

HAZIR BETONDA HIZLANDIRILMIŞ DAYANIM DENEYLERİ İLE KALİTE DENETİMİ

Şenel ARTIRMA
Kalite Kontrol Müd.
NUH Hazır Beton

M. Hulusi ÖZKUL
Doç. Dr.
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖZET

Betonda erken dayanım belirlenmesi için uygulanan hızlandırılmış dayanım deneylerinden "sıcak su yöntemi" ele alındı. Agrega karışım oranı ve cinsi sabit tutulan betonlarda su/çimento oranı değiştirilerek geniş bir aralıkta dayanım değerlerine sahip betonlar üretildi. Hızlandırılmış dayanım ile 28 günlük standard kürlü beton dayanımı arasındaki ilişki üzerine çimento cinsinin (Portland Çimentosu, Katkılı Çimento ve Traslı Çimento) ve dozajının (300 kg ve 350 kg) etkisi incelendi.

1. GİRİŞ

TS 500 "Betonarme Yapıların Yapım Kuralları" Standardı beton dökümü sırasında alınan örneklerin 20°C sıcaklıktaki su içinde saklanıp 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmesini öngörür. Standard deney yöntemi olarak adlandırılan bu uygulamanın en önemli eksik yanı sonuç alınana dek 28 gün bekleniyor olmasıdır. Hazır beton üretim ve iletimindeki gelişmeler, yatay ve düşeyde ulaşılan pompalama uzaklıkları gözönüne alınırsa,

beton kalitesinin belirlenmesi için geçen sürede çok önemli miktarlarda beton dökümü gerçekleştirilmiş olur. Bu süre sonunda elde edilen dayanım değeri amaçlanan sınıf dayanımına ulaşamaz ise önlem almak için geç kalınmış olur; tersi durumda, yani gereğinden yüksek dayanıma erişilmiş ise, geçen sürede ekonomik olmayan bir şekilde üretim yapılmış olur. Olası her iki durum ile üretimi izleyen kısa bir süre içinde karşılaşırsa gerekli önlemler hemen alınabilir.

Öte yandan, projede öngörülenin altında beton dayanımları ile karşılaşıldığında betonun sökülmesi gerekiyorsa henüz tam olarak sertleşmemiş, örneğin 1-2 günlük betonu sökmek çok daha kolaydır.

İşte, yukarıda belirtilen durumlarda betonun kısa süre içinde 28 günlük dayanımını, diğer bir deyişle potansiyel dayanımını kestirebilmek için güvenilir bir yöntem gerektirir. Normal kür koşullarında saklanmış normal dayanımlı betonların ilk 1-2 günlük dayanımları bu iş için yeterli olmamaktadır; çünkü bu yaşlardaki betonlar dış koşullardan çok etkilenmekte, özellikle kürdeki küçük farklılıklar sonuçları büyük oranda değiştirmektedir [1]. Ayrıca elde edilen dayanımın, 28 günlük standard kürlü dayanımın çok küçük olmayan belirli bir oranına erişmiş olması gerekir. Bu durumlara yanıt verebilecek çözüm olarak "yüksek sıcaklıkta hızlandırılmış kür yöntemleri" aklı gelmektedir.

1.1. HIZLANDIRILMIŞ DAYANIM DENEY YÖNTEMLERİ

Hızlandırılmış dayanım deneylerinde temel olarak iki yaklaşım vardır: Birincisi kür sıcaklığı göreceli olarak düşük tutulur ve alınan beton örneklerine bekletilmeden kür uygulanır. İkinci yöntemde ise daha yüksek kür sıcaklığı söz konusudur, ancak bu sıcaklık uygulanmadan önce betonun "ön bekleme"den geçmesi gerekir.

ASTM C 684-81 3 ayrı hızlandırılmış kür yöntemi önermektedir. Benzer yöntemler TS 3323 "Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi" standardında da benimsenmiştir.

1. Sıcak Su Yöntemi:

Betondan alınan silindirik örnekler kalıp içinde üstleri kapatılmış durumda 35°C sıcaklıktaki su içine konur. 24 saat içinde sudan çıkarılıp başlık yapılarak kırılır. Uygulama düzeni basit olan ve 25 saat içinde sonuç alınabilen bu yöntemde hızlandırılmış dayanımlar fazla yüksek değildir ve uygulama için laboratuvar gerekir.

2. Kaynar Su Yöntemi:

Beton örnekler 21°C'de nemli ortamda 24 saatlik bir ön beklemeden sonra 3.5 saat kaynar su (100°C) içinde tutulur. İzleyen 1 saat içinde başlık yapıp kırılır; böylece toplam 28.5 saat sonunda sonuç alınabilir. Elde edilen dayanım değerlerinin 28 günlük standard kür sonuçlarına daha yakın olması, ayrıca beton numunelerinin hızlandırılmış kür için bir merkez laboratuvarına iletilebilme kolaylıkları üstünlükleri olarak sayılabilir. Ancak, yüksek sıcaklıkta oluşan hidrasyon ürünlerinin normal kür altında oluşarlardan farklı olabileceği belirtilmiştir [2].

3. Kendiliğinden Kür Yöntemi:

Beton, dökümü izleyen 48 saat süre ile yalıtılmış bir halde tutulur ve başlık yapılarak toplam 49 saatlik iken kırılır. Bu yöntem, çimentonun hidrasyonu sırasında ortaya çıkan ısının beton içinde tutularak bir tür kür uygulanması temeline dayanır. Gerçekleştirilmesi için herhangi bir laboratuvar ve dış enerji kaynağı gerektirmemekle birlikte, bu yöntem diğer iki yöntemden daha az güvenirlidir ve elde edilen dayanım değerleri fazla yüksek değildir.

Öte yandan İngiliz BS 1881:Part 112:1983 "Testing of Concrete" standardı 3 hızlı kür yöntemi önermektedir. Bunlardan birincisi ASTM standardındaki gibi 35°C sıcaklıkta 24 saat kür uygulamaya dayanır. İkinci yöntem 20°C'de 1' saat ön beklemeden sonra 55°C'de 20 saat tutulan örneklerin 1-2 saat süre ile 20°C sıcaklıktaki su içinde soğutularak kırılmasını önerir. Son yöntem ise, 1 saat 20°C'de ön bekleme, sonra su içinde 2 saat süre içinde sıcaklığı 82°C'ye çıkarılan örnekleri bu sıcaklıkta 14 saat bekletme ve izleyen 1 saat içinde basınç deneyi uygulamadan oluşur.

Kanada'da uygulanan yöntemde ise, önce beton Proctor aleti ile ölçülen belirli bir dayanıma ulaşana dek bekletilir, sonra 16 saat süre ile kaynar su içinde tutulur, izleyen 1 saat içinde de başlık yapıp kırılır.

Burada sunulan çalışmada, yukarıda sözü edilen ve Türkiye ve değişik ülkelerin standartlarında yer alan 35⁰C'deki "Sıcak Su Yöntemi" uygulandı. Yurdumuzda yaygın olarak kullanılan 3 tip çimento (PÇ, KÇ ve TÇ) iki ayrı dozajda (300 ve 350 kg) kullanılarak 28 günlük basınç dayanımı ile hızlandırılmış dayanımlar arasında ilişki arandı.

Diğer yandan, hızlandırılmış kür yönteminin 28 günlük dayanımların tahmini yanında kendi başına bir "kalite denetimi" aracı olarak kullanılma olanağı tartışılmaktadır [1,2]. Bu açıdan, "28 günlük standard kür yöntemi" kadar "Hızlandırılmış kür yöntemi"nin de betonun son dayanımı (potansiyel dayanım) hakkında bilgi verebileceği belirtilmektedir. Bu bağlamda, Kanada'da tarafların anlaşmaları koşulu ile hızlandırılmış kür yönteminin bir "beton kabul ölçütü" olarak alınabilmesi yolu açılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. MALZEMELER

Beton üretiminde kalker kökenli 1 ve 2 numaralı kırmataş ile yıkandıktan sonra kırılmış kırma kum ve ayrıca podima kumu kullanıldı. Agrega karışımının granülometrik bileşimi Tablo I'de verilmiştir.

TABLO I. Beton Üretiminde Kullanılan Agrega Karışımının Granülometrik Bileşimi

| | Elekten Geçen Malzeme (%) | | | | | | | |
|-------------------|---------------------------|----|----|----|----|----|-----|------|
| Elek boyutu (mm): | 20 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | 0.5 | 0.25 |
| | 100 | 80 | 48 | 37 | 30 | 25 | 17 | 4 |

Çimento olarak Nuh Çimento Fabrikası üretimi PÇ 42.5, KÇ 32.5 ve TÇ 32.5 kullanıldı. Bu çimentoların kimyasal bileşimleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo II'de

gösterilmiştir. Çimento dozajı birinci seri betonlarda 300 kg, ikinci seride ise 350 kg'da sabit tutuldu. Su/çimento oranı 0.40 ile 0.65 arasında %5 değiştirilerek seçildi. Böylece sabit dozajda ve çimento tipinde, farklı su/çimento oranlarında her bir gruptan 6'şar adet olmak üzere toplam 36 adet karışım üretildi. PÇ'li serilerde yapılan ekler ile birlikte karışım sayısı 40'a çıkarıldı.

TABLO II. Deneylerde Kullanılan Çimentoların Özellikleri

| Kimyasal bileşim (%) | PÇ 42.5 | KÇ 32.5 | TÇ 32.5 | |
|---|---------|---------|---------|------|
| Çözünmeyen kalıntı | 0.52 | 11.69 | 19.93 | |
| SiO ₂ | 22.22 | 20.08 | 17.32 | |
| Al ₂ O ₃ | 3.59 | 5.70 | 7.02 | |
| Fe _e O ₃ | 4.39 | 4.06 | 4.00 | |
| CaO | 63.77 | 52.25 | 46.71 | |
| MgO | 2.06 | 1.99 | 1.48 | |
| SO ₃ | 2.20 | 2.38 | 2.22 | |
| Kızdırma kaybı | 1.10 | 2.33 | 3.11 | |
| Serbest CaO | 0.82 | 0.83 | 0.61 | |
| Fiziksel özellikler | | | | |
| Özgül ağırlık (kg/m ³) | 3170 | 2900 | 2860 | |
| Blaine özgül yüzey (cm ² /g) | 3218 | 3741 | 3846 | |
| 0.030 mm elek üstü (%) | 26 | 34 | 35 | |
| 0.090 mm elek üstü (%) | 0.3 | 1.2 | 1.4 | |
| Priz başlama (saat-dak.) | 3-15 | 2-40 | 2-45 | |
| Priz son (saat-dak.) | 4-00 | 3-50 | 3-45 | |
| Mekanik özellikler (MPa) | | | | |
| Eğilme dayanımı | 2 gün | 6.1 | 4.5 | 3.6 |
| | 7 gün | 7.5 | 6.3 | 5.4 |
| | 28 gün | 9.0 | 8.1 | 7.3 |
| Basınç dayanımı | 2 gün | 34.8 | 22.4 | 17.1 |
| | 7 gün | 48.3 | 35.1 | 28.4 |
| | 28 gün | 60.6 | 52.2 | 41.9 |

Örnek olmak üzere su/çimento oranı 0.50 olan 300 kg ve 350 kg dozajlı PÇ, KÇ ve TÇ ile üretilen betonların bileşimleri Tablo III'de verilmiştir.

TABLO III. Deneylerde Kullanılan Tipik Beton Bileşimi (su/çimento = 0.50 için)

| 1 m ³ 'e Giren Malzeme Miktarları (kg) | | | | | | | |
|---|---------|-----|----------|-------------|-----------|------------|-------------|
| Çimento cinsi | Çimento | Su | Katkı(*) | Podima kumu | Kırma kum | Kırmataş I | Kırmataş II |
| PÇ | 300 | 150 | 1.25 | 490 | 392 | 392 | 686 |
| | 350 | 175 | 1.48 | 450 | 375 | 375 | 677 |
| KÇ | 300 | 150 | 1.25 | 489 | 391 | 391 | 683 |
| | 350 | 175 | 1.48 | 457 | 377 | 377 | 680 |
| TÇ | 300 | 150 | 1.25 | 491 | 393 | 393 | 686 |
| | 350 | 175 | 1.48 | 459 | 379 | 379 | 683 |

(*) Linyosülfonat esaslı akışkanlaştırıcı

2.2. YÖNTEM

TS 3323 ve ASTM 684'de önerilen 35°C sıcaklıkta "sıcak su yöntemi" hızlandırılmış kür olarak uygulandı. Beton 15x15x15 cm'lik küp kalıplara yerleştirildikten sonra üzerleri kapatılarak termostatlı ısıtıcı yardımıyla sıcaklığı 35°C'de sabit tutulan su dolu kür tanklarına konuldu ve bu sıcaklıkta 24 saat tutuldu. Bu süre sonunda tanktan çıkarılan beton örneklerin 1 saat içinde basınç dayanımları belirlendi. Her bir beton karışımından alınan 3'er adet hızlandırılmış kür örnekleri dışında 7 ve 28 günlük dayanımları belirlemek amacıyla 6'şar küp örnek ayrıldı. Bu betonlar deney gününe dek 20°C sıcaklıkta (standard kür) su içinde saklandı.

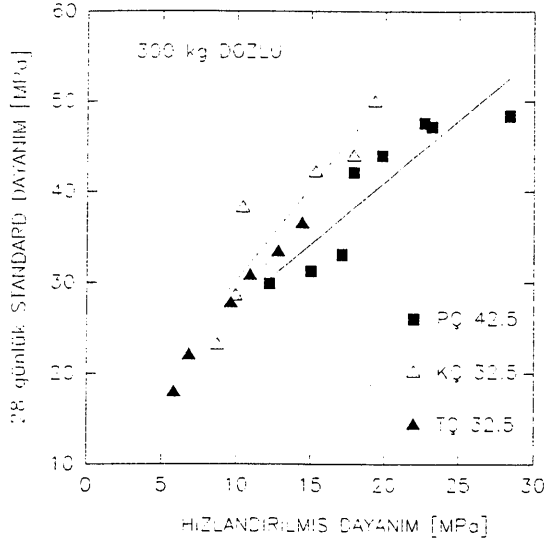
3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Şekil 1'de 300 kg dozlu PÇ 42.5, KÇ 32.5 ve TÇ 32.5 çimentoları ile üretilen betonların hızlandırılmış dayanımları ile 28 günlük standard kürlü dayanımları arasındaki ilişkiler görülmektedir. Her cins çimento için noktalar arasından en küçük kareler yöntemi ile doğrusal bağıntı eğrileri geçirilmiş, bu bağıntılar ve korelasyon katsayıları Tablo IV'de verilmiştir. KÇ ve TÇ için doğruların eğimleri birbirlerine yakındır, ancak y eksenini kestikleri noktaların merkeze olan uzaklıkları farklıdır. PÇ çimentosu ile üretilen betonlara ait doğrunun eğimi ise diğer ikisinden belirgin biçimde küçüktür, ayrıca noktalar sağa doğru ötelenmiştir. Bunun anlamı, uygulanan hızlandırılmış kürün PÇ ile üretilen betonlarda daha etkili olduğu, dolayısıyla yüksek hızlandırılmış dayanım değerleri elde edilebildiğidir. 300 dozlu her üç seri betonda (hızlandırılmış dayanım/standard dayanım) oranları hesaplanmış ve ortalama değerler olarak PÇ için 0.48, KÇ ve TÇ için 0.36 ve 0.35 değerleri bulunmuştur; bu oranlar da hızlandırılmış kürün PÇ'li betonların potansiyel dayanımlarını daha büyük oranda açığa çıkardığını göstermektedir

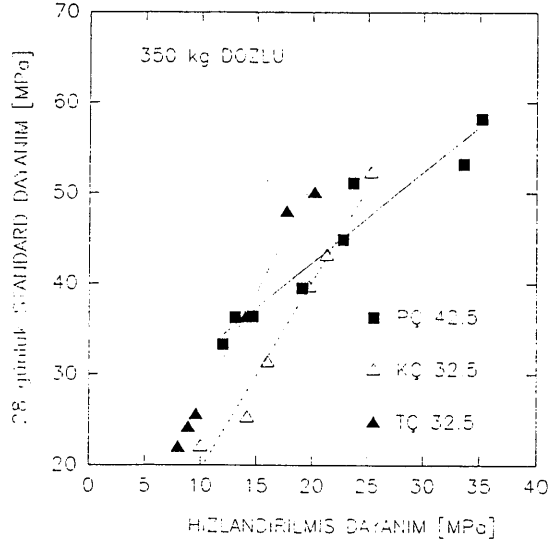
TABLO IV. Hızlandırılmış ve Standard Kürlü Dayanımlar Arasındaki Doğrusal İlişkiler

| Beton cinsi | Bağıntı | Korelasyon Katsayısı |
|-------------|----------------------|----------------------|
| PÇ/300 | $y = 13.75 + 1.37 x$ | 0.90 |
| PÇ/350 | $y = 22.40 + 1.00 x$ | 0.97 |
| KÇ/300 | $y = 9.91 + 2.04 x$ | 0.92 |
| KÇ/350 | $y = -1.28 + 2.08 x$ | 0.99 |
| TÇ/300 | $y = 7.11 + 2.08 x$ | 0.99 |
| TÇ/350 | $y = 2.41 + 2.42 x$ | 0.99 |
| KÇ+TÇ | $y = 9.27 + 1.80 x$ | 0.90 |

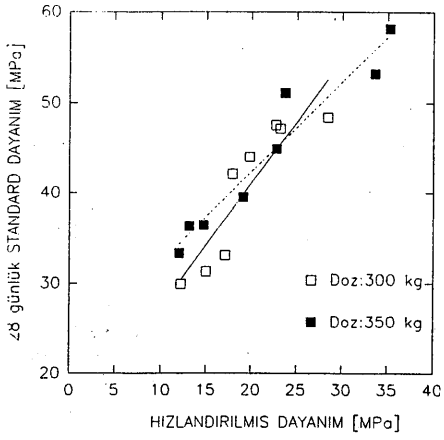
Şekil 2'de 350 kg dozlu betonlara ait sonuçlar yer almıştır. Burada da PÇ'li betonlara ait noktalar arasından geçirilen regresyon doğrusunun eğimi KÇ ve TÇ'liklerden belirgin şekilde küçüktür. (Hızlandırılmış dayanım/standard dayanım) oranları PÇ'li betonlarda değişmemiştir (0.48), ancak KÇ'li betonlarda dozajın 350 kg'a çıkması ile birlikte oran 0.50'ye yükselmiştir. TÇ'li betonlarda ise orandaki değişim önemsizdir (0.38). Şekil 3'de her



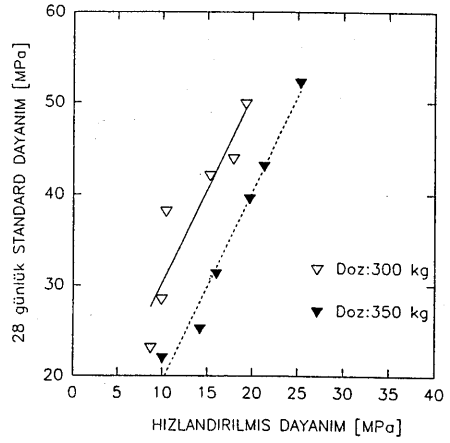
Şekil 1. 300 dozlu betonlarda hızlandırılmış dayanım-standard dayanım ilişkileri



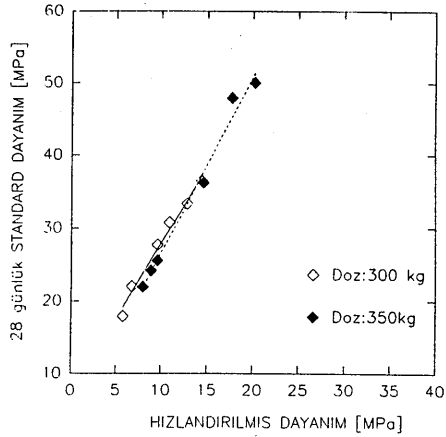
Şekil 2. 350 dozlu betonlarda hızlandırılmış dayanım-standard dayanım ilişkileri



(a)



(b)

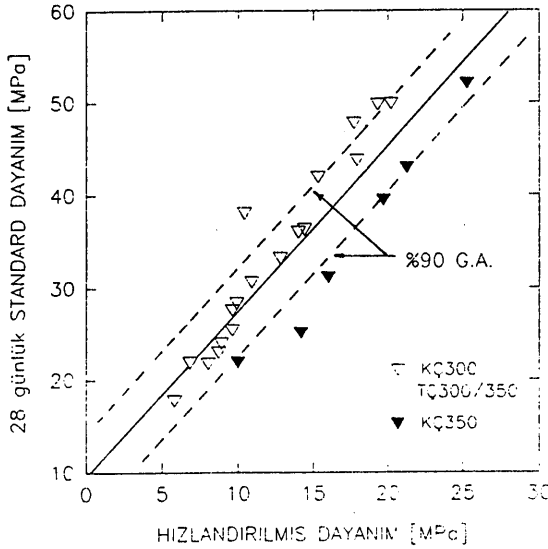


(c)

Şekil 3. Hızlandırılmış dayanıma çimento dozajı etkisi: (a) PÇ'li, (b) KÇ'li, (c) TÇ'li betonlar için

3 cins çimento ile üretilen betonlarda iki farklı dozaj için değişim aynı grafikte verilmiştir. PÇ ve TÇ'li betonlarda her iki dozaja sahip noktaların kendi içindeki dağılımı birbirine benzer özellikler göstermektedir. KÇ'li betonlarda ise dozajın artması ile birlikte noktalar sağa doğru ötelenmiştir; bu durum hızlandırılmış kürün, KÇ'li betonlarda yüksek dozajlarda daha etkili olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Lamond [9] Tip II çimentosu ve değişik oranlarda puzolan içeren betonlara ait sonuçları bir arada değerlendirmiştir; bu nedenle bu çalışmada da farklı oranlarda doğal puzolan içeren KÇ ve TÇ'li betonların bir arada ele alınması düşünülmüştür. Şekil 4'de 300 ve 350 kg'lık dozajlara sahip KÇ ve TÇ ile üretilmiş beton sonuçları bir arada verilmiştir. Aynı şekil üzerinde %90 güvenli alt ve üst sınırlarda gösterilmiştir. ± 4.7 MPa olarak bulunan güvenlik aralığı normal ve yüksek dayanımlı betonlar için bulunan değerlerle uyumludur [4,6].



Şekil 4. 300 ve 350 kg dozajlı KÇ ve TÇ'li betonlara ait sonuçlar

Bu çalışmada PÇ 42.5 çimentosu ile üretilen her iki dozadaki betonlar için çıkarılan regresyon doğrularının eğimleri 1.00'e yakın değerler almıştır. KÇ ve TÇ ile üretilen

betonlarda ise doğrusal bağıntıların eğimleri 2.00'ye daha yakındır. Benzer sonuçlar literatürde de elde edilmiştir [5,6,9]. KÇ ve TÇ'li iki ayrı dozajdaki tüm sonuçları bir arada ele alan Şekil 4'de verilen doğrusal ilişki Lamond'un [9] puzolanlı çimentolar için bulunduğu bağıntıya çok yakındır.

4. SONUÇ

35°C sıcaklıkta uygulanan hızlandırılmış dayanım deney sonuçları ile 28 günlük standard beton dayanımlarını kestirmek amacıyla geliştirilen ilişkiler üzerine çimento cinsinin puzolanlı oluşunun etkili olduğu görülmüştür. Normal portland çimentoları (PÇ 42.5) ile üretilen betonlarda dayanımlar arası doğrusal ilişkinin eğimi 1.00 değerine daha yakın kalırken, puzolanlı çimentolarda (KÇ ve TÇ) aynı eğim 2.00 civarında değerler almaktadır. Ayrıca KÇ'li betonlarda çimento dozajının da ilişkiyi etkilediği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. NEVILLE, A.M. and Brooks, J.J., Concrete Technology, Longman Group UK Ltd., 1987.
2. Malhotra, V.M., "Accelerated Strength Testing: Is it a Solution to a Concractor's Dilemma?", Concrete International, 3,11,1981, pp.17-21.
3. TAŞDEMİR, M.A ve Atan, Y., "Beton Mukavemetinin Hızlı Deneylerle Kontrolü", İ.M.O. Türkiye İnşaat Müh. 6. Teknik Kongresi, İstanbul, 1974, Konu 4, s.1-17.
4. ÖZTEKİN, E., "Accelerated Strength Testing of Pozzolan Cement Concretes by the Warm Water Method", ACI Material J., 84, 1987, pp.51-54.

5. KURBETCİ, Ş., Beton Basınç Dayanımının Erken Tahmininde Kullanılan Standard Sıcak Su Yönteminin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, KTÜ, 1993.
6. KURBETCİ, Ş. ve Öztekin, E., "Yüksek Dayanımlı Betonlara Hızlandırılmış Kür Uygulanması", Teknik Dergi, 5,3, 1994, s.825-32.
7. AKMAN, S., "Yüksek Performanslı Betonların Basınç Dayanımlarının Erken Tahmini", Teknik Dergi, 4,2,1993, s.675-80.
8. SEVGÜL, T., "Beton Dayanımının Erken Tahmini", Hazır Beton Sempozyumu, Y.E.M., Şubat 1992.
9. LAMOND, J.F., "Accelerated Strength Testing by the Warm Water Method", ACI J. Proceed, 76,4,1979, pp.499-512.