlaşabilecek su miktarının azlığı nedeniyle; daha azdır. Yüksek dayanımlı betonlarda su-çimento ve agrega oranı azaldıkça hidratasyon nedeniyle oluşan büzülme (autogeneous shrinkage) artar. Yüksek ve normal dayanımlı betonların büzülmeleri, eleman boyutu ve kür şartları ile su-çimento oranına bağlı olarak; birindeki büzülme diğerinkinden fazla ya da, az olabilir. Büzülmeyi (rötre) belirleyen temel faktörler a) malzeme b) yapı cinsi c) ortam koşullarıdır. Bunlardan kullanılan malzeme ile büzülme ilişkisi için:

a) Çimento dozajı ve özgül yüzeyi arttıkça, b) Kullanılan agrağa boyutu küçüldükçe, c) Çimentonun su tutma yeteneği azaldıkça, d) Betonda kullanılan ince agrağa miktarı arttıkça büzülmenin de artacağı söylenebilir.

2.6. Sünme

Yapılan deneysel çalışmalar, yüksek dayanımlı betonlarda sünme katsayısının azaldığını ve düşük dayanımlı betonlara göre beton dayanımının daha büyük bir %'sine kadar sabit kaldığını göstermektedir. Ayrıca normal betonlarda gerilme-sünme ilişkisi beton dayanımının %30-50'sine kadar lineer iken; yüksek dayanımlı betonlarda, beton dayanımının %70'ine kadar lineer olduğu ileri sürülmektedir. [5] ŞEKİL-6 [17] normal ve yüksek dayanımlı betonlardaki sünmeyi karşılaştırmaktadır.



2.7. Yükleme Hızı-Dayanım İlişkisi.

Betonun zamana bağlı olarak deformasyon gösteren bir malzeme olduğu göz önüne alınırsa, yükleme hızının gerilme-birim deformasyon eğrisini etkileyeceği açıktır. Yüksek dayanımlı betonlarda bu konuya ilişkin olarak yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Sekant elastisite modülü artan deformasyon hızı ile artar.
- Daha büyük deformasyon hızı ile yüklemede dayanım kazanımı; yüksek dayanımlı betonlarda daha azdır. Düşük yükleme hızlarında dayanımdaki düşüş, sünmenin artmasına bağlanmaktadır. [18]

2.8. Yük Tekrarlarına Dayanım

Yüksek dayanımlı betonlar, düşük su-çimento oranı ve daha az boşluklu sıkı dokuları nedeniyle permeabiliteleri düşüktür. Bu nedenle de yorulmaya karşı daha dayanıklıdırlar. Yapılan çalışmalarda; yükleme seviyeleri basınç dayanımlarına göre ayarlandığında, yüksek ve normal dayanımlı betonların yorulma seviyelerinin çok fazla farklılık göstermediği anlaşılmıştır. [3]

2.9. Dayanıklılık

Yüksek dayanımlı betonlarda, ileri teknolojinin kullanımı, kür şartlarına özen gösterilmesi, kullanılan çimentonun özgül yüzeyinin büyüklüğü, yeterli sıkıştırma, plastikleştirici katkıları kullanılarak çok düşük su-çimento oranının sağlanması ve özellikle silika külü kullanımı [5]; betonun boşluk oranını ve geçirimsizliğini azaltmakta, kimyasal etkilere ve sürtünme aşınmasına karşı dayanımını artırmaktadır. Yüksek dayanımlı beton kaplamaların sürtünmeye karşı dayanımını kanıtlamak için Norveç'te kış mevsiminde lastiklere zincir takılarak yapılan denemelerden [19], bu tür betonların granite yakın bir dayanım verdiği gözlenmiştir.

Yüksek dayanımlı betonun dona dayanıklı olabilmesi için, hava ithal eden ya da plastikleştirici katkıları aracılığıyla belli bir boşluk sistemine sahip olmasının gerekliliği henüz tartışılan bir konudur. Bu konuya ilişkin uygulanan iki farklı yöntemden ASTM C672 ye göre yapılan denemelerde, hava ithal eden katkı kullanılmamasına rağmen, don dayanımının iyi olduğu gözlenmiştir. [7].

Normal dayanımlı betonlar 350 °C ye kadar dayanımını korurken, yüksek dayanımlı beton 150 °C'de dayanımının yaklaşık %30'nu kaybedip daha da kırılabilir. Yüksek dayanımlı beton 100-350 °C arasındaki sıcaklıklarda, normal dayanımlı betonlara göre daha fazla dayanım kaybı gösterir. Bunun nedeni yüksek dayanımlı betonlarda çimento pastasının normal betona göre daha fazla yük taşıması ve çimento pastasının ısı nedeniyle tahrip olmasıdır. Yüksek dayanımlı betonların ateşe dayanıklılığı da normal betona göre daha azdır. Rutubet ve boşluk suyu basıncının etkisi; buhar ve boşluk basıncının yüzeye yaklaşmasına ve ısı farklılığı nedeniyle dış yüzeyin serbest suyu iç kısma doğru zorlamasına neden olur. Yüksek dayanımlı betonlarda düşük geçirgenlik nedeniyle bu akış önlenir. Boşluk basıncı, betonun çekme dayanımını aşınca da beton parçalanır. [5]

2.10. Numune Boyut-Geometri Etkisi ve Kalite Temini

Yüksek dayanımlı betonlar, numunenin basınç yükü uygulanan yüzeylerinin düzgünlüğüne karşı çok hassastır. Basınç yükü uygulanan yüzeylerin paralellliğini sağlamak amacıyla yapılan başlık malzemesinin kırılabilirliği, başlık ile beton dayanımının beton lehine farklılığı; kısmi temas ve gerilme yığılmalarına neden olup, gerilmenin homojen dağılımını önler. Bunun çözümü, yüzeylerin başlık yapmaksızın hassas olarak düzeltilmesi, ya da poliüretan-çelik karışımı veya neopren-çelik karışımı başlıklar kullanılmasıdır. [20]

Yüksek dayanımlı beton, hem plentte, hem taşıma-yerleş-

tirme ve sıkıştırmada, hem de kür işlemlerinde büyük hassasiyet ister. Plentte, karışıma giren malzeme miktarları hassasiyetle tartılmalı, agreganın rutubetleri sürekli kontrol edilmelidir. Özellikle ince malzeme miktarı ve rutubeti; karışımın karma suyu, çimento, silica külü ve katkı ihtiyacı yönünden oldukça önemlidir.

Agrega boyutu, sıkıştırma araç ve tekniği ile yapı elemanını boyutu, donatı aralığı ve beton kıvamı arasındaki denge çok iyi kurulmalıdır.

Kür işlemi sırasında betonun erken kuruması kesinlikle önlenmeli, büzülme ve çatlamaya neden olabilecek sıcaklık farklılıklarını yok etmek için özel önlemler alınmalıdır.

Hem ekonomi sağlamak, hem de dayanım kaybını önlemek için, kullanılacak beton katkılarının betonun yapıdaki yerine yerleştirilmesinin hemen öncesinde kullanılması tercih edilmektedir.

Basınc dayanımının tespiti için kullanılan numune boyut ve geometrisi ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Kenar uzunluğu 10, 15, 20 cm olan küpler kullanıldığı gibi, çapı 10, 15 cm, boy-çap oranları 2 veya üç olan silindir numunelerde kullanılmaktadır. ASTM C192 ye göre beton numune alımı için kullanılacak kalıp en küçük boyutu, maksimum agreganın boyutunun en az üç katı olmalıdır. Numune boyutlarındaki bu farklılığa karşın; uluslararası çevrim faktörleri yoktur. Bu konuda farklı kaynaklarda birbirine yakın olmakla beraber farklı çevrim katsayıları ile karşılaşılmaktadır. [3,8,21,22,23,24,25] Ancak bu çevirme katsayılarıyla ilgili genel yargı; beton dayanımı arttıkça boyut ve geometri etkisi azalmakta ve çevrim katsayıları 1.0'a yaklaşmaktadır. [3,8,22,24] Yüksek dayanımlı betonlar için TABLO-2 [26] ve TABLO-3'teki [27] çevrim katsayıları önerilmektedir. [3]

TABLO - 2

NUMUNE TÜRÜ	KÜP			SİLİNDİR
KÜP	a=10cm	a=15cm	a=20cm	Ø=15 H=30cm
a=10 cm	1.0	0.99	0.95	0.82
a=15 cm	-	1.0	0.96	0.83
a=20 cm	-	-	1.0	0.87

TABLO - 3

a=10 cm KÜP DAYANIMI (MPa)	Ø=10 H= 30 cm SİLİNDİR DAYANIMI silindir / küp	Ø=15 H=30cm SİLİNDİR DAYANIMI silindir / küp
66.3	0.73	0.75
79.7	0.73	-
97.0	0.77	0.77
115.4	0.82	0.83

3. İSTATİSTİKSEL ÇALIŞMA

3.1 Öngörülen Hedefler

1. Öncelikle yapıyı devam eden otoyol projelerinden sorumlu Bölge Müdürlüklerimizin Araştırma Başmühendisliklerini, daha sonra diğer Bölge Müdürlüklerimizin Araştırma Başmühendislik-

lerini hem otoyol projelerinin hem de diğer ihaleli işlerimizin kalite kontrolünde istatistiksel kalite kontrol metoduna adapte etmek.

2. Teknik şartnamelerimizde konuya ilişkin olarak öngörülen kriterlerin yeterliliğini hem güvenlik, hem ekonomik yönden irdeleyebilmek, hem de bu kriterlerin ne oranda gerçekleştirilebildiğini saptamak.

3. Konuya ilişkin olarak müteahhit ve mühendis firma sorumlu teknik elemanlarıyla bilgi iletişimini kurup, beton kalite kontrolünde istatistiksel metodun kullanımına pratik işlerlik kazandırmak ve sorunlarını belirlemek.

4. Bildiri ekinde sunulan "data toplama formu" ve "anket" örneğinden elde edilen bilgiler değerlendirilerek:

a. Kullanılan malzeme özelliklerine, (Agrega, çimento, katkı, Dmax)

b. Üretim teknolojisine,

c. İklimsel koşullara ve zamana,

d. Beton dayanım sınıfına,

e. Beton kür koşullarına,

f. Alınan özel önlemlere bağlı olarak üretimin standard sapması, değişim katsayısı, karakteristik dayanımı ve benzeri istatistiksel parametreleri belirleyip, ilgili teknik şartnamelere uygunluğun ne oranda gerçekleştirildiğini saptamaktı.

Öngörülen bu hedefler tümüyle ve istenilen düzeyde olmasa da büyük çoğunlukla adım adım gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır.

3.2. Otoyol Beton Üretim Koşulları

3.2.1 Üretim Teknolojisi

Beton Üretimi tümüyle beton santrallerinde yapılmaktadır. Yüksek dayanımlı betonların üretiminde kullanılan beton plantlerinin çoğu bilgisayar ve rutubet kontrollüdür. Malzeme ölçümü ağırlık esasına göredir. Plant çıkışında ve kalıptaki yerine döküm öncesinde mutlaka slump kontrolü yapılmaktadır. Taze beton sıcaklığı ve kullanılan diğer malzeme sıcaklıkları kontrol edilmektedir. Beton transmikserlerle taşınmakta, yapı elemanı türüne göre daldırma ve satıh tipi vibratörlerden biri veya aynı anda her ikiside sıkıştırmada kullanılmaktadır. Beton basınç testinde kullanılan 200-300 ton kapasiteli presler belli periyotlarla kalibre edilmektedir. Numune kalıpları deforme olmayacak nitelikte olup, numune geometrisinin bozulmaması için montaj ve temizliğine özen gösterilmektedir. Yapı elemanı kalıplarının montaj, temizlik, yağlama ve sıcaklıklarına olabildiğince özen gösterilmektedir. Kullanılan agreg, yıkama-eleme tesislerinde yıkanmakta ve en az 3 fraksiyona ayrılmaktadır. Yüksek dayanımlı betonlarda genelde kırmataş kullanılmakta, segregasyonu ve yeterli sıkıştırmayı temin için akışkanlaştırıcı katkı mutlaka kullanılmaktadır.

Yapı elemanı özellikleri ve iklimsel koşullara göre özel örtüler, ısıtma sistemleri, kür maddeleri ya da sürekli sulama ile beton bakımına özel bir önem verilmekte; beton test numuneleri ısı kontrollü kür tanklarında saklanmaktadır.

3.2.2 Kalite Kontrol ve Denetim

Beton bileşimini oluşturan tüm malzemeler gerekli periyo-

dik aralıklarla uygunluk kontrolüne tabi tutulmaktadır. Kalite kontrol ve denetim "mühendis firma" tarafından yapılmaktadır. Malzeme uygunluk testlerinden çok sık aralıklarla ve aşırı derecede donanım gerektirmeyen ve şantiye koşullarında gerçekleştirilebilir olanlar; (özellikler, su emme, su içeriği, Los Angeles aşınma ve sodyum sülfat kaybı, slump, sıcaklık, sıkıştırma faktörü, birim ağırlık, basınç ve çimento testlerinin bir kısmı v.b.) müteahhit firmanın şantiye veya merkez laboratuvarında yapılmaktadır. Komplike ve pahalı donanım gerektiren malzeme uygunluk testleri (alkali agrega, donatı çekme ve kopma dayanımı, neopren mesnet testleri v.b.) ise, Karayolları, D.S.İ. ya da Üniversite laboratuvarlarında yapılmaktadır.

3.2.3 Özel Önlemler:

Yapı elemanı özellikleri, kullanılan üretim teknolojisi ve malzeme ile çevrenin iklim koşullarına bağlı olarak; oldukça çok sayıda özel önlemler alınmaktadır. Bu önlemler:

1. Yaz ve kış koşullarında taze beton sıcaklığının istenilen limitler arasında olması ve slump kaybının önlenmesi için alınan önlemler.
2. Beton bakımıyla ilgili özel önlemler,
3. Taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma ile ilgili olan önlemler,
4. Üretim hızı-beton priz süresi-ortam sıcaklığı ilişkisine göre alınan özel önlemler,
5. Yapı elemanı boyutları ve ortam koşullarına bağlı olarak buharlaşma hızı ile kuma hızı farklılığı ve donatının yüzeye yakın oluşu, kalıp montajı, kür ve yüzey bitirme işlemi benzeri etkilere bağlı olarak oluşacak erken rötre oluşumunu önlemeye yönelik önlemler olarak gruplamak mümkündür.

3.2.4 Personel

Gerek müteahhit gerekse müşavir firmada fiili üretimi yönlendiren, kalite kontrol ve denetimi sağlayan kritik teknik personel, kendi uzmanlık alanlarında oldukça deneyimli kişilerden oluşmaktadır. Mühendis ve vasıfsız işçi arasındaki köprüyü kuran ara insan gücü olan sürveyan, alet operatörleri laboratuvar teknisyen ve laborantları ise; Karayolları, Devlet Su İşleri ve Bayındırlık gibi sürekli hizmet içi eğitimi veren kurumlardan temin edilmekte ya da müteahhit firmanın deneyimli elemanlarından oluşmaktadır.

3.2.5 İstatistiksel Çalışmanın Sonuçları ve Yorumu

Yapılan istatistiksel çalışmanın sonuçları TABLO-4 ve 5'te toplu olarak verilmektedir. Bu çalışmaya başlarken değerlendirmeyi; karakteristik basınç dayanımı, kullanılan katkı, Dmax, yapı elemanı türü, şantiye, mix dizayn, zaman ve mevsimlere göre irdeleyip istatistiksel parametrelerin bunlarla nasıl değiştiğini araştırmaktı. Ancak tüm otoyol şantiyelerinden aynı detayda ve homojenlikte data elde edememekten dolayı; istatistiksel değerlendirme şantiye ve karakteristik basınç dayanımı bazında yapılmak zorunda kalmıştır.

TABLO-4 ve 5'in incelenmesinden çıkan önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. 7-28 günlük basınç dayanımı oranları 0.70 ile 0.87 arasında değişmektedir. 45-52.5 MPa'lık bu betonların tümünde PÇ-400 veya bu norma uygun ithal çimento kullanılmıştır. Bu çimentolar erken dayanımı yüksek olan çimentolardır ve 7-28 günlük basınç dayanımı oranları genelde 0.75-0.86 arasında değişir. 0.70 gibi düşük değerlerin oluşumunun temel etkeni, kanımızca çimentodur. Laboratuvarımıza kalite kontrol için gelen bazı PÇ-400 çimentoların 2 ve 7 günlük basınç dayanımlarının standardına uymadığı gözlenmiştir.

2. Otoyol teknik şartnamelerinde başlangıçta beton üretim koşullarının standard sapması v.b. istatistiksel parametreleri bilinmediği için; laboratuvar hedef dayanımı $(f_{cm}) = f_{ck}$ (karakteristik dayanım) + 10 MPa eşitliğiyle belirlenmiştir. Bir anlamda şantiye marjı 10 MPa olarak alınmıştır.

TABLO-4 ve 5'in incelenmesinden; altı farklı projenin 11 farklı şantiyesinin yalnızca 3'ünün şantiye standard sapması ve kabul edilebilir kusurlu numune %si gözönüne alındığında, 10 MPa'lık marj yetersiz gibi görünmekle beraber, kalite kontrol ve denetimin sıklığı nedeniyle bu şantiyelerde de üretimin karakteristik dayanımı proje karakteristik dayanımından daha yüksektir.

3. 11 şantiyenin yalnızca 2'sinde üretimin karakteristik dayanımı proje karakteristik dayanımından daha düşüktür.

4. 11 farklı şantiyenin yalnızca birinde değişim katsayısı 15'in üzerindedir. TS 500 [28] ve ACI214 ölçütlerine göre üretim ve kalite kontrol düzeyi "iyi" ve "çok iyi" olarak belirtilebilir.

5. TABLO-4 ve 5'te N1 ve N2 sütunları incelendiğinde otoyol teknik şartname kriterlerinin büyük çoğunlukla gerçekleştirildiği, alınan yüzlerce, binlerce numuneden çok çok azında teknik şartname kriterlerinin gerçekleşmediği görülmektedir. Ancak gerek yetkililerle yapılan konuya ilişkin görüşmelerden gerekse bu durumlarla bağlantılı olarak laboratuvarımıza gelen karot numunelerinin değerlendirilmesinden; bu tür olumsuzlukların nedeninin genelde numune alma, kür veya test hatalarından kaynaklandığı ya da taşeronların üretiminde karşılaşıldığı görülmektedir.

6. TABLO-4 ve 5'in sonuçları ekonomik yaklaşımla değerlendirildiğinde; otoyol şantiye koşullarındaki üretimin karakteristik basınç dayanımı genelde - iki farklı projenin 2 şantiyesi hariç - projenin öngördüğü karakteristik dayanımdan daha yüksektir. Bu farklılık kimi şantiyelerde +2 kgf/cm² olabildiği gibi kimi şantiyelerde 129 kgf/cm² değerine ulaşmaktadır. Projenin öngördüğü karakteristik dayanım, fiili üretimde çok az farkla gerçekleştirildiğinde; beton basınç dayanımı yönünden yapı güvenliğine ilişkin sorun doğmaksızın en ekonomik üretim gerçekleştirilmiş olacaktır. Ancak 129 kgf/cm² 'lik farklılık, ekonomik yönden ciddiye alınması gereken bir değerdir. Bu noktada konuya ilişkin önerimiz şu olacaktır.

Şantiye üretim koşullarının standard sapmasının bilinmediği durumlarda; üretim teknolojisine belirli sınırlamalar getirilerek, projenin öngördüğü beton dayanım sınıfına göre emniyetli tarafta kalacak şekilde şantiye marjı belirlenip işe başlanmasına olanak sağlanmalı. Ancak mevcut şantiye koşullarında belirlenen uygun malzemelerle-malzeme değiştirmekle koşuluyla- üretimi yapılan dayanım sınıfları için standard sapma, değişim katsayısı, üretimin karakteristik dayanımı v.b. istatistiksel parametreler yeterli bir süre boyunca

TABLO: 4

PROJE NO	KARAKTE. DAYANIM	SANTİYE	YIL	VERİ SAYISI	f_{cu} Kgf/cm ²	SD Kgf/cm ²	VC %	f_{tku1} (OTOVOL) Kgf/cm ²	f_{tku2} (TS 500) Kgf/cm ²	N1	N2	f_{cm1} OTOVOL Kgf/cm ²	f_{cm2} TS500 Kgf/cm ²	ORAN f_{cu}/f_{cm}	DENEY İÇİ	
															SD	VC Kgf/cm ² %
1	45 MPa	E	1989	441	537	29	5	490	500	0	0	497	487	0.83	5	1
			1990	837	551	33	6	498	500	0	0	504	492	0.81	5	1
			TOPL.	1536	540	37	7	479	492	11	2	511	498	0.82	6	1
			A	1990	462	558	37	7	487	510	1	1	511	497	0.70	5
2	45 MPa	H	1989	723	640	109	17	481	500	36	23	629	590	0.84	15	2
			1990	216	647	109	17	467	507	0	0	630	590	0.83	8	1
			TOPL.	939	641	109	17	462	502	36	23	629	590	0.83	13	2
			B	1987	168	559	54	10	470	490	5	2	539	519	0.88	12
		G	1988	504	560	57	10	467	488	20	4	543	522	0.85	8	1
			1989	978	587	46	8	511	528	2	1	526	509	0.87	4	1
			TOPL.	1650	576	52	9	490	509	27	7	536	517	0.86	6	1
			1988	189	684	96	14	527	562	0	0	607	573	0.73	13	2
			1990	372	603	71	12	486	512	1	1	567	541	0.81	10	2
			TOPL.	561	631	89	14	484	517	1	1	596	564	0.78	11	2
		F	1989	252	562	70	13	446	471	8	4	566	540	0.82	9	2
			1990	503	717	84	12	579	610	5	2	588	557	0.84	7	1
			1991	102	666	53	8	578	597	0	0	538	518	0.81	5	1
TOPL.	858		666	103	15	496	534	13	6	619	582	0.83	7	1		
3	52.5 MPa	A	1990	630	623	51	8	540	558	18	3	609	590	0.87	12	2
			1991	108	616	54	9	527	547	4	3	614	595	0.83	13	2
			TOPL.	738	622	51	8	538	556	22	6	610	591	0.87	12	2

TABLO :5

PROJE NO	KARAKTE- RİZASYON	SANİTE	YIL	VERİ SAYISI	f_{cu} Kgf/cm ²	SD Kgf/cm ²	VC %	f_{cku} OTOYOL Kgf/cm ²	f_{cku2} TS 500 Kgf/cm ²	N1	N2	f_{cm1} OTOYOL Kgf/cm ²	f_{cm2} TS 500 Kgf/cm ²	ORAN f_{c2}/f_{c1}	DENEY İÇİ SD VC
4	52.5 MPa	A	1989	306	644	51	8	560	578	3	1	609	591	0.84	10
			1990	1719	605	58	9	574	595	9	1	620	599	0.83	10
			1991	258	670	41	6	603	618	0	0	592	577	0.86	6
			TOPL.	2283	666	56	8	574	604	15	2	617	597	0.84	10
5	45 MPa	C	1990	2109	644	64	10	539	562	4	0	555	532	0.78	7
			1991	534	626	50	8	545	563	0	0	533	515	0.76	6
			TOPL.	2643	641	62	10	539	562	4	0	551	529	0.78	7
			1990	606	559	56	10	466	487	8	3	543	522	0.87	11
9	45 MPa	A	1990	147	486	51	11	404	423	27	9	534	516	0.85	11
		B	1990	147	486	51	11	404	423	27	9	534	516	0.85	11

Karakteristik Değerler : Projenin öngörüldüğü karakteristik beton basınç dayanımı.

f_{cu} : İlgili proje ve şantiye koşullarında gerçekleştirilen üretim ortalaması dayanımı

SD : Standard sapma

VC : Değişim katsayısı

f_{cku} : Otoyol teknik şartnamesine göre, üretimin karakteristik dayanımı

f_{cku2} : TS 500 kumullarına göre üretimin karakteristik dayanımı

N1 : Proje karakteristik dayanımından daha düşük değeri alırsa numune sayısı

N2 : Otoyol teknik şartnamesine göre, alınan 3 lu numunelerden farkları % 20'yi aşanların sayısı

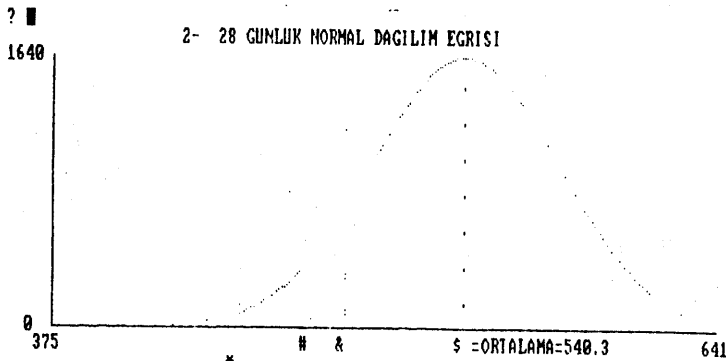
f_{cm1} : İlgili şantiye standard esaslarına göre hesaplanan hedef dayanımı (OTOYOL TEK.ŞART.)

f_{cm2} : " " " " " " " " (TS 500)

ORAN : 7 günlük ortalama dayanımın, 28 günlük ortalama dayanıma oranı.

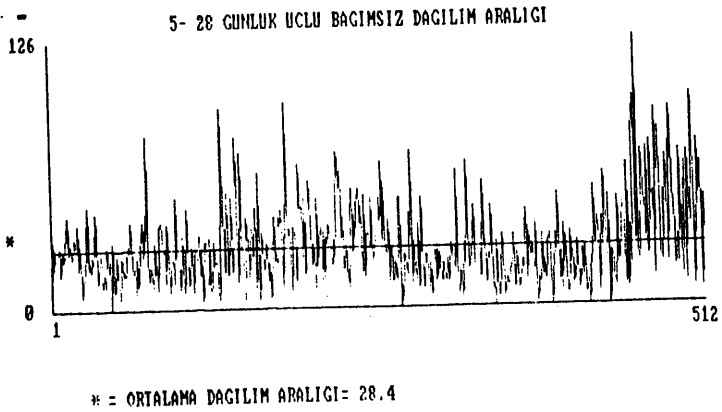
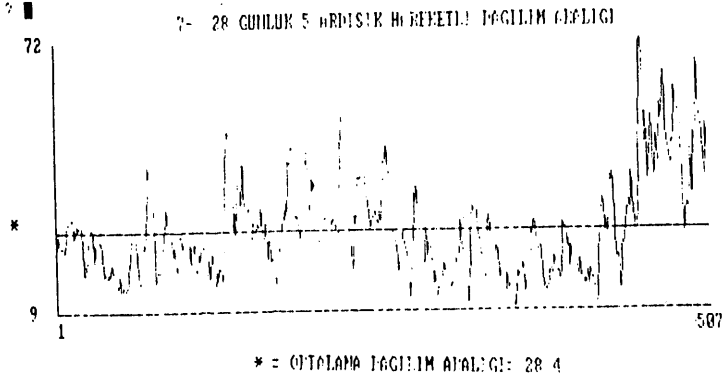
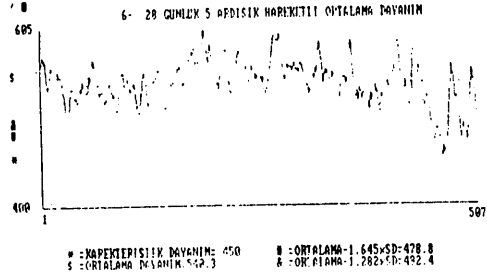
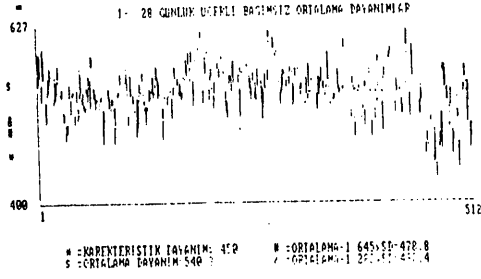
BOLGE NO : 1
 PROJE ADI : 4
 MÜTEAHHİT :
 MÜSAVİR :
 YIL : 1988 - 1991
 SANTIYE ADI :
 BETON SINIFI (MPa) : 45
 NUMUNE TURU : a=15 cm KUP
 PLENT ÇIKISINDA ORTALAMA SLUMP (cm) : 22-18
 DOKUM ANINDA ORTALAMA SLUMP (cm) : 10
 ORTALAMA TAZE BETON SICAKLIĞI (°C) : 22
 ORTAM (ÇEVRE) SICAKLIĞI (°C) : 38-4
 MINIMUM - MAX BETON SICAKLIĞI (°C) : 6 - 30

VERİ SAYISI = 1536
 Fcort7 ORTALAMA DAYANIM = 441
 STANDARD SAPMA 7 GÜN = 40
 DEĞİŞİM KATSAYISI 7 GÜN = 7
 Fcort28 ORTALAMA DAYANIM = 540
 STANDARD SAPMA 28 GÜN = 37
 DEĞİŞİM KATSAYISI 28 GÜN = 7
 Fck'DEN DAHA DÜŞÜK DAYANIMLI NUMUNE SAYISI = 11
 ORTALAMA HEDEF DAYANIM = $F_{ckp} + 1.645 \cdot SD = 511$
 ORTALAMA HEDEF DAYANIM = $F_{ckp} + 1.282 \cdot SD = 498$
 ÜRETİM KARAKT. DAYANIMI = $F_{cort} - 1.645 \cdot SD = 479$
 ÜRETİM KARAKT. DAYANIMI = $F_{cort} - 1.282 \cdot SD = 492$
 ORAN = $F_{cort7} / F_{cort28} = 0.82$
 ORTALAMA DAĞILIM ARALIĞI = 28
 $(1 - (F_{ckp} + 1.645 \cdot SD) / F_{cort28}) \cdot 100 = 5.3$
 $(1 - (F_{ckp} + 1.282 \cdot SD) / F_{cort28}) \cdot 100 = 7.8$
 $(1 - (F_{ckp} + 100) / F_{cort28}) \cdot 100 = -1.8$
 $(1 - (F_{ckp} / F_{cku1})) \cdot 100 = 6.0$
 $(1 - (F_{ckp} / F_{cku2})) \cdot 100 = 8.6$
 DENEY İÇİ STANDARD SAPMA = 6
 DENEY İÇİ DEĞİŞİM KATSAYISI = 1
 FCK'DAN KÜÇÜK SETLERDE % FARKLARIN EN BÜYÜĞÜ = 25.6
 FCK'DAN KÜÇÜK SETLERDE % FARKLARIN EN KÜÇÜĞÜ = 4.0
 FCK'DAN KÜÇÜK SETLERDEN FARKLARI %20 Yİ AŞANLARIN SAYISI = 2
 FCK'DAN KÜÇÜK SETLERİN FARKLARI %20 Yİ AŞANLARIN SİRASII = 457 459



* = KARAKTERİSTİK DAYANIM = 450
 # = ORTALAMA - $1.645 \cdot SD = 478.8$

& = ORTALAMA - $1.282 \cdot SD = 492.4$



izlenmeli ve gerekiyorsa daha ekonomik yeni mix dizaynlarla üretime devam edilmelidir.

3.2.6 Karşılaşılan Sorunlar

Gerek müteahhit ve mühendisin sorumlu teknik elemanlarıyla yapılan görüşmelerden, gerekse yapılan anket çalışmasının değerlendirilmesinden karşılaşılan en önemli sorunlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Kullanılan çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki aşırı değişkenlik nedeniyle çok sayıda mix dizayn yapma zorunluluğunun doğması ve daha ekonomik üretim için karar vermede çimentoya güven duyulamaması ve zaman zaman çok az da olsa dayanım yönünden teknik şartname kriterlerinin gerçekleştirilmesinde güçlük çekilmesi.
2. Kullanılan beton üretim teknolojisinin kapasitesi ve taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ekipmanının kapasitesi ile üretim miktarı paralelliği sağlanmaya çalışılırken; çoğu kez çimento fabrikasından alınmış ve sıcaklığı henüz 60 - 90 °C arasında olan çimentoların kullanılma zorunluluğu nedeniyle özellikle yaz koşullarında taze beton sıcaklığının teknik şartname sınırlarını zorladığı ve uygunluk için karma suyuna buz katma, üretimi yavaşlatma, çimento silolarını beyaza boyama v.b. hem ekonomik olmayan hem de uygulama güçlükleri doğuran sorunlarla karşılaşılması.
3. Nitelikli ara insan gücündeki sayısal yetersizlik nedeniyle teknik personelin zaman zaman gerçek amaçlarının dışında kullanıma zorlanması.

4. SONUÇ

Yapılan istatistiksel çalışmanın değerlendirilmesinden; üretim koşullarının bilinmediği durumlarda, TS500'ün BS 35 [28] ve daha yüksek dayanımlı betonlar için öngördüğü $\Delta f=8$ MPa'a karşılık gelen yaklaşık 6.3 MPa'lık bir standard sapma ve değişim katsayısı $\%15$ 'i geçmeyen bir üretimin; otoyol üretim koşullarında gerçekleştirilmesinin hiçte zor olmadığı ortaya çıkmaktadır. Dahası, bilinçli ve işi ciddiye alan bir anlayışla bu kriterleri rahatlıkla gerçekleyen daha ekonomik üretimler bile gerçekleştirilebilir.

Kalite kontrol ve denetime istatistiksel yaklaşım hem yapı güvenliği yönünden anlamlı, hemde üretimin hangi düzeyinde, aksayan hangi yöne ne tür bir müdahale yapılması gerektiği konusunda uyarıcıdır.

5. TEŞEKKÜR

İstatistiksel çalışmanın yapılabilmesi için gerekli data-ların temininde ve otoyol beton üretim koşullarının belirlenmesine ilişkin anket çalışmasına içtenlikle yardımcı olan ve emeği geçen müteahhit, mühendis firma sorumlu teknik eleman ve teknisyenlerine, Karayolları kontrol başmühendisliği personeline ve laboratuvarımızdaki tüm teknik ve sanat sınıfı personele içtenlikle teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Multi-Talented Microsilica, by Robert Lewis, Elkem Materials, High Wycombe, England, Construction Technology International, 1990
2. The State of the Art of High-Strength Concrete in Chicago, Concrete International, January - 1990
3. Condensed Silica Fume in Concrete, FIP State of the Art Report. Thomas Telford, London
4. Russel H.G. High-Strength Concrete in North America. Utilization of High Strength Concrete Proceedings. Symposium in Stavanger, Norway 1987 Tapir, pp 561-572
5. High Strength Concrete, FIP/CEB State of the Art Report, Bulletin d'Information No 197, 1990
6. Properties of Concrete, A.M. Neville, 1986
7. Smadi, State, Nilson: "High Medium and Low Strength Concretes Subjected to Sustained Overloads-Strains, Strengths and Failure Mechanisms, ACI-Journal Sept: Oct: 1985
8. Ersoy Uğur "Beton ve Betonarme I", 1987- İstanbul- Turkey.
9. B. Foure: 'Resistance potentielle a' Long-terme du beton soumis a' une contrainte soutenue' Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, N°435. June-1985
10. B. Foure: 'Etude Experimentale de la resistance du Beton sous contrainte soutenue' Annales de l' Institut Technique du Batiment et Travaux Publics, N°435, June 1985.
11. Smeplass S., Justnes H., Sellevold E.J., Ronning T Results from Norwegian research project 'Materialutvikling Høyfast Betong', to be reported. Report Available from the Cement and Concrete Research Institute, Trondheim Medio, 1990
12. State-of-the art-report on High Strength Concrete. Reported by ACI Committee 363, ACI Journal July-August 1984, pp 363-411.
13. Carrasquillo, Slate, Nilson: Properties of High Strength Concrete Subjected to Short-Term Loading. ACI-Journal May-June 1981.
14. Norwegian Standard NS3473, Concrete Structures, Design Rules, 1989
15. Thorenfeldt: Lettog høyfast Betong. Arbeidsdiagrammer. Strekkfasthet. Kursdagene ved NTH 1986.
16. Ahmad, S., Shah, S. P.: High Strength Concrete- A Review. First Symposium on Utilization of High Strength Concrete, Stavanger 1988.
17. Tomaszewicz, Jenson: Høyfast betong. Delrapport S. Pilotforsøk med kryp i høyfast betong. SINTEF report STF65 A 85006.
18. Ahmad, S.H., Shah, S.P.: Behaviour of hoop Confined Concrete under High Strain Rates. Journal of ACI, Sept.-Oct. 1985.
19. Helland: 'High Strength Concrete Used in Highway Pavements', Second Int. Symposium on the Utilization of High Strength Concrete, Berkeley California- May 1990
20. Carrasquillo: Effect of Using Unbonded Capping Systems on Compressive Cylinders, ACI Materials Journal May-June 1988
21. British Standard (BS) 1881: Part 120: 1983
22. Concrete Society Technical Report No: 11, 1976

23. Beton Karışım Oranları Tayin Rehberi, Teknik Araş. Dai. Bşk. Malz. Lab. Şb. Md. Ocak 1990.
24. Bayazıt Ö. Lütü, 'Beton ve Deneyleri', DSİ-1988
25. Postacıoğlu Bekir, Yapı Malzemesi Esasları, İTÜ 1966.
26. Smeplass: 'Research Results Concerning the Properties of High Strength Concrete' Darmstadt Concrete, Vol. 5-1990.
27. Smeplass: 'High Strength Concrete. SP4 -Material Design. Report 4.4 Mechanical Properties- Normal Density Concrete' STF65 F8 9020- FCB -SINTEF 7034 Trondheim, Norway.
28. TS 500 "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", Nisan- 1984