

Buhar Kürü Uygulamasında Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörlerden “Bekleme Süresi”nin Önemi

T.Y. Erdoğan

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Ankara 06531, Türkiye*

T.K. Erdem

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Ankara 06531, Türkiye*

ÖZET: Kür sıcaklığının yüksek tutulması sonucunda betonun dayanım kazanma hızında artma olduğu bilindiğinden, özellikle ilk günlerdeki beton dayanımının yüksek olabilmesi için beton elemanlara atmosferik basınçlı buhar kürü uygulanmaktadır. İlk günlerde daha yüksek ve son günlerde ise uygun kabul edilebilecek düzeyde beton dayanımları elde edebilmek amacıyla, atmosferik buhar kürü devresi dört ara süreden oluşacak tarzda uygulanmaktadır: bekleme süresi, kontrollü sıcaklık artışı süresi, maksimum kür sıcaklığının sabit tutulduğu süre, ve kontrollü soğuma süresi. Ara sürelerin herbiri betonun ilerideki dayanımı ile yakından ilgili olmakla beraber, bekleme süresinin çok önemli etkisi olmaktadır. Taze betona, priz başlama süresinden daha kısa tutulan bekleme süresi uygulandığı takdirde, beton dayanımı istenilenden daha düşük olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Buhar kürü, bekleme süresi, basınç dayanımı

ABSTRACT: Since an increase in the curing temperature of concrete leads to an increase in the rate of strength development, atmospheric steam curing is used as a common method to accelerate the strength gain of concrete at early ages. In order to obtain higher strengths at the early days and reasonable strengths at the later ages, an atmospheric steam curing cycle is applied which consists of four stages: presteaming or delay period, controlled heating period, maximum temperature period, and cooling period. Although all of these periods have important effects on the strength of concrete at its later ages, the delay period is considered to be of vital importance. Having a delay period that is less than the initial setting time of the concrete results in lower concrete strengths.

Giriş

Betonun yüksek sıcaklıklarda kür edilmesi sonucunda hidrasyon hızının arttığı ve ilk zamanlarda yüksek dayanım elde edildiği bilindiği için, betonun buhar ortamında kür edilmesine dair bazı yöntemler geliştirilmiştir.

Buhar kürünün yaygın olarak uygulandığı betonlar, önceden dökülerek hazırlanmış olan beton elemanlarıdır. Beton bloklar, beton borular, öngerilimli beton kirişler ve betondan yapılmış duvar panelleri bunlara örnek olarak gösterilebilecek elemanlardır.

Betona buhar kürü uygulanmasının başlıca amaçları şu şekilde özetlenebilir:

- (1) Beton, normal koşullardaki kür yöntemine göre, daha kısa süre içerisinde dayanım kazanmaktadır. O bakımdan, beton elemanlar daha erken bir zamanda kullanılabilirler.

Kalıplara yerleştirilmiş betonun istenilen dayanıma daha kısa süre içerisinde erişebilmesi, kalıpların daha kısa süre içerisinde sökülebilmeye imkan tanımaktadır. Sökülen kalıplar bir başka beton dökümünde kullanılabilen, yapılması gereken iş daha hızlı yapılabilen, ve buna bağlı olarak, ekonomiklik elde edilebilmektedir.

- (2) Betondan beklenen dayanımın daha kısa süre içerisinde kazanılabilmesi ve betonun daha erken hizmete sokulabilmesi nedeniyle, üretilen beton elemanların kür işlemi için muhafaza edildikleri sahada (depoda) uzun süreyle bırakılmalarına gerek kalmamaktadır. O bakımdan da ekonomiklik sağlanmış olmaktadır.

Betona uygulanan iki farklı buhar kürü yöntemi bulunmaktadır: (a) atmosferik basınçlı buhar kürü, ve (b) yüksek basınçlı buhar kürü. Bu iki yöntemden en çok uygulananı, “atmosferik basınçlı buhar kürü” yöntemidir.

Betonun atmosferik basınçlı buhar kürü yöntemiyle kür edilebilmesi işleminde, genellikle, içerisine beslenen buharı tutabilecek tarzda hazırlanmış kür odaları, veya tüp olarak adlandırılan buhar tünelleri kullanılmaktadır. Betonun bu yöntemle kür edileceği ortamdaki buhar atmosferik basınçtır. Kür mekanlarında bulunması gereken maksimum sıcaklığın sınır değerleri 40 - 100 °C olarak belirtilebilmekle beraber, genellikle, 65 - 85 °C arasında bir sıcaklık uygulanmaktadır.

Betona uygulanan kür sıcaklığının yüksek olması, normal sıcaklıkta kür uygulanan betonların dayanımları ile karşılaştırıldığında, ilk günlerdeki dayanımın yüksek olmasını sağlamakla birlikte, daha sonraki günlerdeki dayanımın daha düşük olmasına yol açmaktadır. Hem betonun ilk günlerde kazanacağı dayanımın yüksek olmasını sağlamak, hem de daha sonraki günlerde betonun çok düşük dayanım göstermesini bir ölçüde engellemek amacıyla, betona uygulanan buhar kürü değişik ara sürelerle ve değişik sıcaklıklarda yerine getirilmektedir. Şekil 1’de, atmosferik basınçlı buhar kürü için uygulanan tipik bir kür devresi gösterilmektedir. Buradan da görülebileceği gibi, buhar kürünün toplam süresi dört ara süreden oluşmaktadır:

- (1) “Bekleme süresi” (Bu süre, malzemelerin karılma işleminin bittiği ve beton elemanın hazırlandığı andan, buhar kürünün uygulandığı ana kadar geçen süredir.):

Bekleme süresinin uzunluğu, normal olarak, 3 - 5 saat arasında değişmektedir.

- (2) “Kontrollü sıcaklık artışının yer aldığı süre”:

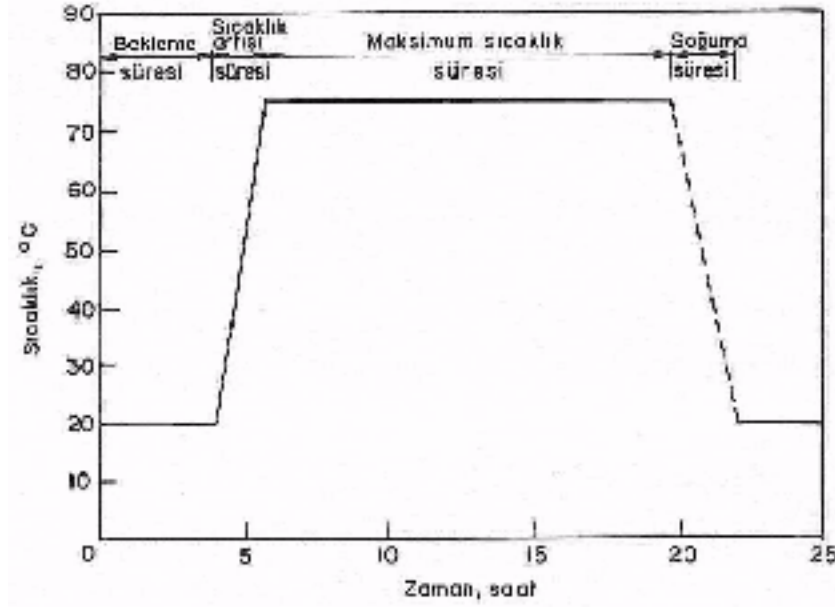
Sıcaklık artışı saatte 22 - 33 °C ölçüsünde değişmektedir.

- (3) “Maksimum kür sıcaklığının sabit olarak tutulduğu süre”:

Maksimum kür sıcaklığı olarak genellikle 65 - 85 °C arasındaki değerler hedeflenmektedir. Maksimum sıcaklığa eriştikten sonra beton elemanlar bu sabit sıcaklıkta genellikle yaklaşık 10 - 15 saat bekletilmektedirler.

(4) “Kontrollü soğuma süresi”:

Maksimum sıcaklıktaki buhar kürü uygulama süresi sonunda, ortam sıcaklığı kontrollü olarak düşürülmektedir. Bu süre içerisinde azalma hızı, saatte 22 - 33 °C civarındadır.



Şekil 1. Tipik Buhar Kürü Devresi

Atmosferik basınçlı buhar kürü uygulamasında, bekleme süresi dışındaki toplam sürenin 18 saatten fazla olmaması önerilmektedir.

Yukarıdaki ara sürelerin herbirinin uzunluğu, betona uygulanacak maksimum kür sıcaklığı ve toplam kür süresi, betonun 28 günlük ve daha sonraki dayanımı ile yakından ilgilidir. Optimum sonucu elde edebilmek için ara sürelerin ne uzunlukta olması ve maksimum kür sıcaklığının ne büyüklükte olması gerektiği, betonda kullanılan malzeme özelliklerine ve miktarlarına göre değişmektedir. O nedenle bütün bu değerler önceden çok iyi tesbit edilmelidirler.

Atmosferik basınçlı buhar kürünün kullanılmasındaki en büyük amaç beton elemanın bir an önce dayanım kazanmasını ve böylece ekonomiklik sağlamak olduğundan, çoğu zaman buhar kürü devresinin süresi, özellikle bekleme süresi, uygulamada yeterince uzun tutulmamaktadır. Oysa, bekleme süresinin, betonun ilerideki performansına büyük etkileri olmaktadır.

Bekleme süresinin en az betonun priz süresi kadar uzun olması gerektiğine inanılmaktadır. Bu hususu daha iyi incelemek amacıyla aşağıda ODTÜ'de yapılan deneysel çalışma hakkında bilgi sunulmaktadır.

Deneyel Çalışmalar

Bekleme süresini beton dayanımına etkisini araştırmak üzere PÇ 42.5 tipte bir Türk çimentosu ve maksimum tane büyüklüğü 25 mm olan kırmataş agregası kullanılarak 28 günlük dayanımı yaklaşık 40 MPa olacak seviyede bir beton üretilmiştir. Bu seviyede bir beton üretiminin hedeflenmesi, uygulamada daha çok kabul gören bir beton oluşudur.

Kullanılan çimentonun özellikleri Çizelge 1a ve 1b'de, beton karışımı hakkında bilgi ise Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Çizelge 1a. Çimentonun Kimyasal Özellikleri, %

CaO	61.88
SiO ₂	19.83
Al ₂ O ₃	5.32
Fe ₂ O ₃	3.47
MgO	1.78
SO ₃	2.84
K ₂ O	0.82
Na ₂ O	0.20
Kızdırma Kaybı	3.06

Çizelge 1b. Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Özgül ağırlık	3.11
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	3250
Priz süresi (dakika)	
İlk	70
Son	230
Basınç dayanımı (MPa)	
7 gün	32.6
28 gün	45.3

Çizelge 2. Beton Karışım Oranları

Çimento (kg/m ³)	375
Su (kg/m ³)	205
Dere kumu (0-7) (kg/m ³)	490
Kırmataş (0-3 mm) (kg/m ³)	450
Kırmataş (3-9 mm) (kg/m ³)	125
Kırmataş (10-25 mm) (kg/m ³)	660
Süperakışkanlaştırıcı (kg/m ³)	6.3
Çökme (cm)	5

Buhar kürü işleminde uygulanacak maksimum sıcaklık 80 °C olarak, maksimum sıcaklığın uygulanacağı süre ise 5 saat ve 10 saat olarak seçilmiştir.

Bekleme süresi olarak uygulanacak sürenin uzunluğu şu şekilde kararlaştırılmıştır:

- t = Betonun priz başlama süresi
- t - 1s = Betonun priz başlama süresinden 1 saat eksik süre
- t - 2s = Betonun priz başlama süresinden 2 saat eksik süre
- t - 3s = Betonun priz başlama süresinden 3 saat eksik süre

Hazırlanmış olan taze betonun bekleme sürelerinin tayini için, önce, ASTM C 403'deki yöntemle göre priz başlama süresi, tesbit edilmiştir.

Deneyleerde kullanılan taze betonun priz başlama süresi 220 dakika olarak bulunmuştur.

Beton dayanımı 1, 3, 7, 28 ve 90 günlük yaşlar için araştırılmıştır.

Her yaştaki dayanım için 9'ar adet 15 cm x 30 cm boyutlu silindir numune üretilmiştir. Bunların üçer adedi kontrol betonu amacıyla, geriye kalan 6'şar adetten üçer adedi maksimum sıcaklık süresinin 5 saat olduğu, diğer üçer adedi ise maksimum sıcaklık süresinin 10 saat olduğu buhar kürü uygulamasından sonra basınç dayanımına tabi tutulmuştur.

Kontrol betonunun numuneleri deney gününe kadar 23 °C ve %100 rutubet koşullarında kür edilmişlerdir.

Buhar kürüne tabi tutulan beton numuneler, buhar kürü devresini takiben, deney gününe kadar 23°C ve %100 rutubet koşullarında kür edilmişlerdir.

Basınç dayanımının öncesinde bütün numunelere başlık yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 3a ve Çizelge 3b'de gösterilmektedir. Basınç dayanımına dair Çizelge 3a ve 3b'de yer alan her değer, o koşullarda deneye tabi tutulan üç adet numune üzerinde elde edilen değerlerin ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 3a. Maksimum Sıcaklığın 5 saat Tutulduğu Buhar Kürü İçin Basınç Dayanımı Deney Sonuçları, MPa

Yaş (gün)	Bekleme Süresi				
	Kontrol	t-3s	t-2s	t-1s	t
1	22.6	23.5	24.1	27.4	30.2
3	33.8	23.8	26.0	30.4	32.7
7	40.9	26.9	28.8	34.6	36.7
28	46.1	33.4	34.9	36.5	41.2
90	49.2	39.9	42.2	43.0	43.5

Çizelge 3b. Maksimum Sıcaklığın 10 saat Tutulduğu Buhar Kürü İçin Basınç Dayanımı Deney Sonuçları, MPa

Yaş (gün)	Bekleme Süresi				
	Kontrol	t-3s	t-2s	t-1s	t
1	22.6	26.3	27.7	30.7	34.1
3	33.8	27.6	28.1	32.5	33.6
7	40.9	29.2	31.2	35.7	38.4
28	46.1	36.3	36.8	40.5	42.9
90	49.2	42.2	43.4	45.5	46.5

Sonuçlar

1. Çizelge 3a ve 3b incelendiğinde, buhar kürüne tabi tutulan 1 günlük beton numunelerin basınç dayanımlarının normal koşullarda (23 °C sıcaklıkta ve %100 rutubet ortamında) kür edilen 1 günlük kontrol betonunkinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Buhar kürü uygulanan betonların ilk zamanlarındaki dayanımı, normal kür işlemi gören betonlarınkinden daha yüksektir.

2. Çizelge 3a ve 3b incelendiğinde, buhar kürüne tabi tutulan 3, 7, 28 ve 90 günlük beton numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımlarının, aynı yaşlardaki kontrol betonlarının basınç dayanımlarından daha düşük olduğu görülmektedir.

Buhar kürü uygulanan betonların ilk bir-iki günden sonraki basınç dayanımlarında, normal kür göre aynı yaşlardaki betonların dayanımlarına göre, azalma meydana gelmektedir.

3. Buhar kürü devresinde uygulanan 5 saatlik ve 10 saatlik maksimum sıcaklık süresinin etkileri karşılaştırıldığında, aynı bekleme süresi ve aynı beton yaşı koşullarında 10 saatlik maksimum sıcaklık süresi sonunda elde edilen basınç dayanımlarının, 5 saatlik maksimum sıcaklık süresi sonunda elde edilen dayanımlardan daha yüksek olduğu görülmektedir.

Buhar kürü devresinde maksimum sıcaklığın uygulandığı süre arttıkça, beton basınç dayanımında da artma olacaktır.

4. Çizelge 3a ve 3b'den görülebileceği gibi, bekleme süresinin priz başlama süresine eşit olması kabul edilerek buhar kürüne tabi tutulan betonlarda elde edilen basınç dayanımı değerleri, bekleme süresinin priz başlama süresinden daha kısa kabul edilerek buhar kürüne tabi tutulan betonlarda elde edilen basınç dayanımı değerlerinden daha yüksek olmaktadır.

Bekleme süresinin, buhar kürü sonucunda elde edilecek basınç dayanımlarına oldukça büyük etkisi olmaktadır. Bu sürenin taze betonun priz başlama süresinden daha kısa tutulmamalıdır.

Referanslar

Hanson, J.A., 1963, Optimum Steam Curing in Precasting Plants, *ACI Journal Proceedings*, V.60, No.1.

Mindess, S. and Young, J.F., 1981, *Concrete*, Prentice-Hall Inc., New Jersey.

Neville, A.M. and Brooks, J.J., 1987, *Concrete Technology*, Longman Scientific & Technical, England.

Saul, A. G. A., 1951, Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure, *Magazine of Concrete Research*, V.2.

Soroka, I., Jaegermann, C.H. and Bentur, A., 1978, Short-term Steam Curing and Concrete Later-age Strength, *Materiaux et Constructions*, V.11.