

## **Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini**

**Şirin KURBETCİ\***  
**Erbil ÖZTEKİN\*\***

### **ÖZ**

Beton basınç dayanımının kısa sürede belirlenebilmesi için sıcak su kürü, kaynar su kürü ve otojen kür gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve standartlaştırılmıştır. Ancak bu hızlandırılmış kür yöntemlerinin her biri bazı dezavantajlara sahiptir. Çalışmada, bu yöntemlerden sıcak su yönteminin geliştirilmesiyle elde edilen yeni kür çevrimi değişik bileşimlerde betonlara uygulanarak, hızlandırılmış dayanım değerlerinin dağılımı ve tahminin hassasiyeti incelenmiştir. Bu yöntem, karşılaştırma amacıyla sıcak su yöntemiyle paralel olarak 49 farklı bileşimde betona uygulanmıştır. Sonuç olarak değiştirilmiş sıcak su yönteminin, sıcak su yöntemi ile karşılaştırıldığında, 28 günlük standart basınç dayanımının belirlenmesindeki hassasiyeti önemli oranda iyileştirdiği, normal mesai saatleri içinde gerçekleştirilme ve sağlık tehlikesi oluşturmama avantajlarını koruduğu sonucuna varılmıştır.

### **ABSTRACT**

#### **Estimation of Compressive Strength of Concrete Using the Modified Warm Water Method**

Several accelerated curing methods such as warm water, boiling water and autogenous curing have been proposed and tested to minimize the time necessary for early determination of the compressive strength of concrete. However, each of these accelerated curing testing methods has its disadvantages. In the study, the new curing cycle which is a modified version of warm water curing method was applied to concretes in determining the range of the compressive strength and the accuracy of the estimated values. The new method, together with the standard warm water method was applied to 49 concrete batches having different mix proportions. In conclusion, the modified warm water method in determination of the 28-day standard compressive strength of the concrete increased the estimation accuracy of the 28-day compressive strength compared to the standard warm water method. The proposed method can be applied within normal working hours without causing health hazards.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 06.02.2002 günü ulaşmıştır.
- 30 Nisan 2004 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon – kurbetci@hotmail.com  
\*\* Kal-Tek Beton Danışmanlık Ltd., İstanbul

## **1. GİRİŞ**

Betonun basınç dayanımının günümüz koşullarında oldukça uzun bir süre sayılan 28 günden daha kısa sürede belirlenebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve bazı ülkelerde standartlaştırılmıştır. Ülkemiz 1979'da ASTM C 684-74'te tanımlanan hızlandırılmış kür yöntemlerini aynen benimsemiştir. TS 3323 [1], kaynar su kürü, hidrasyon ısısı kürü ve sıcak su kürü olmak üzere 3 yöntem tanımlamaktadır.

Standartlaştırılmalarına rağmen bu yöntemlerden her biri 28 günlük dayanımın tahmin hassasiyetini etkileyen bazı dezavantajlar içermektedir[2,3,4,5,6,7]. Kaynar su kürü yönteminde üretimden 23 saat sonra kaynar suya yerleştirilen numuneler, 3.5 saat kürden sonra çıkarılıp 28.5 saat sonunda denenmektedirler. Bu yöntemde işlem sıcaklığının çok yüksek olması ve ani ısıtma ve soğutma hızları nedeniyle, elde edilen hızlandırılmış basınç dayanım değerlerinin dağılımı nispeten yüksek olmakta, bu da tahminin hassasiyetini düşürmektedir. Buna karşılık işlem sıcaklığının yüksekliği hızlandırılmış dayanımların da yüksek olmasına yol açmakta, ve hızlandırılmış dayanımlarla standart dayanımlar arasındaki farkın azalması, tahminin hassasiyetini olumlu etkilemektedir. Bu yöntemde, kaynar su ile çalışmanın yaratacağı sağlık sorunları ve 28.5 saatlik çevrim süresi nedeniyle normal çalışma saatlerinin dışına taşması da yöntemin diğer dezavantajları olarak değerlendirilmektedir.

Hidrasyon ısısı küründe üretilen numuneler yalıtımlı özel kalıplara yerleştirilmekte, çimentonun hidrasyon ısısı sonucu sıcaklık artmakta, sertleşme hızlanmakta, 48 saat sonunda kalıplardan çıkarılan numuneler 49 saat sonunda denenmektedirler. Bu yöntemin de 48 saatlik kür süresinin uzunluğu, sonuçların üretim sırasındaki beton sıcaklığından, çimento tipinden ve priz geciktirici ve hızlandırıcı katkı maddelerinden çok etkilenmesi gibi önemli dezavantajları vardır.

Sıcak su yönteminde ise numuneler üretilir üretilmez 35 °C deki suya yerleştirilmekte, 23.5 saat sonunda çıkarılıp 24 saat sonunda denenmektedirler. Bu yöntem, uygulaması oldukça kolay, çalışma saatlerine uygun, yumuşak bir ısı işlem çevrimidir. İşlem sıcaklığı düşük olduğu için beton bünyesi zarar görmemekte, böylece basınç dayanım değerlerinin dağılımı düşüktür. Fakat yine işlem sıcaklığının düşüklüğü nedeniyle basınç dayanım değerleri de düşük olmakta ve bu da tahminin hassasiyetini olumsuz etkilemektedir.

Literatür taraması ışığında yapılan değerlendirmeye göre, ideal bir hızlandırılmış kür çevriminde hızlandırılmış dayanımlar mümkün mertebe yüksek olmalıdır ve bu da kür sıcaklığını artırarak sağlanabilir. Zira hızlandırılmış dayanımlarla standart dayanımlar arasındaki farkın azalması tahminin hassasiyetini arttıracaktır. Bunun yanında, hızlandırılmış basınç dayanımı değerlerindeki dağılım da mümkün mertebe düşük olmalıdır. Isıl işlem uygulamasının, sertleşmiş çimento hamuru yapısında, yüksek sıcaklıkta hidrasyon sonucu hidrasyon ürünlerinin heterojen dağılımı, kristalleşmenin ve porozitenin artması gibi kaçınılmaz yapısal bozukluklara yol açtığı fakat kalıcı hacim artışı, ısıl gerilme ve su kaybı sonucu oluşan fiziksel bozuklukların ise önlenemez oldukları söylenmektedir[8]. Bu olgu, beton bünyesindeki yapısal ve fiziksel bozuklukları sınırlamak açısından kür sıcaklığının fazla olmamasını gerektirmektedir. Aynı zamanda ısıl işlem çevriminin ön bekleme süresi, ısıtma hızı, soğuma süresi gibi unsurlarına da önem verilmesi gerektiğine işaret edilmektedir.

Mevcut yöntemlerin dezavantajları ve ideal bir hızlandırılmış kür çevriminden beklenen özellikler birlikte değerlendirilmiş ve daha hassas tahmine imkan veren bir hızlandırılmış kür yöntemi belirlemek amacıyla mevcut sıcak su kürü yöntemi esas alınarak

geliştirilmiştir[9]. Bir ısıtma işlem çevrimi sistematigi içinde yapılan çalışma sonucu yöntemin parametreleri 1 saat ön bekleme süresi, 43 °C işlem sıcaklığı, 21 saat işlem süresi ve 2 saat son bekleme süresi olarak belirlenmiştir.

## **2. DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **2.1 Amaç ve Kapsam**

Çalışmanın amacı, değiştirilmiş sıcak su yönteminin (DSSY) çeşitli bileşimlerde betonlara uygulanmasıyla elde edilen sonuçların dağılımının ve 28 günlük dayanımı tahmin etmedeki hassasiyetinin incelenmesidir.

Deneysel çalışma KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzeme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada 49 adet üretim yapılmış, bu kapsamda 6 farklı çimento dozajında çeşitli su/çimento oranları denenmiştir. Karşılaştırma amacıyla deneyler sıcak su yöntemiyle (SSY) paralel yürütülmüştür.

### **2.2 Kullanılan Malzemeler ve Deneysel Programının Yürütülmesi**

Deneylerde PÇ 42.5 çimento ve agrega olarak doğal çakıl ve kum kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri ve granülometrileri ile karışım agregasının granülometrisi Çizelge 2'de görülmektedir. Maksimum tane çapı 31.5 mm dir. Karışım agregası %70 çakıl ve %30 kum'dan oluşmaktadır ve Çizelge 2'den görüldüğü gibi TS 706'nın A eğrisine yakın, su ihtiyacı nispeten düşük, irice bir granülometriye sahiptir.

Hızlandırılmış kür tankı ve kalıplar TS 3323'e uygundur. Kür tanklarının hassasiyeti  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  dir. Tankların sıcaklığı dijital termometre ile sürekli kontrol edilmiştir.

Her üretimde 3 adet DSSY, 3 adet SSY ve 3 adet standart kür için toplam 9 adet 15x30 cm silindirik numune hazırlanmıştır. Numunelerin sıkılanması 2800 devir/dakika titreşim kapasiteli masa vibratörde gerçekleştirilmiştir.

Numuneler hazırlandıktan sonra kalıpların kapakları takılarak sıcak su kürü için 3 tanesi hemen  $35^{\circ}\text{C}$  deki tanka yerleştirilmiştir. Bu numuneler 23.5 saat kür yaptıktan sonra tanktan çıkarılmış, kalıpları sökülmüş, başlıklanmış ve 24 saatin sonunda test edilmiştir. DSSY uygulanacak numuneler üretimden sonra  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  deki klimatize odada 1 saat beklemeden sonra  $43^{\circ}\text{C}$  deki kür tankına yerleştirilmiştir. 21 saat kür sonrasında tanktan çıkarılmış, kalıpları sökülmüş, başlıklanmış ve 24 saatin sonunda test edilmişlerdir. Her iki yöntemde de numuneler, son bekleme süresi boyunca nem kaybı olmaması için plastik örtü içinde klimatize odada bekletilmişlerdir.

Standart kür göreceği olan 3 numune ise üretimin ertesi günü kalıpları söküldükten sonra 28 gün sonunda denenmek üzere  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  deki kür havuzuna yerleştirilmişlerdir.

*Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini*

*Çizelge 1. Kullanılan Çimentonun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri*

Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	3.13
	İncelik:	
	200µ elekte kalan,%	0.00
	90µ elekte kalan,%	0.40
	Özgül yüzey (Blaine), cm <sup>2</sup> /g	4788
	Priz süresi (Vicat):	
Başlama, saat:dakika	2:00	
Sona erme, saat:dakika	3:15	
Kimyasal Bileşim (%)	Magnezyum oksit (MgO)	2.00
	Aluminyum oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6.57
	Silisyum dioksit (SiO <sub>2</sub> )	21.56
	Kalsiyum oksit (CaO)	61.28
	Demir oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3.00
	Kükürt trioksit (SO <sub>3</sub> )	3.19
	Potasyum oksit (K <sub>2</sub> O)	0.69
	Sodyum oksit (Na <sub>2</sub> O)	0.27
	Kızdırma kaybı	1.23
	Serbest kireç (CaO)	1.18
Çözünmeyen Kalıntı	0.51	
Mekanik Özellikler	Basınç dayanımı, MPa	
	2 gün	22.4
	7 gün	32.9
	28 gün	47.4

*Çizelge 2. Agregaların Fiziksel Özellikleri ve Granülometrisi*

Elek açıklığı (mm)	Çakıl	Kum	Karışım
31.5	100	100	100
16	71	100	80
8	37	100	56
4	17	100	42
2	1	83	26
1	0	74	22
0.5	0	54	16
0.25	0	16	5
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.66	2.63	
Su emme (%)	1.40	1.90	

### 3. DENEY SONUÇLARI, İRDELEME VE YORUM

Üretilen betonların bileşimleri ve çökme değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Hızlandırılmış ve 28 günlük standart dayanımlar SSY için Şekil 1'de, DSSY için Şekil 2'de görülmektedir. Basınç dayanımları SSY'de 4.3-22.3 MPa, DSSY'de 5.4-24.3 MPa ve

standart numunelerde 15.6-50.0 MPa arasında değişmiştir. Ortalama dayanımlar SSY'de 13.6 MPa, DSSY'de 15.6 MPa ve standart numunelerde 33.3 MPa olmuştur ve hızlandırılmış dayanım düzeyinde ortalama 2 MPa (%15) artış söz konusudur. Buna bağlı olarak hızlandırılmış dayanımların 28 günlük standart dayanımlara oranı SSY'de 0.41 iken DSSY'de 0.47'ye ulaşmıştır. Hızlandırılmış dayanımlarla standart dayanımlar arasındaki farkın azalmasının, hızlandırılmış dayanımdan 28 günlük dayanımın tahminindeki hassasiyeti ve güvenilirliği iyileştirmesi beklenmektedir.

Varyans analizi ile hesaplanan [10] gruplar içi standart sapma SSY'de 0.61 MPa, DSSY'de 0.75 MPa, 28 günlük standart numunelerde 1.65 MPa olurken gruplar içi varyasyon katsayısı da sırasıyla %4.52, %4.82 ve %4.95 değerlerini almıştır. Gerek standart sapma, gerekse varyasyon katsayısı değerleri karşılaştırıldığında hızlandırılmış dayanımlardaki dağılımın standart dayanımlardaki dağılımdan daha küçük olduğu görülmekte, bu durum hızlandırılmış kür yöntemlerinin kullanılmasında sakınca bulunmadığına, 28 günlük standart dayanımın hızlandırılmış dayanımlardan yola çıkarak güvenilir biçimde tahmin edilebileceğine işaret etmektedir. Kendi aralarında karşılaştırıldıklarında değiştirilmiş sıcak su yönteminde dağılım, sıcak su yöntemine oranla biraz daha yüksek değerler almaktadır; standart sapma 0.14 MPa, varyasyon katsayısı %0.3 daha büyüktür. Dağılımdaki bu çok sınırlı kötüleşmeye karşın DSSY hızlandırılmış dayanımda ortalama %15 gibi kayda değer bir artış sağlamaktadır.

Çizelge 3. Beton Bileşimleri

No	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	Su/ Çimento	Agrega/ Çimento	Çökme (mm)	No	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	Su/ Çimento	Agrega/ Çimento	Çökme (mm)
1	200	0,65	10,65	10	26	300	0,50	6,58	40
2	200	0,66	10,55	10	27	300	0,51	6,50	30
3	200	0,70	10,44	20	28	300	0,52	6,52	60
4	200	0,78	10,23	30	29	300	0,53	6,45	70
5	200	0,80	10,17	100	30	300	0,54	6,43	100
6	250	0,48	8,38	0	31	300	0,55	6,42	110
7	250	0,50	8,33	0	32	300	0,56	6,40	200
8	250	0,52	8,27	5	33	300	0,57	6,39	250
9	250	0,54	8,22	10	34	300	0,58	6,37	250
10	250	0,56	8,17	10	35	350	0,38	5,64	5
11	250	0,60	8,00	25	36	350	0,40	5,59	15
12	250	0,62	8,02	40	37	350	0,41	5,56	30
13	250	0,64	7,97	60	38	350	0,42	5,54	20
14	250	0,66	7,92	150	39	350	0,43	5,51	45
15	280	0,51	7,19	30	40	350	0,44	5,49	50
16	280	0,52	7,17	50	41	350	0,45	5,46	50
17	280	0,54	7,11	40	42	350	0,46	5,43	100
18	280	0,55	7,02	75	43	350	0,48	5,38	150
19	280	0,56	7,05	70	44	350	0,50	5,33	200
20	280	0,58	7,00	100	45	400	0,38	4,71	45
21	280	0,60	6,95	140	46	400	0,40	4,76	40
22	280	0,62	6,89	150	47	400	0,42	4,60	70
23	300	0,44	6,74	25	48	400	0,44	4,55	100
24	300	0,46	6,68	30	49	400	0,46	4,49	200
25	300	0,48	6,63	40					

### *Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini*

Hızlandırılmış dayanımlarla standart dayanım arasındaki ilişkiler, her iki yöntem için de değişik biçimlerde denenmişlerdir. Bu denklemler ve korelasyon katsayıları Çizelge 4 (a) ve (b)'de verilmiştir. Görüldüğü gibi denenilen ilişkiler içinde geometrik ve parabolik eğriler doğrusal ilişkiden biraz daha yüksek korelasyon katsayısı vermişlerdir. En yüksek korelasyon katsayısını her iki yöntemde de  $y=ax^b$  ilişkisi vermiştir. Fakat istatistik işlemlere yatkınlığı nedeniyle bundan sonraki analizlerde doğrusal ilişki tercih edilecektir. Şekil 1'de SSY'ne, Şekil 2'de DSSY'ne ait hızlandırılmış dayanım- 28 günlük standart dayanım doğrusal ilişkisi görülmektedir.

Regresyon eşitliği yardımıyla  $y$ 'nin ne denli iyi tahmin edileceği tahminin standart hatasıyla belirlenir. Bu standart hata

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}} \quad (1)$$

$y_i$  : ölçülen 28 günlük dayanım değerleri

$\hat{y}_i$  : regresyon eşitliği vasıtasıyla hesaplanan 28 günlük dayanım değerleri

$n$  : örnek sayısı

formülüyle belirlenir. Buna göre tahminin standart hatası SSY için 3.15 MPa ,DSSY için 2.4 MPa olmaktadır.

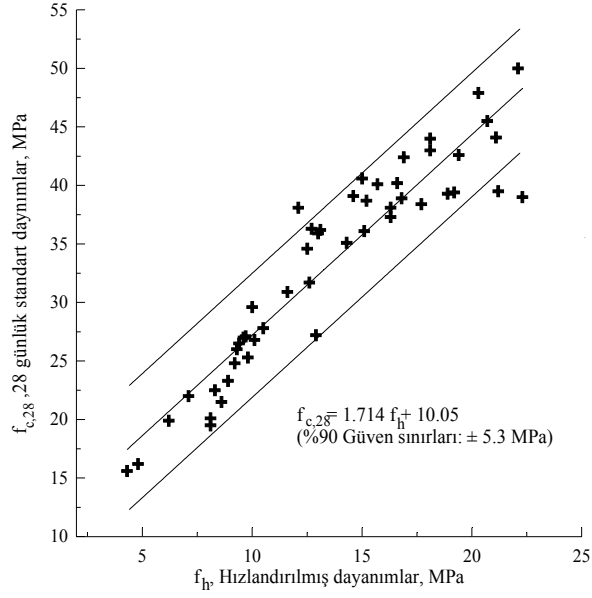
28 günlük dayanımın tahmininde güven aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$w = S_e t_{(n-2, \alpha/2)} \quad (2)$$

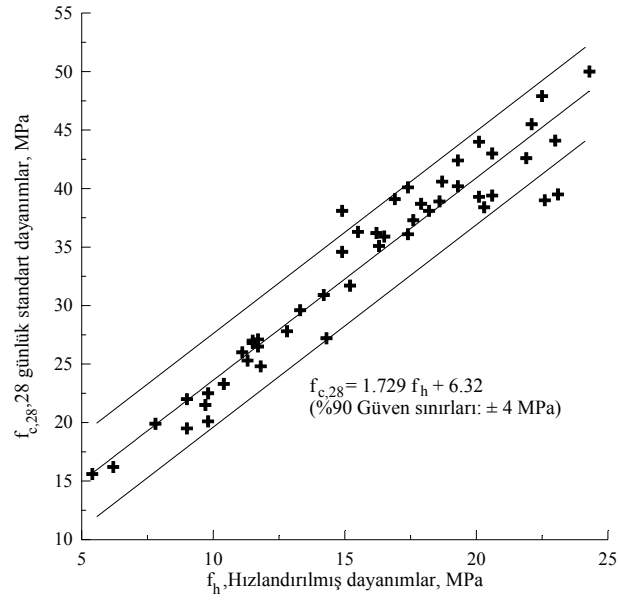
$t$  = student dağılımında  $\alpha/2$  ye  $n-2$  serbestlik derecesinde karşılık gelen değer

Bu formülle, %90 güven aralığı değerleri SSY için  $\pm 5.3$  MPa, DSSY için  $\pm 4.0$  MPa olarak hesaplanır. Bu güven aralıkları Şekil 1 ve Şekil 2'ye işlenmiştir.

Gerek standart hata, gerekse %90 güven aralığı değerlerinden görüldüğü gibi değiştirilmiş sıcak su yöntemi yanılma payını önemli oranda azaltarak daha hassas tahmin imkanı vermektedir.



Şekil 1. SSY'ne ait Hızlandırılmış Dayanım- Standart Dayanım Doğrusal İlişkisi



Şekil 2. DSSY'ne ait Hızlandırılmış Dayanım- Standart Dayanım Doğrusal İlişkisi

## Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini

Çizelge 4. Regresyon-Korelasyon Analizi Sonuçları

Eşitlik tipi	Regresyon eşitliği	Korelasyon katsayısı
$Y = aX + b$	$Y = 1.714X + 10.05$	0.935
$Y = aX^b$	$Y = 5.31X^{0.708}$	0.957
$Y = ae^{bX}$	$Y = 14.98 e^{0.056X}$	0.920
$Y = aX^2 + bX + c$	$Y = -0.08X^2 + 4.12X - 5.32$	0.946

(a) SSY için regresyon- korelasyon analizi sonuçları

Eşitlik tipi	Regresyon eşitliği	Korelasyon katsayısı
$Y = aX + b$	$Y = 1.729X + 6.32$	0.963
$Y = aX^b$	$Y = 3.70 X^{0.8}$	0.974
$Y = ae^{bX}$	$Y = 13.19 e^{0.057X}$	0.954
$Y = aX^2 + bX + c$	$Y = -0.03X^2 + 2.78X - 0.86$	0.967

(b) DSSY için regresyon- korelasyon analizi sonuçları

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada TS 3323'te tanımlanan sıcak su yöntemi bazı dezavantajları giderilerek "değiştirilmiş sıcak su yöntemi" adı ile sunulmuş ve sıcak su yöntemi ile karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Önerilen yöntemin parametreleri 1 saat ön bekleme süresi, 43°C işlem sıcaklığı, 21 saat işlem süresi ve 2 saat son bekleme süresi şeklinde, toplam 24 saattir. Isıl işlem parametrelerinin optimize edilmesi dışında yöntem, normal mesai saatleri içinde gerçekleştirilebilir, deney yapan operatörler için sağlık tehlikesi oluşturmama avantajlarını korumaktadır. Ayrıca 1 saatlik ön bekleme süresi, SSY'nin gerektirdiği, şantiyede bir laboratuvar olması zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır.

Yöntem, çimento dozajı ve su/çimento oranı farklı, basınç dayanımı 15.6-50 MPa gibi geniş bir aralıkta değişen 49 ayrı betona uygulanarak performansı ölçülmüş ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

- DSSY, sıcak su yönteminden daha yüksek hızlandırılmış dayanım vermektedir. Aradaki fark 2 MPa (%15) mertebesinde kayda değer bir artıştır.

- DSSY, 28 günlük basınç dayanımının belirlenmesinde yanılma payını SSY'ne göre önemli oranda iyileştirmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen bu yöntem bu çalışma koşullarında 14 MPa'dan 50 MPa'a kadar geniş bir dayanım aralığında başarıyla uygulanabilir, SSY'ne oranla daha hassas, güvenilir, kullanışlı bir hızlandırılmış kür yöntemi olarak belirmektedir.



**Kaynaklar**

- [1] Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi, TS 3323, Türk Standartları Enstitüsü, 1979.
- [2] Abdun-Nur, E.A., Accelerated, Early and Immediate Evaluation of Concrete Quality, Accelerated Strength Testing, SP-56, ACI, 1-13.1978.
- [3] Mather, K., Effects of Accelerated Curing Procedures on Nature and Properties of Cement and Cement-Fly Ash Pastes, Properties of Concrete at Early Ages, SP-95, ACI, 155-172, 1986.
- [4] Bauer, L.A.P. ve Olivan, L.I., Use of Accelerated Tests for Concrete Made with Slag Cement, Accelerated Strength Testing, SP-56, ACI, 117-128, 1978.
- [5] Kaynak 6'nın Tartışması, Abdun Nur, E.A., Bickley, J.A., Howard, E.L., Lapinas, R., Lopez, G., Banera, Z.S., Mustard, J.N., Rodway, L.E., Riyan, G.J., Smith, P.K., Spratt, G.W., ve Malhotra, V.M., ACI Journal, 67, 424-434, 1970.
- [6] Malhotra, V.M. ve Zoldners, N.G., Some Field Experience in the Use of an Accelerated Method of Estimating the 28-day Strength of Concrete, ACI Journal, 66, 894-897, 1969.
- [7] Öztekin, E., Accelerated Strength Testing of Portland- Pozzolan Cement Concretes by the Warm Water Method, ACI Material Journal, 84, 51-54, 1987.
- [8] Öztekin, E., Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Kullanılan Isıl İşlemler- Eğilme Dayanımına Etkileri, Karadeniz Üniversitesi, Trabzon, 1983
- [9] Kurbetci, Ş., ve Öztekin, E., Beton Basınç Dayanımının Tahmininde Kullanılan Sıcak Su Yönteminin Geliştirilmesi, TMMOB Teknik Dergi, 12, 4, 2517-2526, 2001.
- [10] Lipson, C. ve Sheth N.J., Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments, Mc Graw Hill, Newyork, 1973