

BOYABAT BARAJI ve HES PROJESİ KÜTLE BETONU ÜRETİMİ ve UYGULAMALARI

Beton 2011 Kongresi'nden

Soner Batur¹, Ziya Geçmez², Murat Erdivan³, Ömer Yıldız⁴

Özet

Boyabat Barajı ve HES Projesinde, Baraj gövdesinde 2.350.000 m³ kütle betonu ve 450 000 m³'de Yapı Betonu dökülecektir. Bu betonlar 36 ay içerisinde üretilip ve imalatı tamamlanacak şekilde programlanmıştır.

Kütle betonları; termal gerilmeler ve gerilmelerin şiddetine bağlı olarak değişen ve bu hacim değişiminin büyüklüğüne paralel olarak yapıda çatlak riski oluşacak büyük hacimli betonlardır.

Boyabat Barajında, Kütle betonunda hacim değişikliklerini azaltmak, minimize etmek için agrega üretimi, düşük hidrasyon ısısına ve sıcaklığa sahip çimento üretimi, beton üretim tesisinde düşük sıcaklıkta taze beton üretimi ve nakli, imalatı, yerleştirilmiş betondaki toplam sıcaklık artışını azaltmak için alınan önlemler, beton ekipmanları ve yapılan çalışmalar anlatılacaktır.

1. GİRİŞ

Boyabat Barajı ve HES Projesinin baraj gövdesinin, kret uzunluğu 293 metre, temel kayadan (tabandan) yüksekliği ise 195 metre, toplam 510 MW kurulu güç kapasitesinde, baraj gövdesi içine yerleştirilmiş santral binası, düşey ek senli üç adet Francis tipi türbin-jeneratör ünitesi, baraj gövdesine gömülü üç adet cebri boru, baraj gövdesi üzerinde altı radyal kapaklı ve ortasına konumlandırılmış üç boşaltım kanallı dolusavak olan Beton Ağırlık barajdır.

Boyabat Barajı İnşaatının iş programı, 48 ayda tamamı, 36 ayda baraj suyunun tutulmaya başlanması ve gövde betonunun da 33 ayda tamamlanması öngörülmesi nedeniyle, iş programının oldukça yoğun ve kısa zaman dilimine sıkıştırılması nedeniyle, iyi bir planlamanın, organizasyonun, hızlı ve isabetli kararların alınması gerektiği bir gerçektir. Bu nedenle iş programının zamanında bitirilmesi için kesintisiz ve yüksek kapasitede beton döküm sistemleri planlanmıştır.

İş programı içerisindeki enjeksiyon aktivitelerinin programa uygun olarak yapılması için, beton üretim ve imalatlarının zamanında yapılması sonucunda, beton anoları arasındaki derz açılımlarının da tamamlanmış olması gerekmektedir.

“Kütle betonu yapılarının projelerinde genellikle dayanıklılık, ekonomi ve termal hareket konuları göz önüne alınmaktadır. Mukavemet ise, birinci değil, ikinci derecede önemlidir. Kütle betonunu diğer betonlardan ayıran en önemli özellik kütle betonunun termal davranışidir.” [1].

“Kütle betonu yapılarının büyük boyutlarından ötürü yapıdaki büyük sıcaklık değişimleri yapının iç ve dış yüzeyi arasında

Boyabat Dam And Hepp Project Production Of Mass Concrete And Applications

Main Dam of Boyabat Dam and HEPP Project will be constructed of 2,350,000 m³ mass concrete and 450,000 m³ structural concrete when completed. Concreting Works are all planned to be finalized in 36 months according to Work Schedule.

Mass concrete is any large volume of concrete which is prone to thermal or temperature related cracking due to volume change.

Therefore, this report describes the following activities to minimize volume change in mass concrete in the scope of Boyabat Dam Project: aggregate production, cement production with a low heat of hydration, production of fresh concrete with a low temperature at Batching Plants and its delivery, and measurements, concrete equipments and other activities to reduce temperature rise in in-place concrete.

¹ Boyabat Elektrik Üretim ve Tic.A.Ş., Durağan-Sinop, sbatur@boyabatelektrik.com.tr, ² Doğu İnşaat ve Tic. A.Ş., Durağan-Sinop, ziyag@dogusinsa.com.tr, ³ Boyabat Elektrik Üretim ve Tic.A.Ş., Durağan-Sinop, merdivan@boyabatelektrik.com.tr, ⁴ Doğu İnşaat ve Tic. A.Ş., Durağan-Sinop, omery@dogusinsa.com.tr

Anahtar kelimeler: Kütle betonu, termal gerilmeler, hidrasyon ısısı, adyabatik sıcaklık artışı, beton sıcaklığı, beton nakli, betonun yerleştirilmesi, ard soğutma ve derz enjeksiyonu.

da önemli sıcaklık farklılıkları ortaya çıkabilir. Buna eşlik eden hacim değişimi farklılıkları ve kısıtlanma, çekme gerilme ve uzamalarına neden olur ve bunun sonucunda yapı dizaynına, işletilebilirliğine ya da görünümüne zarar verecek bir çatlama sebebe sebep olabilir." [2].

"Dökümde taze betonun sıcaklığını minimuma indirmek, termal gerilmeleri ve çatlamaı minimize etmek için en etkin yoldur. Genel olarak beton, plastik halden sertleşip katı bir hal aldığından betonun sıcaklığı ne kadar düşükse, çatlama eğilimi o kadar düşük olur." [3].

Düşük sıcaklıkta üretilen "soğuk beton; sıkıştırma esnasında vibrasyona daha iyi cevap verecektir" [3].

Yapılan planlama ve çalışmalar sonucunda, iş programının gerçekleştirilmesi sürecinde, yoğun ve büyük hacimli beton üretim ve imalatlarının yapılması ile birlikte, American Concrete Institute (ACI) komite raporlarından yapılan alıntılarda vurgulandığı gibi, kütle betonlarındaki, sıcaklık artışı ve değişimlerinin sonucunda oluşacak termal hareketlerin risklerine karşı önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler;

1. Betonda, sıcaklık artışının yaratacağı termal çatlak oluşumunu engellemek ve hacim değişimlerini azaltmak için düşük sıcaklık artışı olan beton üretim ve imalatının yapılması gerekir. Sıcaklık riskini minimuma indirmek için;

- Düşük hidrasyon ısısına sahip çimento kullanmak,
- Yeterli dayanım, durabilite (dayanıklılık), geçirimsizlik, işlenebilirlik sağlayacak düşük dozajda çimento kullanmak,
- Beton karışımının başlangıç döküm sıcaklığı azaltılarak, düşük sıcaklıkta taze beton üretmek,
- İmalatı yapılan betona yerinde ard soğutma yapmak,

2. Betonun, bulunduğu ortamda sıcaklık değişimleri gibi dış etkenlerden korumak için;

- Kışın betonu soğuktan korumak için, betonun üzerini cam yünü branda ile kapatarak beton kütle bünyesinde ısı farkı oluşmasına engel olmak,
- Kışın soğuk havada, yeterli dayanım almamış betonu, brandalarla kapatarak, bulunduğu ortamın ısısını 10 °C'nin üzerine çıkarmak için, beton yapının bulunduğu ortamı ısıtmak,
- Kışın soğuk su ile küre yapmamak ve beton yüzeyinde nem ve su birikintilerinden kaynaklanacak buz oluşumunu engellemek,
- Yazın taze betonu rüzgar ve güneş ışınlarında korumak, kütle betonun çimentolarında puzolan ve cüruf kullanılması nedeniyle beton küre süresini uzun tutmak,

Boyabat Barajı ve HES Projesinde, 1. ve 2. maddelerde söz konusu edilen önlemler alınarak, beton üretim ve imalatı yapılmaktadır.

2. BARAJ GÖVDESİ KÜTLE BETONU

2.1 .Beton Bileşenleri

2.1.1.Çimento

Betonun adyabatik sıcaklık artışı üzerinde çimento hidrasyon ısısının önemli bir etkisi olması nedeniyle, bu yaklaşım doğrultusunda, Boyabat Barajı ve HES Projesinde Baraj Kütle betonunda kullanılacak katkı çimentonun, "7. gün hidrasyon ısısı, 60 cal/g'dan, 28. gün hidrasyon ısısı 70 cal/g'dan az" olan çimentoların baraj kütle betonunda kullanılması hedeflenmiştir. [1]

Beton üretiminde; düşük hidrasyon ısısı, düşük alkali reaksiyon ve sulfata dayanıklılık gösterecek çimento olması şartlarını sağlayan çimento tipi olarak, TS EN 197-1 deki çimento tiplerinden biri olan, kompoze CEMV/A(S-P)32,5N tipi çimento kullanılmaktadır. Çimentonun bileşimindeki doğal puzolan olan tras %18 (trası minimumda tutularak), Yüksek Fırın Cürufu %22 ile sınırlandırılmıştır.

Çimento sıcaklığını düşürmek için, çimento fabrikasında, çimento soğutma sistemi kurulmuş olup, öğütülen çimento, stok silolarına alınırken soğutma sisteminden geçirilerek, sıcaklığı 95 °C'den, 50 °C'nin altına düşürüldükten sonra stoklanmaktadır. Beton karışımına giren çimento sıcaklığı 45 °C'nin altında olup, ortalama 30-40 °C'arasındadır.

2.1.2. Beton agregası

Baraj betonu agregası, kayaç cinsi kireçtaşı olan taş ocağından alınmaktadır.

Baraj gövdesi kütle ve gövde içerisindeki yapılarda kullanılan taş ocağı agregasının; yapılan Petrografik inceleme ve analiz, Kimyasal yolla Alkali tayini, Alkali Silika ve Alkali Karbonat Reaktivite deneyleri sonuçlarına göre, agreganın reaktif bir yapıya sahip olmadığı ve Alkali Reaktivite göstermediği tespit edilmiştir. Bu deneylere ilave olarak, agregaya, Dona dayanıklılık, Aşınma, Tane dağılımı (elek analizi), agregaya Kirlilik, Kil toprakları, kumda İncelik Modülü ve Yassılık İndeksi gibi deneyleri, kalite planında belirtilen standartlara uygun ve sıklıkta yapılmaktadır.

Taş ocağında beton agregası, 600 ton/saat kapasiteli iki adet konkasörde, (0/5), (5/20), (20/40), (40/80) ve (80/150) gruplarına ayrılarak üretilmektedir. Taş ocağı masif kaya olup kil ihtiva etmemesine rağmen, kırmataş kum ve ince çakıl ile

birlikte, beton santralı ön soğutma sisteminde, agregalara yapışarak gelen tozdan kaynaklanacak filitrelerinde tıkama yapmaması için bütün kaba agrega gurupları da yıkanmaktadır. Kırmataş kum stokholu altı(6) bunkere ayrılmış olup, kum, yıkama sonrası suyunu süzmesi için, bunkerlerde drenaj sistemiyle suyunu drene edip, ilk stoklanan ve dinlenmiş olan, bunkerden (stoktan) kum, bantlarla doğrudan kamyonla yüklenerek, beton santralı besleme bunkerine nakil edilmektedir.

Üretilen agregaların kirlenmemesi için, agregalar sahada ihzarat yapılarak depolanmamaktadır. Bütün agrega gurupları her biri 5000 m³ agregayı depolayacak beton bunkerlerde depolanarak, bantlı sistemle kamyonlara yüklenen agregalar, beton üretimi esnasında doğrudan beton santralı besleme bunkerlerine nakil edilmektedir.

2.1.3. Beton katkısı

Betonun, su/çimento oranını düşürmek ve priz süresini kontrol etmek için normal akışkanlaştırıcı kimyasal beton katkısı kullanılmaktadır. Kışın hava sıcaklığının sıfırın altında (12-15) °C'lere düşmesi nedeniyle hava sürükleyici katkı da kullanılmaktadır.

2.1.4. Beton karışım suyu

Beton üretiminde kullanılan su, beton santrallarının yanında sondaj ile açılan derin kuyulardan alınmaktadır. Beton karışım sularının analiz sonuçları, beton karışım suyu için TS EN 1008'istenen bütün parametreleri sağlamaktadır.

2.2. Beton üretimi ve imalatı

2.2.1 .Beton üretim merkezi

Boyabat Barajı ve HES Projesinde betonlar, baraj gövdesi

kütle betonu ve büyük hacim yapı betonları için, her biri 270 m³/saat kapasiteli iki adet (toplam 540 m³/saat kapasiteye sahip olan) beton santralları ile sürekli ve kesintisiz olarak kütle betonları üretilmektedir. Üretilen beton, sistemin parçası olan ve beton santralları ile birlikte çalışan ve aynı kumanda sistemine bağlı Ardışık Bantlı İletim Sistemiyle (ABİS) taşınmaktadır. Yapı betonlarının üretimi, toplam kapasitesi 220 m³ olan üç adet klasik beton santralında yapılmaktadır.

Kütle betonu üretiminde; beton santralında, üretilecek taze beton sıcaklığını hedeflenen 10 °C'de üretmek için (Tablo 1);

1. Beton agregası; kum hariç, bütün beton agregası, beton karışımına girmeden önce beton santralı üzerinde bulunan agrega silolarına alttan soğuk hava gönderilerek agregalar soğutulmaktadır. Agregası sıcaklığı 12 °C'nin altına düşürülmektedir.
2. Beton karışım suyu, 5 °C'nin altında kadar soğutulmaktadır.
3. Çimento fabrikada, ön soğutma işlemi yapılarak, sıcaklığı, 50 °C'nin altına düşürülen çimento, her beton santralı yanında bulunan 1200 tonluk ikişer adet çimento stok silolarında stoklanarak dinlendirildikten sonra, santral üzerinde bulunan ara stok silolarına alınarak, beton karışımına 45 derecenin altında soğutulmuş olarak alınmaktadır.
4. Sürekli buz üreten, her biri 5 m³/saat kapasiteli iki adet buz üretim tesisinden beton karışımına ilave edilecek buz alınmaktadır.

Kış döneminde beton santralında, beton karışım suyu ısıtılarak, agregalar buz ve dondan korunarak beton üretimi kesintisiz yapılmaktadır.

Aylar	Beton bileşenlerinin ortalama aylık sıcaklıkları (°C)							
	Beton	Çimento	Su	Agregalar				
				0-5	5-20	20-40	40-80	80-150
Nisan 10	9,6	33,4	7,1	12,9	11,2	9,9	9,7	9,7
Mayıs 10	9,5	32,8	6,4	13,9	11,0	9,5	9,1	8,7
Haziran 10	9,7	34,0	5,0	15,6	10,8	9,1	9,0	8,1
Tem. 10	9,5	36,7	5,0	19,1	9,7	7,5	9,9	9,9
Ağustos 10	9,7	38,3	4,8	19,5	10,6	8,7	11,0	11,5
Eylül 10	10,1	36,8	5,1	18,5	10,4	9,2	10,9	10,4
Ekim 10	9,8	33,6	6,5	16,4	8,8	8,2	9,5	9,3
Haziran 11	10,8	37,5	4,1	14,5	11,0	9,6	9,7	9,4

Tablo 1 Üretilen taze beton ve beton bileşenlerinin sıcaklıkları

Beton santralı tam otomasyon sistemi ile çalışmaktadır. Bilgisayar sistemine kodlu olarak girilen karışım formüllerindeki karışım suyu miktarına, higrometre ile rutubeti kontrol edilen kum ve ince çakılın rutubet değerleri, sisteme otomatik iletilmekte, karışım suyunda gereken düzeltmeler yapıldıktan sonra gerekli olan su karışıma alınmaktadır. Ayrıca karışıma ilave edilmesi gereken buz miktarı sisteme otomatik iletilmekte, ilave edilen buz ağırlığı kadar karışıma sistem ek-sik su almaktadır.

Beton karışımının bileşenleri olan, agrega, çimento ve beton karışım suyunun sıcaklıkları, beton santralı kumanda odasındaki dijital ekrandan ve bilgisayar sistemi monitorundan sürekli izlenmektedir. Üretilen taze beton, karıştırıcıdan beton nakil bantına boşaltılırken, sıcaklığı beton santralı kumanda odasında sürekli takip edilmektedir.

Beton karışımında, santralda her biri bir seferde 4,5 m³ kapasitede karışım yapacak, üç adet drum mikser (tambur karıştırıcı) vardır. Karıştırıcının birincisi beton bileşenlerini alırken, ikincisi kazanına almış olduğu beton bileşenlerinin karışımını yapmakta, üçüncüsü ise karışım süresini tamamlayarak boşaltma konumuna geçmektedir. Beton santralındaki sistem bu şekilde sürekli ve kesintisiz beton üretimini gerçekleştirmektedir. Sürekli ve kesintisiz üretilen beton, beton santralları ile birlikte otomatik olarak çalışan ve sistemin bir parçası olan Ardışık Bantlı İletim Sistemi (ABİS) ile döküm yerine taşınmaktadır.

2.2.2. Betonun taşınması

Üretilen beton, beton santrallarıyla birlikte çalışan, her birinin kapasitesi 540 m³/saat olan iki hatlı olan Ardışık Bantlı İletim Sistemi ile, biri memba, diğeri mansap bölgesindeki betonların dökümü yapılmaktadır. Gerektiğinde, bu iki hat ile aynı anda ve ayrı zamanlarda, hem memba, hemde mansap bölgesinde de beton dökülebilir.

Ardışık Bantlı İletim Sistemiyle taşınan beton, beton döküm yerine iletilir ve beton dökülen ano içerisinde sabit mesnet sokete (veya mobil mesnet sokete) monte edilmiş, eksenine etrafında 360 derece dönebilen ve üzerinde ileri-geri hareket edebilen hareketli bir bant bulunan beton dağıtıcı ile (Swivel Place), pompa betonunu ucundaki fil hortumuna benzer düzenek ile ucundaki hortumunun yüksekliğini de ayarlayarak beton, gereken yerlere ve yükseklikte tabakalar halinde kalıp içerisine sürekli ve kesintisiz dökülmektedir (Resim2).

2.2.3. Beton döküm yerinin hazırlanması

Boyabat Barajı ve HES Projesi, baraj gövde beton imalatı ta-

bandan itibaren dört blok şeklinde (A,B,C ve D) sıralanmış, her blokta, en büyük beton döküm anosu 26x42 metre olacak şekilde derz oluşturularak, 3 m yüksekliğinde liftler şeklinde dökülmektedir.

Beton dökümünde, tırmanır çelik kalıp sistemi kullanılmaktadır. Beton dökümüne başlanılmadan önce, temizlenmiş ve beton dökümüne hazır hale getirilmiş, kalıp içerisine enjeksiyon ve soğutma boruları (serpantinler) yerleştirilir. Beton dökümünden önce soğutma boruları sistemi 10 atmosferlik basınç altında dayanıklılıkları ve sızdırmazlıkları test edilmektedir. Enjeksiyon boruları ise, borunun beton dökülecek kalıbın üst kısmında kalan ağızından (ters yönden) su verilerek, galeride enjeksiyon borusundan suyun çıkması izlenerek, suyun gelmesi ile borunun açık olup olmadığı teyid edilmektedir. Enjeksiyon ve soğutma sisteminin sızdırmazlık ve fonksiyonunu yerine getirmesinden emin olunduktan sonra, beton dökümünden önce soğutma boruları ayrıca su ile dolu tutulmaktadır. Beton döküm süresince soğutma suyu serpantinlerde dolaştırılmaktadır (Şekil 1).

Su tutucu bantlar uygulama projesine göre yerlerine konulmakta ve beton döküm esnasında, zarar görmemesi için, etriye şeklinde demir kafes içine alınarak korunmaktadır.



Şekil 1 Beton döküm yerinin hazırlanması

2.2.4. Betonun dökümü ve sıkıştırılması

Beton, çipingi yapılmış, mevcut sertleşmiş beton üzerine dökülmeden önce, beton yüzeyi kuru ise, nemlendirilerek ve eski beton ile taze beton arasında aderansı sağlamak için, çimentoca zenginleştirilmiş 2-3 cm kalınlığında harç dökülmektedir.

Beton anolara, 50 cm yatay tabakalar halinde, 6 tabaka şeklinde 1,5-2,0 metre yükseklikten dökülerek tamamlanmaktadır. Beton yerleştiricinin-(Swivel Placer) tarama alanı dışın-

da kalan (bant boyunun yetişmediği) kısa mesafelerde, beton yerleşimi küçük dozerle tabakalar teşkil edilerek yapılmaktadır. Betonun priz alıp almadığı devamlı kontrol edilerek, her tabaka bir önceki tabakanın üzerine ve priz başlangıcından evvel, taze betonla kapatılmaktadır. Bunun için ilk tabaka seriminde, beton prizini tamamlamadan, üzerinde yeni tabakaların serimi yapılmaktadır. Bu işlem, tüm döküm kalınlığı (3,0 m) oluncaya kadar uygulanmaktadır. Betonun kalıplara dökülmesi, işlenebilirlik vasfı kaybolmadan tamamlanmaktadır.

Galeri betonları ve Cebri boru kenarlarının (etrafı) C25/40 beton ile, uygulama projelerinde gösterilen kalınlıkta ve genişlikte dökülmektedir. Barajın memba ve mansap dış yüzeylerinde geçirimsizliği sağlamak için, 1,50 m genişliğinde Dmax 80 mm olan C20/80 betonu ve memba tarafındaki A anosunun sağ ve sol sahil yamaçlarıyla kontak teşkil eden liftlerin yamaç taraflarına (kaya ile kontakt yapan kısımları) 1,5 m genişliğinde C20/80 beton dökülmektedir.

Bu sıkıştırma işlemlerinde, vibrasyon, her noktada, beton yüzeyinde ince bir şerbet tabakasının belirmesine, tamamen boşluksuz bir bütün haline gelmesine ve hava kabarcıklarının kaybolmasına kadar, ekskavatör ucuna monte edilmiş, daldırma tip, 15 cm çaplı 2, 4 ve 8'li vibratörlerle yapılmaktadır. Sıkıştırma işlemi tamamlanınca, vibratörler, betonda boşluk kalmaması için beton içerisinden yavaşça dışarı çekilerek işlem tamamlanmaktadır. Ancak, kalıp yüzeylerine, su tutucu bant kenarlarına, cebri borulara, galeri kalıplarına ve muhtelif teçhizatlı ve çelik donanımlı yerlere yakın kısımlar, el vibratörleri ile sıkıştırılmaktadır.

Beton içerisindeki, beton donatı çubukları, gömülü elemanlar ve kalıp vibratör ucu ile temas etmeyecek şekilde beton sıkıştırılacak ve iki beton tabakası arasında güçlü aderans sağlamak için, vibratör sıkıştırılan tabakanın altındaki tabaka içerisine de (5-10 cm) girecek şekilde sıkıştırma işlemi yapılmaktadır..

Galeri kemeri ve Cebri boru etrafına yerleştirilen betonlarda, 4'lü ve 6'lı 15 cm çaplı vibratörler ile sıkıştırma yapılamadığı kısımlarda, el vibratörleri veya ekskavatör ucuna takılmış 15 cm çaplı ikili ve tekli vibratörler de kullanılarak sıkıştırma işlemi yapılmaktadır (Şekil 2).

Beton dökümünde, tırmanır kalıp sistemi kullanılması nedeniyle, kalıp montajı esnasında bir üst döküm kalıplarının bağlanacağı ankrajların yerinden sıyrılıp kopmaması ve monte edilmiş kalıp yükünü taşıyabilmesi için, betonun yeterli basınç dayanımı alması gerekir. Bu nedenle birbirini izleyen iki ano beton dökümü arasında geçecek süre 72 saat olacak şekilde beton dökümü programlanmaktadır.



Şekil 2 Beton dökümü

2.2.5. Betonun soğutulması -Ard soğutma

“Şayet, büyük bir kütle betonu yapısının maksimum iç sıcaklığı kütlelerin nihai sabit sıcaklığının üzerinde ise, masif yapılarda hacim değişimleri, onlarca yıl devamlı olarak meydana gelecektir. Yapım faaliyetleri mümkün olduğunca çabuk sonuçlandırılabilinsin diye, daha hızlı bir hacim değişiminin olmasını gerektiren yapılar, aynı zamanda iç ısının yapay yollardan atılmasını da gerektirebilir. Alışla gelmiş bir metod, gömülü borularda bir soğutma maddesinin sirküle edilmesidir.” [2].

Bu nedenle, Boyabat Barajı ve HES projesinde, betonu termal gerilme riskinden korumak ve büzülme derzlerinin açılmasını sağlamak için, çiller soğutma sisteminde soğutulan su (<5 °C), beton içerisindeki borulardan sirküle edilerek, günde (<0,7 °C), altında bir hızla betonlar soğutulmaktadır.

Düşük hidratasyon ısısılı çimento kullanılarak üretilen düşük sıcaklıktaki taze betonun dökümünden sonra, adyabatik sıcaklık artışıyla birlikte, teknik şartnamede öngörülen sıcaklık 40 °C ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle beton dökümü ile birlikte, baraj gövdesinde her anoda bulunan serpantin borular ile teşkil edilen ard soğutma sisteminden soğuk su dolaştırılarak beton sıcaklığı 13 °C'nin altına düşürülmektedir. Kati projede belirtilen, ortalama yıllık sıcaklık 13 °C'dir. Baraj gövdesi bu sıcaklıkta kararlı hale gelecektir. Bu nedenle yeterli derz (nihai büzülme) açılımı için beton sıcaklığının ortalama 13 °C'nin altına düşmesi öngörülmüştür. Böylece derz enjeksiyonunu yapabilmek için, gerekli ano büzülme ve dolayısı ile genleşme derzleri aralarının açılması sağlanmaktadır. Yeterli derz açılımı için beton sıcaklığı, hedef alınan 13°C'nin altına düşürüldükten sonra derz enjeksiyonuna başlanmaktadır.

Beton sınıfı	Çimento dozajı (kg/m ³)	Beton birim ağırlığı (kg/m ³).	Betonun özgül ısısı (cal/g °C)	28. gün Çimento hidrasyon ısısı (cal/g)	5.veya 7.gün %85 adyabatik ısı artışı(°C)	28.gün adyabatik ısı artışı (°C)	Toplam ısı artışı (taze beton10 °C ise)
C14/150	140	2461	0,22	69	15,2	17,8	27,8
C16/150	160	2450	0,22	69	17,4	20,5	30,5
C18/150	180	2452	0,22	69	19,6	23,0	33,0

Tablo 2 Betonda adyabatik sıcaklık artışı

Yapılan hesaplarda beton üretim merkezi olan beton santalında taze beton sıcaklığı ortalama 10 °C olacak şekilde yapılmaktadır. Taze beton sıcaklığı ve betonda adyabatik sıcaklık artışı ile birlikte beton sıcaklığı, tabloda da görüldüğü gibi teorik olarak, C14 betonunda 27,8°C'yi, C16' betonunda da 30,5 °C'yi, C18 betonunda da 33 °C' olarak hesaplanmıştır. [2] Uygulamada beton anolarına yerleştirilen termokapullar ile yapılan sıcaklık ölçümleri, mevsimlerdeki ortam ısısına bağlı olarak, C14/150 betonda (28-30) °C'yi , C16/150 betonda (29-34) °C'yi C18/150 betonda (30/35) °C' arasında olmuştur. Beton sıcaklığı, teknik şartname ve kati projede ön görülen maksimum sıcaklık olan 40 °C'nin altında kalarak, betonda termal gerilmelerin neden olacağı çatlak riski minimize edilmiştir.

Yapılan deneme üretimlerinde ve beton imalatlarında beton içerisine yerleştirilen termokapullarla alınan sıcaklık ölçümlerinde de bu sıcaklık değerlerine benzer ve yakın sonuçlar alınarak çalışmaların sonuçları teyid edilmiştir. Beton sıcaklığı iki yoldan ölçülmektedir. Birincisi; uygulama projelerinde belirtilen yerlere konulan termokapullar kullanarak, ikincisi ise serpantin (soğutma borusu) içerisindeki suyun dolaşımı durdurularak, suyun beton kütlesi (anosu) sıcaklığına ulaşması için 48 saat bekledikten sonra, boru içerisindeki suyun sıcaklığı ölçülerek beton sıcaklığı tespit edilmektedir.

2.2.6. Betonun korunması ve kür yapılması

Sıcak havalarda beton dökümünden sonra, beton yüzeyi güneş ışınlarından ve rüzgardan korumak için plastik branda ile kapatılmakta, prizini tamandıktan sonra telis ile örtülerek, telis sürekli nemli tutulmaktadır.

Soğuk havada, betonda termal gerilmeler ve bunun sonucunda oluşacak hacimsel değişim riskine karşı, betonun iç sıcaklığı (çekirdek kısmı) ile yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı (beton kütlesi içerisindeki sıcaklık farkını) 20 °C'nin altında tutmak için, beton yüzeyi cam yünü izolasyonlu bran-

dalarla, soğuk havalarda (çevre sıcaklığı < 2 °C) beton dökümünde ve sonrasında ise, taze betonun üzeri cam yünü (izolasyonlu branda) ile kapatılarak korunmuş ve betonun bulunduğu ortam sıcaklığını 10°C'nin üzerine çıkarmak için, gerektiğinde, zaman zaman kontrollü bir şekilde ve betonun yapısına zarar verilmekten ısıtma işlemi yapılmıştır. Kalıp sökmünden sonra betonun üzeri cam yünü branda örtülerle kapatılarak koruma işlemine devam edilmiştir. Koruma süresi, ortam sıcaklığına bağlı olarak uzun tutulmaktadır. Kür işlemi, betonu telis ile örterek, telis sürekli nemli tutulmakta veya beton yüzeyine su püskürtülerek yapılmaktadır. Soğuk havalarda beton kür suyunun beton yüzeyinde birikinti oluşturarak donmasına izin verilmemektedir.

3.SONUÇLAR

1. Planlanan şekilde, düşük hidrasyon ısılı, soğutulmuş çimento, soğutulmuş kaba agregalar, soğuk su ve buz kullanılarak ortalama 10°C gibi düşük sıcaklıkta taze beton üretiminin kesintisiz ve sürekliliğinin sağlandığı,
2. Planan hedeflerin ve iş programının gerçekleşmesi için, agrega üretim tesisi (konkasör), beton santralleri, agrega soğutma ve buz üretim tesisleri, beton nakil sistemi, betonun yerine yerleştirilmesinde kullanılan makine ve ekipmanların kapasite, nitelik ve nicelik olarak seçiminin amaca uygun olarak yapıldığı ve istenen kapasitelerde çalıştığı, teyid edilmiştir.

Kaynaklar

1. ACI 207.1R-05 Guide to Mass Concrete.
2. ACI 207.2R-07 Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete.
3. ACI 207.4R-05 Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete.