

Soğuk Havada Beton: Üretim ve Uygulama Pratikleri

Yük. İnş. Müh. Yasin Engin*

Concrete in Cold Weather: Production and Application Practices

Cold weather for concrete is the situation where average atmospheric temperature is below +5°C for three days in a row and there are no 12 hours where atmospheric temperature is over +10°C during this period. Average atmospheric temperature is the average of the highest and lowest temperatures within one day.

Tablo 1'de en düşük, en yüksek ve ideal taze beton sıcaklıkları belirtilmiştir.

Tablo 1: En düşük, en yüksek ve ideal taze beton sıcaklıkları [1-2]

En düşük taze beton sıcaklığı (TS EN 206)	+5°C
İdeal taze beton sıcaklığı	+15°C - 25°C
En yüksek taze beton sıcaklığı (TS 13515)	+35°C

Soğuk havanın betona etkisi

Soğuk havada başarılı bir şekilde beton üretimi ve uygulaması yapabilmek için soğuk havanın beton üzerindeki etkileri bilinmelidir. Aksi takdirde telafisi zor durumlara karşılaşılabılır. Soğuk hava koşulları sonucu betonda görülen başlıca olumsuzluklar aşağıda belirtilmiştir:

- Hidratasyon reaksiyonunun yavaşlaması,
- Priz süresinin uzaması,

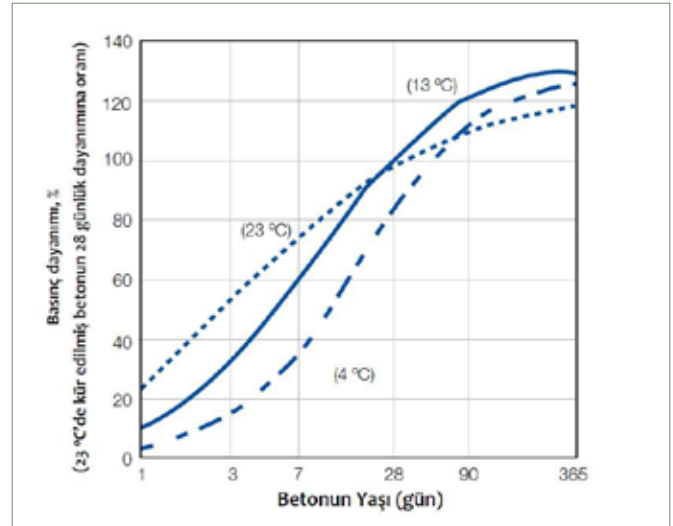
Soğuk havanın tanımı

TS 1248 Standardı'na göre art arda üç gün, günlük ortalama hava sıcaklığının +5°C'nin altında olması ve bu periyotta hiçbir yarım gün hava sıcaklığının +10°C'nin üstünde olmaması durumuna "beton için soğuk hava" denir [1-2]. Ortalama hava sıcaklığı, günlük en yüksek ve en düşük hava sıcaklığının ortalamasıdır. TS EN 206 Standardı'na göre en düşük taze beton sıcaklığı +5°C olmalıdır. Ancak, beton sıcaklığının +10°C'nin altında olması tavsiye edilmez. Bu nedenle döküm öncesinde, esnasında ve sonrasında beton sıcaklığı kontrol edilip kaydedilmelidir. Ayrıca, gerekli tedbirler önceden alınmalıdır.

- Erken dayanımın düşmesi (Şekil 1),
- Beton içindeki suyun **donma-çözülme** riskine maruz kalmasıdır.

Beton taze halde iken beton sıcaklığının 0°C'nin altına düşmesi durumunda beton "don" tehlikesi ile karşılaşır.

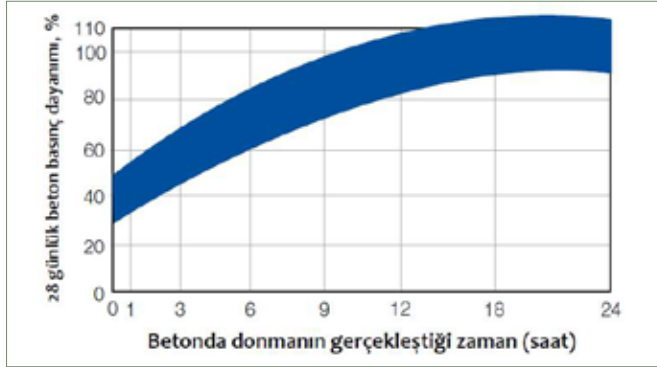
Hava Sıcaklığı < 5°C ise
MUTLAKA ÖNLEM ALINMALIDIR.



Şekil 1: Beton sıcaklığının dayanıma etkisi [3]

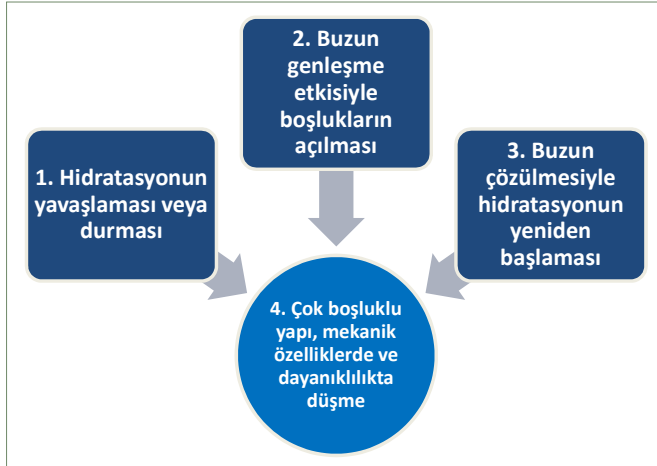
Eğer don olayı gerçekleşirse Şekil 2'de görüldüğü gibi 28 günlük beton basınç dayanımı %50 oranında azalabilir ve beton dayanıklılığı (dürabilite) olumsuz etkilenir. TS 1248'e göre betonun en azından 4 MPa basınç dayanımına ulaşmaya dek donması engellenmelidir. Bu dayanım değerine Tablo 2'de verilen sürelerde ulaşılabilir. Betonun su/çimento oranı, bağlayıcı tipi ve kür sıcaklığı betonu dondan korumak için gerekli süreyi etkiler.

(* yasin.engin@gmail.com, THBB Teknik Danışmanı)



Şekil 2: Betonun erken yaşta dona maruz kalması sonucu dayanım kaybı [4]

Betonda donma olayı, taze betonun ve sertleşmiş betonun donması olarak iki aşamada değerlendirilmelidir. Donma-çözülmenin taze beton ve sertleşmiş betondaki etkisi Şekil 3 ve Şekil 4'te özetlenmiştir.



Şekil 3: Donma-çözülmenin taze betona etkisi



Şekil 4: Donma-çözülmenin sertleşmiş betona etkisi

Tablo 2: Don olayının taze betona zarar vermemesi için gerekli beton yaşı [5]

Çimento Tipi	Su/çimento oranı	Kür sıcaklığına bağlı olarak taze betonun don etkisinden zarar görmemesi için gerekli süre, saat			
		5°C	10°C	15°C	20°C
Erken dayanımı düşük	0,4	35	25	15	12
	0,5	50	35	25	17
	0,6	70	45	35	25
Erken dayanımı yüksek	0,4	20	15	10	7
	0,5	30	20	15	10
	0,6	40	30	20	15

Beton içindeki hava boşluklarındaki su, **-1°C'de** donmaya başlar. Bir miktar su donduğunda donmamış sudaki iyon konsantrasyonu yükselir ve donma noktası düşer. **-4°C'de** yeterli miktarda su donar ve hidratasyon reaksiyonu tamamen durur. Suyun donması sonucu oluşan hacimsel genleşme betonda telafi edilemeyecek hasarlara neden olur.

Soğuk havada beton uygulamasında ilk 48 saat gerekli önlemler alınarak beton "dondan" korunmalıdır.

Soğuk havada betonun yerleştirilmesi

Betonun yerleştirme sıcaklığı Tablo 3'te belirtilen değerlerden az olmamalı ve betonun bu sıcaklıklarda beton cinsine bağlı olarak Tablo 4'te gösterilen sürece korunması sağlanmalıdır.

Tablo 3: Tavsiye edilen beton sıcaklıkları [1]

	Durum / Hava Sıcaklığı	Beton Tabakası Kalınlığı (mm)				
		<300	>300 <900	>900 <1800	>1800	
1	En düşük taze beton sıcaklığı (karma esnasında)	> -1°C	16°C	13°C	10°C	7°C
		> -18°C	18°C	16°C	13°C	10°C
		< -1°C	18°C	16°C	13°C	10°C
2	En düşük beton sıcaklığı (dökülmüş, yerleştirilmiş, bitirilmiş beton)	> -18°C	21°C	18°C	16°C	13°C
		< -18°C	21°C	18°C	16°C	13°C
3						
4						

Tablo 4: Soğukta yerleştirilen betonlar için koruma süreleri [1]

Sıra No	Betonun maruz kalacağı şartlar	Tablo 3 satır 1'de gün boyunca (24 saat) en düşük sıcaklıktaki koruma süreleri (gün)	
		Normal beton	Priz hızlandırıcı katılmış beton
1	Herhangi bir yük ve donma şartlarına maruz değil	2	1
2	Herhangi bir yüke maruz değil, donma ve çözölmeye maruz	3	2
3	Kısmi yük ile donma ve çözölmeye maruz	6	4

Soğuk havada üretilecek beton için öneriler:

- Düşük su/çimento oranı,
- Düşük kıvamlı beton (10-14 cm),
- Çimento dozajının arttırılması,
- C₃S miktarı yüksek çimento kullanımı,
- Yüksek erken dayanımlı çimento kullanımı,
- Priz hızlandırıcı, antifriz ve gereki durumda hava sürükleyici katkı kullanımı,
- Beton bileşenlerinin önceden ısıtılması,
- Mineral katkı kullanımının sınırlandırılması.

According to TS EN 206, the lowest fresh concrete temperature is +5°C. However, concrete temperatures below +10°C are not recommended. Concrete should be protected from frost at early ages by taking necessary precautions. Frost and freezing-thawing cycle can lead to detrimental damages in concrete.

Beton bileşenlerinin beton sıcaklığına etkisi

Beton sıcaklığını arttırmak için karıştırma işleminden önce su ve agregaya ısıtılabilir. Su sıcaklığının en fazla **60°C-65°C** olması yeterlidir. Suyun daha sıcak olması durumunda ani priz ve çimentoda topaklanma görülebilir. Suyun ısıtılması yeterli değil ise agregalar da ısıtılabilir. Genelde agregaya sıcak su buharı ile ısıtılır. Bu nedenle agregadaki nem oranı değişir. Karışım tasarımında bu detay mutlaka hesaba katılmalıdır. Beton sıcaklığı aşağıdaki formülle hesaplanır [2]:

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

T = Taze beton sıcaklığı, °C

T_a, T_c, T_s, and T_{sa} = Sırasıyla agregaya, çimento, su ve agregadaki serbest su sıcaklıkları, °C

M_a, M_c, M_s, and M_{sa} = Sırasıyla agregaya, çimento, su ve agregadaki serbest su kütleleri, kg

Betonun taşınması esnasında sıcaklık kaybı

Bu konu hakkında İsveç Çimento ve Beton Araştırma Enstitüsünün ACI 306R'de yer alan bir çalışması vardır. Bu çalışmaya göre transmikserle taşınan betonun 1 saat içindeki sıcaklık kaybı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [2]:

$$T = \alpha (t_r - t_a)$$

T: 1 saatlik taşıma esnasında sıcaklık düşüşü, °C

t_r: Sahada istenilen beton sıcaklığı, °C

t_a: Hava sıcaklığı, °C

α: Transmikser ile taşımada **0,25**

Üstü kapalı damperli kamyon ile taşımada **0,1**

Üstü açık damperli kamyon ile taşımada **0,2**

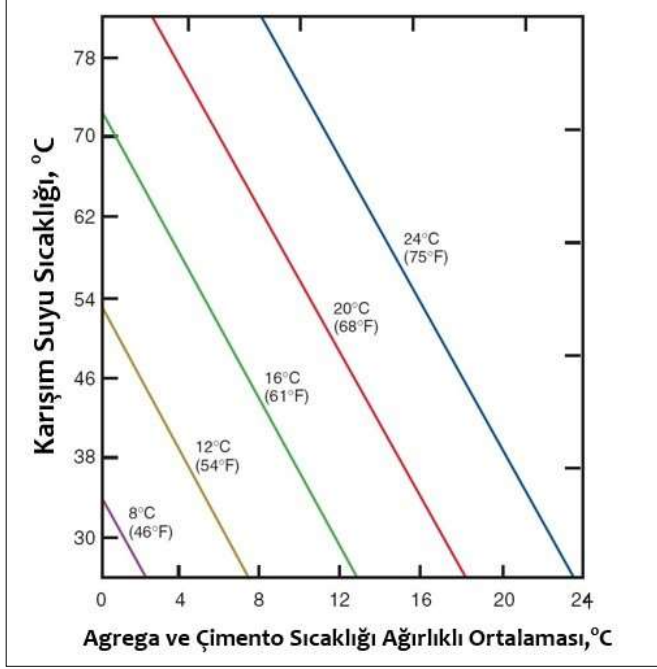
Örnek:

Hava sıcaklığı 0°C iken sahadaki beton sıcaklığının 20°C olması istenildiği durumda (transmikserli taşıma):

$T = 0,25 (20 - 0) = 5°C$ (sıcaklık kaybı)

Şantiyeden çıkan betonun en az 16.5°C olması gerekmektedir.

Beton bileşenlerinin taze beton sıcaklığına etkisi Şekil 5'te görülmektedir. Tablo 5'te ise teorik olarak sıcaklığı 10°C olan betonun 20°C'ye nasıl yükselebileceği 5 farklı senaryo ile özetlenmiştir.



Şekil 5: Beton bileşen sıcaklıkları ve beton sıcaklığı ilişkisi[2]



Şekil 6: Ham madde sıcaklık artışının beton sıcaklığına etkisi

	Miktar (kg/m ³)	Sıcaklık (°C)	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
			Sıcaklık(°C)				
İri Agregat	1000	5	20	15	5	25	40
İnce Agregat	900	5	20	15	5	5	5
Çimento	300	60	60	60	60	60	60
Su	160	5	5	20	50	25	5
Taze Beton Sıcaklığı (°C)	10		20,0	20,0	20,0	20,0	20,0

Tablo 5: Sıcaklığı 10°C olan taze betonun sıcaklığının 20°C'ye çıkarılmasına yönelik farklı senaryolar

Soğuk havada kimyasal katkı kullanımı

Soğuk hava koşullarında genel olarak priz hızlandırıcı ve antifriz katkı kullanılır. Antifriz katkı suyun donma noktasını düşürerek hidrasyon reaksiyonunun devamını sağlar. Antifriz katkı hidrasyon reaksiyonunun hızını ve ısısını doğrudan etkilemez.

Priz hızlandırıcı olarak *kalsiyum klorür* kullanılması priz açısından iş görmesine rağmen donatılı betonda korozyona neden olur. Bu nedenle kullanılmaması ya da zorunlu durumda çimento kütlelerinin en fazla %2'si kadar kullanılması tavsiye edilir.

Hava sürükleyici katkı kullanımı ise özellikle donma-çözülme etkisinin hâkim olduğu yerlerde mutlaka gerekmektedir. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile betonda kontrollü boşluk oluşumu sağlanır ve beton içinde donma-çözülme etkisi ile suda oluşacak hacimsel genişlemelere karşı direnç artar.

Mineral katkı kullanımı soğuk havada tercih edilmez. Çünkü mineral katkılar betonda prizi geciktirdiği gibi hidrasyon ısısını da düşürürler. Ancak, gerekli önlemlerin alındığı durumlarda sınırlı miktarda mineral katkı kullanımının dürabilite açısından faydası vardır.

Hidrasyon ısısına etki eden etkenler

- Hava sıcaklığı,
- Betonun başlangıç sıcaklığı,
- Çimentonun miktarı, inceliği ve kimyasal yapısı,
- Su/çimento oranı,
- Mineral ve kimyasal katkılar,
- Beton elemanın boyutları.

Hava sıcaklığının düşük olması ve bu nedenle beton sıcaklığının da düşük olması hidrasyon reaksiyonunu olumsuz etkiler ve bunun sonucunda priz ve dayanım kazanma hızı düşer. Örneğin Tablo 6'da görüleceği gibi hava sıcaklığındaki 10°C'lik bir düşüş (21°C → 10°C) priz süresini yaklaşık 2 kat arttırır (6 saat → 11 saat). Bu sürenin artması elbette kalıpların zamanında alınamamasına ve iş süresinin artmasına neden olur. Kısaca beton dayanımı ve dayanıklılığı etkilendiği gibi ekonomik olumsuzluklar da meydana gelmektedir.

Tablo 6: Beton sıcaklığı - priz alma süresi ilişkisi

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

UYGULAMALAR APPLICATIONS

Özellikle soğuk havalarda beton yüzey sıcaklığı ile iç sıcaklığı arasında büyük farklar oluşabilmektedir. Yüksek sıcaklık farkı betonda iç gerilmelere ve dolayısıyla çatlaklara neden olur. Bu nedenle sıcaklık farkının **20°C'nin** üzerinde olmaması önerilir. Betonu soğuk hava koşullarından korumak için kullanılan koruyucu malzemeler (battaniye, yalıtımlı membran vb.) kademeli bir şekilde kaldırılmalıdır, çünkü sıcaklık farkının aşırı değişimi betonda ciddi hasarlara neden olabilmektedir. Bu konuda Tablo 7'deki limit değerler referans alınabilir.

Tablo 7: Korumadan sonra ilk 24 saat içinde betonda müsaade edilen en büyük sıcaklık farkı [2]

Beton Tabakası Kalınlığı (mm)			
<300	>300 <900	>900 <1800	>1800
28 °C	22 °C	17 °C	11 °C

Şantiyede alınacak önlemler

- Don riski olan hava koşullarında beton dökümünden olabildiğince kaçınılmalıdır.
- Beton dökümü öncesi kalıplar ve demir donatılar denetlenmelidir. Buzlu kalıp yüzeylerine döküm yapılmamalıdır. Kalıp ve donatılarda eğer buz parçaları varsa temizlenmelidir.
- Beton belirli bir dayanıma ulaşıncaya dek korunmalıdır. Bu süre; yapı elemanının özellikleri, maruz kalacağı şartlar ve beton özelliklerine göre değişir.
- Betonun yerleştirme sıcaklığı; eleman kesitleri ve hava sıcaklığına bağlı olarak belirlenen sınır değerden yüksek olmalıdır.
- Çimentonun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan ısının beton dışına yayılması önlenmelidir.
- Beton yüzeyi için koruyucu örtü (korugan) kullanılmalıdır (Resim 1).
- Şiddetli rüzgar durumunda rüzgar kırıcı perdeler/bariyerler kullanılmalıdır.
- Soğuk havalarda uzun priz sürelerini önlemek için yapı ısıtılabilir (Resim 2).
- Yalıtımlı kalıp kullanılmalıdır.
- İhtiyaç durumunda özellikle döşemelerde yalıtımlı battaniyeler kullanılmalıdır (Resim 3).
- Su ile kür uygulaması yapılmamalıdır. Özellikle kolonlarda kimyasal kürlenme yapılmalıdır.
- Mineral katkılı betonlar daha uzun süre korunmalıdır.
- Köşe ve kenarlar gibi ısı kaybına daha fazla maruz kalan kritik bölgeler daha fazla korunmalıdır.



Resim 1: Yalıtımlı battaniye kullanımı[6]



Resim 2: Isıtıcı ile ortam sıcaklığının kontrol edilmesi[7]



Resim 3: Elektrik ile çalışan koruyucu beton battaniyesi[8]

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

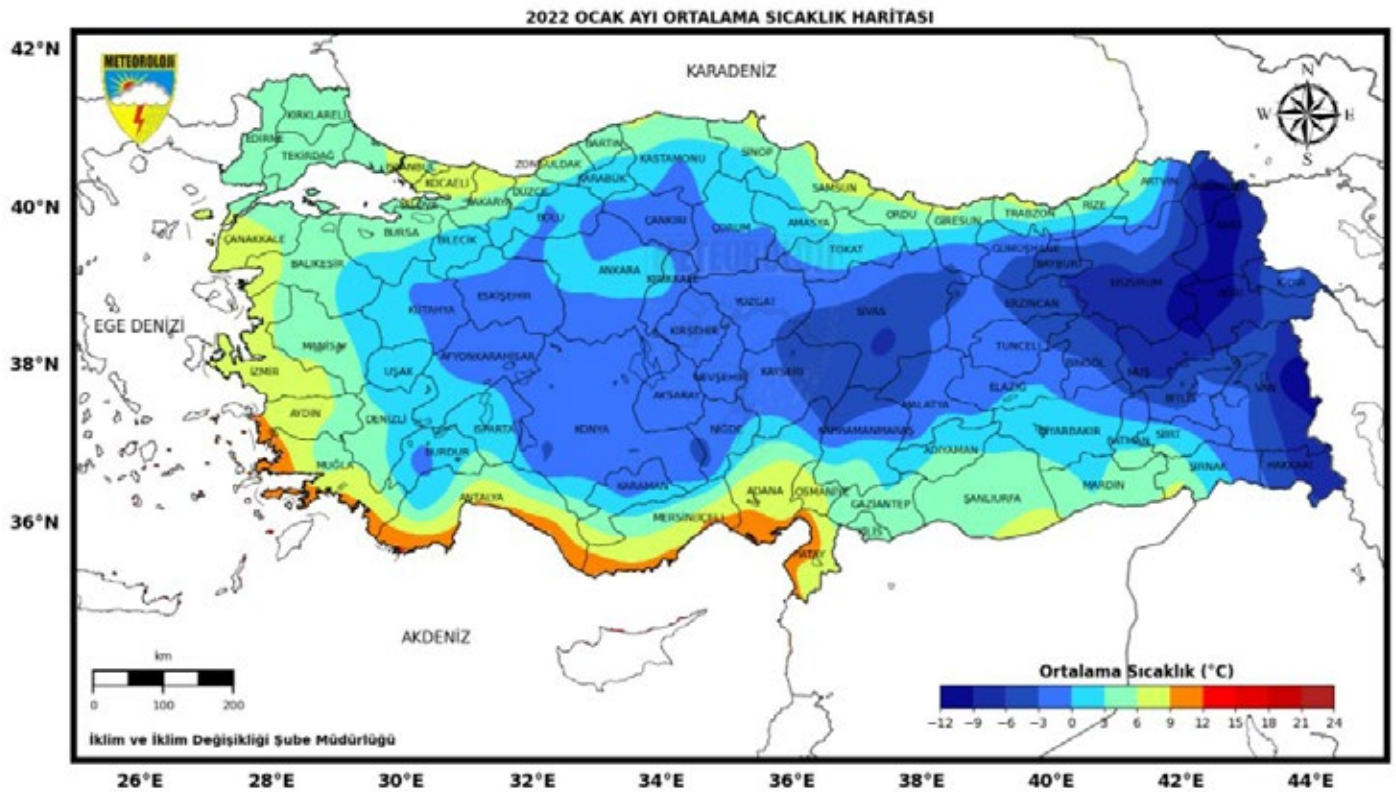
Betonun plastik halde iken kurumması plastik rötre çatlaklarına neden olur. Sıcak hava koşullarında betonun su ile kürlenmesi uygun iken bu uygulama soğuk hava koşullarında uygun olmayabilir. Soğuk havada en iyi kür uygulaması beton yüzeyini su kaybindan ve soğuktan koruyacak yalıtımlı malzemeler kullanılarak yapılmaktadır. Bu malzemeler çevre koşullarına, beton karakteristiğine ve yapıya etkiyen yük durumuna göre **1 ile 7 gün** arasında beton yüzeyinde bulunmak zorundadır.

Beton dökülen yerin ısıtılması pratik ve ekonomik olmasa da etkili bir yöntemdir. Isıtıcının egzozu kesinlikle beton yüzeyini etkilememelidir. Çünkü, açığa çıkacak CO₂ taze betonda karbonatlaşmaya neden olabilir. Ayrıca, bu durum çalışan için de zararlı olabilir.

Türkiye'nin iklimsel özellikleri

Türkiye'de farklı coğrafi alanlarda çeşitli iklimler görülmektedir. Soğuk hava ve don riski açısından en riskli iklim karasal iklimdir. Karasal iklim İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde görülmektedir. Ayrıca, bu bölgelere yakın illerde de benzer iklim koşulları görülmektedir. Şekil 7'de ülkemizde en soğuk dönem olan ocak ayı ortalama sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.

Şekil 7: Türkiye'de ocak ayı ortalama sıcaklık dağılışı [9]



Kaynaklar

1. TS 1248 (2012): Betonun hazırlanması, dökümü ve bakım kuralları - Anormal hava şartlarında
2. ACI 306 R - 88 (1994), "Cold Weather Concreting", ACI Manual of Practice, Part 2
3. Kosmatka, Steven, Kerkhoff, Panarese, and William, C., "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association Publication, 2003
4. ACI Publication SP-39, "Behavior of Concrete Under Temperature Extremes"
5. Selçuk Türkel, "Soğuk Hava Koşullarında Beton Üretimi", Deprem Sempozyumu, Uşak, 2003, s.32-45
6. <http://www.tarpaulinmakers.co.nz/concrete-curing-blankets>
7. <http://artictherm.com/construction-sites/>
8. <https://www.concreteblankets.net/concrete-curing-systems/alternate-curing/>
9. <https://www.mgm.gov.tr/>

Soğuk havada beton uygulaması için 10 altın kural

1

• Ortalama hava sıcaklığı 5°C'nin altında ise gerekli tedbirler hazır beton kullanıcısı tarafından önceden alınmalıdır.

2

• Don riski olan havalarda beton dökümünden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. İlk 48 saat beton dona maruz bırakılmamalıdır.

3

• Soğuk havalarda yalıtımlı kalıplar kullanılmalı ya da dökümden önce kalıplar yalıtılmalıdır. Dökümden hemen sonra da betonun açık yüzeyleri yalıtımlı örtülerle kaplanarak korunmalıdır.

4

• Beton dökümü öncesi kalıplar ve demir donatılar denetlenmelidir. Buzlu kalıp yüzeylerine döküm yapılmamalıdır. Kalıp ve donatılarda eğer buz parçaları varsa temizlenmelidir.

5

• Kritik hava sıcaklıklarında (0°C'nin altı) kalıp ısıtılmalıdır. Beton dökülen kısımlar geçirimsiz örtü içerisine alınarak içerdeki havanın sıcaklığını en az +5°C'de muhafaza edecek ısıtma sistemi oluşturulması gerekir.

6

• Beton yüzeyi için koruyucu örtü (korugan) kullanılmalıdır. Şiddetli rüzgar durumunda rüzgar kırıcı perdeler/bariyerler kullanılmalıdır. İhtiyaç durumunda özellikle döşemelerde yalıtımlı battaniyeler kullanılmalıdır.

7

• Su ile kür uygulaması yapılmamalıdır. Özellikle kolonlarda kimyasal kürlenme yapılmalıdır.

8

• Düşük kıvamlı beton tercih edilmelidir. Su/çimento oranı düşük olmalıdır. Prizi hızlandıran ve erken dayanım sağlayan kimyasal katkıları seçilmelidir.

9

• Sık donma - çözülme olaylarının görüldüğü durumlarda, ani sıcaklık değişikliklerinde koruma 7 ile 14 gün kadar uzatılmalıdır.

10

• Köşe ve kenarlar gibi ısı kaybına daha fazla maruz kalan kritik bölgeler daha fazla korunmalıdır.