

Soğuk Havada Beton

İnşaat Mühendisi Yasin Engin

Soğuk hava nedir?

Art arda üç günde günlük ortalama hava sıcaklığının $+5^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olması ve bu periyotta hiçbir yarım gün hava sıcaklığının $+10^{\circ}\text{C}$ 'nin üstünde olmaması durumuna "soğuk hava" denir. Ortalama hava sıcaklığı günlük en yüksek ve en düşük hava sıcaklığın ortalamasıdır.

Concrete In Cold Weather

"Cold weather" is the situation where average atmospheric temperature is below $+5^{\circ}\text{C}$ for three days in a row and there are no 12 hours where atmospheric temperature is over $+10^{\circ}\text{C}$ during this period. Average atmospheric temperature is the average of the highest and lowest temperatures within one day. Concrete temperature and atmospheric temperature should not be mixed. According to TS EN 206-1 standard the lowest fresh concrete temperature is $+5^{\circ}\text{C}$. However, concrete temperatures below $+10^{\circ}\text{C}$ are not recommended. Therefore, it is necessary to control and record concrete temperatures before, during and after pouring.

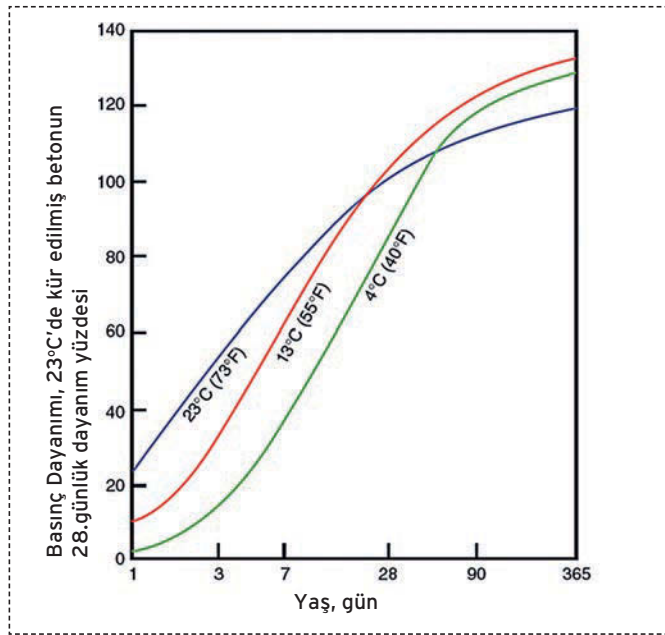
Beton sıcaklığı ile hava sıcaklığı karıştırılmamalıdır. TS EN 206-1 standardına göre en düşük taze beton sıcaklığı $+5^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ancak, beton sıcaklığının $+10^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olması tavsiye edilmez. Bu nedenle döküm öncesinde, sırasında ve sonrasında beton sıcaklığı kontrol edilip kaydedilmelidir.

Soğuk hava, beton açısından neden önemlidir?

Soğuk havada başarılı beton dökümü yapabilmek için önceden soğuk havanın beton üzerinde etkileri iyice bilinmelidir. Beton taze halde iken beton sıcaklığı -1°C 'nin altına düşmesi durumunda beton **don** tehlikesi ile karşılaşılır.

Eğer don olayı gerçekleşirse beton dayanımı en az % 50 oranında azalır ve beton dayanıklılığı (durabilite) olumsuz şekilde etkilenir.

Betonun en azından 3.5-4 MPa basınç dayanımına ulaşmaya dek donması engellenmelidir. Bu dayanım normal beton sıcaklığında (10°C - 20°C) ve su/çimento oranının 0.6'dan düşük olması durumunda ilk 24 saatte sağlanabilir.



Şekil 1: Beton sıcaklığının dayanıma etkisi

Beton içindeki su donunca ne olur?

- Beton içindeki boşluklardaki su -1°C 'de donmaya başlar.
- Bir miktar su donduğunda donmamış sudaki iyon konsantrasyonu yükselir ve donma noktası düşer.
- -4°C 'de yeteri kadar su donar ve hidrasyon reaksiyonu tamamen durur. Suyun donma sonucu oluşturduğu hacimsel genişleme betonda telafi edilemeyecek hasarlara neden olabilir.

UYGULAMALAR APPLICATIONS



Resim 1: Soğuk havada betonun geç priz alması istenmeyen durumlara neden olabilir.

Soğuk havada beton dökümünde başlıca hedefimiz nedir?
İlk 48 saat betonu “dondan” korumak ve sonrasında gerekli önlemleri almaktır.

Soğuk havada dökülecek beton nasıl olmalıdır?

- Düşük su/çimento oranı
- Düşük kıvamlı beton (10 cm altı)
- Çimento miktarı 50-100 kg/m³ artırılabilir
- C₃S miktarı fazla çimento tercih edilebilir
- Yüksek erken dayanımlı çimento tercih edilebilir
- Priz hızlandırıcı, antifriz ve gereken yerde hava sürükleyici katkı kullanmak
- Beton bileşenleri önceden ısıtılabilir

Beton bileşenlerinin beton sıcaklığına etkileri:

Beton sıcaklığını artırmak için karıştırma işleminden önce su ve agregaya ısıtılabilir. Su sıcaklığı 60-65 °C'ye kadar ısıtılması yeterlidir. Suyun daha sıcak olması durumunda çimento da topaklanma görülebilir. Suyun ısıtılması yeterli olmaz ise agregaya ısıtılabilir. Genelde agregaya sıcak su buharı ile ısıtılır ve bu nedenle agregadaki nem oranı değişir. Karışım tasarımında bu detay atlanmamalıdır. Beton sıcaklığı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$T = \frac{0.22(T_a M_a + T_c M_c) + T_s M_s + T_{sa} M_{sa}}{0.22(M_a + M_c) + M_s + M_{sa}}$$

T = taze beton sıcaklığı, °C (°F)

T_a, T_c, T_w, and T_{sa} = sırayla agregaya, çimento, su ve agregadaki serbest su sıcaklıkları, °C (°F)

daki serbest su sıcaklıkları, °C (°F)

M_a, M_c, M_w, and M_{sa} = sırayla agregaya, çimento, su ve agregadaki serbest su kütleleri, kg (lbs)

Betonun taşınması esnasında sıcaklık kaybı:

Bu konu hakkında İsveç Çimento ve Beton Araştırma Enstitüsü'nün bir çalışması vardır. Transmikserde taşınan bir betonun 1 saat içindeki sıcaklık kaybı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$T = 0.1 (t_r - t_a)$$

T:1 saatlik taşıma esnasında sıcaklık düşüşü, °C

t_r: Sahada istenilen beton sıcaklığı, °C

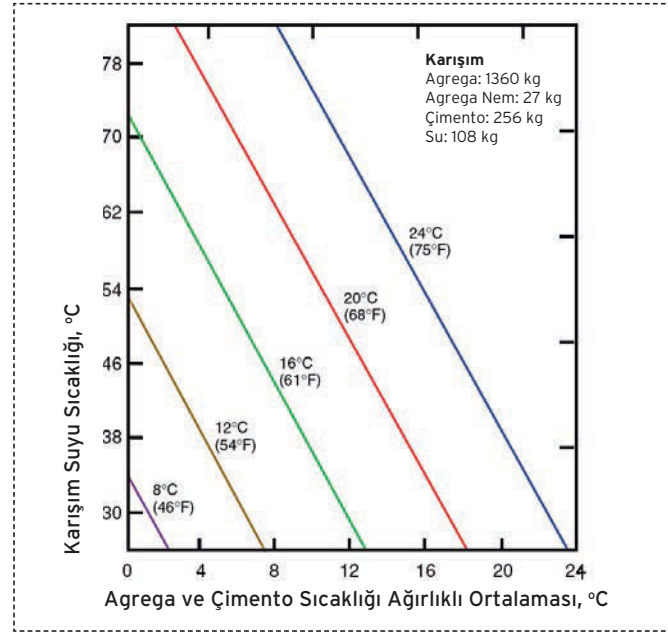
t_a: Hava sıcaklığı, °C

Örnek:

Hava sıcaklığı 0 °C ve sahada beton sıcaklığının 15 °C olması istendiği durumda:

$$T = 0.1 (15 - 0) = 1.5 \text{ °C}$$

Şantiyeden çıkan betonun en az 16.5 °C derece olması gerekmektedir.



Şekil 2: Beton bileşen sıcaklıkları ve beton sıcaklığı ilişkisi

Soğuk havada katkı kullanımı:

Priz hızlandırıcının görevi:

- Prizi hızlandırmak
- Hidratasyon ısını artırmak
- Erken-yaş dayanımını artırmak

Antifriz katkı aslında bir nevi priz hızlandırıcı katkıdır. Priz hızlandırıcı olarak **kalsiyum klorür** kullanılması priz açısından iş görmesine rağmen donatılı betonda korozyona neden olur. Bu nedenle kullanılmaması ya da zorunlu durumda limitli (en fazla çimento kütlesinin %2'si) kullanılması tavsiye edilir.

Hava sürükleyici katkı kullanımı özellikle donma-çözünme etkisinin hakim olduğu yerlerde mutlaka gerekmektedir. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile betonda kontrollü boşluk oluşumu sağlanır ve beton içinde donma-çözünme etkisi ile suda oluşacak hacimsel genleşmelere karşı tolerans artar.

Mineral katkı kullanımı soğuk havada tercih edilmez. Çünkü mineral katkılar betonda prizi geciktirdiği gibi açığa çıkan hidratasyon ısısını düşürürler.

Hidratasyon ısısına neler etki eder:

- Beton döküm yerinin büyüklüğü
- Hava sıcaklığı
- Betonun başlangıç sıcaklığı
- Su/çimento oranı
- Katkılar
- Çimentonun miktarı, inceliği ve içeriği

Hidratasyon ısısı özellikle soğuk havada çok daha fazla önemli olmaktadır. Sonuçta soğuk havada betonu iki türlü ısıtabiliriz: **1. kendi hidratasyon ısısı 2. ısıtıcı kullanarak**

Beton sıcaklığının olması gerekenden az olması hidratasyon reaksiyonunu etkiler ve bunun sonucunda priz alma ve dayanım kazanma hızları düşer. Örneğin beton sıcaklığındaki **10°C'** lik bir düşüş priz alma süresini **2 kat** arttırır.

Bu sürenin artması elbette kalıpların zamanında kaldırılmasına ve iş süresinin artmasına neden olabilir. Kısaca beton dayanımı ve dayanıklılığı etkilendiği gibi ekonomik olumsuzluklar da meydana gelebilmektedir.

Sıcaklık, °C	Yaklaşık priz alma süresi, saat
21	6
16	8
10	11
4	14
-1	19
-7	Priz olmaz

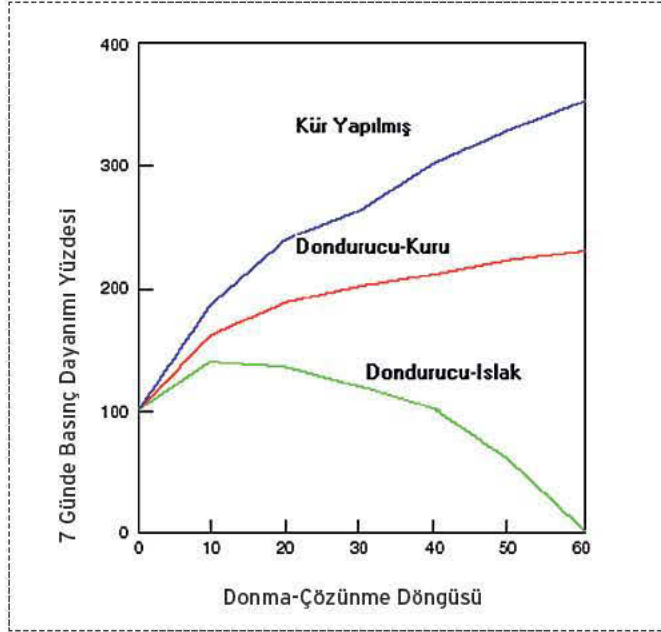
Tablo 2: Beton sıcaklığı - priz alma süresi ilişkisi
(Kaynak: " Concrete Construction", Mart,1990)

Yeni yerleştirilmiş ve suya doygun beton en azından 24MPa'lık basınç dayanımına ulaşmadan donma-çözünmeye karşı korunmalıdır.

Hidratasyon reaksiyonu ısı veren (ekzotermik) bir reaksiyondur. Yeni yerleştirilmiş beton bu ısıya karşı yeterince yalıtılmalı ve uygun kür(bakım) sıcaklığında olması sağlanmalıdır. Özellikle soğuk havalarda beton yüzeyindeki sıcaklık ile iç sıcaklık arasında büyük fark oluşur. Bu ısı fark betonda gerilmelere ve dolayısıyla çatlaklara neden olur. Bu sıcaklık farkının 20°C' nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Kullanılan koruyucu malzemeler kademeli bir şekilde kaldırılmalıdır. Bu sayede sıcaklık farkı daha az değişmiş olur.

	DURUM		BETON TABAKASI KALINLIĞI (mm)			
			<300mm	>300mm <900mm	>900mm <1800mm	>1800mm
1	En düşük taze beton sıcaklığı (karışım esnasında)	> -1 °C	16 °C	13 °C	10 °C	7 °C
2		> -18 °C < -1 °C	18 °C	16 °C	13 °C	10 °C
3		< -18 °C	21 °C	18 °C	16 °C	13 °C
4	En düşük beton sıcaklığı (dökülmüş, yerleştirilmiş, bitirilmiş hali)		13 °C	10 °C	7 °C	5 °C

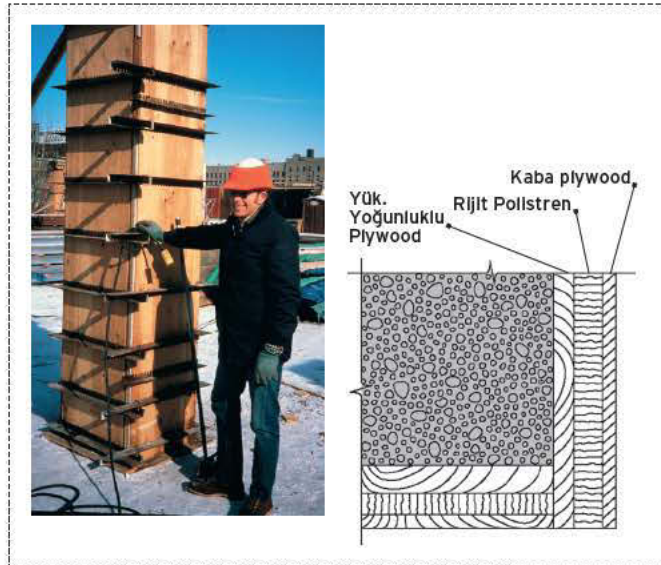
Tablo 1: Tavsiye edilen beton sıcaklıkları



Şekil 3: İlk 7 günde Donma-Çözünme' nin basınç dayanımına etkisi

BETON TABAKASI KALINLIĞI (mm)			
<300mm	>300mm <900mm	>900mm <1800mm	>1800mm
28 °C	22 °C	17°C	11°C

Tablo 3: Korumadan sonra ilk 24 saat içinde betonda mücadele edilen en büyük sıcaklık düşüşleri



Yalıtımlı kalıp

Şantiyede alınacak önlemler:

- Naylon branda kullanmak,
- Rüzgar kırıcı kullanmak,
- Hareket edebilir ısıtıcı kullanmak,
- Yalıtımlı kalıp kullanmak,
- Yalıtımlı battaniye kullanmak,
- Zeminin ısıtılması,
- Kalıpların ve demirlerin don ve kardan temizlenmesi.

Döküm sahasının etrafının kapatılması



Rüzgar kırıcı kullanmak

Yalıtımlı battaniye kullanmak



Şantiyede beton dökümünden önce yukarıdaki önlemlerden gerekli olanları temin edilmiş durumda olmalıdır. Öncelikle betonun en kısa sürede şantiyeye ulaşması sağlanmalıdır. Beton gelmeden önce zeminde don varsa çözülmelidir. Aksi takdirde zemin üzerine yerleştirilecek beton ısı kaybedecektir. Ayrıca kalıplar ve demirler kar ve dondan temizlenmelidir.

Betonun plastik halde iken kuruması plastik rötre çatlaklarına neden olur. Sıcak havalarda betonun nemlendirilmesi uygun iken soğuk havada uygun değildir. Çünkü beton içindeki su donma sonucu hacimce artar ve betonda gerilmeye neden olur. Soğuk havada en iyi kür uygulaması beton yüzeyini su kaybindan ve soğuktan koruyacak malzemeler kullanılarak yapılır.

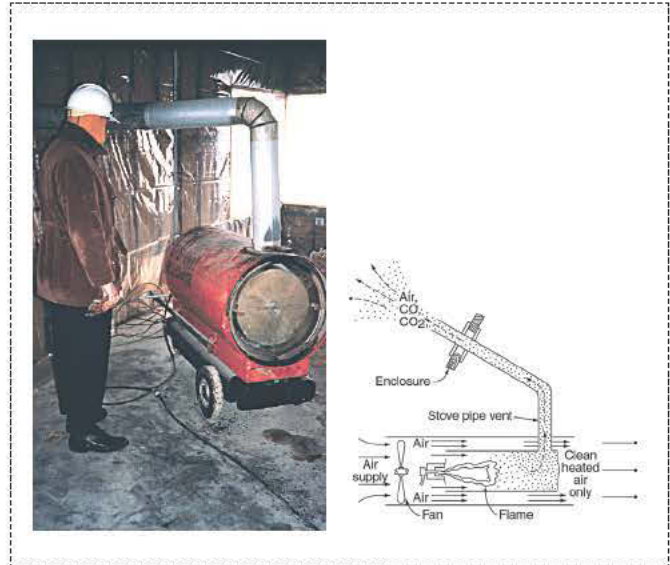
Özellikle beton kesitinin kalın olduğu ve çok soğuk havalarda yalıtkan battaniye ve plastik örtü kullanılmalıdır. Bu malzemeler çevre koşullarına, beton karakteristiğine ve yapıya etkileyen yük durumuna göre 1 ile 7 gün arasında beton yüzeyinde bulunmak zorundadır.

Beton sahasının ısıtılması pratik ve ekonomik olmasa da kullanılan bir metottur. Isıtıcının ekzosu kesinlikle beton yüzeyini etkilememelidir. Çünkü açığa çıkacak CO2 taze betonda karbonatlaşmaya neden olabilir. Ayrıca bu çalışan işçiler içinde zararlı olabilir.

Kaynaklar:

1. ACI 306 R - 88 , Cold Weather Concreting
2. NRMCA Meeting Notes, Ken Wylie, 2007
3. Design and Control of Concrete Mixtures, Chapter 14, PCA

Zeminin ısıtılması



Beton döküm sahasının ısıtılması