

## Betonun yerleştirilmesi ve kürü sırasındaki sıcaklık kontrolünün önemi



*Soğuk havada beton dökümü sırasında dikkat edilmesi gereken üç ana nokta: taze betonu donmaya karşı korumak, yeterli dayanım elde edilene kadar koruma sağlamak ve termal şok ve çatlak oluşumundan korumak*

Soğuk havada beton dökümünde dikkate alınması gereken üç nokta vardır: 1) Yeni yerleştirilen taze betonu erken donmanın neden olduğu hasarlardan korumak; 2) Yeterli dayanım kazanımı sağlanana kadar kürlenme için gereken koşulları muhafaza etmek; 3) Koruma süresi boyunca betonu termal şoktan ve buna bağlı oluşabilecek çatlaklardan korumak.

Yeni yerleştirilmiş betonun donması ani ve kalıcı hasara neden olabilir. Hasar, suyun (karma suyu) donduğunda hacminin %9 artmasından dolayı meydana gelir. Çimento hamurunun genişmesi ve mikro çatlakların

oluşmasına neden olan buz kristallerinin oluşumu, basınç dayanımını azaltabilir ve sertleşmiş betonun porozitesini artırabilir (Şekil 1). Donmanın, betonun yerleştirilmesinden sonraki ilk birkaç saat içinde veya beton yaklaşık 500 psi (~3,45 MPa)'lik bir basınç dayanımına ulaşmadan önce meydana gelmesi durumunda, dayanım yarı yarıya düşebilir. Sonradan uygulanan kür hasarı iyileştirmek veya betonun sertleşmiş özelliklerini eski haline getirmek için yeterli değildir.

Portland çimentosu veya çimento esaslı malzemeler ile su arasındaki kimyasal reaksiyonu ifade eden hidrasyon olayı ile karışım suyu miktarı veya suya doygunluk derecesi yeterince azalincaya kadar taze beton erken donmaya karşı korunmalıdır. Hidrasyon sırasında, karışım suyu çimento esaslı malzemelerle birleştikçe ve karışım sertleşmeye başladıkça, beton karışımının suya doygunluk derecesi sürekli olarak azalır. Hidrasyon sayesinde, buz kristalleri oluşturabilecek karışım suyu miktarı azalır ve böylece betonun donması durumunda kalıcı hasar bırakma riski azalmış olur.

Dış su kaynaklarının bulunmadığı durumlarda, kritik doygunluk derecesi böylece tek bir donma döngüsü betona kalıcı olarak zarar vermez - beton en az 500 psi'lik bir dayanıma ulaştığında meydana gelir. Belirtilen kür sıcaklıklarında, doğru tasarlanmış beton karışımları bu dayanımı yaklaşık 24 saat içinde elde edebilmektedir. Çimento içeriği yüksek karışımlar veya sıcak su ve priz hızlandırıcı katkıları içeren karışımlarda

ise 500 psi dayanıma çok daha erken ulaşılabilir. Bu sebeple, yeni yerleştirilmiş betonun ilk 24 saat boyunca veya beton en az 500 psi'lik bir dayanıma ulaşana kadar donmaya karşı korunması oldukça önemlidir.

Beton, en az 500 psi'lik bir dayanıma ulaştığında, eğer hava sürüklenmişse ve harici bir su kaynağına maruz kalmamışsa, bir kez donma-çözünme döngüsüne karşı dayanıklı olabilmektedir. Betonun birden fazla donma-çözünme döngüsüne karşı dayanıklı olabilmesi için 3,500 psi (~24 MPa), donma-çözünme döngüsünün yanı sıra uygulanan buz çözücü kimyasalları da tolere edebilmesi için ise en az 4,500 psi (~31 MPa)'lik dayanıma

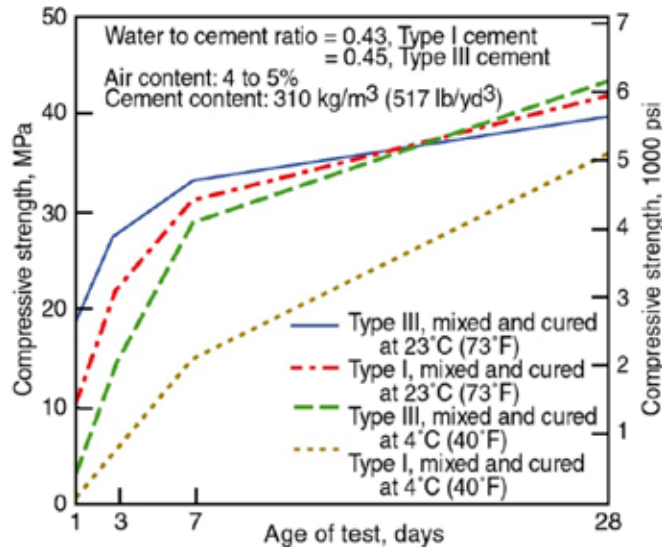
### Controlling concrete placing and curing temperatures is the key to success

There are three primary objectives for cold weather concreting: 1) Protect the newly placed concrete from damage due to early-age freezing; 2) Maintain curing conditions to ensure adequate strength gain; and 3) Protect concrete from thermal shock and related cracking at the end of the protection period.

ulaşması gerekmektedir. Ayrıca, yeni yerleştirilmiş taze betonun gözeneklerindeki karışım suyu, boşluk suyundaki alkaliler ve diğer faktörler sayesinde sıcaklık 0°C'nin altına düşüne kadar donmaz. Bu nedenle, ölçülen beton sıcaklığı 0°C veya birkaç derece daha düşükse hemen betonun donmuş olduğu yargısına varılmamalıdır. Soğuk havanın sebep olabileceği kalıcı hasarı önlemek için betonun yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey düzeltme işleminden sonra mümkün olan en kısa sürede donmaya karşı korunması gereklidir.



**Şekil 1.** Donmuş beton içinde bulunan buz kristalleri. Bu numunede, donmadan kaynaklanan hasar sonucu mikro çatlak oluşumu yaklaşık olarak 5 cm derinliğe işlemiştir.. Kaynak: David Rothstein, DRP, A Twining Company



**Şekil 2.** 4°C ve 22°C sıcaklıklarında kürlenmiş Tip 1 ve 3 çimento içeren betonların erken yaş basınç dayanımı karşılaştırması. Kaynak: Klieger, P. Effect of Mixing and Curing Temperatures on Concrete Strength, RDB RX103, Portland Çimento Birliği, 1958, [www.cement.org](http://www.cement.org)

### Yeterli dayanım sağlanana kadar koruma

Sertleşme ve dayanım kazanma hızı betonun sıcaklığına bağlıdır. Şekil 2'de gösterildiği gibi, düşük kür sıcaklıkları hidratasyon hızını düşürür ve dayanım kazanma hızını azaltır. Kalıpların, payandaların ve dikmelerin güvenli bir şekilde sökülebilmemesi ve yapıların inşaat sırasında ve sonrasında güvenli bir şekilde yükleri taşıyabilmesi, taze betonun istenilen dayanıma ulaşması, betonun korunması veya kürlenmesi boyunca yeterli sıcaklıkların muhafaza edilmesiyle mümkün olmaktadır.

**Betonun Yerleştirilmesi ve Kür Sıcaklığı:** Taze beton dökülecek tüm yüzeyler kar, buz ve durgun sulardan arındırılmış olmalıdır. Donmuş temel veya alt tabakaların üstüne beton dökülmemelidir. Zemine oturan döşemeler için, taze beton ile temel arasında yaklaşık 6°C'yi aşan sıcaklık farklarından kaçınılmalıdır. Aksi takdirde yüzeyde priz alma farklılıkları, hızlı nem kaybı, tabaka halinde ayrılmalar (delaminasyon) veya plastik rötre çatlakları meydana gelebilir.

Soğuk havada beton dökümüne ilişkin şartnameler, betonu erken donmaya karşı korumak ve yeterli dayanım kazanımı sağlamak adına olabilecek minimum beton yerleştirme sıcaklığı, minimum beton kür sıcaklığı ve kür süre limitlerini belirler. Amerika Ulaştırma Bakanlığı (DOT) tarafından belirtilen en yaygın minimum beton yerleştirme ve kür sıcaklıkları 10-12°C arasında olmakla beraber eyalet bazında nadiren 4°C'ye kadar düşebilir. Zamana bağlı olarak bazı eyalet bakanlıkları, beton minimum kür sıcaklığını düşürmektedir.

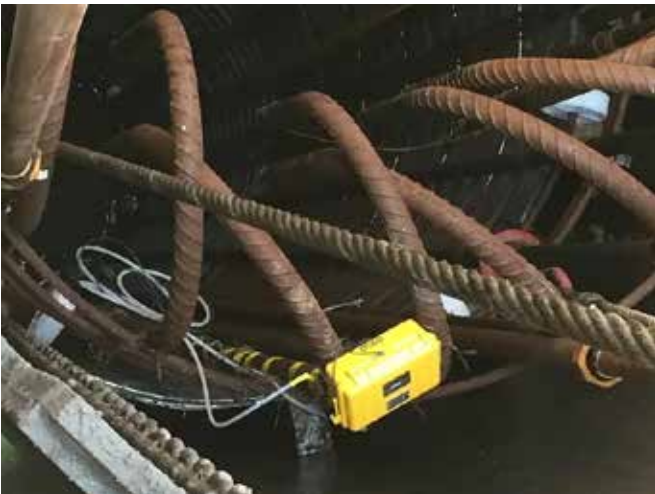
Çoğu denetçi, teslimat veya yerleştirme sırasında taze beton sıcaklığını ölçer. Bazılarıysa beton yerleştirildikten sonra veya kalıpların içinde ölçmeyi tercih eder. Kimi eyaletlerde yalnızca minimum beton yerleştirme sıcaklıkları belirtilmiştir. Bu durumlarda, minimum kür sıcaklıkları yerine, minimum kesit boyutu ve ortam sıcaklığına bağlı olarak gerekli en az ısı yalıtımı (R-değeri) veya ısı kütleme sıcaklığı belirtilir. Birbirlerinden farklılıklar içermekle birlikte, hemen her eyaletin ulaştırma bakanlığı, sıcaklığı muhafaza etmek ve böylece erken donmaya karşı koruma sağlamak ve yeterli dayanım kazanımı elde etmek için beton yerleştirildikten hemen sonra kür uygulamasını başlatmayı zorunlu kılmaktadır. Uygulamada, minimum beton yerleştirme ve kür sıcaklıklarının bilinmesi ve teslimat sırasında beton sıcaklığının düşeceğinin farkında olunması gereklidir.

**Koruma Süreleri:** Eyalet Bakanlıkları kürlenme sürelerini farklı şekillerde belirlemektedir. Bazıları minimum kürlenme sıcaklığı ve minimum süreyi belirlerken diğerleri minimum kürlenme süresine olgunluk derecesi metoduna bağlı olan basınç veya eğilme dayanımına göre karar verir. Betonun olgunluk derecesi, sıcaklık ve zaman parametrelerinin birlikte kullanılarak beton dayanımını hesaplamının dolaylı bir yoludur (Şekil 3). Kimi eyaletlerin bakanlıkları belli bir sıcaklıkta kürlenme süresi için

5, 7 veya 14 günlük süre zarfını zorunlu tutarken diğerleri kürleme süresine, olgunluk derecesi metoduyla elde edilen beton dayanımına göre karar verir. Örneğin bakanlıklar sıklıkla, beton en az 2000 psi basınç dayanımını elde edene dek yol kaplaması sıcaklıklarının 4°C veya üstünde olmasını veya minimum kür süresinin betonun yerleştirilmesinden başlayarak belli bir dayanıma ulaşana kadar devam etmesini zorunlu kılar. Eğer mümkünse, dayanımı ölçmek için en güvenli ve uygun maliyetli yöntem olan olgunluk derecesi metodu kullanılmalıdır.

**Koruma Yöntemleri:** Ekzotermik bir tepkime olan hidrasyon sırasında açığa çıkan ısıyı hapsederek yararlanmayı sağlayan izolasyonlar ve beton yalıtım battaniyeleri betonu korumada tercih edilebilecek en ekonomik yöntemlerdir (Şekil 4). Betonun kütlesi, çimento esaslı malzemelerin miktarı, beton sıcaklığı ve ortam şartları gibi değişkenlere bağlı olarak, yalıtım genel olarak yeterli kür sıcaklıklarını sağlayabilmektedir. Hidrasyonun açığa çıkardığı ısıyı hapsedmek için beton, yüzeye zarar vermeden olabildiğince hızlı bir şekilde kaplanmalıdır. İlk çıkan ısının hapsedilmesi kür sıcaklığını muhafaza etmekle kalmayıp, aynı zamanda hidrasyonu da tetikler. Böylece daha da fazla ısı elde edilmiş olur. Erken donmaya karşı en duyarlı bölgeler olan köşeler, kenarlar ve yüzeylerin korunmasına dikkat edilmelidir. Rüzgârın ve diğer dış etkilerin uçurmaması için izolasyon örtüleri üst üste bin-dirilmeli, sıkıca bağlanmalıdır.

Şiddetli kış şartlarında hidrasyondan elde edilen ısı, kür sıcaklığı için yeterli olmayabilir. Böyle bir durumda, elektrik ısıtılmalı beton örtüleri, hidronik ısıtıcılar ve kapalı alan ısıtıcıları ile ilave ısı sağlanabilir. Bununla birlikte, ilave ısı uygulamaları soğuk havada beton dökme maliyetini önemli ölçüde artırabilir.



**Şekil 3.** Uzaktan, kablosuz ve anlık olarak beton sıcaklık ve dayanım (olgunluk) verilerini ileten, köprü ayağına tutturulmuş olgunluk derecesi sistemi. Kaynak: John Gnaedinger, Con-Cure



**Şekil 4.** Betonun ilk ısısını ve hidrasyon ile açığa çıkan ısıyı hapsedmek için yerleştirme işleminden hemen sonra kür kaplamaları kullanmak gereklidir.

#### **Termal şok ve çatlamadan koruma**

Koruma süresinin sonunda, sonraki 24 saatlik süre boyunca yüzey sıcaklıklarının kademeli olarak soğuması için yalıtımın veya diğer korumaların kademeli olarak kaldırılması gereklidir. Aksi takdirde, beton yüzeyinin çok hızlı soğumasına bağlı olarak betonun yüzeyi ve iç kısımları arasında büyük sıcaklık farklılıkları oluşabilir ve ortaya çıkan termal gerilmeler yüzeyde düzensiz çatlamalara sebep olabilir.

Esasında, beton yüzeyi ısı olarak büzülür, ancak hâlâ sıcak olan iç kısım büzülmez ve buna bağlı olarak yüzeyde çatlaklar oluşur. Beton sıcaklığı ortalama hava sıcaklığıyla eş değere olana kadar ısı kaynaklarını yavaşça azaltmak veya yalıtımı yerinde bırakmak bu soruna bir çözüm olabilir. Bazı müteahhitler, gün boyunca sıcaklık daha yüksekken korumayı kaldırıp gece yeniden yerleştirmeyi tercih edebilir, fakat bu işçilik açısından maliyetli bir yaklaşımdır.

24 saatlik bir süre zarfında minimum yüzey sıcaklığı düşüşü şartnamelerde genel olarak 10°C olarak belirtilmiştir. Bununla birlikte farklı şartnamelerde kurallar farklı olabilir (10°C'den az) veya bu kurallar beton elemanın minimum boyutuna bağlı olarak değişebilir, bu nedenle korumanın kaldırılmasından sonra izin verilen en yüksek yüzey sıcaklığı düşüşü kontrol edilmelidir.

Soğuk havada başarılı bir şekilde beton dökmek için dikkat edilmesi gereken üç nokta bulunuyor: Betonu erken donmaya karşı korumak, yeterli dayanıma ulaşana kadar korumak ve termal şok ve çatlak oluşumundan korumak. Bu adımları içeren bir planlama sayesinde sert hava şartlarında beton dökmek mümkün.

**Kaynak:** [www.roadbridges.com/controlling-concrete-placing-and-curing-temperatures-key-success](http://www.roadbridges.com/controlling-concrete-placing-and-curing-temperatures-key-success)