

Beton Dökümünde ve Sonrasında Yazanan Problemler ve Çözümler

Türkiye Hazır Beton Birliği

Dr. Tümer AKAKIN

İnş. Müh. Yasin ENGİN

Tozuma



Nedenler:

Betonun terlemesi bitmeden yapılan yüzey bitirme işlemleri sonucu beton yüzeyinde terlemenin getirdiği su ile su/çimento oranı yüksek bir tabaka oluşur; bu da düşük dayanımlı bir yüzeye neden olur.

Su emmesi çok az olan temel veya polietilen kaplama üzerine beton dökümünde bu problem görülebilir. Bu durum betonun daha fazla terlemesine neden olur.

Soğuk beton üzerinde, ılık havadan dolayı nem biriktiği durumlarda taze betona işlem yapılırsa yüzey zayıflar.

Kapalı alanlarda yetersiz havalandırma terlemeyi yavaşlatır.

Çeşitli araçlardan çıkan karbondioksit karbonatlaşmaya neden olur, bu da yüzey dayanım ve dayanıklılığını düşürür.

Yetersiz kür ve bakım: Zayıf yüzey tabakası oluşur ve kaldırımlarda dahi aşınma oluşur.

Taze betonun yağmur, kar veya rüzgardan korunmaması: Beton donarsa yüzey zayıflayacak ve tozuma oluşacaktır.



Tozuma

Çözümler:

Yeterli çökme seviyesine sahip düşük su/çimento oranına sahip beton en yüksek dayanım, dayanıklılık ve yüzey aşınması sağlayacaktır. Genellikle zeminde S3 (10-15cm) kıvamın üzerinde beton kullanılmamalıdır. Daha yüksek çökmeli ve yeterli dayanımı sağlayan beton ayrışma ve kummaya neden oluyorsa kullanılabilir. Katkılarla betonun çökmesi artırılabilir; fakat soğuk havalarda betonun priz almasında gecikme ve terleme süresinde uzama görülebilir.

Plastik kıvamdaki betona terleme suyunu emmesi için çimento serpilmemelidir. Terleme çok fazla oluyorsa karışım dizaynı değiştirilmelidir.

Priz hızlandırıcı katkı kullanılmalıdır.

Beton terlemeye devam ederken yüzeyinde işlem yapılmamalıdır. Seviyeleme işleminden hemen sonra yüzey düzeltme işlemi tamamlanmalıdır. Yüzey bitirme işlemleri yaparken su eklenmemelidir.

Beton doğrudan geçirimsiz yüzeyler üzerine dökülmemelidir. Böyle zeminler üzerine (10-15cm) sıkıştırılabilir dolgu malzemesi, kırılmış agregaya serilmesi faydalıdır. Yüksek buharlaşma varsa zemin, üzerinde su birikmeyecek şekilde ıslatılmalıdır.

Yeterli nemim döşeme içinde kalması için bitirme işleminden hemen sonra seçilen kür yöntemine göre malzemeler kullanılmalıdır. Nemli kürde telis ve su, kaplamalı kürde kimyasal malzemeler uygulanmalıdır.

Soğuk havalarda beton sıcaklığının 10°C' nin üzerinde olmalı ve priz hızlandırıcı katkıları kullanılmalıdır.

Tozuma

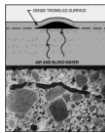
Onarım:

Zayıf yüzey tabakasını almak için basınçlı hava uygulanabilir.

Tozmayı azaltmak için piyasada bulunan yüzey sertleştiriciler, talimatları doğrultusunda sertleşmiş beton üzerinde kullanılmalıdır. Tozuma devam ederse lateks ve epoksi gibi kaplama malzemeleri kullanılmalıdır.

Çok ciddi tozumlarda dayanıklı bölüme kadar zemin kesilebilir. Daha sonra yeni beton tabakası dökülebilir. Bu uygulanabilir değilse, bir zemin kaplaması vinil veya halı biçiminde kullanılabilir. Çünkü dayanıksız bir yüzeye (b) maddesinde belirttiğimiz malzemeler yapışmayacağından uygulanamayacaktır.

Yüzeyde Kabarcık Oluşumu



Nedenler:

Beton içerisindeki su henüz terlemeden ya da beton içindeki hava dışarı çıkmadan beton yüzeyinde bitirme işleminin yapılmasından dolayı oluşur. Yüzey betonu henüz zayıf bir haldedir. Kuru ve rüzgarlı hava şartları bu durumu destekler. Beton yüzeyinin hemen altında kabarcıklar oluşur. Bu kabarcıklar betonun yük taşıyama başlaması ile kırılırlar. Bu nedenle, bu problem yapım aşamasında farkedilemeyebilir.

Az ya da aşırı vibrasyon işlemi (az vibrasyon sonucu beton içindeki hava tam olarak dışarı çıkmaz, aşırı vibrasyon sonucu yüzeyde kalın bir harç tabakası oluşur)

Uygun olmayan araçlarla mala yapmak

Erken bitirme işlemi yapmak

Fazla hava içeriği

Yüksek su/çimento oranında beton kullanmak

Zemin betonundan soğuk ise betonun üst yüzeyi daha erken priz alacak ve hazır görünmüş olacak.

Bunun sonucu beton bitirmeye tam hazır değiken bitirme işlemi yapılmaya başlanacaktır.

Döşeme kalın ise beton terlemesi ve hava kabarcıklarının yüzeye çıkması zaman alacaktır.

Çimento ve ince malzemesi fazla beton daha bağlı olacağından terleme daha yavaş gerçekleşir.

Yüzeyde Kabarcık Oluşumu



Çözümler:

Uygun ve yeterli vibrasyon ve sıkıştırma işlemleri uygulanmalıdır.

Bitirme işlemi zamanında yapılmalıdır.

Hava içeriği ve su/çimento oranı düşük beton kullanılmalıdır.

Beton yüzeyinden parça atması (Popout)



Nedenler:

Su emmesi yüksek agreganın kullanılması
Agrega-silika reaksiyonu
Donma-çözülme etkisi

Çözümler:

Daha dayanıklı agreganın kullanılması
Düşük su/çimento oranıyla beton üretmek
Uygun ve etkili kür metotları uygulamak

Onarım: Sorunlu bölgeler kaldırılarak yama yapılabilir.

Beton yüzeyinde renk düzensizliği (Discoloration)



Nedenler:

Erken ya da geç bitirme işlemleri
Polietilen koruma tabakalarının yüzeyle teması
Beton içeriğindeki kalsiyum klorür, çimentoda yüksek alkali oranı ve yanlış katkı kullanımı
Farklı malatlar kullanmak ve her yerde aynı sitille malalama yapmamak. Sıkı malalanan yerler daha koyu renkte olacaktır. Erken malalanan yerlerde ise daha sonra su/çimento oranı artacağına daha açık gölgeler oluşacaktır.
Kalıp yağı

Beton yüzeyinde renk düzensizliği (Discoloration)

Çözümler:

Kimyasal kür malzemesi kullanırken renk bozup bozmayacağı önceden incelenmeli
Beton yüzeyi uygun ve sabit bir şekilde düzeltilip, bitirilmelidir.
Soğuk havalarda kalsiyum klorür içeren katkılar kullanılmamalıdır.
Uzun süre döküm yapılacak işlerde kullanılan malzemenin sabit olması sağlanmalıdır.
Fazla alkali içeren çimento kullanılmamalıdır.
Farklı malzemelerden oluşan kalıp sistemi kullanılmamalıdır. Farklı su emme sonucu beton görüntüsünde farklılıklar oluşur.
Beton yüzeyinde katkıdan dolayı oluşan renk bozuklukları beton yüzeyi sıcak su ile yıkanarak ve fırçalanarak yok edilebilir. %20-%30'luk diamonyum sitrat çözeltisi kullanılarak etkili sonuç alınabilir. Bu çözelti kuru beton yüzeyine 15 dakika uygulanır. Tekrarlanması gerekebilir.
Mala uygulaması ile oluşan renk bozuklukları için boyama yapılabilir.

Not: Aşınma ve yaşlanma sonucu beton yüzeyindeki renk bozuklukları gittikçe azalacaktır.

Çiçeklenme (Efflorescence)



Nedenler:

Suda çözünen sülfat, nitrat, klor, krom, molibden tuzlarını içeren yeraltı suyunun yukarı hareket ederek, temele ya da beton kaplamaya geçmesi
Yıkınmamış malzeme kullanılması
Standartta uygun olmayan su kullanılması
Betonun fazla geçirgen yapıda olması

Çiçeklenme (Efflorescence)

Çözümler:

Beton üretiminde su-çimento oranı düşük tutulmalı, betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması iyi yapılarak betonun geçirimsizliği azaltılmalıdır.
Kullanılan karışım ve kür suyu ve agregalarda çeşitli tuzların bulunmamasına dikkat edilmelidir.
Karışım ve kür suyu olarak deniz suyu kullanılmamalıdır.
Beton karışımında, beton içerisindeki Ca(OH)_2 'i azaltıcı ve betonun geçirimsizliğini ve dayanıklılığını artırıcı özelliği olan beyaz renkte puzolonik katkılar kullanılmamalıdır.
Düşük alkali miktarı içeren çimento kullanılabilir.

Onarım:

Basınçlı su, % 5 oranında tuzlu su katılmış su ya da %20 oranında sirkeli su ile betonun yıkanması
Beton yüzeyinin sert bir fırça ile fırçalanması

Not: Suda çözünen tuzların beton yüzeyine çıkması ile beton içinde boşluklar oluşur ve bu boşluklu yapı dayanıklılık açısından tehlikelidir.

Beton yüzeyinde dökülme (Spalling)



Nedenler:

Donma-çözülme etkisi
Kaplama üzerindeki büyük gerilmeler
Yanlış işçilik
Tuzlama
Betonun hava içeriğinin çok düşük olması
Yüksek su/çimento oranı
Yetersiz paspayı
Çözümler:
Düşük slump
Hava sürükleyici katkı
İyi kür(en az 7 gün devamlı)
İlk yıllarda tuzlama yapılmaması

Beton yüzey harcında bozulma (Scaling)



Nedenler:

Beton içindeki su terlemeden bitirme işlemi yapılırsa daha sonra beton yüzeyinde terleme sonucu su/çimento oranı yüksek bir tabaka oluşur ve bu tabakanın dayanımı zayıf olur.
Bitirme işleminin fazla yapılması sonucu beton yüzeyinde hava içeriği azalır ve bunun sonucu donma-çözümeye karşı direnç azalır.
Yetersiz kür uygulaması
Düşük hava içerikli betonun donma-çözümeye karşı dirençsizliği
Tuzlama çalışmaları
Çok düşük hava içerikli beton
Yetersiz drenaj

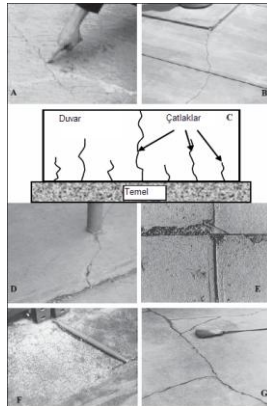
Beton yüzey harcında bozulma (Scaling)

Çözümler:

Hava sürükleyici katkısı kullanmak (bu katkı kullanıldığında vibrasyon işlemi belli bir düzeyde yapılmalıdır yoksa istenilen hava boşluğu elde edilemez.)
Betonun ilk yıllarında tuzlama yapılmamalıdır. Amonyum sülfat ve amonyum nitrat içeren tuzlar asla kullanılmamalıdır. Bunun yerine solüsyon kullanılabilir.
Beton yüzeyinde sertleştirici katkı kullanılabilir.
Yağışlı havalarda beton dökülmemelidir.
Zarar gören beton yüzeyleri çimento, lateks ve polimer-çimento modifiye tamir harçları ile düzeltilebilir.

Çatlaklar

A: Plastik rötre çatlakları
B: Yanlış derz sonucu çatılma
C: Sürekli dış etkiden kaynaklanan çatlaklar
D: İzalasyon derzi olmamasından kaynaklanan çatlaklar
E: Donma-Çözümeye sonucu çatlaklar
F: Düzensiz çatlaklar
G: Oturma çatlakları



Çatlaklar

Nedenler:

Yetersiz ve yanlış kür uygulaması
Uygun olmayan malzeme kullanımı
Çevre koşulları (çok kuru iklim-sıcaklık farkının yüksek olması)
Uygun olmayan bitirme işlemi
Yüksek su/çimento oranı içeren beton kullanmak
Kalın kesitler
Zeminin uygun olmaması
Alkali-silika reaksiyonu
Yanlış derz kesimi
Yanlış beton tasarımı ve malzeme seçimi

Çözümler:

Zemindeki zayıf tabaka alınmalı ve zemin güçlü olmalıdır. Kışın karlı ve buzlu zemin üzerine beton dökülmemelidir. Kalıplar sağlam yapılmalıdır.
Yüksek kıvam su ile değil katkı ile sağlanmalıdır.
Donma-çözümeye döngüsünün çok olduğu bölgelerde hava sürükleyici katkı kullanılmalıdır.
Beton yüzeyi sululu iken bitirme işlemi yapılmamalıdır. Ayrıca beton terlemeden (bleeding) bitirme işlemine kesinlikle başlanmamalıdır.
Yüksek sıcaklık, rüzgar ve düşük nem gibi koşulların olduğu ortamlarda buharlaşma daha hızlı olacaktır. Bu nedenle beton sulanmalı, beton yüzeyini güneş ışıklarından korumak için polietilen örtüler yada ıslatılmış telis bezi ve rüzgar kırıcılar kullanılabilir.
Paspayı olabildiğince geniş bırakılmalıdır.
Polietilen elyaf kullanmak.
Rötre azaltıcı katkı kullanmak

Çatlaklar

Onarım:

Kullanılan malzemeler:
Kararlı çatlaklar için
Çimento harcı
Epoksi resin
Poliester resin
Sentetik kauçuk

Aktif çatlaklar için
poliüretan resin
akrilik jel
esnek epoksi resin

Soğuk Derz (Cold Joint)



Nedenler:

Beton dökümünde plansızlık: Alt katmandaki beton priz alacağından yeterli aderans sağlanamaz.

Çözümler:

Beton dökümü işinin zamanlamasının önceden yapılması
Soruolu durumlarda altta kalacak betonun prizinin gecikmesi için akışkanlaştırıcı katkı yada priz geciktirici katkı kullanılması
Priz alan betonun yüzeyinin pürüzlendirilerek (şerbetin kınıp agregaların ortaya çıkması) aderansın artırılması
Ara yüzeyde "lateks" kullanarak aderansın artırılması

Petek Dokusu (Honeycomb)



Nedenler:

Malzemenin ayrışması
Kötü vibrasyon uygulaması
Kötü agrega gradasyonu
Yüksek mesafeden beton dökümü

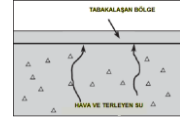
Çözümler:

Uygun vibrasyon uygulaması yapılarak mazelmenin ayrışması engellenmelidir.

Onarım:

Tamir harcı kullanarak hasarlı bölge onarılır. Onarım yapılırken bölgenin tamamen temizlenmesine dikkat edilmelidir.

Tabakalaşma (Delamination)



Nedenler:

Betonun terlemesi devam ederken bitirme işlemi yapılması

Hava içeriği yüksek beton kullanımı

Yüksek su/çimento oranı

Döşemenin kalın olması

Yüksek sıcaklık, rüzgar ve düşük nem gibi çevre koşulları

Aşırı derecede sıkıştırma ve vibrasyon uygulama sonu yüzeye çok fazla çimento harcı toplanır. Yüzey zayıflar.

Çözümler:

Soğuk havada priz hızlandırıcı katkı kullanılabilir.

Beton ısıtılabilir.

Gerekli kür uygulanır (yüzey örtüsü kullanılabilir).

Bitirme işlemi zamanında yapılmalıdır. (Beton terlemeden ve hava tahliye olmadan)

Sıcaklığı 4°C'nin altında olan zemine beton yerleştirilmemelidir.

Hava sürükleyici katkı kullanılmamalıdır.

Beton yüzeyinde boşluklar



Nedenler:

Kötü vibrasyon uygulaması

Geçirgenliği düşük kalıplar (çelik ya dapolimer karışımı tahta): Bu tür kalıplar beton içindeki havanın tahliyesini engellemekte ve yüzeyde sıkışan hava boşluk oluşturmaktadır.

Kötü beton tasarımı: Sıkıştırma ve vibrasyon uygulamalarına iyi cevap vermeyen betonun yüzeyinde hava boşlukları daha rahat oluşur.

Kötü kalıp yağı

Çözümler:

Uygun vibrasyon uygulaması: Her katmanda vibrasyon uygulaması yapılmalı ve katman üzerine dökümlerde alttaki katman tekrar vibrasyona tabi tutulmalıdır.

Geçirgen kalıplar: Geçirgen olmayan kalıplarda daha fazla vibrasyon gerekmektedir.

Kendiliğinden yerleşen beton kullanılabilir.

Boşluklar polimer ile geliştirilmiş ince harç ile doldurulur.

Betonda kıvam kaybı

Nedenler:

Yüksek sıcaklık, rüzgar ve düşük nem sonucu daha hızlı buharlaşma

Uzun yol ve yüksek devirde taşıma

Malzeme su emmesinin yanlış hesaplanması ve değerlendirilmesi

Santralde yanlış nem düzeltme

Çözüm:

Şantiyede akışkanlaştırıcı katkı kullanmak

Santralde hava ve yol koşullarına göre su düzeltilmesi yapmak

Betonu uygun devirde taşımak

Kalıpların önceden suya doygun hale getirilmesi

Beton agregasının donatı arasından gecememesi



Nedenler:

Projeye uygun olmayan ebatta agrega kullanımı

Beton kıvamının düşük olması

Çözüm:

Beton sipariş edilirken projeye uygun D_{maks} 'lı beton istenmeli

Sık donatılı yerlerde daha ince malzemeli (kendiliğinden yerleşen beton-brüt beton) tercih edilmeli.

Betonun iyi sıkıştırılması için vibratör kullanılmalıdır.

NOT: TS EN 206-1 Standardına göre beton içerisindeki agrega sınıflandırması en büyük agrega tane boyutuna göre yapılmaktadır. Bu nedenlerle projelerinizde TS 500' e uygun agrega kullanmalısınız. TS 500'e göre en büyük agrega büyüklüğü:

Kalıp genişliğinin 1/5'inden,
Döşeme kalınlığının 1/3'ünden,
İki donatı çubuğu arasının 3/4'ünden,
Beton örtüsünden (paspayı) büyük olamaz.

Beton pompasının betonu pompalayamaması

Nedenler:

Pompanın periyodik bakımının yapılmaması ve uygun kurulmaması

Aşırı derecede iri ya da ince malzeme kullanılması

Çok düşük kıvamda beton pompalanması

Kullanılan iri malzemenin ebatının büyük olması

Plansız işten dolayı mikserlerin şantiyede bekleyip betonun kıvam kaybetmesi

Çözüm:

Betonun pompalanacak kıvamda olması sağlanmalı. Bunun için şantiyede kimyasal katkı kullanılabilir.

Aracın pompalama standardı incelenmeli ve boru çapının ne büyüklükte agrega için uygun olduğu tespit edilmelidir.

Brüt beton ya da kendiliğinden yerleşen beton daha rahat pompalanır. Ayrıca uçucu küllü ve yuvarlak agregalı betonun pompalanması daha rahattır.

Beton kütlelerinin daha rahat hareket etmesi için önceden "çimento+kum+su" karışımından oluşan harç (serbet) ile pompalama yapılır.

Pompa boruları keskin dönüş ve bükümle göstermeyecek şekilde kurulmalıdır.

Not: Betonun kıvamını arttırmak için şantiyede asla su eklenmemelidir. Bu uygulama kıvama arttırmasına rağmen betonun dayanımına ve dayanıklılığına son derece zarar verir.

Betonun erken priz alması

Nedenler:

Yüksek sıcaklık
Yüksek oranda çimento miktarı
Düşük su/çimento oranı
Yüksek erken dayanımlı çimento kullanılması
Beton malzemelerinin fazla sıcak olması
Çimentonun sıcak olması (75°C den yüksek olmamalı)

Çözüm:

Priz geciktirici katkı kullanılması
Agreganın soğutulması-suyun buzlu bir şekilde kullanılması
Çimento dozajının bir miktar (dayanım ve dayanıklılığı sağlayacak şekilde) azaltılması
Araçların şantiyede uzun süre beklememesi önceden koordineli bir şekilde müşteri ile anlaşmak.

Betonun geç priz alması

Nedenler:

Aşırı soğuk hava(üst üste 3 gün ortalama hava sıcaklığının 5°C'nin altında olması)
Düşük miktarda çimento kullanmak
Malzemelerin soğuk olması
Aşırı miktarda katkı kullanımı
Aşırı vibrasyon

Çözüm:

Malzemenin ısıtılması
Priz hızlandırıcı katkı kullanılması
Çimento dozajının bir miktar artırılması
Uygun kür(tünel kalıplarda ısıtma-yapının dış ortamdan izole edilmesi)

Ayrışma (Segregasyon)

Nedenler:

Az ya da gereğinde fazla vibrasyon uygulaması
Betonun kalıba yüksekte dökülmesi
Betonun taşınmasındaki hatalar
Malzemelerin uygun tarzda karıştırılmaması
İri agrega miktarının çok fazla olması
İri ve ince agreganın özgül ağırlıklarının çok farklı olması
İnce agrega veya çimento gibi ince malzemelerin az olması

Sülfat Etkisi



Sülfat Etkisi: Doğal sularla ya da atık sularla belli bir miktarda sülfat bulunabilir. Özellikle yeraltı sularında sülfat iyonlarının miktarı yüksek seviyede olabilir. Sülfat iyonları betona geçerek çimentonun hidratasyonu ile elde edilen kalsiyum hidroksit ve kalsiyum alüminat hidratlarla reaksiyona girerek, alçı ve etrengit oluşumuna neden olur. Bunlarda genişlerken çatlamalara neden olur. Bu etkiyi azaltmak için C_3A (trikalsiyum alüminat) miktarı az olan (en çok %5) çimento kullanılabilir. Bu tür çimentolara sülfata dayanıklı çimentolardır. Ayrıca; betonda çeşitli puzolanlar ve granüle yüksek fırın cürufu kullanılabilir.

KARBONATLAŞMA



Normal beton: pH= 12-13

Karbonatlaşan beton: pH= 8-9



PASİVASYON TAHRİP OLUR

Karbonatlaşma Etkisi



Karbonatlaşma Etkisi

Hidratasyon sonucu oluşan kalsiyum hidroksit ile havadaki CO_2 reaksiyona girerek kalsiyum karbonat oluşturur. Bunun sonucu pH değeri 12-13'den 8-9'a düşen betonun bazik özelliği zayıflar. Böylece beton içindeki donatıların paslanması kolaylaşır. Karbonatlaşmayı azaltmak için betonun geçirimsiz olması gerekir. Geçirimsizlik düşük su/çimento oranı, iyi gradasyon, uygun vibrasyon ve kür uygulaması ile sağlanabilir. Ayrıca paspayını olabildiğince arttırmak gerekmektedir.

Deniz Suyu Etkisi



Deniz Suyu Etkisi

Deniz suyu betondan çok donatılar için zararlıdır. Donatının paslanması sonucu donatıda hacimce artma görülür ve bu da iç gerilmelere nedne olur. Donatının taşıma kapasitesi azaldığı gibi betonda oluşan çatlaklar betonun dış koşullara karşı direncini azaltır.

Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)



Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)

Çimento içindeki Na_2O ve K_2O gibi alkaliler amorf silisli yapıdaki agregalarda reaksiyona girip alkali-silika jelleri oluştururlar. Oluşan jellerin su emmesi çok yüksek olduğundan zamanla şişerek hacimleri artar ve beton içinde gerilmelere sebep olurlar. Çatlayan betonun dayanımı ve dayanıklılığı zarar görür. Bu reaksiyon çoğunlukla yıllar sonra görülmektedir. Düşük alkali miktarı içeren çimento ya da uygun agrega kullanıldığı takdirde böyle bir probleme maruz kalınmaz.

Donma-Çözülme Etkisi



Donma-Çözülme Etkisi

Betonun suya doygun olduğu veya doygunluk derecesine yakın olduğu durumlarda tekrarlı donma-çözülme altında önemli bir dezavantajı ortaya çıkar. Böyle bir ortamda beton kısa bir sürede dağılılabılır. Dolayısıyla, donma-çözülme etkisi, gerekli önlem alınmadığı takdirde, betonun yol kaplamaları, barajlar, temeller gibi yerlerde kullanılmasını güçleştirir. Bilindiği gibi, su donduğunda hacimce genişler. Betonda gözeneklerde ve kılcak boşluklarda bulunan su da donduğunda genişleyerek bu boşlukların ve gözeneklerin duvarlarına gerilmeler uygular ve mikroçatlaklar oluşmasına neden olur. Hava sürükleyici katkılar kullanıldığında betonda meydana gelen, birbirinden bağımsız hava kabarcıkları bu içsel gerilmelere karşı bir tür yastık vazifesi görür. Su hava kabarcıklarına doğru hareket ederek bunların bir kısmını doldurur ve genişleme sırasında tamamı dolu olmadığından içsel gerilmeler meydana gelmez. Hava sürükleyici katkılar, karışım işlemi sırasında betonda yaklaşık 0.2mm boyutlarında birbirinden bağımsız hava kabarcıkları oluştururlar. Bu hava kabarcıkları priz tamamlandıktan sonra da beton içinde kararlı bir yapıda kalırlar. Betonun donma-çözülme direncini artırmak için hacimce %4-8 hava içermesi önerilir.



Betonun Yerleştirilmesi ve Bakımı

Yerleştirme- Sıkıştırma

- İçten titreticiler: Bir diğer adı da dalıcı vibratör olan ve en çok kullanılan vibratör tipidir. Titreşimli iğne beton içindeki en büyük agrega boyutu , betonun kıvamı , kalıp ve donatı durumuna göre değişik çaplarda olabilir. Diğer karışımlar için iç vibratörler 9000-12000 devir/dakika veya 150-200 Hz frekanslı olmalıdır. 180 Hz çalışma için iyi bir ortalamadır.



Fig. 4. Internal vibrator: "spigoting" (top) and "needle" (bottom)

Yerleştirme- Sıkıştırma

- Dıştan titreticiler: Kalıp vibratörleri diye de adlandırılan ve kalıba dıştan monte edilerek kullanılan vibratörlerdir. Bu vibratörler genellikle donatı yoğunluğunun fazlalığı nedeniyle içten titretici uygulanamayan sıkışık yerlerde , tünellerin kemer kaplamaları ile prefabrik eleman üretiminde kullanılırlar.

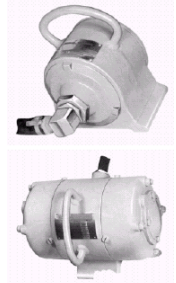
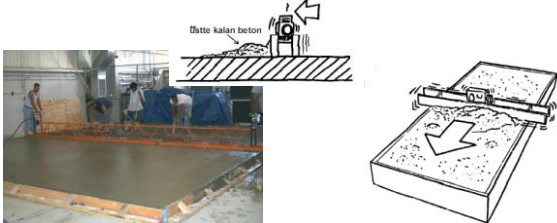


Fig. 5.2.1. - Rotary form vibrators: pneumatically driven (top) and electrically driven (bottom)

Yerleştirme- Sıkıştırma

- Yüzey titreticiler: Satış vibratörleri de denilen bu vibratörler titreşen bir mala veya master şekindedirler. Daha çok döşeme ve yol kaplama betonlarında kullanılırlar. Yaklaşık olarak 20 cm derinliğine kadar etkili olurlar. Şayet daha derin kısımların vibrasyonu gerekiyorsa dalıcı vibratörlerle birlikte kullanılmalıdır.



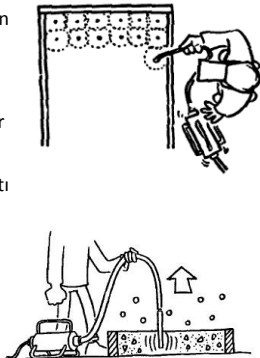
Yerleştirme- Sıkıştırma

Betonu vibrasyon altında sıkıştırırken dikkat edilecek hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Taze beton, içinde hava boşlukları kalmayacak şekilde mümkün olan en yüksek yoğunluğa kadar sıkıştırılmalıdır.
- Vibratör beton içine dikey olarak daldırılmalı ve daldırma aralığı vibratörlerin etki yarı çaplarına bağlı olarak 45-50 cm'yi geçmemelidir.

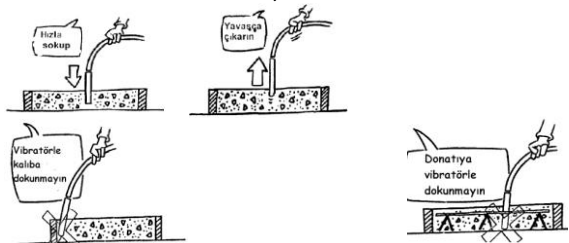
Yerleştirme- Sıkıştırma

- Vibratör daldırıldığı kesimde , beton yüzeyinde ince bir şerbet tabakası belirene kadar en az 15sn kadar sabit tutulmalı , daha iyisi vibratöre küçük düşey hareketler yaptırılmalıdır.
- Vibratör betona hızla daldırılmalı ve beton tabakasının dibine kadar ulaşmalıdır.
- Etkili sahanın çapı, vibratör başının boyutunun yaklaşık 10 katı kadardır.



Yerleştirme- Sıkıştırma

- Vibratör her defasında bir önceki tabakaya 10-15cm kadar girmesi sağlanmalıdır
- Vibratör betondan yavaşça çekilmeli (~5cm/sn) ve çekilirken arkasında boşluk kalması önlenmelidir.
- Vibratörün kalıba ve donatıya teması önlenmelidir.



Beton Yerleştirilirken Dikkat Edilecek Hususlar

- Beton mümkün olduğunca yerleştirileceği yere veya yakın bir bölgesine dökülmelidir. Betonun belirli bir bölgeye yığıp, kürekle yerine yerleştirmeden kaçınılmalıdır.
- Gecikme ve duraklamalara meydan verilmemeli, bunun sonucu oluşabilecek soğuk derzlere imkan verilmemelidir. Herhangi bir önlem alınmadığında 2 saattir



Yerleştirme- Sıkıştırma



- Kalıba dökülen betonu, kalıbın her tarafına yaymak, donatıları iyice sarmasını sağlamak ve hava boşluklarını dışarıya çıkararak kompasiteyi artırmak için uygun ekipmanla sıkılmak gerekmektedir.



Betonun Bakımı ve Kürü

- Vibratör betondan tamamıyla çıkarıldığında, çıktığı yerdeki delik kendiliğinden kapanmalıdır.**
- Vibratör beton dışında çalıştırılmamalıdır.**

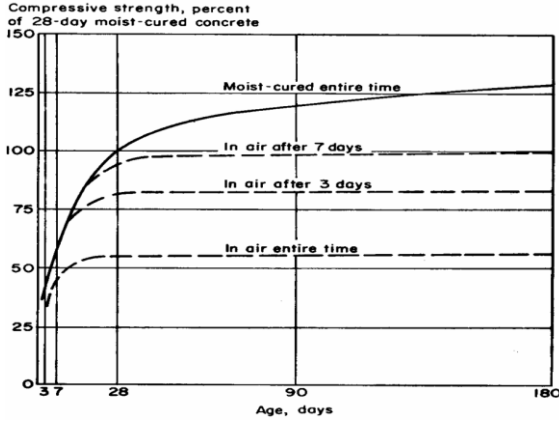
- Hava sıcaklığının düşük olması hidratasyonu yavaşlatacak, buna bağlı olarak da beton yavaş dayanım kazanacaktır.
- Yeterli nem bulunmazsa hidratasyon reaksiyonları gerçekleşmez.

Betonun Bakımı ve Kürü

- Yerine yerleştirilen betonun dayanımının zaman içinde gelişimi, bünyesindeki çimentonun su ile yapacağı hidratasyon reaksiyonlarının sürekliliği ile mümkündür. Hidratasyon olayının normal bir şekilde gelişmesini engelleyen saklama koşulları ile ilgili faktörler **sıcaklık ve nem derecesidir**. Bunların yeterli derecede sağlanmasına betonun bakımı denir.

Betonun Bakımı ve Kürü

- Hava sıcaklığının düşük olması hidratasyonu yavaşlatacak, buna bağlı olarak da beton yavaş dayanım kazanacaktır.
- Yeterli nem bulunmazsa hidratasyon reaksiyonları gerçekleşmez.



Betonun Bakımı ve Kürü

- Bu durumda buharlaşmanın önlenmesi , ancak betona yeterli bir rutubet kaynağı sağlamakla mümkün olacaktır. Şayet betonda bu gibi etkiler sonucu oluşan su kaybı önlenemez ise hidrasyon ürünlerinin oluşmamasının yanı sıra ani kurumadan dolayı betonda büzülme olacak ve çatlaklar meydana gelecektir.

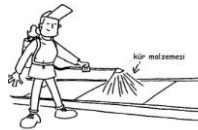
Betonun Bakımı ve Kürü

Betonun bakımı yapılmadan uygulanamaz. Karışım suyunu belli bir süre betonun bünyesinde tutabilmek için genelde iki yöntem uygulanmaktadır.

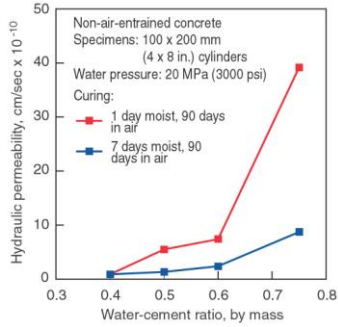
- Betonu sık sık ve devamlı sulama, ıslak çuvalarla örtme , buhar verme, kum , nemli toprak veya saman sererek sürekli ıslatma.

Betonun Bakımı ve Kürü

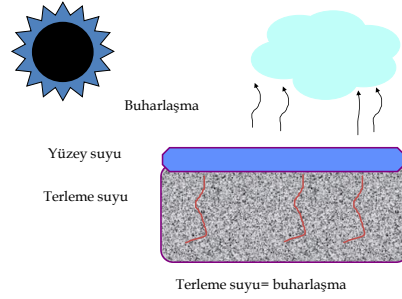
- Kalıbı alır almaz beton yüzeyini piyasadan hazır olarak temin edilebilecek sıvı kür maddeleri ile kaplama. Bu maddeler, püskürtme yoluyla veya fırça ile beton yüzeyine uygulanırlar ve yüzeyde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak beton karışım suyunun kaybolmasına engel olurlar.



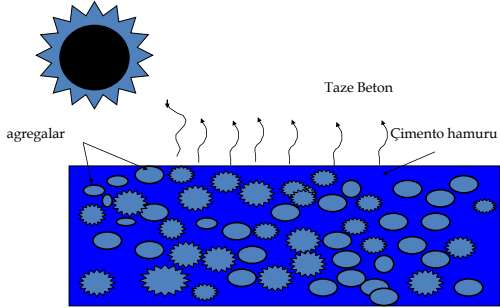
Geçirgenlik, su çimento oranı ve ilk kür ilişkisi



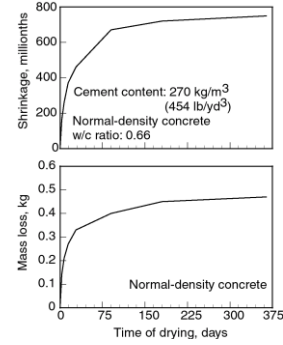
Terleme ile buharlaşma arasındaki ilişki



Sıcaklık Etkisi



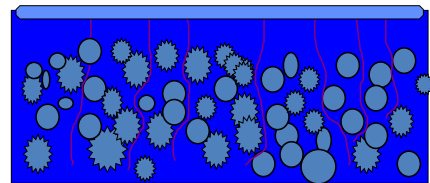
Beton numunesinin kuruma çekmesi ve kütle kaybı



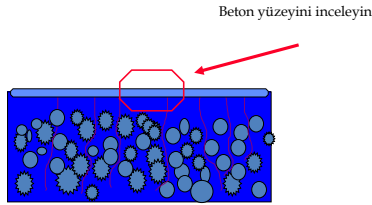
Terleme

Terleme hızı ve süresi sıkıştırma yöntemi, betonun derinliği ve beton dizaynına bağlıdır. Betonda genelde su/çimento oranı etken iken agregalar, kimyasal katkıları, çimento ve sürüklenmiş hava miktarı terlemeyi etkiler. Artan vibrasyon ile terleme hızı artar. Derin elemanlarda terleme daha fazladır. Terleme miktarı az olan betonlarda erken yüzey kuruması görülür.

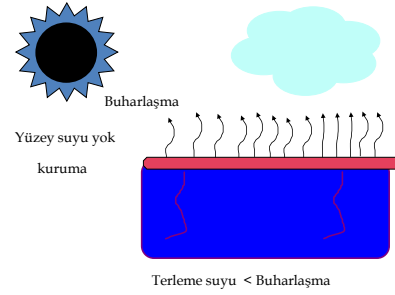
Terleme



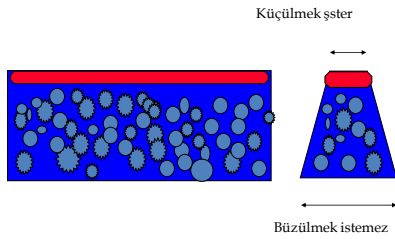
Yüzeyde su birikmesi



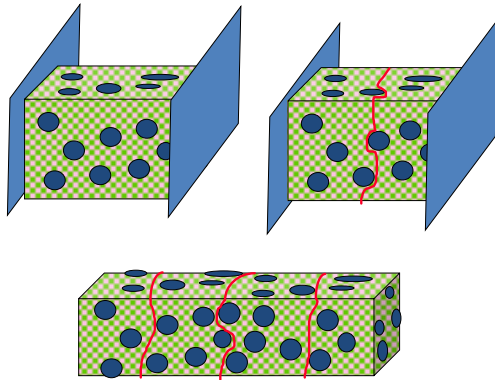
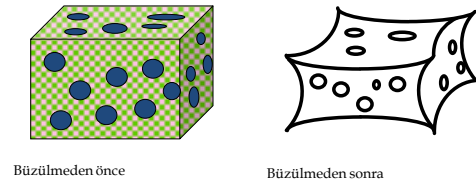
Fazla buharlaşma yüzey çatlaklarına neden olur



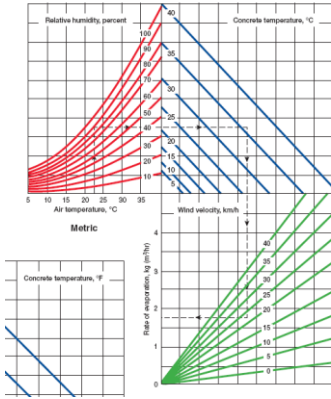
Yüzey büzülmesinin yandan görünümü



Serbest büzülme, Hacim değişmesine neden olur, gerilme olmaz



- Buharlaşma hızı hava ve beton sıcaklıkları, bağıl nem, rüzgar ve güneşten direkt olarak gelen ısı enerjisidir. Buharlaşmaya neden olan kuvvet yüzeydeki ve yüzeyin üzerindeki hava arasındaki basınç farkıdır. Bu basınç ne kadar yüksekse buharlaşma o kadar yüksek olur. Beton yüzeyindeki buhar basıncı suyun sıcaklığına bu da beton sıcaklığına bağlıdır. Beton yüzey sıcaklığı ne kadar yüksekse yüzey su buharı basıncı o kadar yüksektir.



- Düşük su çimento oranına sahip betonlarda yüzeydeki kuruma su geçirgenliğinin az olmasından dolayı daha hızlı olur.
- Bu nedenle düşük su/çimento oranına betonlarda aşınma dayanımı gibi özellikler , dayanım özelliğine göre küre daha hassastır.

Plastik Rötreyi ve çatlakları azaltmak için alınacak önlemler

- Beton döküldüğün kalıbı ve donatı demirlerini nemlendir, ıslat ki betonun suyunu emerek kurumasını hızlandırmaları.
- Beton güneşten (gölgelik yaparak veya akşam dökerek) , sıcağından (akşam dökerek) ve rüzgardan (rüzgarlık yaparak) koru

Plastik Rötreyi ve çatlakları azaltmak için alınacak önlemler

- Suyun buharlaşmasını önle (ıslak çuval, naylon örtü örtmek veya kür maddesi sürerek veya püskürtmek)
- Yeterli sayıda ve beceride işçi kullanarak beton hızlı dök , masterla ve hemen küre başla, en az 7 gün boyunca kürü sürdür.

Plastik Rötreyi ve çatlakları azaltmak için alınacak önlemler

- Betonlama işi devam ederken bitirdiğimiz bölümlerde koruma önlemlerini almamız birinci ve ikinci kür önlemleri alınması gerekebilir.

Plastik Rötreyi Çatlakları



- Yüzeydeki buharlaşmadan dolayı meydana gelir.
 - Yüksek beton sıcaklığı
 - Düşük nem
 - Rüzgar

Plastik rötre çatlaklarını engellemek



- Agregayı ıslat
- Agregayı ve karma suyu soğut
- Zeminin sula
- Rüzgar ve güneş ışıklarının etkisini azalt
- Beton yüzeyini ört
- Beton yüzeyini sula
- Elyaf lif kullan

Yağmurlama



Önlem Alınmazsa

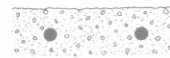
- Su eklenmesinden dolayı daha düşük dayanım
- Çatlamalardan dolayı daha düşük dayanıklılık
- Artan geçirgenlik
- Homojen olmayan yüzey görünümü
- Artan kuruma bülmesi
- Düşük aşınma dayanımı

Taze Beton Çatlakları: Oturma Çatlakları

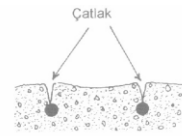
- Oturma çatlakları özellikle kirişlerde üst yüzeye yakın demirlerin (boyuna demirler veya etriyeler) hemen üstünde oluşurlar. Taze beton kalıba yerleştirildikten sonra oturma yapar , yani hafif olan su üst yüze doğru ağır olan agrega taneleri dibe doğru hareket eder.

Taze Beton Çatlakları: Oturma Çatlakları

- Örneğin 40cm derinliğindeki kirişte 1-2mm oturma olabilir. Derinlik 39.8-39.9cm'ye inebilir. Kiriş içindeki demirler , özellikle üst yüze yakın olanlar , bu hareketi engeller, oturmasını yapamayan beton demir boyunca çatlar. Döşemeler ince olduğu için oturma azdır, pek çatlama görülmez. Kirişler daha derin olduğu için oturma çok olabilir ve demirlerin haritası beton yüzeyine çıkar.



Oturmadan önce



Oturmadan sonra

Taze Beton Çatlakları:

Oturma Çatlakları

- Betonun suyu arttıkça oturma artar. Beton iyi yerleştirilmez, sıkılanmaz, vibrasyon uygulanmazsa oturma yine artar. Dolayısı ile çatlama da. Bu çatlakları önlemenin bir yolu S3 kıvamda beton kullanıp aşırı sulu betonlardan kaçınmak ve betona iyi vibrasyon uygulamaktır.

- Yüzey bitirme işlemleri (mala dışında) ilk prizden ve kuma suyu yok olmadan önce uygulanmamalıdır. Betonun oturmasından veya kusmasından önce işlenmesi yüzeyde işlenmiş tabakanın altında su tabakası oluşmasına yani daha zayıf bir tabaka oluşmasına neden olur. Bu nedenle betona bitirme uygulanırken kuruması beklenir.

Bitirme

- Taşıma , yerleştirme , sıkıştırma ve beton döşemelerde olduğu üzere yüzeyini malalama hepsi beton prizini almadan önce gerçekleşir. Priz alma süresi vibrasyon limiti olarak da bilinir. Bu limit betonun daha fazla sıkıştırılamayacağı zaman olarak da bilinir. Beton yüzeyini şekillendirme betonun ilk prini almasıyla başlayabilir ama son prizini almadan bitmelidir.

- Beton yerleştirildikten hemen sonra ilk masterlama yapılır; daha sonra bir insan betonun üzerine çıktığında 1-2 mm derinlikte iz kalınca, ikinci masterlama işlemi yapılır.

Betonun Çevre Koşullarına Göre Sınıflandırılması

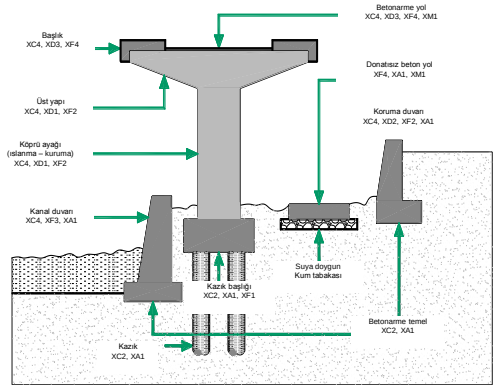
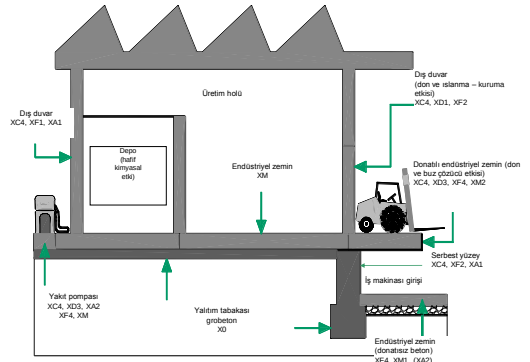
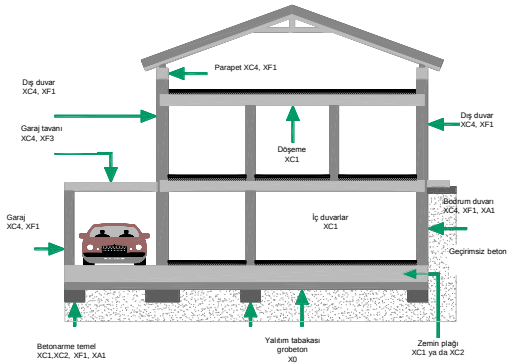
Çevresel Etki
Karbonatlaşma
Deniz Suyu
Deniz Suyu Haricinde klorür
Donma Çözülme
Zararlı Kimyasal Ortam
Aşınma

Çevresel Etki Sınıfları (TS EN 206)

Sınıf	Açıklama	Maks. su/çim. oranı (w/c)	Min. çimento dozajı (kg/m ³)	Min. dayanım sınıfı
X0	Korozyon riski veya zararlı etki yok	Sınır yok	Sınır yok	C12/15
XC	Karbonatlaşma			
XC1	Kuru veya sürekli ıslak	0,65	260	C20/25
XC2	Islak, bazen kuru	0,60	280	C25/30
XC3	Orta derecede rutubet	0,55	280	C30/37
XC4	Tekrarlı ıslanma-kuruma	0,50	300	C30/37
XD	Klorür etkisi (deniz suyu hariç)			
XD1	Orta derecede nemli	0,55	300	C30/37
XD2	Islak, bazen kuru	0,55	300	C30/37
XD3	Tekrarlı ıslanma-kuruma	0,45	320	C35/45
XS	Klorür etkisi (yalnızca deniz suyu)			
XS1	Deniz suyu ile doğrudan temas etmeyen	0,50	300	C30/37
XS2	Sürekli su içinde	0,45	320	C35/45
XS3	Tekrarlı ıslanma-kuruma	0,45	340	C35/45

XF	Donma – Çözülme + tuz			
XF1	Buz çözücü madde içermeyen suya orta derecede doygun	0,55	300	C30/37
XF2	Buz çözücü madde içeren suya orta derecede doygun	0,55 ^a	300	C25/30
XF3	Buz çözücü madde içermeyen suya yüksek derecede doygun	0,50 ^a	320	C30/37
XF4	Buz çözücü madde içeren veya deniz suyuyla yüksek derecede doygun	0,45 ^a	340	C30/37
XA	Kimyasal etki			
XA1	Az zararlı kimyasal ortam	0,55	300 ^b	C30/37
XA2	Orta derecede zararlı ortam	0,50	320 ^b	C30/37
XA3	Çok zararlı kimyasal ortam	0,45	360 ^b	C35/45
XM	Aşınma			
XM1	Orta düzeyde aşınma	0,50	320	C30/37
XM2	Ağır aşınma	0,50	320	C30/37
XM3	Çok ağır aşınma	0,45	340	C35/45

a) Betonda en az %4 hava içeriği olmalıdır
b) Süllatılara dayalıdır



Soğuk Havada Beton Dökümü

Soğuk Havada Beton Dökümü

- Önlem alınmayacaksa don riski olan hava koşullarında beton dökümünden olabildiğince kaçınılmalıdır.
- Yüksek hidrasyon ısısına sahip çimento, izin verilebilen en fazla çimento dozajı ve düşük su/çimento oranı seçilmelidir.
- Kalıp alma süresi uzatılabilir.
- Priz hızlandırıcı ve suyun donma noktasını düşürücü katkılar kullanılmalıdır.
- Betonun ilk sıcaklığının donma derecesine düşmemesi için agrega, çimento ve özellikle su ısıtılmalıdır.
- Beton dökülmeden kalıplar denetlenmeli, buzlu kalıp yüzeylerine döküm yapılmamalı, varsa buz parçaları temizlenmelidir.
- Çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan ısı beton dışına yayılması önlenmelidir. Bunun için kalıpların dış yüzeylerine uygun yalıtımlar yapılmalıdır.

Soğuk hava tarifi

- Ortalama hava sıcaklığı 3 gün boyunca $<5^{\circ}\text{C}$
- Bu 3 günün hiçbir yarım günden fazlasında $>10^{\circ}\text{C}$ olmayacak.



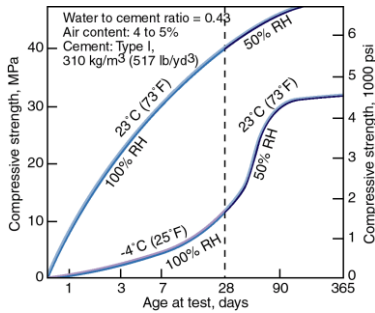
Taze betonun donması



- Erken yaşta don sonucu beton %50 oranında dayanım kaybına uğrayabilir:
 - İlk saatler çok önemlidir
 - Beton en az 3.5-4 MPa basınç dayanım değeri almalıdır.
- Erken yaşta bir defa dona maruz kalma sonucu:
 - Dayanım düşer (C-S-H jelleri oluşumu yavaşlar)
 - Aşınma direnci azalır
 - Geçirgenlik artar
 - Kalıp alma süresi artar

Ancak yeterli bir bakım sonucu betonun kayıpları azalabilmektedir.

Donmanın dayanıma etkisi



Dayanım kazanma hızını artıran etkenler:

- Çimento cinsi
- Çimento miktarı
- Priz hızlandırıcı
- Mineral katkı
- Antifriz katkı

Tavsiye edilen beton sıcaklıkları

	DURUM	BETON TABAKASI KALINLIĞI (mm)			
		<300mm	>300mm <900mm	>900mm <1800mm	>1800mm
1 2 3	En düşük taze beton sıcaklığı	> -1°C	16°C	13°C	10°C
	(karışım esnasında)	> -18°C	18°C	16°C	13°C
	< -1°C				
	< -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

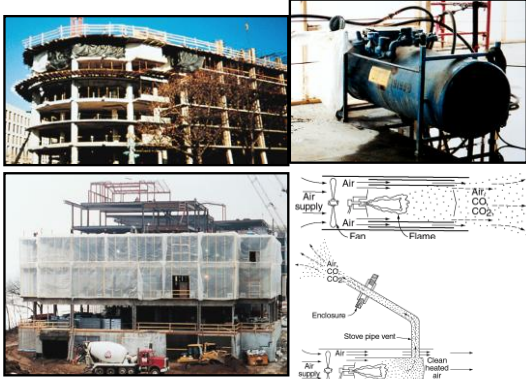
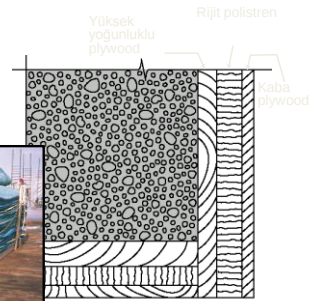
- Çimento hariç diğer bileşenler ısıtılmalıdır.
- Karışım suyu 60-65°C'ye kadar ısıtılabilir. Fazla ısıtılma sonucu ani priz ve çimentoda topaklanma görülebilir.
- Hava sıcaklığı -4°C'nin altında kararlı ise su dışında agregada ısıtılmalıdır.

Koruma süreleri

Servis Kategorisi	Betonu erken yaşta donmadan korumak için gereken en düşük süre, gün		Soğuk havada yerleştirilmiş beton için en düşük koruma süresi, gün	
	CEM I N	CEM I R , veya priz hızlandırıcı katkıları veya 60kg/m3 ek dozaj	CEM I N	CEM I R , veya priz hızlandırıcı katkıları veya 60kg/m3 ek dozaj
Yük yok, etki* yok	2	1	2	1
Yük yok etki* var	3	2	3	2
Kısmi yük ve etki*			6	4

* Donma, çözülmeye maruz kalma

Yüksek yoğunluklu kolon kalıpları



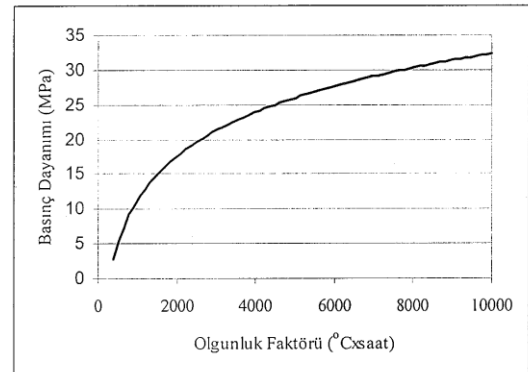
Olgunluk

Metrik:

$$M = \sum (C + 10) \Delta t$$

where

- M = olgunluk faktörü
- C = beton sıcaklığı
- Δt = C sıcaklığında beton kür süresi (saat)



Sıcak Havada Beton Dökümü

Sıcak Havada Oluşan Olumsuzluklar

- Yüksek ortam sıcaklığı
- Yüksek beton sıcaklığı
- Düşük bağıl nem
- Yüksek rüzgar hızı

Neden olduğu olumsuzluklar?

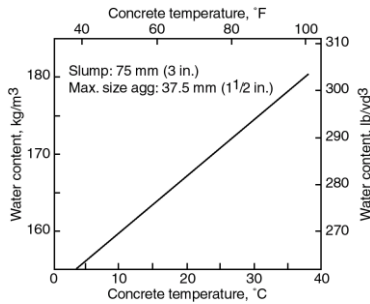
- Artan su ihtiyacı
- Hızlanan kıvam kaybı ve şantiyede su eklenme riskinin artması
- Yerleştirme ve bitirmede hızlı priz alma nedeniyle yaşanan sorunlar
- Plastik rötre çatlaklarının olma riski
- Artan beton sıcaklığının dayanımı düşürmesi
- Termal çatlak oluşumu

Önlemler

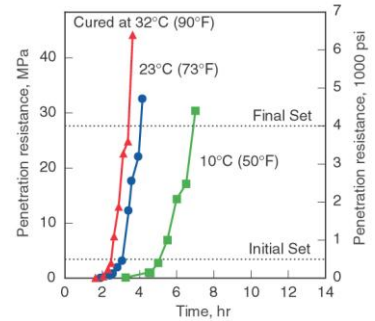
- Betonun soğut
- Beton bileşenlerini soğut
- Taşıma ve yerleştirme süresini kısalt
- Rüzgar engelleyici, gölgeleyici kullan
- Sulayarak (yağmurlama) kaybolacak beton nemini azalt



Beton sıcaklığının su ihtiyacına etkisi



Farklı sıcaklıklarda priz süreleri



Önlem Alınmazsa

- Çatlamalardan dolayı daha düşük dayanıklılık
- Artan geçirgenlik
- Homojen olmayan yüzey görünümü
- Artan kuruma büölmesi
- Düşük aşınma dayanımı

Üretici Ne Önlem Alabilir

Beton sıcaklığı düşürülebilir

Agregalar gölgede saklanmalı, yeterli değilse su ile ıslatılabilir

Su tankları beyaza boyanabilir veya yeraltına saklanabilir

Çimento bekletilerek kullanılır

Sıcak Havada Şantiyede alınabilecek önlemler

- Kalıplar ıslatılmalıdır
 - Beton dökümünün kısa sürede tamamlanması sağlanmalıdır
 - Dökümden sonra ilk yarım saatten başlayarak 7 gün boyunca su kuru uygulanmalı, yüzey sürekli nemli tutulmalı. Buharlaşma ve su kaybına karşı yüzeyler su geçirmez örtüler ile örtülmelidir.
 - Rüzgara karşı da rüzgar koruyucularla örtülmelidir.
- Önlemler yeterli gelmiyorsa
- Sisleme önlemi alınabilir
 - Gece beton dökümü tercih edilebilir.