

BÖLÜM 4. ZEMİN BETONLARININ ÖZELİKLERİ

4.1 ÖNEMLİ BETON ÖZELİKLERİ

Başarılı bir endüstriyel zemin döşemesi için uygun beton bileşimi oldukça önemlidir. Beton şartnamesi ve üretim süreci için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır;

- Betonun yerleştirilmesi ve yüzey düzeltilmesi sırasındaki çevresel koşullar,
- Plağın güneş ve rüzgardan korunabilme derecesi,
- Betonun yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey düzeltme tekniği ve mevcut imkanlar,
- Şantiyede eklenecek katkıların olup olmaması,
- Yüzey düzgünlük talepleri.

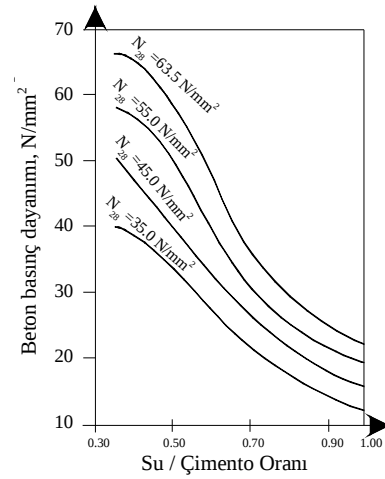
Betonun birçok özeliği endüstriyel zeminin kalitesini etkiler. Bunlardan bir kısmı taze beton özeliği, bir kısmı ise sertleşmiş beton özellikleridir.

Endüstriyel zemin inşaatındaki en önemli beton değişkenleri şunlardır;

- taze beton özellikleri:
 - yerleştirme yöntemine uygun işlenebilme ve karışım,
 - en son düzeltilebilirlik,
 - su/çimento oranı,
 - terleme,
 - sertleşme hızı,
 - plastik oturma.
- sertleşmiş beton özellikleri:
 - belirlenen sürede yeterli dayanımın sağlanması,
 - darbe dayanımı,
 - dış etkilere dayanıklılık (temas edeceği ortamda mevcut kimyasallara dayanıklı olmalı, ıslanma-kuruma etkilerine ve donma-çözölmeye karşı koymalı ve kendi içindeki (çimento ile agrega arasında) reaksiyonlardan zarar görmemelidir)
 - kuruma rötresi [1].

4.1.1 Su/Çimento Oranı

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi betonun basınç dayanımını belirleyen en önemli etken su/çimento oranıdır. Bu oran aynı zamanda dürabiliteyi de belirler. Şekildeki eğrilerin üzerindeki sayılar eski Alman normuna göre standart çimento harcının 28 günlük basınç dayanımlarını göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi çimento harçlarının basınç dayanımları 35 N/mm²’den 63,5 N/mm²’ye kadar değişmektedir. En yüksek dayanımlı çimentonun kullanılması ve su/çimento oranının 0,40 olması halinde basınç dayanımı 65 N/mm²’ye varmaktadır. Böylesine iyi tasarlanmış bir betonda su/çimento oranının 1,0’e yükselmesi halinde basınç dayanımı 25 N/mm²’nin altına düşmektedir.



Şekil 4.1 Farklı dayanıma sahip çimentolar için betonda su/çimento oranı–basınç dayanımı ilişkisi

Bu oran, taze betonda suyun çimentoya ağırlıkça oranıdır. Zemin betonu yapımında bu oran genellikle 0,4 ile 0,6 arasındadır.

Çok yüksek su/çimento oranı, örneğin 0,7 veya 0,8, düşük dayanımlı ve yüksek miktarda rötre yapan zayıf betona neden olur. Yüksek su/çimento oranları sorunlara yol açtığı gibi, çok düşük su/çimento oranları da, örneğin 0,4’ün altı, problemlere neden olabilir. Düşük su/çimento oranları, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması zor olan katı karışımlara neden olur. Böyle karışımların yüzey düzeltilmesi de zor olduğundan genellikle yetersiz düzgünlükte ve zayıf aşınma direncine sahip zemin betonları elde edilir. Bazı durumlarda 0,40’ın çok üzerindeki su/çimento oranları bile işlenebilme konusunda sorun yaratabilir. Diğer beton yapı elemanlarından farklı olarak zeminler, beton dökümünden itibaren kuruma etkisinde olan geniş yüzeylerdir. Bu kuruma sonucu, betonun yerleştirilmesinden kürün başlangıcına kadar olan zamanda su/çimento oranı azalır. Su kaybının hızı hava koşullarına bağlıdır. Süperakışkanlaştırıcı kullanılarak çok düşük su/çimento oranına sahip kolay işlenebilen karışımlar üretilebilir ancak böyle bir karışım iyi bir yüzey düzeltilmesi için yeterli serbest su içermeyebilir [1].

İngiliz Beton Birliği’ne göre, endüstriyel zeminlerin aşınma yüzeylerini oluşturan betonların su/çimento oranı 0,55’i geçmemelidir. Amerikan Beton Enstitüsü’ne göre bu oran; donma-çözülme etkisine maruz betonlar için 0,5 ve buz çözücü tuz etkisindeki betonlar için 0,45’den küçük olmalıdır [1-3]. Diğer taşıyıcı betonarme betonlarında olduğu gibi zemin betonları da tasarlanırken sadece dayanım değil dürabilite de gözönüne alınmalıdır. Betonun dürabilitesi için de şu önlemler alınır: i) basınçlı su geçirimsizliği, kılcal su emme ve buhar geçirimsizliğine karşı geçirimsiz beton üretimi, ii) düşük su/çimento oranı, iii) bakım ve küre özen gösterilmesi, ve iv) agrega ile çimento hamuru veya betonla donatı arasındaki temas yüzeylerinin güçlendirilmesidir. Beton geçirimli ise dürabiliteden söz edilemez. Dürabiliteye bağlı hasarların nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1) Beton hasarının fiziksel nedenleri (aşınma, don etkisi, agrega ve çimento arasındaki ısı uyumsuzluk, betonda rötreye duyarlı agregaların kullanılması, plastik rötre, kuruma rötresi veya rötre çatlağı, don etkisine duyarlı agregaların kullanılması ve yangın hasarı),

2) Beton hasarının fiziko-kimyasal nedenleri (betonda çelik donatı korozyonuna bağlı çatlama ve alkali silika reaksiyonuna bağlı hasar),

3) Beton hasarının kimyasal nedenleri (klor etkisi, sülfat etkisi (yeraltı suyundaki veya yerel ortamdaki sülfat etkisi), alkali-silika reaksiyonu, mikroorganizmaların neden olduğu biyolojik korozyon).

Bunun için TS EN 206'daki çevresel etki sınıfları gözönüne alınmalıdır. Bu etkiler:

- Donatı korozyon riski veya zararlı ortam etkisinin olması,
- Karbonatlaşmadan kaynaklanan korozyon,
- Klor nedeniyle oluşan korozyon,
- Donma-çözülme,
- Sülfat etkisi,
- Kimyasal etki ve
- Aşınma.

Tablo 4.1'de EC2'ye göre çevresel etki sınıfları verilmektedir.

Tablo 4.1 EC2 (EN 1992)'ye göre çevresel etki sınıfları [3]

Çevre Sınıfı		Çevrenin Tanımı
1 Kuru Çevre		Konut ve ofislerin iç bölümleri
2 Nemli çevre	a Don etkisi yok	-Yapıların nemli iç bölümleri, -Dış elemanlar, -Zemin ve su ile temas eden bölümler.
	b Don etkisi var	-Don etkisindeki dış elemanlar, -Don etkisinde ve zemin ve su teması, -Yüksek nem ve don etkisi. İç eleman.
3 Don, buz çözücü. nemli çevre		Don ve buz çözücü etkisindeki, İç ve dış mekanlar
4 Deniz, sulu çevre	a Don etkisi yok	-Denize tam veya yarı gömülü veya dalga etkisindeki elemanlar, -Tuza doymun havadaki eleman (sahildeki)
	b Don etkisi var	-Denize yarı gömülü veya dalga ve don etkisindeki elemanlar, -Tuza doymun hava ve don etkisindeki eleman
Aşağıdaki çevre sınıfları tek başlarına veya yukarıdaki sınıflarla bir arada bulunabilirler		
5 Zararlı kimyasal çevre	a	Az zararlı kimyasal çevre (gaz,sıvı, katı)
	b	Orta zararlı kimyasal çevre (gaz,sıvı, katı)
	c	Çok zararlı kimyasal çevre (gaz,sıvı, katı)

Betonun dürabilitesi de betonun kalitesine bağlı olup, performansta bileşen malzemeler, karışım oranları, üretim yöntemi, betonun bakımı ve kürü gibi süreçler ile çevre koşulları etkilidir. Belirtilen çevresel etki sınıfları göz önüne alınarak tasarım yapmak gerekmektedir.

Çevresel etki sınıfına bağlı beton tasarımına bir örnek olmak üzere Tablo 4.2’de sülfat etkisindeki betonlar için minimum dozaj ve maksimum su/çimento oranı sınırlamaları gösterilmektedir [4-6].

Tablo 4.2 Sülfat etkisindeki betonlar için öneriler

sınıf	Sülfat Konsantrasyonu		Çimento tipi	Minimum çimento içeriği (kg/m ³)	Maksimum Su/çimento oranı
	Zeminde (%)	Yeraltı Suyunda (gr/lt)			
1	<0,2	<0,3	Portland çimentosu	Sınır yok	Sınır yok
2	0,2-0,5	0,3-1,2	Portland çimentosu Portland çimentosu+(%25-%40) UK Portland çimentosu+(%70-90) ÖYFÇ Sülfata dayanıklı çimento (SDÇ)	330 280 280	0,50 0,55 0,55
3	0,5-1,0	1,2-1,5	Portland çimentosu+(%25-%40) UK Portland çimentosu+(%70-90) ÖYFÇ SDÇ	380 330	0,45 0,50
4	1,0-2,0	2,5-5,0	SDÇ	370	0,45
5	>2,0	>5,0	SDÇ + Koruyucu örtü	370	0,45

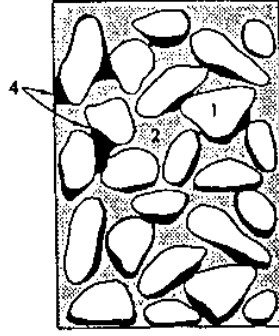
Bu tablonun incelenmesinden görüldüğü üzere zeminde veya yeraltı suyundaki sülfat konsantrasyonu arttıkça puzolanlı çimentoların kullanılması öngörülmekte, çimento dozajları artmakta ve su/çimento oranları azalmaktadır. Sülfat konsantrasyonunun aşırı olması durumunda ise ayrıca bir koruyucu örtü önerilmektedir.

4.1.2 Terleme

Terleme taze betonda suyun beton yüzeyine çıkmasıdır. Taze betonda, ağır olan agregalar dibe doğru çökerken su yukarıya çıkar. Şekil 4.2, beton yüzeyindeki görünen terleme ile içsel terlemeyi göstermektedir. Terleme miktarını ve hızını kontrol etmede en önemli etken agrega granülometrisi ve karışımdaki su miktarıdır. Aşağıdaki hususlar da terlemeyi etkiler;

- Çimento türü ve tane boyutu,
- Yerleştirme yöntemi,
- Kullanılan katkıları,
- Plak altında geçirimsiz bir örtü bulunması.

Terlemeyi en aza indirmek için agrega miktarı şu şekilde alınabilir; Kum(<1,18 mm) toplam agrega ağırlığının % 26 - % 32 ve çimento dahil 0,3 mm.nin altındaki malzeme en az 450 kg/m³ olmalıdır.



- 1=Agrega taneleri
2=Çimento hamuru
3=Görünür terleme suyu
4=İçsel terleme suyu
(mikroyapısal terleme)

Şekil 4.2 Taze beton yüzeyinde oluşan görünür ve içsel terleme suyu

Döşeme yüzeyine su çıkışı, yüzeyde buharlaşan sudan hızlı ise beton terleme yapar. Terlemenin yol açtığı sorun döşeme yüzey düzeltmesinin terleme suyu kaybolana kadar yapılmamasıdır. Terleme suyu yüzeyde mevcut iken masterlama veya perdah yapılırsa, çok yüksek su/çimento oranından dolayı sonuçta zayıf bir yüzey elde edilir.

Fazla terlemeyi önlemek için iki temel yol izlenir: Birinci yol, döşeme yüzeyindeki fazla suyun mekanik olarak ya da buharlaşma yoluyla uzaklaştırılmasıdır. İkinci temel yöntem ise beton bileşimini değiştirmektir. Amerikan Beton Enstitüsü aşağıdaki değişikliklerden herhangi birisinin terlemeyi azaltacağını belirtmektedir [1,2];

- daha fazla çimento kullanımı,
- Normal Portland çimentosu yerine çabuk dayanım kazanan Portland çimentosu kullanımı (Tip III),
- uçucu küllü çimento kullanımı,
- ince agrega oranının (0,15 mm'lik elek altına geçen ince malzeme) arttırılması,
- daha az su kullanılması,
- hava sürüklenmesi,
- priz hızlandırıcı kullanılması.

4.1.3 Betonun Priz Süresi

Betonun priz süresi, yüzey düzeltme işlemleri için mevcut zamanı belirlediği için zemin betonunun kalitesini etkiler. Betonun priz süresi birçok etkene bağlıdır ancak bunlardan en önemlileri sıcaklık ve katkı kullanımıdır.

4.1.3.1 Sıcaklık

Birçok kimyasal reaksiyon gibi çimentonun hidratasyonu yüksek sıcaklıklarda daha hızlı olur. Yüksek sıcaklık priz süresini kısaltırken soğuk hava bu süreyi uzatır.

a) Soğuk havada beton dökümü

Taze betonda priz esnasında donma tehlikelidir. Priz öncesinde veya beton sertleştikten sonra oluşan donma etkileri farklıdır ve hasarları da nispeten azdır. Taze betonun döküldüğü ortamın sıcaklığı düşünce priz süresi uzar, hidrasyon yavaşlar ve bunun sonucu olarak kalıp alma süresi gecikir. Ancak taze betonun donmasıyla fiziksel olarak da etkili olur ve suyun donmasıyla hidrasyon durur. Don etkisine uğrayan beton çözülünce hidrasyon yeniden başlayabilir, ancak çimento hamuru-agrega ve çimento hamuru-donatı ara yüzeylerinde aderans büyük ölçüde azalır. Taze betonun döküldüğü ortamın sıcaklığı 1 gün içinde + 5°C'nin altına düşerse 48 saat süreyle, bir gün den fazla +5°C'nin altına düşerse 72 saat süreyle don etkisinden korunmalıdır.

Alınacak önlemler

- 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.
- Priz hızlandırıcı ve suyun donma noktasını düşürücü katkıları kullanılmalıdır. Sülfat etkisi olmayan ve yüksek mukavemetli çimento kullanılmayan uygulamalarda, çimento dozajının en çok %1 oranında CaCl₂ kullanılmalıdır. ayrıca bir hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılması da büyük yarar sağlar.
- Betonun ilk sıcaklığının donma derecesine düşmemesi için agrega, çimento ve özellikle su ısıtılmalıdır. Üretim sırasında bu bileşenlerin sıcaklıklarının özdeş hale getirilmesi yararlı olur. Betonun taşınması sırasında da soğuması önlenmelidir. Buhar kütü uygulaması da yarar sağlar.
- Beton dökümü öncesi kalıplar denetlemeli, buzlu kalıp yüzeylerine döküm yapılmamalı, varsa buz parçaları temizlenmelidir.
- Çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan ısının beton dışına yayılması önlenmelidir. Bunun için, kalıpların dış yüzeylerine uygun yalıtımlar yapılmalıdır. Açık beton yüzeyleri ise odun talaşı, saman, cam yünü ve köpük levha gibi örtüler kullanılarak yalıtılmalıdır.
- Kalıp alma süresinin uzatılması da yararlıdır.
- Soğuk havalarda uzun priz sürelerini önlemek için yapı ısıtılabilir. Asma döşemelerde, döşeme altında sağlanan ısıtma en az üzerindeki ısıtma kadar önemlidir. Karışım sıcak su veya sıcak agrega kullanarak betonu doğrudan ısıtmak da mümkündür, ancak bu yöntem yapıyı ısıtmak kadar etkili değildir, çünkü birçok döşeme sıcaklığını koruyacak kadar kalın olmayıp çok incedir.

b) Sıcak havada beton dökümü

Taze betonun, prizi ve sertleşmesi sırasında sıcaklığının yaklaşık 15°C-25°C arasında kalması uygundur. Beton sıcaklığının 18°C' yi aşmaması tercih edilmekle birlikte, zorunlu hallerde 32 °C' ye varan sıcaklıklarda önlem olarak beton dökülürken aşağıdaki etkenler denetlenmelidir:

1. Taze beton sıcaklığı,
2. Rüzgar hızı,
3. Bağıl nem,
4. Ortam sıcaklığı.

Alınacak önlemler

Taze beton sıcaklığı, bileşimi oluşturan su, çimento ve agreganın sıcaklığına bağlı olduğundan, bu malzemelerdeki sıcaklıkların denetimi gerekli olup, bileşenler bakımından aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

- Karma suyu sıcaklığının yüksek olmamasına özen gösterilmelidir. Su beyaza boyanmış tanklarda tutulmalı ve güneş ışınlarının doğrudan etkisinden korunmalıdır. Beton suyunun bir bölümünün agrega büyüklüğündeki buz parçalarıyla yer değiştirmesi de bir önlem sayılabilir. Ancak betondaki buzun tümünün erimesi sağlanıncaya kadar karıştırma süresi uzatılmalıdır.
- Çimentonun fabrikadan sıcak gelmesi halinde, soğutulmadan kullanılması sakıncalıdır. Sıcak çimento, hem beton sıcaklığını yükseltir hem de priz süresini etkiler.
- Hidratasyon ısısı düşük çimento kullanmak ve çimento dozajını gereksiz yere arttırmamak yarar sağlar.
- Betonda en büyük hacme sahip bileşen olan agreganın sıcaklığı da denetlenmelidir. Agregayı güneş ışınlarının doğrudan etkisinden koruyarak veya su püskürtterek sıcaklığının düşürülmesi sağlanabilir.
- Beton dökümünden önce beton kalıbı ve donatı ıslatılmalı, ıslatma suyu buharlaşır buharlaşmaz döküm yapılmalıdır.
- Karıştırıcı ve transmikserin beyaza boyanması ve dışının sulanması yararlı olabilir. Aşırı ısınmayı önlemek için betonun karıştırma süresini sınırlandırmak gereklidir.
- Döküm yerine ulaşan beton bekletilmeden yerleştirilmeli ve vibrasyon kısa sürede tamamlanmalıdır.
- Çok sıcak ve kuru havalarda beton dökme işleminin akşam veya gece vakitlerinde yapılması yararlı olur.
- Erken su kaybı plastik rötre çatlaklarına neden olduğundan beton yüzeylerinin ıslak bezlerle örtülmesi gereklidir. Bezlerin kurumasına imkan verilmemeli ve kısa aralıklarla su püskürtülerek ıslatılmalıdır.
- Sıcak ve kuru havalarda ortamı soğutmak ve nemlendirmek için buhar veya su püskürtmek olumlu sonuç verebilir. Bu işlem beton dökümünden önce kalıp ve donatılara da uygulanabilir.
- Beton dökülüp yerine yerleştirildikten sonra hemen ilk mastarlama yapılır. Daha sonra bir insan beton üzerine çıktığında 1-2 mm derinlikte iz oluşunca ikinci mastarlama işlemi yapılır.
- Betonun kür süresi değişik etkenlere bağlıdır. Ancak, normal betonarme yapılarda bu süre yaz aylarında en az bir hafta olmalıdır. Bu süre içinde günde en az üç defa sulama yapılmalıdır. Sulama için kullanılan su şehir suyu değilse, içinde betonarme için zararlı olan sülfat, asit ve tuz gibi kimyasal maddeler bulunmamalıdır. Özellikle döşeme gibi beton yüzeylerinde “curing compound” adı verilen bakım maddelerinin kullanılması, buharlaşmanın gecikmesi açısından yararlıdır.
- Üretim süresince çökme, beton birim ağırlığı ve hava içeriği gibi özellikler yeterli sıklıkla denetlenmelidir. Gerekli değerlendirmeler için betonu oluşturan malzemelerin ve transmikserden çıkan betonun sıcaklıkları ve bağıl nemi sürekli ölçülüp kaydedilmelidir.
- Sıcak havalarda ise döşemeyi doğrudan güneş ışığından korumak gereklidir. Beton karışımına buz ilave etmek başlangıçta beton sıcaklığını azaltsa da, bir süre sonra karışım sıcaklığı çevre sıcaklığına ulaşacaktır.

- En sıcak iklimlerde bile gece gündüzden daha soğuktur. Bu durum, sabah çok erken, hatta gece beton dökümü yapılarak bir üstünlük sağlanabilir.

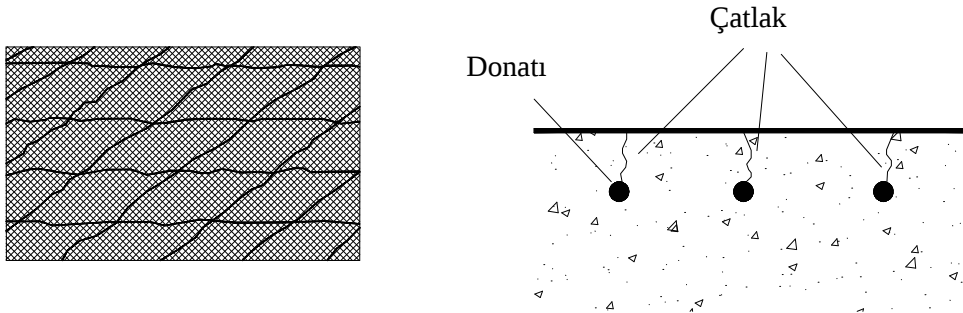
4.1.3.2 Priz süresinin katkı kullanılarak değiştirilmesi

Bazı katkılar priz sürelerini değiştirmek için kullanılır, bazıları ise asıl kullanım amaçlarının beraberinde bir yan etki olarak priz süresini etkileyebilir. Hızlandırıcı katkılar priz süresini kısaltırken, geciktiriciler priz süresini uzatır. Su azaltıcı katkılar priz sürelerini etkileyebildikleri için kullanılmadan önce özellikleri iyi bilinmelidir. Bir katkının fazla kullanımı veya aynı anda iki katkının birlikte kullanılması priz süresini uzatabilir. Beton karışımındaki bazı yabancı maddeler, örneğin şeker, aynı etkiyi yaratabilir.

4.1.4 Plastik Oturma

Plastik oturma, taze betonun hacmindeki azalma sonucu döşeme yüzeyinin aşağıya doğru hareket etmesidir. Birçok beton karıştırıldıktan sonra, su ve hapsolmuş havanın kaybına bağlı olarak hacmini kaybeder. Kalıplardan bazı kaçaklar veya zemine oturan döşemelerde alt temele sızıntılar da olabilir. Plastik oturma kuruma rötresinden farklıdır. Her ikisi de hacim değişimidir ancak oturma bir taze beton özeliği iken kuruma rötresi sertleşmiş beton özeliğidir. Bu konudaki araştırmalar az da olsa plastik oturmanın döşeme kalınlığıyla orantılı olduğu görülmektedir. Plastik oturma en az iki şekilde soruna yol açar: i) çatlaklara neden olması ve ii) döşeme yüzeyinin daha az düzgün olması.

Plastik oturma çatlakları taze betonda donatıların hemen üzerinde oluşur. Çünkü beton dibe doğru çökerken donatıların yeri sabittir. Yüzeye yakın donatılar bu harekete karşı koyar ve oturmasını tamamlayamayan üst beton tabakası zaten düşük olan çekme şekil değiştirme kapasitesini kaybederek çatlar. Böylece Şekil 4.3’de görüldüğü gibi beton yüzeyindeki çatlaklar yüzeye yakın donatıların bulundukları hatlar boyunca uzanırlar. Kötü uygulamalarda tüm donatı krokisi döşeme yüzeyinde çatlaklar olarak belirebilir [5].



Şekil 4.3 Plastik oturma sonucu döşeme betonundaki donatı haritasının üstten izlenmesi

Plastik oturma her zaman üniform olmadığı için döşeme yüzeyinin düzgünlüğünün azalmasına neden olur. Plastik oturmanın sorun olduğu durumlarda aşağıdaki adımlardan bazıları uygulanabilir:

- mümkün olan en büyük iri agregayı kullanmak,
- beton karışımında daha az su kullanmak,
- su tutuculuğu sağlamak (çimento ve ince agrega miktarını yeteri kadar artırmak),

- su tutuculuğu sağlayan puzolanik malzemeler kullanmak,
- bir miktar hava sürükleyici katkı kullanmak,
- yüzey düzeltme sırasında bir miktar fazlalık bırakmak; böyle bir önlem oturmayı engellemez ancak telafi edebilir.

4.1.5 Dayanım

Zemin beton tasarımcıları aşağıdaki beton dayanımlarını kullanır:

- basınç dayanımı,
- eğilme dayanımı,
- çekme dayanımı,
- kayma dayanımı.

4.1.5.1 Yüksek dayanımın sakıncaları

Yüksek dayanımlı betonun maliyeti daha fazladır, çünkü genel olarak daha çok çimento içerir. Çimento ise betonda maliyeti en yüksek olan bileşendir. Böyle bir yüksek dayanımlı beton da daha çok kuruma rötresine ve özellikle de otojen rötreye sahip olur.

4.1.5.2 Basınç dayanımı

Beton kalitesinin en yaygın kullanılan göstergesi basınç dayanımıdır. Birçok tasarımda betonun 28 günlük basınç dayanımı kullanılır. Döşeme tasarımında basınç dayanımının en önemli kullanımı asma döşemelerdir. Birçok asma döşeme tasarımında betonun sadece basınç gerilmelerini karşıladığı, çekme gerilmelerinin ise donatı tarafından karşılandığı kabul edilir. Zemine oturan döşemelerde ise basınç dayanımının önemi azdır. Bu döşemeler betonun eğilme dayanımına göre tasarlanır, çünkü betonun eğilme dayanımı her zaman basınç dayanımından düşüktür.

4.1.5.3 Eğilme dayanımı

Eğilme dayanımı, betonun eğilmeye karşı gösterdiği dirençtir. Tipik eğilme deneyinde bir prizmayı üç noktalı eğilme halinde kırmak için gerekli kuvvet belirlenir. Standart prizma boyutları 15x15x60 cm'dir, ancak diğer boyutlar da kullanılabilir. Eğilme durumu deney prizmasında (veya bir döşemede) hem basınç, hem de çekme oluşturur. Eğilme durumunda göçme daima çekme bölgesinde oluşur; çünkü betonun çekme dayanımı çok daha düşüktür. Bu nedenle eğilme deneyine bazen eğilme-çekme deneyi de denir. Birçok zemin betonlarının eğilme dayanımları 3 ila 5 MPa arasındadır. Zemine oturan döşemeler için eğilme dayanımı çok önemlidir. Donatılı asma döşemeler çekme gerilmeleri için çelik donatıları kullanırken zemine oturan döşemeler sadece betonun özelliklerine dayanır. Zemine oturan döşemeler gibi eğilme dayanımının önemli olduğu elemanlarda, tasarımcılar betonun eğilme dayanımını doğrudan belirlemeli ve bu değerin prizma eğilme deneyleriyle elde edilmesini şart koşturmalıdır. Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasında önerilen bağıntılar yeterince doğru değildir ve çoğu kez yetersizdir. Uzun dönemde bu bağıntıları kullanmak ekonomik olmaktan uzaktır [1, 2].

4.1.5.4 Çekme dayanımı

Betonun doğrudan çekme dayanımını belirlemek oldukça zor olduğu için çekme dayanımı eğilme veya yarma dayanımlarıyla dolaylı olarak bulunabilir. Çekme dayanımının önemli olduğu durumlarda deneysel olarak bulunmalıdır. Ancak bu dayanım nispeten önemsiz olduğunda “basınç dayanımı-çekme dayanımı” bağıntıları kullanılabilir.

4.1.5.5 Kayma dayanımı

Beton uygulanan gerilmeye paralel yönde çatlarsa kayma göçmesi oluşur. Zemine oturan döşemenin eğilme dayanımı yeterliyse, bu döşemenin kayma göçmesi beklenmez. Eğer asma döşemelerde kayma dayanımı yetersiz ise donatı eklenebilir veya döşeme kalınlığı artırılabilir.

4.1.5.6 Darbe dayanımı

Darbe dayanımı betonun ani darbelere dayanıklılığıdır. Birçok beton döşeme ani etkilere, örneğin düşen cisimlere karşı yeterince dayanıklı olmalıdır. Darbe dayanımı konusundaki deneyler çeşitli standartlarda bulunabilir (ASTM D 1557).

4.1.6 Elastisite Modülü

Döşemelerde kullanılan çoğu betonun Elastisite Modülü 25000 MPa ile 35000 MPa arasındadır. Elastisite modülü değeri yapısal tasarım hesaplarında kullanılır. Birçok yapı mühendisi hesaplarını beton basınç dayanımıyla Elastisite Modülü arasındaki bağıntılara dayanarak yapar.

4.1.7 Kısıtlanmış (Engellenmiş) Rötire

Betonda gözlenen plastik rötire ve oturma çatlaklarından başka sık sık kısıtlanmış rötire çatlaklarına da rastlanır. Böyle bir rötire basit bir deneyle açıklanabilir: Çelik bir çember etrafına beton dökülüp sertleştikten sonra incelendiğinde serbestçe büzülmesi önlenen betonda düşey çatlakların oluştuğu görülür; bunlar kısıtlanmış rötire çatlakları olarak adlandırılır. Bu rötire çatlakları genellikle perdelerde görülür. Özellikle kolonlar arasındaki geniş perdelerde, tünellerde, eski beton üzerine dökülen yeni betonda bu tür çatlakları görmek mümkündür. Böyle çatlaklar perde içindeki boşluklar civarında belirgin biçimde gelişebilir. Önlemler alarak kısıtlanmış rötire çatlaklarını azaltmak mümkündür. Önlemlerden bazıları şöyle sıralanabilir; a) donatı miktarını arttırmak, b) çelik tel veya polietilen fiber kullanmak, c) dayanımı sağlayabilmek kaydıyla çimento miktarını biraz azaltmak, d) kalıp alma süresini uzatmak, e) dökümden hemen sonra doğru ve yeterli kür uygulamak ve gereken koruma önlemlerini almak, f) hidrasyon ısısı düşük çimento kullanmak, f) betonun su/çimento oranını düşürmektir.

4.1.8 Kuruma Rötresi

Taze beton kuruyup suyunu kaybettikçe rötire yapar. Kuruma rötresi zemine oturan döşemelerde çatlamalara veya kıvrımlara, ya da her ikisine birden neden olur. Zemin ile beton döşeme arasındaki sürtünme nedeniyle döşeme serbest rötire yapamaz ve bu nedenle döşeme plağında çekme gerilmeleri oluşur. Oluşan gerilmeler betonun çekme gerilmesini