THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

20

SOĞUK HAVA KOŞULLARININ BETONA ETKİSİ VE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.
Ocak, 2026

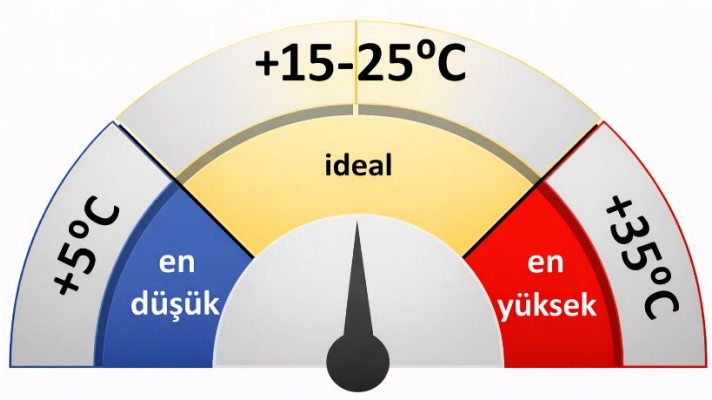
SOĞUK HAVA KOŞULLARININ BETONA ETKİSİ VE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER

1. Giriş

TS 1248 Standardına 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 durumu "beton için soğuk hava" olarak tanımlanmaktadır [1].

Ortalama hava sıcaklığı, günlük en yüksek ve en düşük hava sıcaklığının ortalamasıdır. TS EN 206 Standardına göre en düşük taze beton sıcaklığı +5°C olmalıdır, ancak genelde beton sıcaklığının +10°C'nin altında olması tavsiye edilmez. Bu nedenle beton dökümü öncesinde, esnasında ve sonrasında beton sıcaklığı kontrol edilip kaydedilmelidir. Ayrıca, gerekli tedbirler önceden tespit edilerek alınmalıdır.

Şekil 1'de TS EN 206'ya göre en düşük, TS 13515'e göre en yüksek ve genel kabul olarak ideal taze beton sıcaklıkları belirtilmektedir.



Şekil 1. En düşük, en yüksek ve ideal taze beton sıcaklıkları

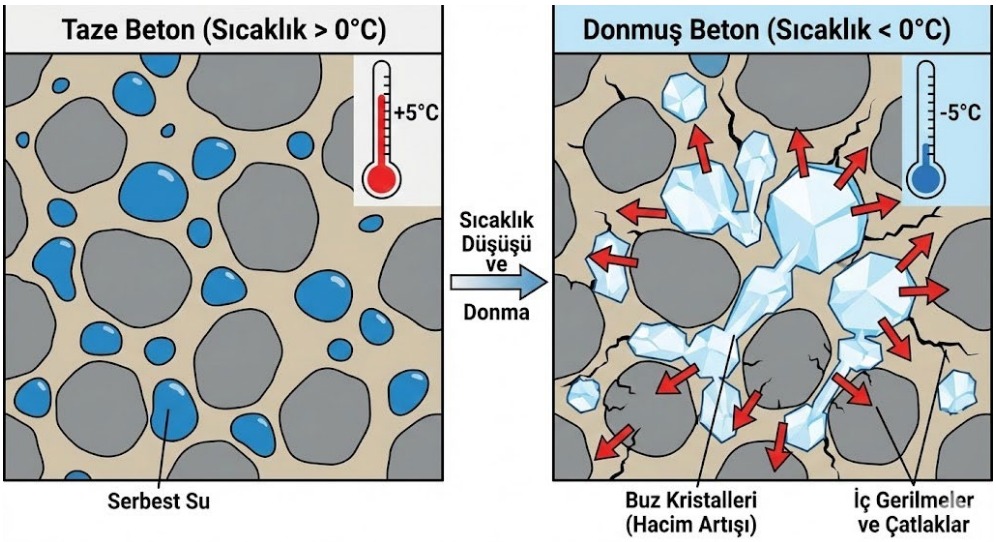
2. Soğuk Havanın Betona Etkisi

Soğuk havada başarılı bir şekilde beton üretimi ve uygulaması yapabilmek için soğuk havanın beton üzerindeki etkileri bilinmelidir. Aksi takdirde telafisi zor durumlarla karşılaşılabilir. Soğuk hava koşulları; betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık performansı üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir.

Şekil 2. Soğuk havanın betona etkileri

2.1. Donma Riski

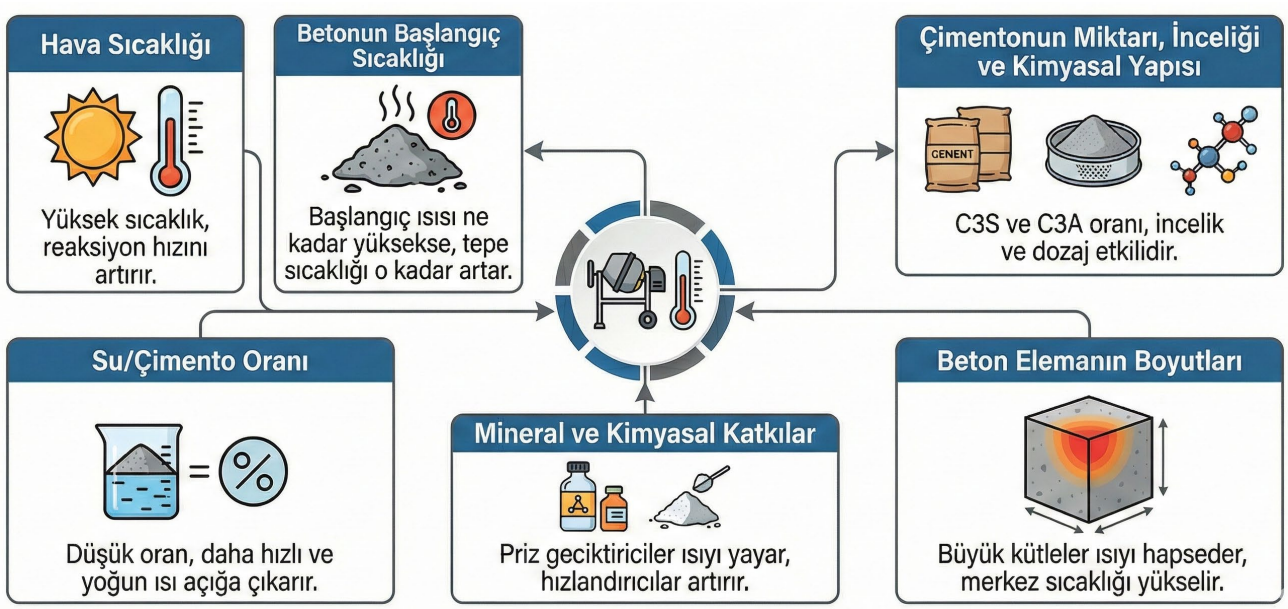
Hava sıcaklığının 0°C'nin altına düşmesi, yeterli dayanımı henüz kazanmamış taze beton içerisindeki serbest suyun donmasına neden olabilir. Suyun donması sırasında meydana gelen hacim artışı, beton bünyesinde iç gerilmeler oluşturur. Bu gerilmeler sonucunda mikro-çatlaklar oluşabilir ve betonun dayanım, dayanıklılık ve uzun vadeli performansı olumsuz yönde etkilenebilir. Erken yaşta meydana gelen bu hasarlar kalıcıdır.



Şekil 3. Beton bünyesindeki suyun donması sonucu çatlak oluşumu

2.2. Hidratasyon Süreci

Soğuk hava, hidratasyon hızını ve buna bağlı olarak betonun priz hızını yavaşlatır. Betonun sertleşmesi ve dayanım kazanması için gerekli olan kimyasal reaksiyonlar, düşük sıcaklıklarda daha yavaş ilerlediğinden, bu durum erken yaş dayanımının olumsuz etkilenmesine neden olur.

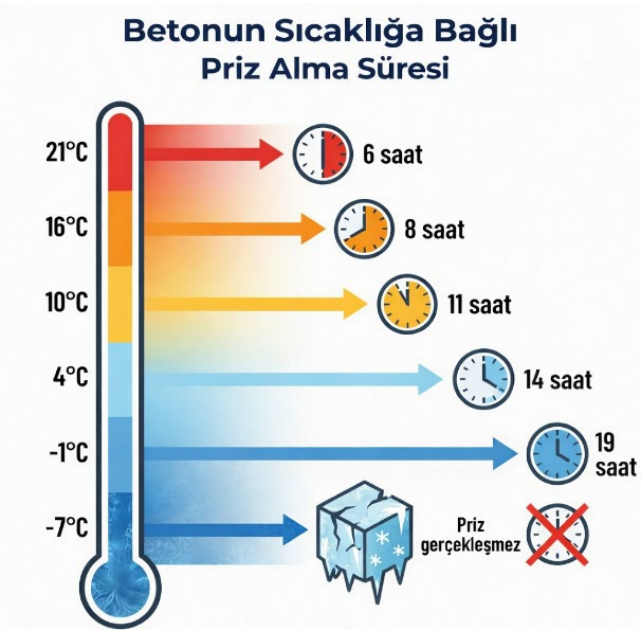


Şekil 4. Hidratasyon hızına ve ısısına etki eden faktörler

Betondaki dayanım gelişiminin temel kaynağı olan çimento hidratasyonu, çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda gerçekleşir ve bu süreçte ısı açığa çıkar. Tüm kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, hidratasyon hızı da sıcaklığın düşmesiyle birlikte azalır. Betonun dayanım gelişimi; karışım tasarımı (çimento içeriği ve türü), çimento özellikleri ve sıcaklık başta olmak üzere birçok faktörden etkilenmektedir.

Özellikle ince kesitli betonarme elemanlar, büyük yüzey alanlarına sahip olmaları nedeniyle (döşemeler, perdeler, duvarlar vb.) ısı kaybına daha yatkındır. Bu nedenle, soğuk hava koşullarında bu tür elemanlarda dayanım gelişimi daha yavaş gerçekleşme eğilimindedir.

Hava sıcaklığının düşük olması ve bu nedenle beton sıcaklığının da düşük olması hidratasyon reaksiyonunu olumsuz etkiler ve bunun sonucunda priz ve dayanım kazanma hızı düşer. Örneğin Şekil 5'te 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.



Şekil 5. Beton sıcaklığı – priz alma süresi ilişkisi

2.3. Sıcaklık Farkları

Döküm sırasında ve sonrasında dış ortam sıcaklığı ile beton sıcaklığı arasındaki fark, çatlama riskini artırabilir. Hızlı sıcaklık değişimleri, gerilmelere ve çatlaklara yol açabilir. Özellikle soğuk havalarda gerçekleşen kütle beton uygulamalarında merkez ve yüzey arasındaki sıcaklık farkı yüksek olabilmektedir. Bu durum Şekil 6'da bir örnekle belirtilmektedir.

TS 13515 Standardına göre en küçük kesit kalınlığı 100 cm'nin üzerinde olan yekpare (monolitik) yapılar kütle betonu olarak dikkate alınmaktadır. Belirli bir anda, beton yapı elemanının içerisindeki beton sıcaklığının en yüksek olduğu nokta (kütlenin merkezi gibi) ile beton örtü tabakasındaki beton sıcaklığı arasındaki ve yapı elemanı yüzeylerindeki beton örtü tabakası ile beton dış yüzeyi arasındaki (örtü altı vb.) sıcaklık farkının hiçbir durumda; donatılı betonda 25°C ve donatısız betonda 20°C'u

aşmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Ayrıca, beton kütlenin merkezindeki sıcaklık, 70°C'nin üzerinde olmamalıdır.

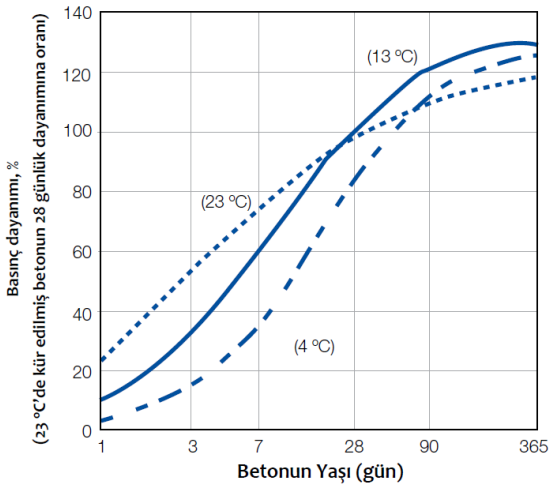
Şekil 6. Sıcak ve soğuk hava koşullarında kütle betonlarda sıcaklık farkı oluşumuna dair örnek

2.4. Kür Süreci

Soğuk hava koşullarında kür, düşük sıcaklığın hidratasyon hızını yavaşlatması ve özellikle taze betonun donma riski nedeniyle kritik hale gelir. Bu ortamda buharlaşma genellikle azalsa da temel hedef betonun erken yaşta yeterli dayanımı kazanması için gerekli sıcaklığı ve nemi korumaktır. Su kürü uygulaması pratikte zorlaşabildiğinden, uygun durumlarda kimyasal kür malzemeleri yüzey nem kaybını azaltmak için tercih edilebilir. Sulama veya kimyasal kür malzemeleri betonun sıcaklığını artırmadığından, don riskine karşı izolasyon/örtüleme ve gerekli ise ısıtma gibi koruyucu önlemler ile birlikte değerlendirilmelidir.

2.5. Erken Yaş Dayanımında Düşüş

Soğuk hava koşullarında betonun erken yaş dayanımı, beklenen seviyenin altında kalabilir. Bu durum, inşaat sürecinin aksamasına ve yapı güvenliğinin riske girmesine neden olabilir. Şekil 7'de görüleceği üzere düşük sıcaklıklarda erken yaş dayanımı standart küre (23°C) göre oldukça düşük olabilmektedir. Daha sonraki yaşlarda aradaki fark azalmaktadır.



Şekil 7. Beton sıcaklığının dayanıma etkisi [2]

2.6. Uzun Vadeli Etkiler

Soğuk hava koşullarında yeterince korunmayan beton yapılar, zamanla dayanıklılık sorunları yaşayabilir. Donma-çözülme döngülerine maruz kalan betonlar, çatlama ve hasar riskine daha açık hale gelir. Bunun sonucunda korozyon riski artar.

2.7. Görsel Problemler

Soğuk hava koşullarına ve özellikle don olayına maruz kalan beton yüzeylerde, pullanma ve dökülme meydana gelebilmektedir. Özellikle şiddetli donma-çözülme etkisine maruz kalan yüzeylerde Şekil 8'de görüldüğü gibi malzeme kopması, pullanma gibi kusurlar oluşmaktadır.

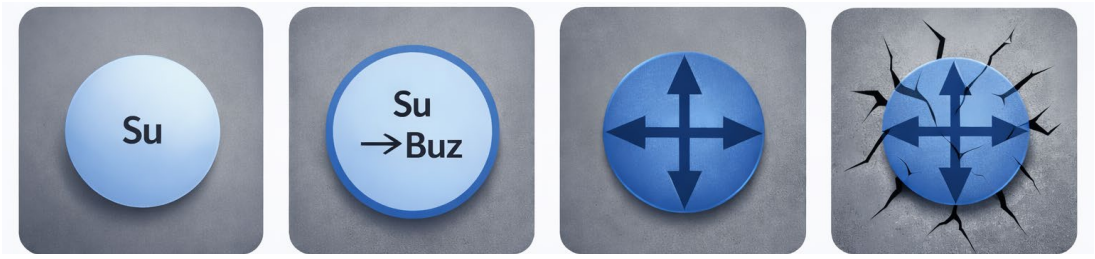
Şekil 8. Beton yüzeyinde donma-çözülme nedeniyle oluşan hasar

3. Betonun Donması

Taze beton veya suya doygun haldeyken sertleşmiş beton, çok düşük sıcaklıklarda donar. Beton, su içerdiği için sıcaklık donma noktasının altına düştüğünde hacimsel olarak genleşir ve bu genleşme betonun çatlamasına ve hasar görmesine neden olur.

Beton içerisindeki su, genellikle saf sudan farklı olarak daha düşük sıcaklıklarda donmaktadır. Saf su 0°C'de donar, ancak betonun içerisindeki suyun donma noktası, betonun bileşenleri ve çevre koşullarına bağlı olarak genellikle bu sıcaklıktan daha düşüktür. Beton içerisindeki serbest su, tipik olarak -2°C ila -4°C arasında 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.

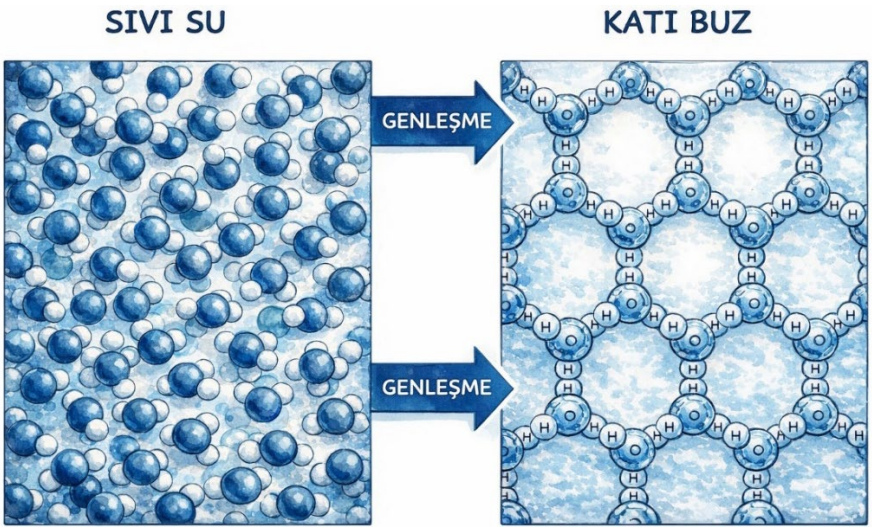
Şekil 9'da görüldüğü gibi betonun bünyesindeki su donduğunda, yaklaşık %9 oranında hacimsel genleşmeye uğrar. Bu da betonun gözeneklerinde basınç oluşturur. Art arda gelen donma-çözülme döngülerinin birikimli etkisi ve çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansın (bağın) bozulması sonucunda beton genleşir, çatlar, taşıma kapasitesi düşer ve özellikle yüzeyinde ufalanma oluşur.



Beton boşluklarındaki su | *0°C sıcaklık altında boşluktaki suyun donması ve hacmin artmaya başlaması* | *Hacim artışının iç gerilmeye dolayısıyla çekme kuvvetine neden olması* | *Çekme dayanımının yeterli olmaması sonucu çatlak oluşumu*

Şekil 9. Beton içindeki suyun donması

Su donduğunda hacminin artmasının nedeni, Şekil 10'da görüleceği gibi su molekülleri arasındaki bağ yapılarının donma sırasında değişmesidir.



Su sıvı halde iken su molekülleri zayıf hidrojen bağları ile birbirlerine oldukça yakın ve zayıftır. | *Su katı hale geçtiğinde ise hidrojen bağları düzenli hale gelir ve su molekülleri birbirinden uzaklaşır.*

Şekil 10. Suyun donması

Bu sürecin daha ayrıntılı bir açıklaması aşağıda belirtilmektedir:

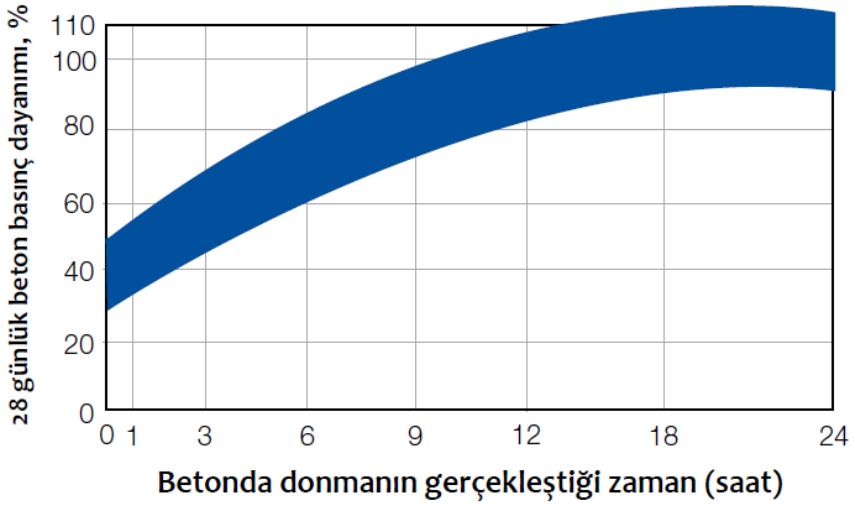
a) Moleküler Yapı

- **Sıvı Hal:** Su sıvı haldeyken, moleküller arasındaki bağlar (hidrojen bağları) daha gevşek ve dinamik bir yapıya sahiptir. Moleküller birbirine yakın, ancak serbestçe hareket edebilir.
- **Donma Süreci:** Sıcaklık düştüğünde ve su donmaya başladığında, moleküller arasındaki hidrojen bağları daha güçlü hale gelir. Moleküller, düşük sıcaklıklarda daha düzenli bir yapı oluşturarak kristal yapı (buz) oluşturur.
- **Kristal Yapı:** Buz kristalleri, moleküllerin belirli bir düzende ve daha uzak mesafede yerleşmesine neden olur. Bu düzenli yapıda, su molekülleri arasında daha fazla boşluk vardır.

b) Hacim Artışı: Su donarken hacminin artmasının nedeni, bu düzenli kristal yapının moleküller

arasındaki mesafeyi artırmasıdır. Sonuç olarak, donmuş su (buz) sıvı suya göre yaklaşık %9 daha fazla hacme sahiptir.

Eğer don olayı gerçekleşirse Şekil 11'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 ulaşıncaya dek donması engellenmelidir. Bu dayanım değerine Tablo 1'de verilen sürelerde ulaşılabilir. Betonun su/çimento oranı, bağlayıcı tipi ve kür sıcaklığı betonu dondan korumak için gerekli süreyi etkiler. Soğuk havada beton uygulamasında ilk 24 saat (şiddetli durumlarda +48 saat) gerekli önlemler alınarak beton "don etkisinden" korunmalıdır. Ortalama sıcaklık, art arda üç gün süre ile +5°C'un üstüne çıkıncaya kadar, betona aynı hassas koruma devam ettirilmelidir.



Şekil 11. Betonun erken yaşta dona maruz kalması sonucu dayanım kaybı [3]

Tablo 1. Don olayının taze betona zarar vermemesi için gerekli beton yaşı [4]

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

Don etkisi, yapıdaki yeni dökülmüş beton kadar şantiyede alınan taze beton numuneleri için de bir tehdittir. Alınan taze beton numuneleri standarda göre 16-72 saat süresince 20±5°C'lik ortamda muhafaza edilmelidir. Eğer saklama koşulları uygun değilse ve beton numuneleri dona maruz kalırsa sağlıksız yani gerçek beton performansını temsil etmeyen sonuçlar elde edilmektedir.

4. Beton Bileşenlerinin Beton Sıcaklığına Etkisi

Beton sıcaklığını arttırmak için karıştırma işleminden önce su ve agrega 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 agrega sıcak su buharı ile ısıtılır. Bu nedenle agregadaki nem oranı değişir. Karışım tasarımında bu detay mutlaka hesaba katılmalıdır. Beton sıcaklığı aşağıdaki formülle hesaplanır [5]:

$$\boldsymbol{T} = \frac{\mathbf{0,22}\ (\boldsymbol{T_a}.\boldsymbol{M_a} + \boldsymbol{T_c}.\boldsymbol{M_c})\ +\ \boldsymbol{T_s}.\boldsymbol{M_s}\ +\ \boldsymbol{T_{sa}}.\boldsymbol{M_{sa}}}{\mathbf{0,22}\ (\boldsymbol{M_a} + \boldsymbol{M_c})\ +\ \boldsymbol{M_s}\ +\ \boldsymbol{M_{sa}}}$$

T = Taze beton sıcaklığı, °C

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

M_a, M_c, M_s ve M_{sa} = Sırasıyla agrega, 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 [5]:

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

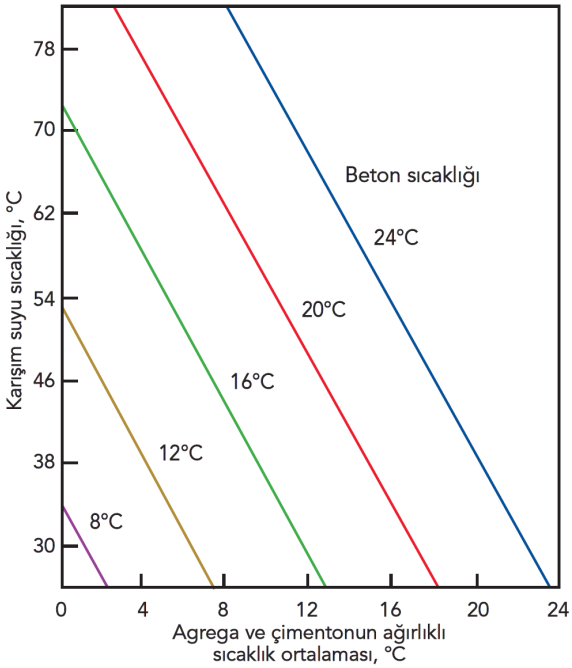
T: 1 saatlik taşıma esnasında sıcaklık düşüşü, °C

t_r: Sahada istenilen beton sıcaklığı, °C

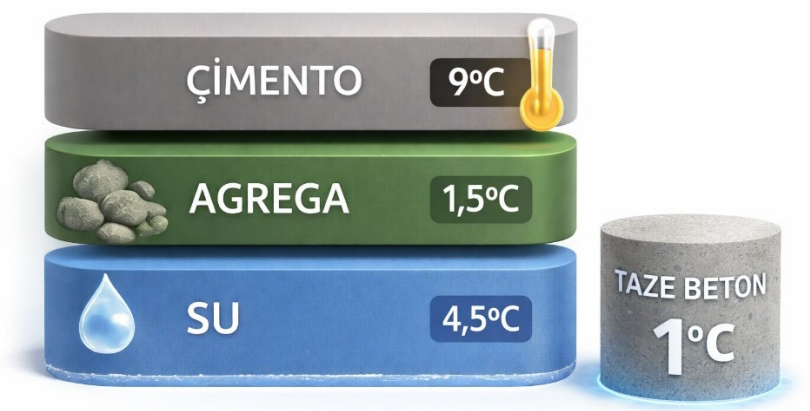
t_a: Hava sıcaklığı, °C

α: Transmikser ile taşımada 0,25, Üstü kapalı damperli kamyon ile taşımada 0,1, Üstü açık damperli kamyon ile taşımada 0,2

Beton bileşenlerinin taze beton sıcaklığına etkisi Şekil 12'de görülmektedir. Şekil 13'te ise taze beton sıcaklığında 1°C'lik değişim yapmak için çimento, agrega ve su bileşenlerinde gerçekleşmesi gereken sıcaklık değişimleri görülmektedir.



Şekil 12. Beton bileşen sıcaklıkları ve beton sıcaklığı ilişkisi [2]



Şekil 13. Betonda 1°C'lik değişim için malzeme sıcaklıklarında yapılması gereken değişim

5. Soğuk Havada Betonun Yerleştirilmesi

Ortalama hava sıcaklığının +5°C'den az olduğu zamanlarda, betonun yerleştirme sıcaklığı Tablo 2'de belirtilen değerlerden az olmamalı ve betonun bu sıcaklıklarda beton cinsine bağlı olarak Tablo 3'te gösterilen sürece korunması sağlanmalıdır.

Tablo 2, TS 1248 standardına göre soğuk hava koşullarında beton uygulamalarında tavsiye edilen beton sıcaklıklarını, hava sıcaklığı ve beton elemanının en küçük kesit boyutuna bağlı olarak tanımlamaktadır. Buna göre, beton dökümü anında ve koruma süresince beton sıcaklığının, kesit boyutuna bağlı olarak 5–13°C'nin altına düşmemesi gerekmektedir; küçük kesitli elemanlarda daha yüksek minimum sıcaklıkla öngörülürken, büyük kesitlerde bu sınırlar düşmektedir. Hava sıcaklığı azaldıkça, karışım anındaki minimum beton sıcaklığı da artırılmakta; örneğin $t \geq -1$°C koşulunda 7–16°C, -1°C $> t \geq -18$°C aralığında 10–18°C, $t < -18$°C durumunda ise 13–21°C arasında değişen

değerler önerilmektedir. Ayrıca tabloda, koruma süresinin tamamlanmasını izleyen ilk 24 saat içinde betonda izin verilen en yüksek kademeli sıcaklık düşüşleri (11–28°C) verilerek, erken yaşta betonun ortalama iç sıcaklığı ile paspayı derinliğindeki yüzey sıcaklığı arasındaki farkın sınırlandırılması ve böylece termal gerilmeler ile çatlak oluşumu riskinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Tablo 3 ise bu sıcaklık koşullarının sağlanmasıyla birlikte, betonun soğukta ne kadar süreyle korunması gerektiğini maruz kalacağı şartlara göre ortaya koymaktadır. Buna göre, beton herhangi bir yüke ve donma etkisine maruz değilse normal beton için en az 2 gün, priz hızlandırıcı katkı kullanılmış beton için 1 gün koruma yeterli görülmektedir. Beton donma–çözülme etkisine maruz ancak yük altında değilse bu süreler sırasıyla 3 gün ve 2 gün, kısmi yükle birlikte donma–çözülmeye maruz kalması durumunda ise normal beton için 6 gün, priz hızlandırıcılı beton için 4 gün olarak artırılmaktadır. Böylece standart, hem erken yaş dayanım gelişiminin güvence altına alınmasını hem de donma hasarı ve dayanıklılık kayıplarının önlenmesini hedefleyen bütüncül bir soğuk hava beton uygulama çerçevesi sunmaktadır.

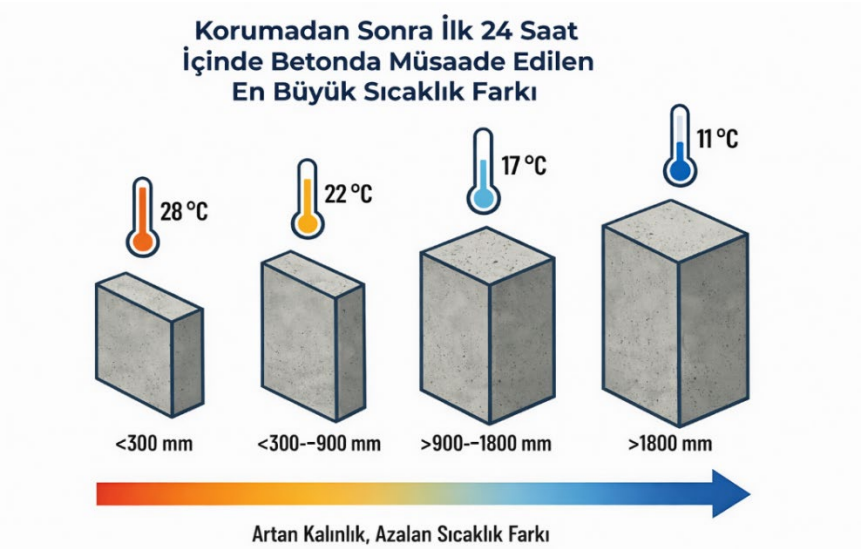
Tablo 2. Tavsiye edilen beton sıcaklıkları [1]

Hava Sıcaklığı (t)	**Kesit ölçüsü (en küçük boyut)**			
	< 300 mm	**≥ 300 mm < 900 mm**	**≥ 900 mm ≤ 1800 mm**	**> 1800 mm**
Dökülme anındaki ve koruma süresince en düşük beton sıcaklığı				
-	13°C	10°C	7°C	5°C
Belirtilen hava sıcaklığı için karışım anındaki en düşük beton sıcaklığı				
t > -1°C	16°C	13°C	10°C	7°C
-1°C ≤ t ≥ -18 °C	18°C	16°C	13°C	10°C
t < -18°C	21°C	18°C	16°C	13°C
Korumanın tamamlanmasını takiben ilk 24 saat içinde izin verilen tedrici en yüksek sıcaklık düşüşü*				
-	28°C	22°C	17°C	11°C
* Soğuk havalarda, karışım anındaki beton sıcaklığı ile taze betonun yerine yerleştirilmesi sırasında istenilen en küçük sıcaklık arasında, daha büyük fark sağlanmalıdır.				

Tablo 3. Soğukta yerleştirilen betonlar için koruma süreleri [1]

Betonun maruz kalacağı şartlar	Tablo 2 satır 1'de gün boyunca (24 saat) en düşük sıcaklıktaki koruma süreleri (gün)	
	Normal beton	Priz hızlandırıcı katılmış beton
Herhangi bir yük ve donma şartlarına maruz değil	2	1
Herhangi bir yüke maruz değil, donma ve çözülmeye maruz	3	2
Kısmi yük ile donma ve çözülmeye maruz	6	4

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 25°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 Şekil 14'teki limit değerler referans alınabilir.



Şekil 14. Korumadan sonra ilk 24 saat içinde betonda müsaade edilen en büyük sıcaklık farkı [1]

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 yüzeyinin kuruması 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 kaybından 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 CO_2 taze betonda karbonatlaşmaya neden olabilir. Ayrıca, bu durum çalışanlar için de zararlı bir ortam yaratır.

Betonun korunması ve kürü, özellikle kış aylarında inşaat projeleri için kritik öneme sahiptir. Donma-çözülme döngüleri, betonda çatlaklara ve dayanıklılık kaybına neden olabilir. Bu nedenle betonun korunmasında aşağıda belirtilen yaklaşıma uyulması önerilmektedir:

1. **Hava Sıcaklığı ve İklim Şartlarını Değerlendirme**
   - **Hava Durumunun Takip Edilmesi:** Beton dökümünden önce ve sonra hava durumu dikkatlice takip edilmelidir. Özellikle gece sıcaklıklarının düşmesi bekleniyorsa, önlemler alınmalıdır.
   - **Donma Riski:** Betonun donma riski, çevresel sıcaklığın 0°C'nin altına düştüğü durumlarda artar. Bu nedenle, döküm sıcaklığı ve dış hava koşulları göz önünde bulundurulmalıdır.
2. **Karışım Tasarımı**
   - **Sıcak Su Kullanımı:** Beton karışımında sıcak su kullanarak, başlangıç sıcaklığını artırmak mümkündür.
   - **Özel Kimyasal Katkı Maddeleri:** Donma direncini artırmak için, kış şartlarına uygun kimyasal katkı maddeleri kullanılmalıdır.
   - **Çimento:** Soğuk hava koşullarında hidratasyon hızını ve ısısını artırmak için çimento dozajının artırılması, su/çimento oranının düşürülmesi ve hidratasyon ısısı daha yüksek bağlayıcıların kullanılması faydalı olmaktadır.
3. **Döküm Zamanı ve Yöntemi**
   - **Gün İçindeki Sıcak Saatler:** Beton dökümünü, günün sıcak saatlerinde yapmaya özen gösterilmelidir. Mümkünse, döküm işlemi öğle saatlerinde gerçekleştirilmelidir.
   - **Hızlı Döküm:** Döküm işlemi sırasında, betonun mümkün olan en hızlı şekilde yerleştirilmesi, sıcaklığın düşmeden kontrol altında tutulmasına yardımcı olabilir.
4. **Betonun Bakımı ve Kürü**
   - **Kür:** Soğuk havada betonun kuruması sırasında aşırı su ile temasını önlemek önemlidir. Ancak, betonu tamamen kuru bırakmamak için gerektiğinde nemli tutmak da öneme sahiptir. Buharlaşma hızını hava sıcaklığı dışında rüzgârın da artırdığı unutulmamalıdır. Kürleme, istenen özelliklerin gelişebilmesi için betonun erken aşamalarında tatmin edici nem içeriğinin ve sıcaklığının korunmasıdır. Önerilen minimum kürleme süresi genelde 7 gündür. Bu süre betonarme eleman tipine ve koruma yöntemine göre değişebilmektedir. Kür için ise su yerine kimyasal kür malzemeleri tercih edilmelidir.
   - **Isı Kaynağı Kullanımı:** Beton dökümünden sonra çevre sıcaklığını artırmak için ısıtıcılar kullanabilir.
   - **Yalıtım Uygulamaları:** Betonun üzerini yalıtım malzemeleriyle (battaniye, polistiren levhalar) kaplamak, sıcaklığı korumaya yardımcı olur. Ayrıca, rüzgârlı havalarda, rüzgâr koruma önlemleri almak da önemlidir.
   - **Koruma Süresi:** Betonun ilk 24 saatlik döneminde, düşük sıcaklık ve donma etkilerinden korumak için dikkatli olunmalıdır. Bu süreçte, betonun yüzeyinin korunması hayati öneme sahiptir.

Kalıp ve iskelelerin sökülmesi konusunda aşağıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Kalıp ve iskelelerin sökülmeleri için gerekli olan betonun yerindeki dayanım değeri, projeci tarafından verilmelidir.
- Betonun yapıdaki (yerindeki) dayanımı, tahribatsız yöntemlerle belirlenmelidir.
- Tahribatsız deney sonuçlarının, tasarım aşamasında gerçekleştirilen beton karışımı deney sonuçları ile korelasyonu yapılmalı ve şantiyede küre tabi tutulan deney numuneleri ile sonuçları doğrulanmalıdır.
- Beton dayanım deneylerine ait sonuçlarının değerlendirilmesi yöntemleri, önceden şartnamelerde belirlenmiş olmalıdır.
- Hava şartları ve ilgili diğer bilgiler de dâhil olmak üzere, bütün deney sonuçları kaydedilmelidir. Bu kayıtlar kalıp ve iskelelerin sökülmesine karar verilmesi hususunda mühendis tarafından kullanılmalıdır.
- Kalıp ve iskelenin bir üst kata kurulması, kalıp işçiliğinin en kritik işlemlerinden birisi olup, yetkili uzmanlar tarafından planlanmalı ve karar verilmelidir. Beton elemanların erken yaştaki dayanımı, kalıplar alındıktan sonra kendi ağırlığı ve diğer inşaat yüklerini taşıyacak durumda olmalıdır.

Özetle beton uygulamasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Don riski olan hava koşullarında beton dökümünden olabildiğince kaçınılmalıdır.
- Beton dökümü öncesi kalıplar ve demir donatılar kontrol edilmelidir. Buzlu ve karlı kalıp yüzeylerine döküm yapılmamalıdır. Kalıp ve donatılarda eğer buz parçaları varsa temizlenmelidir.
- Beton dökümü öncesi zeminde don varsa çözülmelidir. Aksi takdirde zemin üzerine yerleştirilecek beton aniden ısı kaybedecektir.
- 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.
- Şiddetli rüzgâr durumunda rüzgâr kırıcı perdeler/bariyerler kullanılmalıdır.
- Soğuk havalarda uzun priz sürelerini önlemek için kalıplar ya da uygulama alanı ısıtılabilir.
- Yalıtımlı kalıp kullanılmalıdır.
- İhtiyaç durumunda özellikle döşemelerde yalıtımlı battaniyeler kullanılmalıdır.
- Su ile kür uygulaması tercih edilmemelidir. Özellikle kolonlarda kimyasal kürleme yapılmalıdır.
- Mineral katkılı betonlar daha uzun süre korunmalıdır.
- Kalıp köşe ve kenarları gibi ısı kaybına daha fazla maruz kalan kritik bölgeler daha fazla korunmalıdır.

6. Soğuk Havada Çimento ve Mineral Katkı Kullanımı İçin Öneriler

- **Yüksek Oranda Çimento Kullanımı:** Soğuk havalarda çimento oranını artırmak, betonun erken dayanım kazanma hızını artırır. Daha fazla çimento, daha fazla ısıl enerji açığa çıkararak hidratasyon sürecini hızlandırabilir ve betonun donma riskini azaltabilir.
- **Yüksek Isı Üreten Çimentolar (C_3S Oranı Yüksek Çimentolar):** Yüksek oranda trikalsiyum silikat (C_3S) içeren çimentolar, hidratasyon sırasında daha fazla ısı açığa çıkararak betonun soğuk havada daha hızlı dayanım kazanmasına yardımcı olur. Bu tip çimentolar, özellikle düşük sıcaklıklarda erken dayanım kazanımını artırır. (Not: Klorür etkisine maruz kalan yapılarda düşük C_3S oranı (<%5) uygun değildir.)
- **Çimentonun Priz Süresi:** Kısa priz süresine sahip çimentolar, soğuk havada hızlı sertleşme sağlar. Bu nedenle, kısa priz süresi olan çimentolar soğuk hava koşullarında daha uygundur.
- **Priz Hızlandırıcı Katkılar ile Uyum:** Soğuk havada hızlandırıcı katkı maddeleri ile uyumlu çimentolar kullanılmalıdır. Bu katkılar, betonun erken sertleşmesini hızlandırarak donma tehlikesini önler.
- **Mineral Katkı Kullanımı:** Her ne kadar uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıların betonun dayanıklılığı üzerinde son derece olumlu etkileri olsa da, erken dayanımı düşürmeleri özellikle soğuk hava koşullarında bir handikap olmaktadır; ancak soğuk hava koşullarında bile uygun kimyasal katkılar kullanılarak (priz hızlandırıcı, erken yaş dayanımı artırıcı gibi) belirli oranda mineral katkı kullanımı son derece faydalıdır.

Yeterli küre tabi tutulan ve korunan, ancak dayanım gelişiminin seviyesini belirlemek için herhangi bir işlem yapılmayan durumlarda, basınç dayanımının geleneksel olarak belirlenmesi tavsiye edilir. Bu durumda çimento cinsi önem arz etmektedir. Tablo 4'te standart küre tabi tutulmuş 28 günlük dayanımların farklı oranlarını elde etmek amacıyla tavsiye edilen kür süresini belirlemek üzere (10°C ve 21°C sıcaklıkta) genel bilgiler verilmiştir.

Tablo 4. Standart küre tabi tutulmuş 28 günlük dayanımın belirli oranları için tavsiye edilen koruma süreleri

Standart küre tabi tutulmuş 28 günlük dayanımın oranı (%)	10°C, gün			21°C, gün		
	Çimento tipi			Çimento tipi		
	CEM I 42,5 N ve/veya R	CEM II 42,5 N ve/veya R	CEM I 42,5 R ve/veya CEM I 52,5 N ve/veya R	CEM I 42,5 N ve/veya R	CEM II 42,5 N ve/veya R	CEM I 42,5 R ve/veya CEM I 52,5 N ve/veya R
50	6	9	3	4	6	3
65	11	14	5	8	10	14
85	21	28	16	16	18	12
95	29	35	26	23	24	20

7. Soğuk Hava Koşullarında Kullanılan Kimyasal Katkılar ve Faydaları

Soğuk hava koşullarında betonun donma riski, priz alma süresinin uzaması ve dayanım gelişiminin yavaşlaması gibi sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, soğuk havalarda betonun performansını artırmak için kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkılar, betonun soğuk koşullarda daha

hızlı dayanım kazanmasını, donma riskinin azaltılmasını ve çalışma süresinin kontrol edilmesini sağlamaktadır.

7.1. Priz Hızlandırıcı Katkı Maddeleri

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri, çimento hidratasyonunu hızlandırarak betonun daha hızlı priz almasını sağlar. Bu katkılar sayesinde, beton düşük sıcaklıklarda bile hızlıca sertleşir ve erken dayanım kazanır. Bu durum, betonun donma riskini azaltır ve kalıpların daha hızlı sökülmesine olanak tanır.

7.2. Antifriz Katkı Maddeleri

Antifriz katkılar TS 11746 Standardına göre şu şekilde tanımlanmaktadır: *"Soğuk havada taze betonu ve harcı donmaya karşı koruyucu madde, soğuk hava şartlarında yapı harcına veya taze betona ilave edilerek, çimento başlangıç hidratasyon ısısını arttırma ve taze beton veya harç boşluklarındaki suyun donma derecesini düşürme yolu ile beton veya harcın korunma süresini ve korunma tedbirlerini azaltan, don etkisinden koruyan sıvı veya katı haldeki kimyasal katkı maddeleridir. Betonun içinde kalan suyun donma noktasını düşürerek donma riskini azaltır. Bu katkılar, betondaki serbest suyun daha düşük sıcaklıklarda donmasını önleyerek betonun dayanım kazanma sürecini olumsuz etkilemeden devam ettirir."*

Antifriz, klorür içermeyen kimyasal bileşiklerinden oluşan, taze betonun priz ve sertleşme sürelerini kısaltan beton katkısıdır. Bu özelliği ile soğuk hava koşulları başta olmak üzere her türlü çevresel etki koşullarında betonun işlenebilirlik ve geç dayanımını düşürmeden, ilk dayanımlarını artırarak erken kalıp alma imkânı sağlar ve betonun dona maruz kalma riskini en aza indirir.

Betonda çimento ve su arasındaki hidratasyon reaksiyonu beton sıcaklığı 5°C'nin altına indiğinde çok yavaşlar. 0°C'nin altında ise beton içindeki suyun donması ile reaksiyon tamamen durur ve donma etkisi ile beton içinde çatlaklar oluşur. Bu aşamadan sonra betondan istenilen performansın elde edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle düşük hava sıcaklıklarında ve özellikle don etkisi riski olan durumlarda antifriz katkılı (priz hızlandırıcı) beton tercih edilmelidir, ancak bu önlem tek başına yeterli olmayabilir. Şantiyede beton uygulayıcısı standartta (TS 1248) anormal hava koşulları için belirtilen önlemleri almalıdır.

7.3. Süper Akışkanlaştırıcılar (Yüksek Oranda Su Azaltıcılar)

Süper akışkanlaştırıcılar, betonun işlenebilirliğini artırır ve düşük su/çimento oranıyla dahi kolayca yerleştirilebilmesini sağlar. Soğuk hava koşullarında daha az su kullanımı, betonun donma riskini azaltır ve daha hızlı dayanım kazanmasına yardımcı olur. Su miktarını azaltarak betonun dayanıklılığını artırır ve betonun geçirimsizliğini yükseltir. Bu da betonun içine suyun daha az girmesini sağlayarak donma riskini düşürür.

7.4. Hava Sürükleyici Katkılar

Hava sürükleyici katkılar, betonun içinde küçük hava boşlukları oluşturarak donma-çözülme döngülerine karşı betonun dayanıklılığını artırır. Bu küçük boşluklar, su donarken genişleyip beton içinde basınç oluşturduğunda, genleşen suyun bu boşluklara girerek betonun çatlamasını önler.

Donma-çözülme döngülerine karşı direnci artırır ve betonun ömrünü uzatır. Soğuk havalarda, özellikle dış mekân betonları için önemli bir katkı maddesidir.

7.5. Kimyasal Kür Malzemeleri

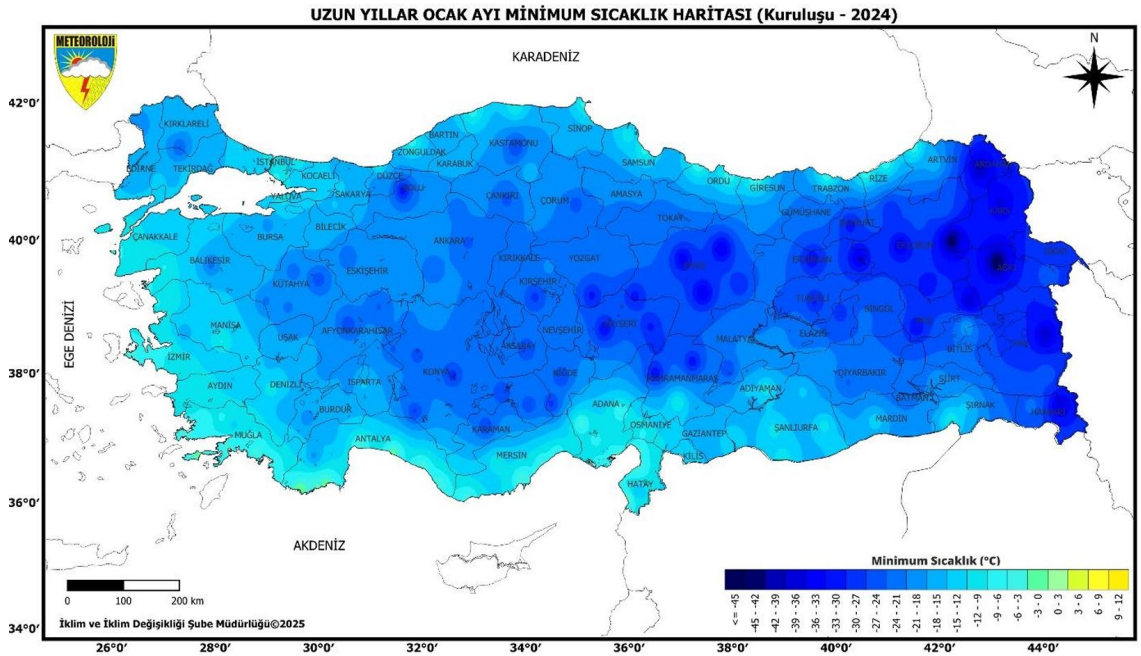
Hidratasyon reaksiyonun devamlılığı için beton bünyesinde yeterli miktarda suyun olması şarttır. Kimyasal kür malzemeleri beton yüzeyinden suyun buharlaşmasını engelleyerek gerekli suyun beton içinde kalmasını sağlar. Özellikle soğuk hava koşullarında betonun su yerine kimyasal kür malzemeleri ile kür edilmesi çok daha avantajlıdır.

7.6. Soğuk Havalarda Kimyasal Katkı Maddeleri Kullanımı ile İlgili Öneriler

- **Katkıların Doğru Dozajlanması:** Soğuk hava koşullarında kimyasal katkıların doğru miktarda ve dengeli şekilde kullanılması, betonun dayanım kazanma sürecini optimize eder. Özellikle priz hızlandırıcı katkıların fazla kullanımı, çatlama riskini artırabilir.
- **Katkıların Birlikte Kullanımı:** Priz hızlandırıcı ve hava sürükleyici katkılar gibi katkı maddeleri bir arada kullanılabilir, ancak bunların birbiriyle uyumlu olması gereklidir.

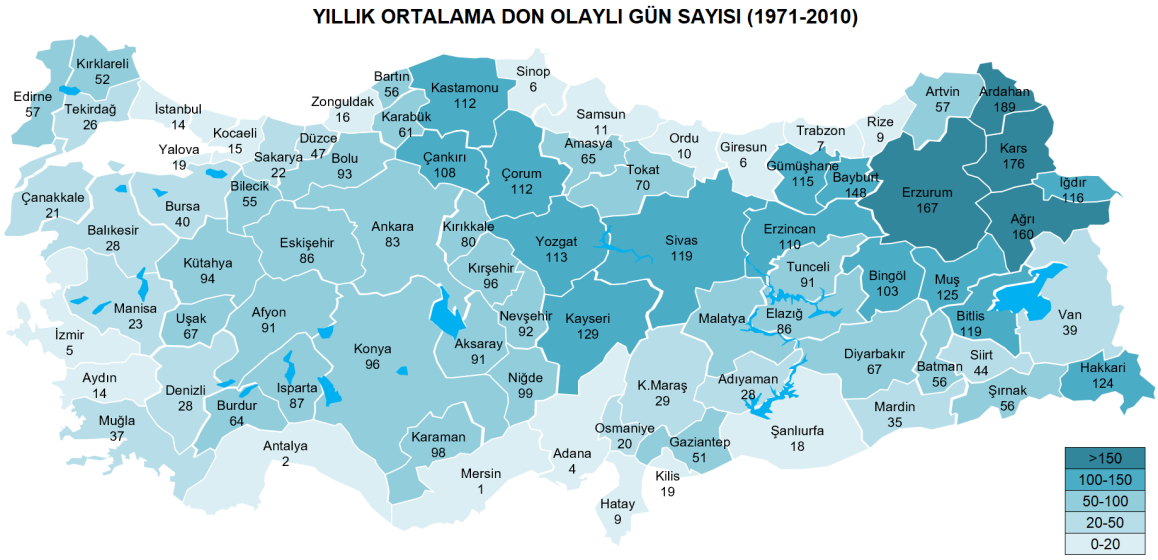
8. Türkiye'nin İklimsel Özellikleri

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 15'te, ülkemizdeki en soğuk dönem olan ocak ayı için uzun yıllara dayanan minimum sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 15. Türkiye'de uzun yıllar ocak ayı minimum sıcaklık dağılışı [6]

Şekil 16 ise 1971-2010 yılları arasındaki yıllık ortalama zirai don olaylı gün sayısını göstermektedir. Haritaya göre, özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Ardahan (189 gün), Kars (176 gün) ve Erzurum (167 gün) gibi illerde don olaylı gün sayısı yılda 150 günü aşmaktadır. İç Anadolu ve Doğu Anadolu'nun diğer kesimlerinde de yıllık 100 günün üzerinde don olayı görülürken, kıyı bölgelerde bu sayı belirgin şekilde düşüktür.



Şekil 16. Yıllık ortalama zirai don olaylı gün sayısı [7]

Kaynaklar

1. Türk Standartları Enstitüsü. (2025). Betonun hazırlanması, dökümü ve bakım kuralları - Anormal hava şartlarında (TS 1248). TSE.
2. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2003). Design and control of concrete mixtures (14th ed.). Portland Cement Association.
3. American Concrete Institute. (1973). Behavior of concrete under temperature extremes (Special Publication SP-39). ACI Publishing.
4. Türkel, S. (2003). Soğuk hava koşullarında beton üretimi. Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı (ss. 32-45). Uşak.
5. ACI Committee 306. (2016). ACI 306R-16: Guide to Cold Weather Concreting (First printing, September 2016). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. ISBN 978-1-945487-15
6. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (t.y.). Aylık Sıcaklık Analizi (Ocak). Erişim tarihi: 07.01.2026. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/sicaklik-analizi.aspx?ay=ocak
7. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (t.y.). Zirai Don Uyarı Sistemi – Türkiye Don Takvimi. Erişim tarihi: 07.01.2026. https://www.mgm.gov.tr/tarim/zirai-don-uyari-sistemi-harita.aspx?s=takvim

EK - Soğuk Havada Beton Uygulama Kontrol Listesi

Proje/Şantiye		Lokasyon	
Eleman		Kalınlık (mm)	
Döküm Tarihi	____ /____ /_____	Saat	____:____
Hava Tahmini (48–72 saat)	Tmin ____ °C / Tmaks ____ °C	Rüzgâr/Yağış	____ km/saat | Kar: E / H

A) DÖKÜM ÖNCESİ – PLANLAMA ve HAZIRLIK

A1) Hava, zamanlama ve karar

☐ Döküm zamanı ve ilk 48 saat için Tmin/Tmaks, rüzgâr ve yağış tahmini kontrol edildi; risk seviyesi belirlendi.

☐ Döküm mümkünse günün daha sıcak saatlerine planlandı (gece dökümü gerekiyorsa ek önlem planlandı).

☐ Kar/yağmur ve kuvvetli rüzgâr için üst örtü/rüzgâr kırıcı hazırlığı tamam.

☐ Zemin/kalıp sıcaklığı 0°C altında ise ön ısıtma/izolasyon planlandı (donmuş zemin üzerine döküm yapılmayacak).

☐ Erteleme kriterleri belirlendi (hedef beton sıcaklığı sağlanamıyorsa, altyapı yetersizse, şiddetli don riski varsa).

A2) Karışım, üretim ve lojistik

☐ Hedef yerleştirme beton sıcaklığı (°C): _____ | Santral çıkış hedefi (°C): _____

☐ Karışım tasarımı soğuk hava için gözden geçirildi (erken yaş dayanım hedefi, su/bağlayıcı oranı, çimento tipi).

☐ Katkı planı doğrulandı: ürün-doz-uyumluluk (priz/sertleşme hızı, hava sürükleme, işlenebilirlik).

☐ Karışım suyu/agrega ısıtma ihtiyacı değerlendirildi; uygulama yöntemi ve sınırları belirlendi.

☐ Nakliye mesafesi, bekleme ve pompa hattı beklemesi minimize edildi; ilave mikser devri/boşaltım planı hazır.

☐ Transmikser, pompa hattı ve bağlantı ekipmanı izolasyonu (gerekirse) sağlandı; yedek ekipman planlandı.

☐ Buzlu/çok soğuk malzeme (agrega, su) kullanımı engellendi; stok sahası ve bunker koşulları kontrol edildi.

A3) Şantiye hazırlığı (kalıp/donatı/zemin)

☐ Kalıp, donatı ve alt yüzey kar-buzdan arındırıldı; donmuş zemin üzerine döküm yapılmayacak şekilde önlem alındı.

☐ Kalıp sızdırmazlık ve ısı kaybı açısından kontrol edildi; kenar/köşe bölgeleri için ilave izolasyon hazır.

☐ Donatı üzerinde buz/kırağı temizlendi; ankraj/filiz bölgelerinde lokal don riski kontrol edildi.

☐ Yerleştirme bölgesinde rüzgâr etkisini azaltacak düzenleme yapıldı (rüzgâr kırıcı, perdeleme).

☐ Pompaj hattı ve ekipman (boru/dirsek) donma riskine karşı kontrol edildi; gerekli ise ısıtma/izolasyon yapıldı.

☐ Aydınlatma, erişim, yollar ve pompaj alanı karlı/ıslak koşullara karşı güvenli hale getirildi.

A4) Koruma-kür ve izleme planı

☐ Koruma yöntemi seçildi: ☐ izolasyon battaniyesi ☐ branda ☐ koruyucu çevreleme ☐ kontrollü ısıtma ☐ diğer

☐ Koruma süresi hedefi: min ____ saat (risk yüksekse 48 saat+). Kriter bazlı kaldırma uygulanacak.

☐ Sıcaklık ölçüm planı yapıldı: ☐ hava ☐ beton (boşaltım) ☐ yüzey ☐ merkez/derinlik.

☐ Sensör/ölçüm noktaları belirlendi (yüzey ve derinlik/merkez) ve kayıt aralığı: ____ saat.

☐ Sıcaklık farkı yönetimi: ΔT (Merkez–Yüzey) ≤ 25°C; örtüler/ısıtma kademeli azaltılacak.

☐ Kür yöntemi belirlendi: ☐ kimyasal kür ☐ membran ☐ ıslak kür (don riski yoksa) ☐ diğer: _____

☐ Kür malzemesi, uygulama ekipmanı ve yedekleri sahada hazır; uygulama zamanı ve sorumlusu net.

A5) Numune alma, kür ve kalite kontrol

☐ Numune sayısı, tipi ve alınma zamanları belirlendi (dayanım/durabilite/erken yaş doğrulama).

☐ Numune ilk 16–72 saat 20±5°C koşullarında korunacak şekilde izole kutu/alan hazır; sıcaklık kaydı yapılacak.

☐ Taze beton kontrolleri planlandı: sıcaklık, kıvam, hava (varsa), birim hacim kütle ve gözlemsel kontroller.

☐ Erken yaş doğrulama yöntemi belirlendi (olgunluk, erken yaş numune kırımı vb.).

☐ Uygunsuzluk durumunda aksiyon planı hazır (beton sıcaklığı düşük, işlenebilirlik kaybı, soğuk derz riski vb.).

A6) İSG ve acil durum

☐ Isıtıcı/koruyucu çevreleme kullanımı için İSG önlemleri alındı (yangın, CO/CO_2, havalandırma, kablo/yanıcı malzeme).

☐ Kaygan zemin, buzlanma ve ekipman devrilme riskleri için saha önlemleri alındı; ekip bilgilendirildi.

☐ Acil durumda durdurma/erteleme yetkilisi ve iletişim bilgileri belirlendi.

B) DÖKÜM SIRASINDA – UYGULAMA ve KONTROL

B1) Sıcaklık ve taze beton kontrolleri (kayıt)

☐ Hava sıcaklığı (başlangıç): ____ °C | Saat: ____:____ (kayıt edildi)

☐ Beton sıcaklığı (boşaltımda): ____ °C (hedefin altındaysa aksiyon: ☐ karışım ☐ izolasyon ☐ ertele/durdur)

☐ Beton sıcaklığı yerleştirme noktasında da kontrol edildi (pompa çıkışı/kalıp içine giriş): ____ °C (uygunsa).

☐ Taze beton kıvamı/kontrolü yapıldı; uygunsuzluk varsa kayıt altına alındı ve müdahale edildi.

☐ Döküm sırasında periyodik sıcaklık kontrolü yapıldı (aralık: ____ dk/saat).

B2) Yerleştirme, sıkıştırma ve bitirme

☐ Yerleştirme hızı ve tabaka kalınlığı soğuk derz oluşmayacak şekilde planlandı; ekip sayısı yeterli.

☐ Vibrasyon/sıkıştırma yeterliliği kontrol edildi (soğukta işlenebilirlik düşüşüne dikkat).

☐ Yüzey bitirme işlemleri için rüzgâr/kar etkisine karşı koruma sağlandı.

☐ Beton yüzeyinde buzlanma/serbest su donması gözlenirse işlem durduruldu ve önlem alındı.

☐ Aşırı su ilavesi ve yüzeyde su birikmesi engellendi; yüzey kalitesi kontrol edildi.

B3) Lojistik ve beklemeler

☐ Transmikser beklemeleri minimize edildi; pompaj hattında uzun bekleme olmadı.

☐ Gecikme yaşanırsa koruma seviyesi yükseltildi ve kayıt altına alındı.

☐ Döküm kesintisi olursa soğuk derz prosedürü uygulandı (temizleme, bağlayıcı/aderans önlemi vb.).

C) DÖKÜM SONRASI – KORUMA, KÜR ve İZLEME

C1) İlk koruma (hemen)

☐ Yüzey derhal korumaya alındı: ☐ izolasyon ☐ branda ☐ koruyucu çevreleme ☐ kontrollü ısıtma ☐ diğer: _____

☐ Kenar/köşe bölgeleri için ilave izolasyon uygulandı (en hızlı ısı kaybı bölgeleri).

☐ Rüzgâr ve yağışa karşı birleşim yerleri kapatıldı; ısıtma varsa güvenli çalışma koşulları doğrulandı.

C2) Kür uygulaması

☐ Kür yöntemi uygulandı: ☐ kimyasal kür ☐ membran ☐ ıslak kür (don riski yoksa) ☐ diğer: _____

☐ Kür uygulama zamanı, miktarı ve kapsama oranı kontrol edildi; eksik alanlar tamamlandı.

☐ Don riski varken yüzeyde serbest su oluşmasına izin verilmedi; gerekirse kür yöntemi revize edildi.

C3) Sıcaklık izleme, süre ve kaldırma kriteri

☐ İzleme kayıtları tutuluyor: hava + beton/yüzey/merkez sıcaklığı (zaman: 0-2-4-8-24 saat vb.).

☐ Koruma süresi: ____ saat. (Riski yüksek koşullarda 48 saat+ değerlendirilir.)

☐ Koruma kaldırma kriteri doğrulandı: ☐ basınç dayanımı ≥ 4 MPa ☐ $\Delta T \leq 25^{o}C$ ☐ kademeli kaldırma planı uygulandı.

☐ Isıtma/koruma azaltma süreci kademeli yapıldı; ani soğuma/ısıl şok oluşturulmadı.

C4) Kalıp alma, yükleme ve erken yaş kontrol

☐ Kalıp alma zamanı erken yaş dayanım/olgunluk sonuçlarına göre doğrulandı; erken söküm yapılmadı.

☐ Erken yaş çatlak ve yüzey kusurları kontrol edildi; bulgular kayıt altına alındı.

☐ Gerekli görülen yerlerde ek koruma/onarım planlandı ve sorumlular atandı.

C5) Numune sevki ve dokümantasyon

☐ Numuneler uygun koşullarda laboratuvara sevk edildi; numune koşul kayıtları eklendi.

☐ Gün sonu raporu tamamlandı: sıcaklık kayıtları, koruma yöntemi/süresi, uygunsuzluklar ve aksiyonlar.

☐ Fotoğraf/yerleşim notları (koruma detayı, sensör konumu vb.) dosyalandı.

D) ÖZEL DURUMLAR – HATIRLATMALAR

☐ İnce elemanlarda ($t < 200$ mm) yüzey don riski için ek izolasyon/ısıtma ve hızlı yerleştirme planlandı.

☐ Kütle/kalın elemanlarda ($t > 100$ cm) iç sıcaklık ve ΔT kontrolü için sensör yerleşimi ve kademeli kaldırma programı net.

☐ Don çözücü tuz/kimyasal temasının taze betona etkileri değerlendirildi; erken yaşta temas engellendi (varsa).

☐ Koruma malzemeleri kaldırılırken ani rüzgâr/soğuk hava girişi engellendi; açıklıklar kademeli açıldı.

SOĞUK HAVADA BETON UYGULAMA REHBERİ: RİSKLER, STANDARTLAR VE SAHA ÇÖZÜMLERİ

A. TEMEL BİLGİLER VE RİSKLER

<+5°C
Ardışık 3 Gün

%9
Hacim Genleşmesi

İç Gerilimeler & Kalıcı Hasar (Pullanma)

%50
Dayanım Kaybı
(Erken Yaşta Don)

Priz Süresi Uzar
(10°C Düşüş = 2 Kat Süre)

B. STANDARTLAR VE ALTIN KURALLAR

4 MPa
Güvenlik Eşiği:
4 MPa'ya Ulaşana Kadar Kesin Koruma

İLK 24 SAAT KRİTİK!
Don Etkisinden Mutlaka Korunmalı

Min. Beton Sıcaklığı (TS 1248 Özet)	
Kesit <300mm	13°C
Kesit 300-900mm	10°C
Kesit >900mm	7°C

C. DÖKÜM ÖNCESİ VE KARIŞIM TASARIMI

1°C Artış Kuralı:
Agrega +1,5°C
Su +4,5°C
Çimento +9,0°C

Kimyasal Katkılar:
Antifriz (Donma Düşürücü) & Priz Hızlandırıcı

Cimento Seçimi:
Yüksek Hidratasyon Isısı, Artınlmış Dozaj

Hava Takibi:
Gece Düşük Sıcaklıklar & Rüzgar

D. DÖKÜM, KÜR VE KORUMA

Sıcaklık Farkı Kontrolü:
İç ve Yüzey Farkı MAX 25°C Olmalı

Kür Yöntemleri:
Yalıtımlı Battaniye, Kimyasal Kür, Isıtıcılar (CO_2 Dikkat)

Koruma Süresi:
Yük/Şartlara Göre 1-6 Gün

Kademeli Soğutma:
Kalıp Sökümünde Ani Isı Kaybını Önle

DİKKAT! ZEMİN BUZLUYSA VEYA DONATI KARLIYSA ASLA DÖKÜM YAPMA!

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ

www.thbb.org

www.thbbakademi.org