

TEMEL BETONU DÖKÜMLERİNDE SICAKLIK KONTROLÜ

Beton 2011 Kongresi'nden

Elif BAŞARANER¹

Mehmet MUTLU²

Özet

Günümüzde, özellikle yüksek katlı binaların temelleri hem büyük kütle halinde-kalın dökülmekte, hem temellerde C35/45 üzerinde, çimento bakımından zengin, yüksek kalite ve yoğun donatılı betonarme betonu kullanılmaktadır. Bilindiği gibi, kütle betonlarında çimentonun hidrasyon ısısı sebebiyle, beton içersinde ve beton-çevre arasında meydana gelen aşırı sıcaklık farklarının yaratacağı çatlaklar ciddi sıkıntılar doğurabilir. Bu nedenle, toprak altında kalan ve zararlı maddeler kimyasallar vb. içeren sularla temas halinde olacağı için, özellikle kalın temel betonu dökümlerinde, kullanılan çimentonun dozajı-hidrasyon ısısı, betonun kalınlığı, koruma tedbirleri, aşamalı döküm, betonun ön-soğutma (pre-cooling), son-soğutma (post-cooling) çabaları önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmada, farklı şantiyelerde beton dökümü öncesinde belli noktalara yerleştirilen kablolu termometreler (thermocouple) yardımıyla, beton iç sıcaklıkları ve çevre sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu amaçla farklı temel ka-

Temperature Control of Foundation Concrete Pourings

Recently, high-rise building foundations have been poured as like as mass and thick, plus over high strength concrete, rich in cement, like C 35/45 class, with dense reinforced. As known very well, mass concrete produces of high temperatures reason of cement hydration of heat, so excessive temperature differences occurs; between concrete-environment and inside the block. This difference causes the cracks and then serious problems. For this reason, especially, foundation concretes; exposed to aggressive effects of liquids or soils, cement dosage-heat of hydration, block thickness, precautions, a few step concrete pouring, pre-cooling and post-cooling facilities are very important.

In this study, a few thermocouples are installed during the concrete block pourings and measured of temperatures in concrete and weather. For measuring of temperature are used different block thickness, different puzzolanic cements and dozages. Temperature differences are minimised, with some precautions for uncracked concrete blocks. If, this precatons; reducing of block thickness (pouring a few steps), high thickness with isolation (nylon+foam cover) are realised, it seems without crack.

lınlıklarında, farklı çimento dozajları, mineral katkı içeren çimento cinsleri (Puzolanik çimento, CEM IV) kullanılmıştır. Betondaki sıcaklık artışı, özellikle çevre ile beton yüzeyi arasındaki farkın en aza indirilmesi, betonun çatlamaması için büyük önem taşıdığından, bazı tedbirler ile; döküm kalınlığının azaltılmasının, betonun üstünün naylon+strafor vb. malzemelerle örtülmesi ile tek seferde veya betonun soğumasını bekleyerek birkaç aşamada döküm yaparak sıcaklık farkının azalmasını sağlandığı, dolayısı ile, çatlaksız beton dökümü yapılabildiği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Betonun kütle halinde dökülmesi halinde, herhangi bir andaki beton iç sıcaklıkları ve beton yüzeyi ile çevre arasındaki sıcaklık farkları betonu çatlatmada önemli role sahiptir. Herhangi bir andaki, beton iç sıcaklığı ile çevre arasındaki sıcaklık farkı 25 °C'yi aştığında çatlaklar meydana gelmektedir[1]. Bu değer, bazı yayınlarda[2] donatısı olmayan betonlar için, 20 °C olarak verilmektedir. Betonda

¹ Nuh Beton A.Ş. Kalite Kontrol Sorumlusu, elif.karabak@nuhbeton.com.tr, ² Nuh Beton A.Ş. Kalite Müdürü, mehmet.mutlu@nuhbeton.com.tr
Anahtar kelimeler: hidrasyon ısısı, beton sıcaklığı, aşamalı beton dökümü, temel betonu, yalıtım, çatlaklar

oluşabilecek bu çatlaklar, betonu korozyona açık hale getirmekte, betonun dış etkilere açık olmasından dolayı dayanım ve dayanıklılık düşeceğinden, bu termal çatlakların oluşmaması için önlem alınması ihtiyacını doğurmaktadır.

Herhangi bir andaki **Sıcaklık = Taze beton sıcaklığı + Isınma - Soğuma** şeklinde formül hale getirilebilir[3]. Formüldekileri sırasıyla ele alırsak;

Taze Beton sıcaklığı; tasarımdaki çimento dozajının fazla olması, kullanılan çimento, agrega ve suyun sıcaklıkları ve ortamın aşırı sıcak olmasından dolayı taze beton sıcaklığının çok yüksek olacağını akla getirmektedir. Beton başlangıç sıcaklığını özellikle yaz aylarında düşürmek için bazı önlemler alınabilir. Beton içerisindeki miktarı fazla olan agrega, beton sıcaklığının yükselmesi bakımından oldukça etkilidir ancak sıcaklık kontrolü en zor olan malzemedir. Agregalar gölgede stoklanabilir, üzerine buharlaşacak kadar su püskürtülerek sıcaklıkları düşürülebilir. Çimento stok hacmi artırılabilir, silolar beyaza boyanabilir, stoktan çimento kullanılabilir. Çimento dozajı; dayanımı sağlamak koşuluyla, mümkün olduğunca agrega maksimum dane çapını yükselterek, az tutulabilir. Mineral katkılar (Uçucu kül, Cüruf, Tras, Metakaolin, Silis dumanı, vb.) veya mineral katkı içeren çimentolar ve priz geciktirici kimyasal katkılar kullanılabilir. Su depoları yalıtımlı hale getirilebilir veya mümkünse yer altında inşa edilebilir. Beton sıcaklığının artışı, beton başlangıç sıcaklığı kadar betonun taşınması, yerleştirilmesi ve döküm sonrası koşulları da oldukça önemlidir. Beton, üretiminden sonra teslim yerine mümkün olduğunca çabuk veya ıslak telis bezi sarılı mikserlerle yerine varmalı ve yerine yerleştirilmelidir. Beton dökülecek saatler iyi belirlenmeli, aşırı rüzgâr olduğunda önlemler alınamıyorsa (döküm çevresine rüzgâr kırıcılar yerleştirilebilir) beton dökümü ertelenebilir. Sıcak havalarda gün içinde beton sıcaklığının azaldığı saatlerde (00:00-12:00) beton dökümü yapılabilir.

Isınma'nın en önemli ayağının çimento tipi olduğu düşünülmektedir. Çimento ve suyun birleşmesiyle, ekzotermik (ısı veren) bir reaksiyon olarak açığa çıkan hidrasyon ısı; nedeniyle betonun iç kısımlarında sıcaklık 80°C'yi bulurken, çevre ile farkları 40-50°C'yi aşmaktadır. Bu yüksek sıcaklık farklarının oluşmaması için, hidrasyon ısı düşük (7 günde 60 cal/g, 28 günde 70 cal/g değerinin altında) çimento tipi tercih edilebilir [4]. Böylelikle beton başlangıç sıcaklığının üstüne eklenecek sıcaklık daha az olacak ve farklar azalacaktır. Ayrıca, dökülen betonun kalınlığı da sıcaklık artışıyla tetikleyici rol oynamakta, kalınlık arttıkça sıcaklıklar da artmaktadır.

Soğuma'ya gelince; büyük kütleli betonlarda tehlike oluşturan sıcaklık farklarının artmaması için ani soğutmalarından kaçınılması, ılık su ile kür edilmesi zorunlu hale gelmektedir. Ayrıca, kalıpların yalıtım özellikleri, atmosfere açık olan yüzey alanı, beton kalınlığı ve çevre koşulları (sıcaklık, rüzgâr, nem vb.) betonun soğumasında önemli role sahiptirler.

Baraj inşaatı gibi, her gün kütle betonu dökülen yerlerde ise; durum çok daha farklı ele alınarak, betonun başlangıç sıcaklığını düşürücü, donatı olmamasının avantajı ile, agrega maksimum dane çapını 150 mm'ye yükseltmek ve soğuk su, yapraksı buz, vb. ön-soğutma tedbirleri alınmaktadır. Bazı durumlarda, bununla yetinilmeyerek, betonun iç sıcaklığının fazla artmamasını temin için çelik serpantin boru döşeyerek beton içinden soğuk su geçirmek tedbirleri (son-soğutma) de alınmaktadır.

Konuya asıl sıcaklık farkı açısından bakılması daha doğru olup, bütün hesapların fark üzerinde yoğunlaşması gerekmektedir. Burada da, genellikle düşülen yanılığın kış aylarının, beton sıcaklığının düşük olması nedeniyle temel beton için daha uygun olacaktır. Genel olarak bakıldığında, kütle halindeki betonun iç sıcaklığı her koşulda çevre sıcaklığının üstünde seyretmektedir. Beton iç sıcaklığı; başlangıç sıcaklığına hidrasyon sıcaklığı da eklenince 50-80 °C seviyelerine çıkarken çevre sıcaklıkları en çok 35 °C'yi bulabilmektedir. Demek ki, taze beton sıcaklığının az olması avantaj olmakla beraber, beton sıcaklığının yaza göre çevre sıcaklığının daha da üstünde seyretmesi dezavantajdır. Örneğin, yazın çevre 32 °C iken, beton 32 °C olurken, kışın çevre 10 °C iken, beton 15 °C olacaktır; Sonuç olarak da, beton iç sıcaklığı zaten çevreyi geçecek iken, yarıya 5 °C önde başlayarak, beton-çevre sıcaklık farkının daha fazla açılmasına sebebiyet vermektedir.

Bu arada, unutulmaması gereken bir nokta da, beton basınç dayanımının ileri bir tarihe sarkmasının kaçınılmaz olacaktır. Çünkü sıcaklık farklarını azaltalım derken, ister istemez reaksiyonları yavaşlatmış olacağımızdan dayanımları da ötelemiş olacağız. Sadece yüksek oranda mineral katkı kullanımı halinde, standart olarak bilinen 28 gün yerine, 56 veya 90 günü esas almak zorunlu hale gelecektir. Bu durum, kolon, perde, döşeme gibi elemanlarda olsa, kalıp alma bakımından, sıkıntı veren bir durum olabilirdi, ancak temel olması işin hızını aksatmayacaktır.

2. AMAÇ

Kütle halinde-kalın dökülen betonların iç sıcaklığı ile çevre arasındaki sıcaklık farkları, betonun çatlamaması için büyük önem taşıdığından, beton iç sıcaklıklarının izlenmesi amaçlanmıştır. Beton iç-dış sıcaklık farklarının iki aşamada ele alınması daha doğru olacaktır [2].

1. Beton dökümünü takip eden birkaç gün içinde, **beton sıcaklıkları artarken**, betonun merkezindeki sıcaklık ile yüzeyindeki (son tabakanın ortası) sıcaklık farkının belirlenmesi,
2. Beton dökümünden birkaç gün geçtikten sonra, **beton sıcaklıkları azalırken**, yüzeyindeki sıcaklık ile, betonun hemen üstündeki ortam sıcaklığı farkına bakılması.

Burada en önemli konu, yüzeydeki sıcaklığın yüzeyden ne kadar içerde olacaktır. Mantıken bakıldığında, beton dökümü tabakalar halinde yapılıyor ve bu tabakalar da birbirini koruyor. Merkezi koruyanın, son tabakanın merkezini yüzey kabul etmek (yani, 25 cm tabaka kalınlığı var ise; 12,5 cm'e konulması) daha doğru olabilir. Bu durumda, son tabakayı da betonun hemen üstünde bulunan ortamın koruduğu düşünülebilir. Kütle betonlarının 50 cm kalınlıkta dökülmesi halinde de 25 cm'ye yerleştirmek uygun olabilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA ve SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Bu çalışmada; Nuh Çimento'ya ait CEM I 42,5 R ile CEM IV/B 32,5 R çimentolar aşağıdaki gibi birlikte kullanılmıştır.

1. Çalışmada C 35/45 Sınıfı beton 175 kg/m³ CEM I + 155 kg/m³ CEM IV
2. Çalışmada C 30/37 Sınıfı beton 180 kg/m³ CEM I + 145 kg/m³ CEM IV

3.1. Kablolu Termometreler ile Beton Sıcaklığı Ölçümü

Beton iç sıcaklıklarını ölçmek amacıyla, betonun farklı noktalarına kablolu termometreler (thermocouple) (Şekil-1) yerleştirilmiş ve ölçüm için kalıbın bir kenarına tutuşturulmuştur. Kablolu termometreler, betonun orta noktasına (merkez) ve yüzeyi temsil etmesi açısından yukarıdan 10-15 cm olacak şekilde, beton dökümü esnasında yerleştirilmektedir. Dökümden yaklaşık 6 saat sonra beton iç sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı ölçülmeye başlamış ve ilk günlerde daha sık (günde 3-4 kez), sonra seyrek olarak (günde 1-2 kez) belli aralıklarla ölçümlere devam edilmiştir. Uygulamalara ait 2 adet ölçüm örnekleri aşağıda yer almaktadır.



Şekil 1 Kablolu termometre cihazı



Şekil 2 Kablolu termometre'nin montajı

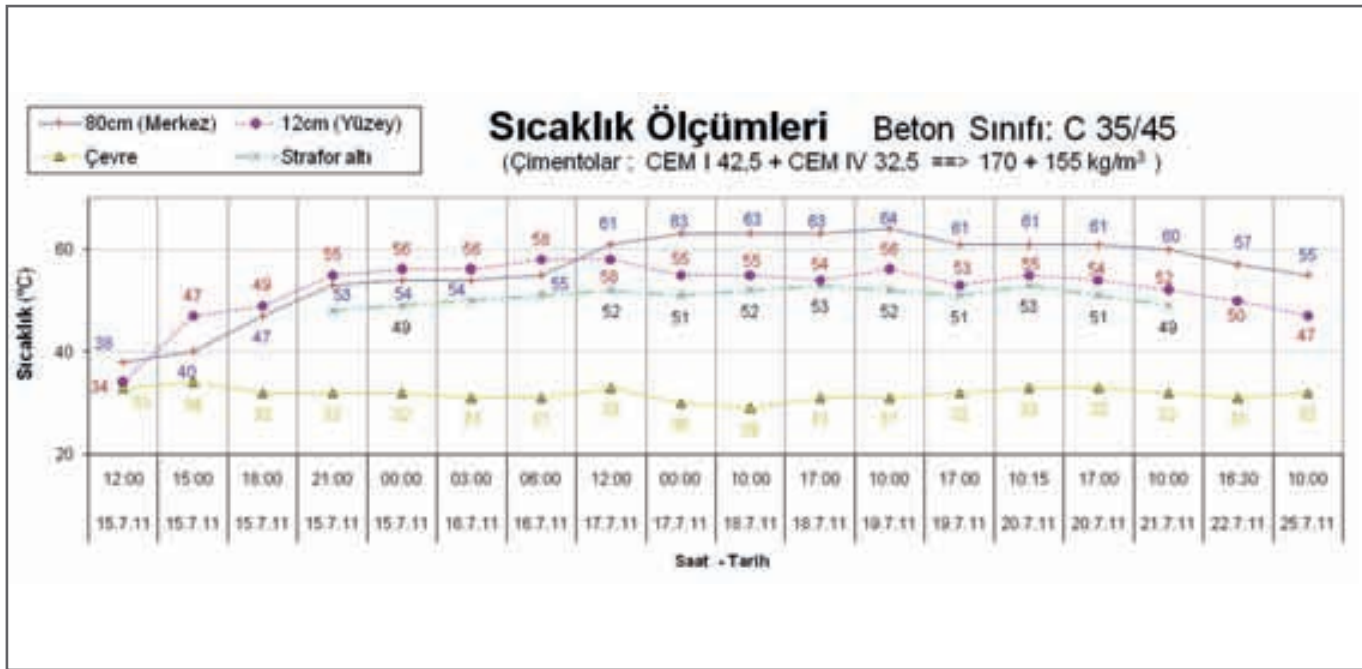
3.2. Kütle Betonunun Tek Seferde Dökülmesi

Bu durumda, sıcaklık farklarının kontrol altına alınması amacıyla betonun üstü naylon serilip strafor ile kaplanmış ve sıcaklık farkının 20 °C'nin altına düştüğü 6.gün strafor kaldırılmıştır. İstanbul'un Anadolu Yakası'nda 40 katlı bir gökdelenin 1,60 m'lik

temelinin, strafor ile kaplanması ile tek seferde dökülmesine ait bilgiler aşağıdadır.



Şekil 3 Temel betonunun strafor ile kaplanmış uzaktan görüntüsü



Şekil 4 1,60 m temelin çeşitli noktalarındaki beton ve çevre sıcaklıkları

1,60 m temelin merkezi (80 cm) ve yüzeyi (12 cm) içerisindeki zamana bağlı beton ve çevre sıcaklıkları grafiğine bakılır ise;

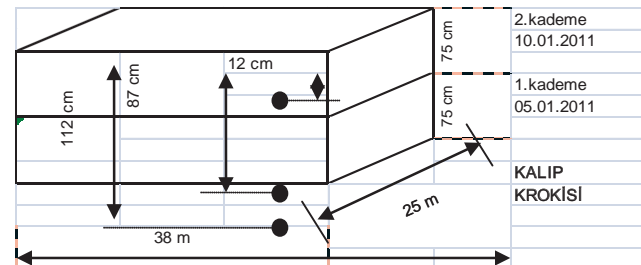
1. Merkezdeki sıcaklıkların (--- + ---) yavaş yavaş arttığı 4. günden sonra maksimum seviyeye (64 °C) çıktığı, sonraları da yavaş yavaş soğuduğu,
2. Yüzeydeki sıcaklıkların (– o –) önce yüksek seyrettiği, 1. günden sonra maksimum seviyeye (58 °C) çıktığı sonraları soğuduğu,
3. Strafor altı sıcaklığının (.. – x ..) beton sıcaklıklarından düşük çevreden uzak bir sıcaklıkta seyrettiği, 6. Günde sıcaklık farkı (21.07.2011 tarihinde, 52-32=20 °C) 20 °C den az olunca strafor'un kaldırıldığı görülmektedir.
4. Döküm sonrası betonun üst ve yan yüzeylerinde herhangi bir önemli çatlak gözlenmemiştir. Ayrıca, 6 gün boyunca naylon+strafor ile kaplı olduğu için, küre amacıyla betonun sulanması söz konusu olmamış, straforlar da şantiyede mantolamada değerlendirilmiştir.

3.3. Kütle Betonunun Birkaç Defada Dökülmesi

Betonun monolitik yapısını bozmamak için, bazı tedbirlerin alınması gereken durumdur. Proje sorumlusu tabakalar arasına ilâve donatı koyabileceği gibi, şantiyede, aralıklarla kazık ucu şeklinde alt tabakada yer yer çukurlar bırakmak, aderans artırıcı şerbet kullanmak çözümleri bulunabilir. Tabakalar arasındaki bekleme

süresi mevcut şartlarımızda yaklaşık 1 hafta gibi bulunmuştur.

Örnek olarak, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda 30 katlı bir gökdenin 1,50 m'lik temelinin 5 gün ara ile, iki seferde (75'er cm'lik tabakalar halinde) dökülmesine ait veriler aşağıya çıkartılmıştır.

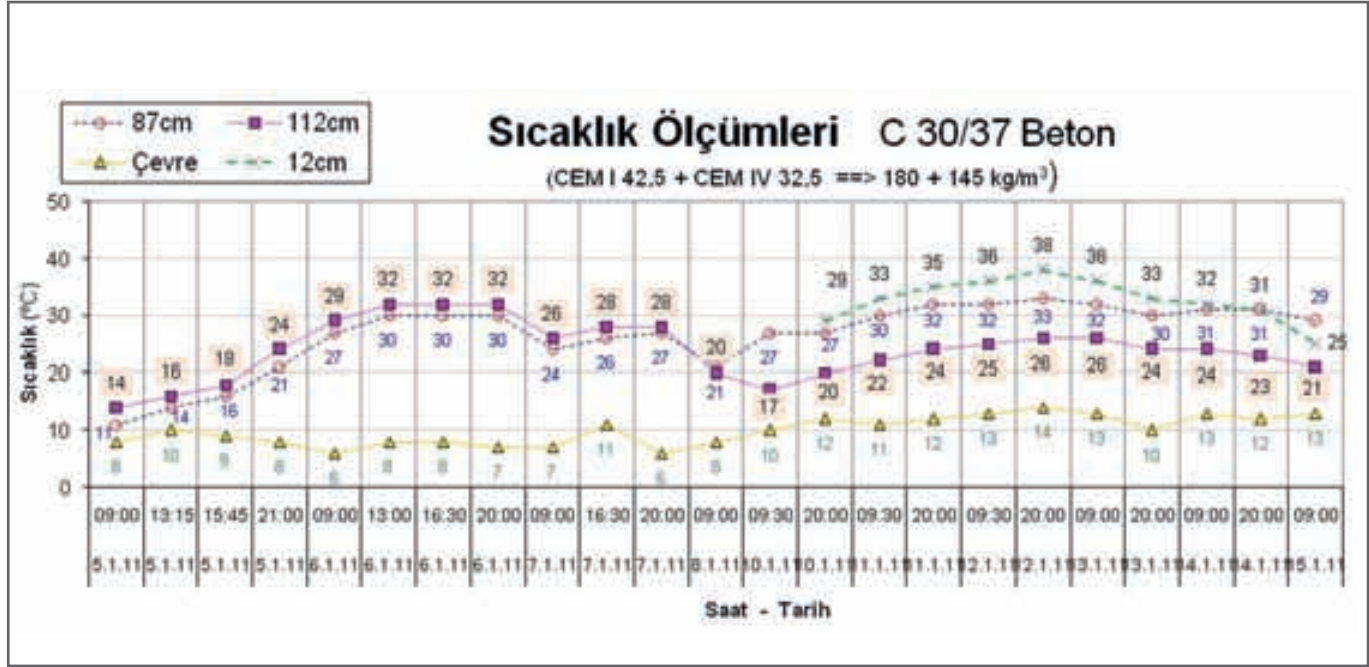


Şekil 5 Beton dökümü yapılan anonun krokisi

Yukarıdaki krokiden de görülebileceği gibi, 25x38=950 m²'lik alana sahip, 1,50 m kalınlıktaki bir temel iki kademe halinde 5 gün bekleme ile döküldü. 1. Kademeye merkez ve yüzey olmak üzere iki termometre, ikinci kademeye ise, bir termometre yüzeye yerleştirildi.

1,50 m temelin merkezi (önce 112 cm, sonra 87 cm) ve yüzeyi (önce 87, sonra 12 cm) içerisindeki zamana bağlı beton ve çevre sıcaklıkları grafiğine bakılır ise;

1. İlk 75 cm'lik tabaka döküldüğünde, 1. Günde (06.01.2011 tarih saat 09:00'da, yüzey-çevre farkı: 30-8 = 22 °C < 25 °C'de kalmıştır. Kış ayı olduğu için Merkezdeki maksimum 32 °C'ye kadar yükseldiği,



Şekil 6 1,50 m temelin çeşitli noktalarındaki beton içi ve çevre sıcaklıkları

- İkinci 75 cm'lik tabaka dökülünce, 21 °C'ye kadar düşen sıcaklıklar tekrardan yükselmeye başlayarak 33 °C'ye çıktı,
- Yüzeeye yakın konulan termometrenin sıcaklık değerinin ise maksimum 38 °C'ye ulaşarak, çevre ile farkı, 12.01.2011 tarihi saat 20:00'de 38-14 = 24 °C < 25 °C 'ye ulaşmış, bir sonraki beton dökümünde, 5 günlük bekleme süresini, 6 güne çıkartarak sınır durumdan kurtulmuş olundu.
- Bu tip döküm sonrasında da, betonun üst ve yan yüzlerinde kayda değer çatlak gözlenmemiştir.

4. SONUÇLAR

Son yıllarda, artan bina yükseklikleri paralelinde, çimento dozajı bakımından zengin, yüksek sınıflı betonlar ile tasarlanınca, doğal olarak yapının temel kalınlıkları da artmakta, adeta baraj inşaatındaki kütle betonlarına benzer betonlar gündeme gelmektedir. Bugüne dek daha ince dökülen temel betonları; mecburen kalın döküleceği için kütle betonu kuralları ile dökülmek zorunda kalınmaktadır.

Büyük şehirlerdeki mevcut beton santralleri ve şantiye imkânları, barajlardaki gibi, yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri olan ön-soğutma ve son-soğutma operasyonları için uygun değildir. Ayrıca, büyük hacimli dökümlerin de sadece temeller ile sınırlı olması yüksek yatırım maliyetlerini kaldırmamaktadır.

Bu durumda, temel betonlarının betonunu çatlatmadan, proje süresini uzatmadan, iyi bir plânlama ile ve ekonomik ola-

rak tek seferde veya birkaç seferde dökmenin yolları arandığında, yukarıda örnekleri verilen uygulamalar yapılabilir görülmektedir. Fiili uygulamalarda yapılan tespitlere dayalı çalışmanın sonunda;

- Betonun hararetini almak maksatlı (hidratasyondan açığa çıkan ısının aşırı yükselmesini önlemek için) mineral katkılardan yararlanılması,
- Tek seferde betonu dökmek gerektiğinde, üzerine naylon+strafor ile örtüp sıcaklık farklarının aşırı artmamasının sağlanması,
- Birkaç seferde beton dökümü yapılması halinde de yaklaşık 1 hafta betonun soğumasının beklenmesi,
- Beton sıcaklıklarının kablolu termometreler ile izlenerek daha ekonomik çözümlere gidilmesi, yazarlar tarafından önerilmektedir.

Kaynaklar

- Öztürk, A., Yener, M. "Baraj İnşaatı Esnasında Beton Sıcaklığı Kontrolü" **DSİ Teknik Bülteni, Yılı: 1987, Sayı 63**
- Neville, A.M., "Properties of Concrete", 1997
- Özkul, H., "Soğuk ve sıcak havada beton dökümü", DSİ Beton Semineri, 1984
- ASTM C 150, Standard Specification for Portland Cement, Table 4, Type IV Cement