

BETON DAYANIMININ ERKEN KESTİRİMİ

ABSTRACT

The present trend in the construction industry is to cast concrete at a very fast rate. By the time cylinders (or cubes) are cured under standard conditions and tested at 28 days, irrecoverable or very costly damage may have been done. To be able to control the quality of concrete produced at site and take the necessary actions "in time", the 28 days strength should be predicted at an early age. Based on tests of cubes at 7 and 28 days, statistical relationships are derived for predicting the 28 day strength of concrete from 7 day strengths, and compared with those available in the literature. The best fitting statistical model was a power model of the type.

$$f_{28} = A f_7^B$$

in which f_{28} and f_7 are the 28-day and 7-day strengths, respectively, and A and B are regression constants.

It is also possible to use maturity relationships for predicting concrete strengths at ages other than 28 days, based on 28-day strengths and maturity. A practical application example is also presented.

It is concluded that the 28-day compressive strength of concrete can be predicted from its 7-day strength accurately, and that the ratio f_7/f_{28} increases with increasing f_7 under constant curing temperature. It is shown that such knowledge can be used for practical construction decisions such as removal of forms and application of post-tensioning.

1. GİRİŞ

Günümüzde yapı endüstrisinde çok hızlı beton dökme eğilimi hakimdir. Günde 400 m³'ü geçen rakamlara rastlanabilmektedir (Date ve Schnor-

meier, 1985). Deney küp veya silindirleri standart kür şartları altında 28 gün bekletilip kırılıncaya kadar geri dönüşü olmayan veya geri dönüşü çok pahalı olacak işler yapılmış olabilir. Şantiyede üretilen betonun kalitesini kontrol edebilmek ve gerekli önlemleri "zamanında" alabilmek için 28 günlük dayanımın erken kestirilebilmesi gereklidir. Bu bilgiyi edinmenin yolu hızlandırılmış kür uygulamasıdır. Ancak hızlandırılmış kürün her şantiyede uygulanma imkanı bulunamayabilir. Bu çalışmada betonun 28 günlük dayanımını 7 günlük dayanımından kestirebilmek için regresyon ilişkileri sunulmuştur.

2. VERİLER

Çalışmada kullanılan veriler Yapı Merkezi İnşaat ve Sanayi A.Ş.'nin çeşitli şantiyelerinden ve Yapı Merkezi APP'nin Paşaköy fabrikasından alınan 15 cm ve 20 cm.'lik küplerin laboratuvarında kırılmasıyla elde edilmiştir. Küpler 7 gün şantiyede 23 ± 1.7 °C'de, su içinde tutulmuş, sonra Yapı Merkezi beton laboratuvarına getirilmiştir. Küplerden biri 7 günlük iken kırılmış, ikisi 23 ± 1.7 °C suda bekletilerek 28 günlük iken kırılmıştır. Küp dayanımlarından NEVİLLE (1977)'de verilen geçiş katsayıları kullanılarak silindir dayanımları bulunmuştur. Bu değerler Şekil 1'de gösterilmiştir. Kullanılan betonların bazı özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Su/Çimento oranı : 0.45 - 0.65 (ağırlıkça)
- Çimento dozajı : 300-420 kg/m³
- Normal Portland Çimentosu
- Çökme : 70-160 mm
- Pompalanabilir

Veriler hakkında daha fazla bilgi ARIOĞLU, ODBAY, ALPER (1993)'te bulunabilir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Toplam 116 nokta kullanılarak yapılan regresyon analizlerinde denenen çeşitli modellere ait büyüklükler, literatürde rapor edilen belli başlı mo-



Prof. Dr. **ERGİN ARIOĞLU** (47)

İTÜ Maden Fakültesi'nden 1969 Haziran döneminde Maden Y. Müh. olarak mezun oldu. Aynı üniversitenin maden mühendisliği bölümü'nde öğretim üyesi olarak akademik çalışmalarını sürdüren Prof. ARIOĞLU'nun toplam 10 adet (3'ü yabancı dilde; İngilizce, İspanyolca, Farsça) telif kitabı, 200'ü aşkın bildiri ve makalesi çeşitli bilimsel ve teknik kongre kitaplarında ve dergilerinde yayımlanmıştır. İTÜ Dergisinin Yayın kurulu Üyesidir.



Doç. Dr. **HÜSAMETTİN ALPER** (47)

1970 Yılında Robert Kolej İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olan Dr. ALPER, 1983 yılında Boğaziçi Üniversitesi'nde Doçent ünvanını aldı. Halen Yapı Merkezi Araştırma Geliştirme Bölümünde "araştırma mühendisi" olarak çalışmaktadır. 20 adet çeşitli teknik ve bilimsel dergilerde yayımlanmış makalesi ve bildirisi mevcuttur.



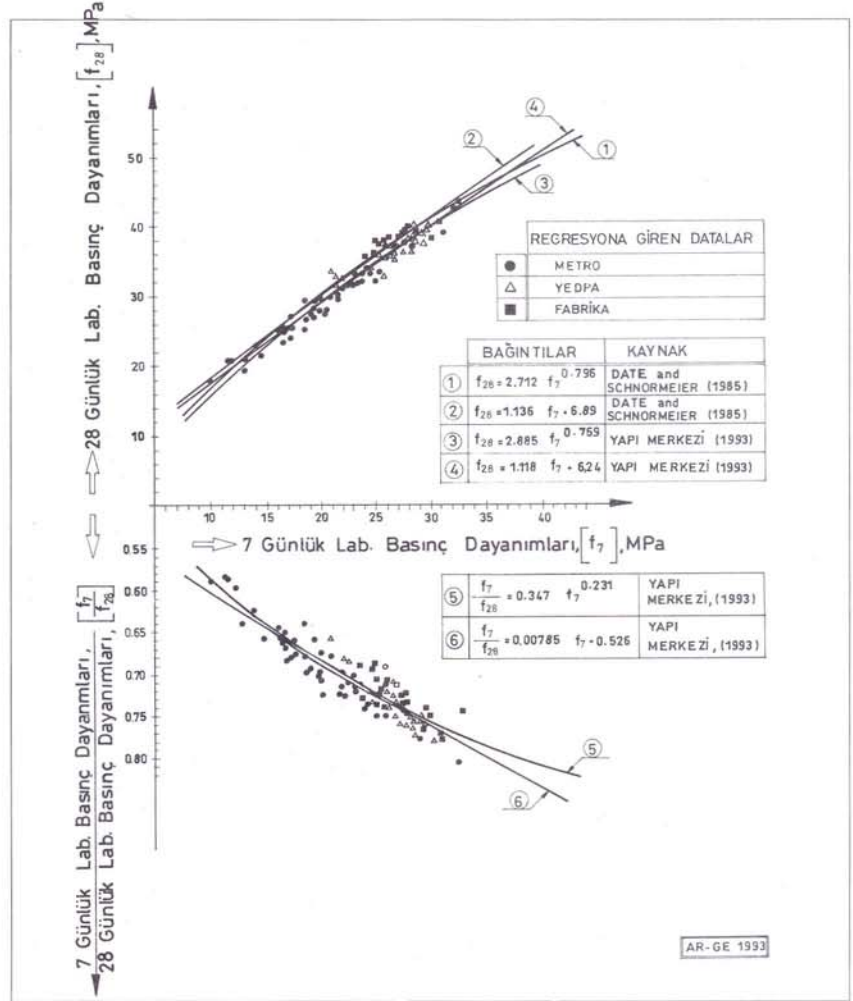
OĞUZHAN ODBAY (23)

1991 yılı yaz döneminde İTÜ İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Yapı Merkezi Araştırma ve Geliştirme Bölümü'nde Kalite Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Kendisinin diğer yazarlarla birlikte yayımlanmış 10'un üzerinde çalışması vardır.

deller ile birlikte Çizelge.1'de topluca gösterilmiştir. Şekil 1'de ise elde edilen regresyon bağıntılarının değişimleri çizilmiştir. Şekil 1'de ayrıca beton teknolojisinin temel büyüklüklerinden biri olan " f_7/f_{28} " oranının 7 günlük laboratuvar basınç dayanımı ile değişimleri sunulmuştur. Çizelge 1 ve Şekil 1 yakından incelendiğinde şu gözlemler ön plana çıkmaktadır.

- 7 günlük basınç dayanımı ile 28 günlük basınç dayanımı arasında çok anlamlı bir regresyon mevcuttur. Söz konusu istatistiksel ilişki en iyi üstel model ile ifade edilmiştir (Çizelge 1, bağıntı 3).
- Yapı Merkezi datalarına dayandırılan bağıntılar, literatürde (Date ve Schnormeier 1985; Oluokun, Burdette ve Deatherage 1990*) tarafından teklif edilen $f_{28} = f(f_7)$ ifadeleriyle çok iyi uyum içindedir. Ayrıca, üstel modeldeki üs değerlerinin pratik olarak aynı değerleri alması dikkat çekicidir.
- 7 günlük / 28 günlük dayanım oranları " f_7/f_{28} " sabit olmayıp değeri sabit kür sıcaklığı için 7 günlük basınç dayanımı düzeyine hassas biçimde bağlıdır.

* OLUOKUN, BURDETTE VE DEATHERAGE (1990) kaynağında $f_{28} = 2.890 f_7^{0.774}$ [MPa] olarak verilmiştir.



ŞEKİL 1. Normal Ağırlıklı Betonlar İçin Geliştirilmiş [7 Günlük Basınç Dayanımı - 28 Günlük Basınç Dayanımı] Regresyon İfadeleri (Ø 15x30 cm Silindir Numune)

Çizelge-1. 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımları Arasındaki İstatistiksel Bağıntılar

KAYNAK	BAĞINTI	n	A	B	r
DATE & SCHNORMEIER (1985)	1 $f_7/f_{28} = A.f_7^B$	305	2.712	0.796	0.994
	2 $f_{28} = A.f_7 + B$	305	1.136	6.888	0.996
YAPI MERKEZİ (1993)	3 $f_{28} = A.f_7^B$	116	2.885	0.769	0.974
	4 $f_{28} = A.f_7 + B$	116	1.118	6.24	0.964
	5 $f_7 = A.f_7^B$	116	0.347	0.231	0.929
	6 $f_7 = A.f_7 + B$	116	0.00785	0.526	0.899

OLUOKUN, BURDETTE VE DEATHERAGE (1990) "herhangi bir kür süresindeki basınç dayanımı f_{cx} ", "28 günlük basınç dayanımı f_c ", olgunluk ve dayanım düzeyine bağlı olarak Çizelge-2'de ayrıntıları ile açıklanan amprik bağıntı yardımıyla kabul edilebilecek yaklaşıklık içinde kestirebilmektedirler. (Çizelge-2'de belirtilen bilgiler adı geçen kaynaktan basitleştirilerek alınmıştır). Çizelge-2'de belirtilen bilgiler adı geçen kaynaktan basitleştirilerek alınmıştır). Çizelge-2'de belirtilen (7) bağıntısından 23 °C standart kür sıcaklığı $T = 73$ F ve $T_0 = 11$ F referans sıcaklığı için "7 günlük basınç dayanımı / 28 günlük basınç dayanımı" oranı şöyle hesaplanmaktadır :

$$m = 1.061 \quad 17.5 - 35 \text{ [MPa]} \quad 28 \text{ günlük basınç dayanımı için}$$

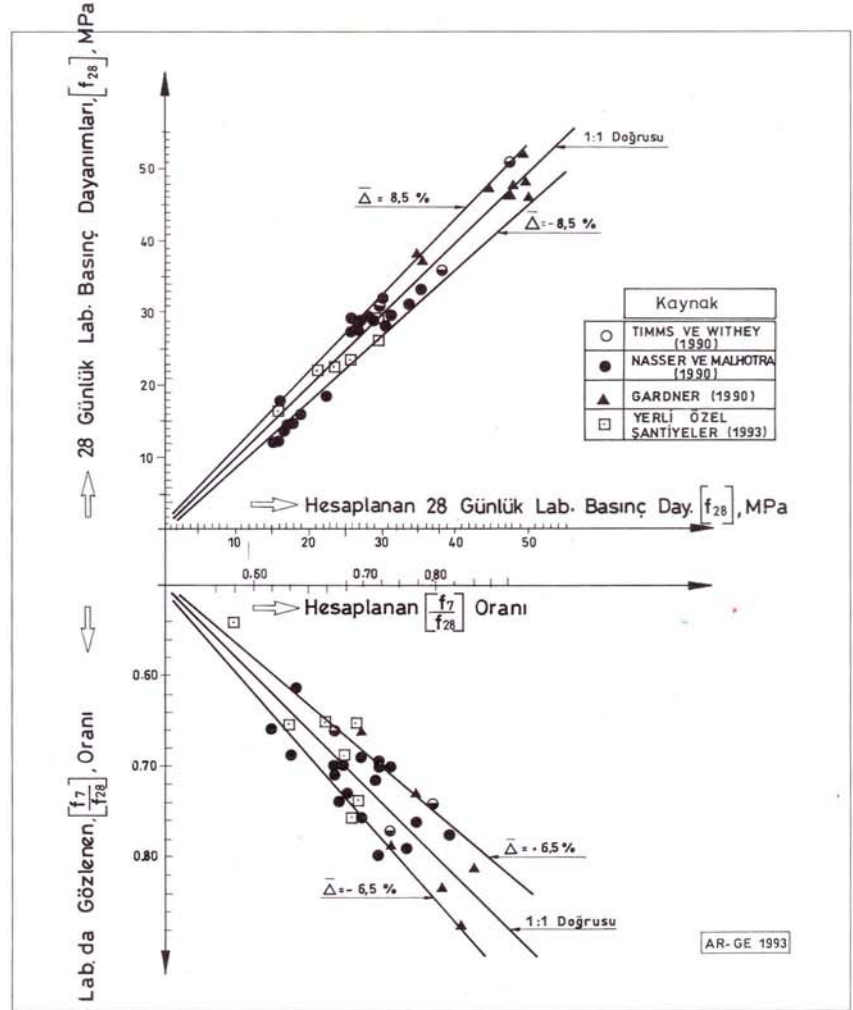
$$\gamma = 1.028$$

f_7
— = 0.664
 f_{28}

$m = 1.084$ 35- 52.5 [MPa] 28 günlük basınç dayanımı için
 $\gamma = 1.457$

f_7
— = 0.794
 f_{28}

Şekil-1'de Yapı merkezi datalarına dayandırılan f_7 / f_{28} oranları değişiminden söz konusu 28 günlük dayanım aralıkları (17.5 - 35.0 MPa) ve (35 - 52.5 MPa)'na karşı gelen ortalama değerleri (26.25 ve 43.75 MPa) dikkate alındığında sırasıyla 0.663 ve 0.78 değerleri kestirilmektedir. Açık-tır ki OLUOKUN, BURDETTE VE DEATHERAGE, (1990) nin teklif ettiği (7. bağıntı)'nın sonuçları deneysel sonuçlar ile fevkaledede iyi bir uyum sergilemektedirler. Şekil 1'de verilen 3 nolu bağıntının regresyona girmemiş olan bazı deneysel verilerle karşılaştırılması, 28 günlük laboratuvar dayanımları ve f_7 / f_{28} oranı itibarı ile 1:1 tekniği ile Şekil 2'de görülmektedir. Açık-tır ki, 3 nolu regresyon ifadesinin laboratuvar sonuçlarından ortalama sapma miktarı \pm %8,5'un altında kalmaktadır. Teklif edilen bağıntı pratik açıdan uygulanabilecek kestirim gücüne sahiptir.



ŞEKİL 2. 3 No'lu Bağıntının Regresyona Girmeyen Diğer Deneysel Datalarla 1:1 Tekniği ile Karşılaştırılması

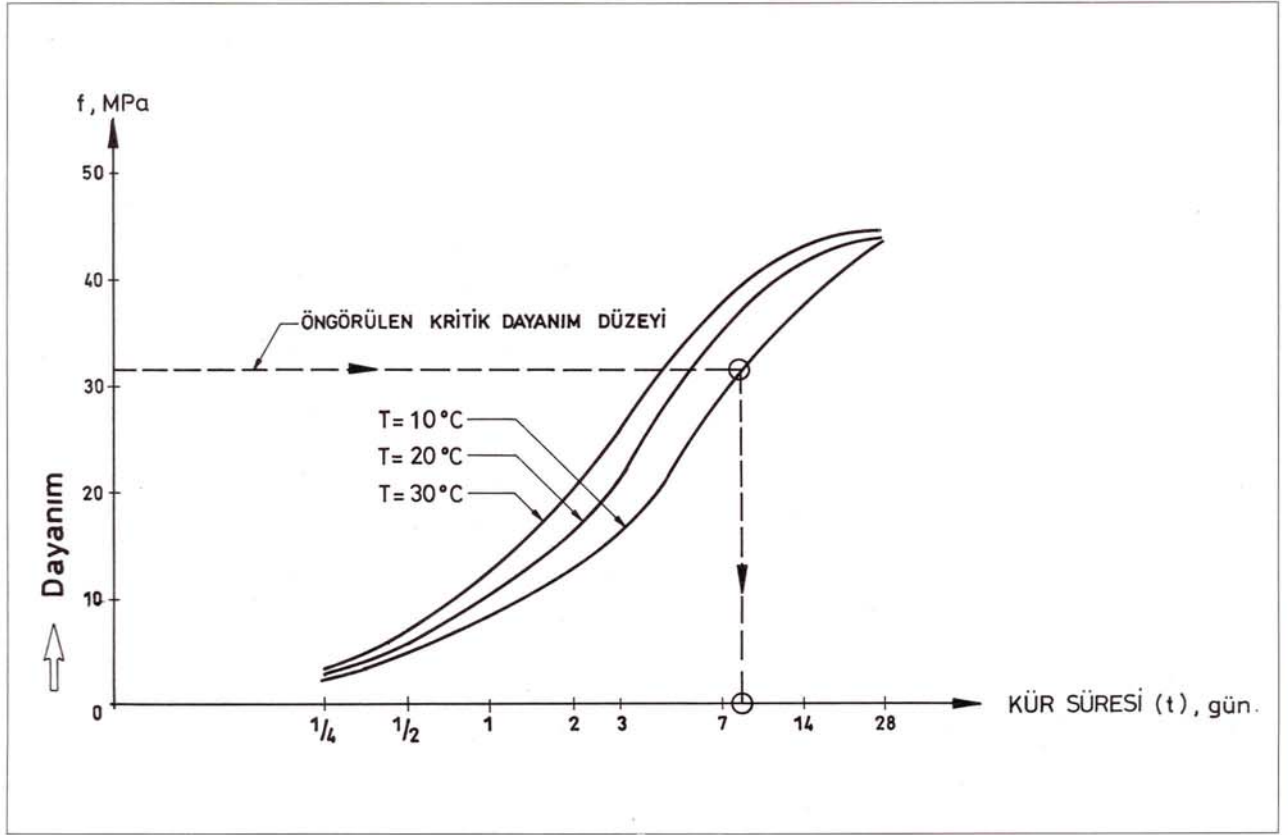
Çizelge-2. Herhangi Bir Kür Süresi İçin Basınç Dayanımının Kestirilmesi

• $f_{cx} = f'_c [1 - \exp(-\gamma m)]$ (7)	$m = \frac{M}{10000} \frac{(T - T_0) t + H}{10000}$
f_{cx} = Herhangi bir kür süresindeki basınç dayanımı	
f'_c = 28 günlük basınç dayanımı	
γ = 28 günlük basınç dayanımına bağlı katsayı 17.5 - 35.0 [MPa] için 1.028, 35 - 52.5 [MPa] için 1.457 ve 52.5 - 70 [MPa] için 2.826 değerlerini almaktadır.	
M = Olgunluk, F. saat	
T = t kür süresindeki betonun sıcaklığı, F	
T_0 = Hidratasyon olayının sona erdiği kritik sıcaklık, (referans sıcaklık), genellikle 11 F alınmaktadır.	
t = Kür zamanı, (saat)	
H = Ortalama ilave olgunluk, (F. saat). Aşağıdaki değerleri almaktadır.	
t	17.5 - 35 [MPa] 35 - 52.5 [MPa] 52.5 - 70 [MPa]
6 saat	102 103 156
12 saat	190 250 374
1 gün	194 428 589
2 gün ve daha yaşlı	194 42.8 624

4. PRATİK UYGULAMA

(7) bağıntısının yardımıyla verilen kür sıcaklığı (T) için "basınç dayanımı - kür süresi" değişimi, verilen bir 28 günlük basınç dayanımı için analitik olarak belirlenebilir. Örneğin, $f_{28}=45$ Mpa için ve H değerleri Çizelge 2'den alınmış ve $T = 10^\circ, 20^\circ$ ve 30°C için Şekil 3'deki eğriler elde edilmiştir. Bu eğriler yardımıyla herhangi bir kür süresine karşı gelen basınç dayanımı kolaylıkla kestirilebilir. Ayrıca, "kalıp sökümü" veya "öngerme verilme zamanı" problemine yaklaşım yapılabilir. Örneğin, yatay taşıyıcı elemanların (kiriş ve döşeme) kalıplarının sökümü için 0.70 f_{28} dayanımının uygun olacağı öngörülmektedir (*)

* Bu rakamın değişik uygulamalarda, değişik şartnamelere göre değişik değerler alabileceği hatırlatılmalıdır.



ŞEKİL 3. $f_{28} = 45$ MPa ve Değişik Kür Sıcaklıkları İçin Dayanım - Kür Süresi Eğrileri

(Alper, 1993). Şekil 3'den $0.70 \times 45 = 31.5$ MPa dayanım düzeyine karşı gelen kür süresi 10°C için 8.3 gün, 20°C için 5.4 gün, 30°C için 4.2 gün olarak belirlenebilir. Görüldüğü gibi kür sıcaklığı arttıkça kalıp sökümü için gerekli olan kritik süre azalmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma çerçevesinde ele alınan konulardan elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir :

- 7 günlük basınç dayanımından standart 28 günlük basınç dayanımı çok iyi bir prezisyon ile kestirilebilir. Deneysel dataları en iyi temsil eden regresyon modeli "üstel model"dir (Çizelge 1).
- Yapı merkezi şantiye datalarına dayandırılan regresyon ifadeleri literatürde rapor edilen diğer bağıntılar ile çok iyi bir uyum içindedirler (Şekil 1).
- " f_7/f_{28} " karakteristik oranı, dayanım düzeyine ve kür koşullarına hassas bir şekilde bağlıdır. Sabit kür koşulunda ($T = 23^\circ\text{C}$) artan 7

günlük basınç dayanımı ile söz konusu oran artmaktadır (Şekil-1). OLUOKUN, BURDETTE VE DEATHERAGE (1990) çalışmasında rapor edilen (7) bağıntısının " f_7/f_{28} " oranı sonuçları da Yapı Merkezi'nin şantiye verilerine dayandırılan istatistiksel bağıntısının sonuçları ile hemen hemen üst üste düşmektedir (Şekil 2).

- (7) bağıntısı kullanarak verilen kür şartları ve dayanım düzeyleri için beton basınç dayanımı kür süresi değişimi belirlenmek suretiyle öngörülen dayanımlara karşı gelen "kalıp sökme" ve "öngerme verme süreleri" kestirilebilir (Bölüm 4).

TEŞEKKÜR :

Yazarlar, bu çalışmanın yapılmasını ve yayımlanmasını teşvik eden Yapı merkezi Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Dr. Ersin ARIOĞLU'na teşekkür ederler. Çalışmada ileri sürülen sonuçlar sadece yazarlara aittir.

KAYNAKLAR :

- ALPER, H., "Olgunluk (Maturity) Kavramı ile Betonun Yerinde Dayanımının İzlenmesi", Yapı Merkezi Dahili Rapor, İstanbul, Kasım 1993.
- ARIOĞLU, Ergin; ODBAY, O. ve ALPER, H., "Yapı Merkezi Şantiyelerinde Üretilen Betonların 7 Günlük Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi", Y. M. Dahili Rapor, Yapı Merkezi, İstanbul, Temmuz 1993.
- DATE, C.G. ve SCHNORMEIER, R.H., "Use of Prediction Relations", ACI Journal, Proceedings, V. 82, No. 4, July-Aug. 1985, pp.525 - 530.
- NEVILLE, A.M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing Limited, London, 1977, 687 pp.
- OLUOKUN, A.F., BURDETTE, E.G. ve DEATHERAGE, J.H., "Early - Age Concrete Strength Prediction by Maturity", ACI Materials Journal, Nov.-Dec. 1990, pp. 565 - 572.