



KÜB BÜLTENİ

6

Aralık 2024

İÇİNDEKİLER

- ❑ **BETONDA DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ** (syf. 1)
- ❑ **BETONDA SÜLFAT ATAĞI** (syf. 3)
- ❑ **BETON YÜZEY UYGULAMALARINDA YAŞANAN SORUNLAR** (syf. 7)
- ❑ **BETON FİBER DONATI UYGULAMALARI** (syf. 18)

KÜB HAKKINDA

Katkı Üreticileri Birliği'nin misyonu; kimyasal katkı maddelerinin üretiminin evrensel kalite ölçülerine, ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak, kamu ve toplum yararı doğrultusunda gerçekleştirilmesine katkıda bulunmaktır.

Üyelerimiz, Yapı Kimyasalları Sektörü'nün en önemli firmalarındandır. Beton ve çimento katkı sektörünün üreticilerini çatısı altında toplayarak, onların müşterek ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak sorunlarının çözümünde yardımcı olmak üzere, resmi makamlar, mesleki ve özel kuruluşlarla gerekli girişimlerde bulunmaktadır.

Üyesi olduğumuz İMSAD (Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği), YÜF (Yapı Ürünleri Üreticileri Federasyonu) ve EFCA (Avrupa Beton Katkıları Federasyonu) kuruluşlarının yanı sıra inşaat ve beton sektörünün diğer paydaş kuruluşları ve dernekleriyle de aktif bir birliktelik yürütmekteyiz.

İLETİŞİM

Adres: Bağlarbaşı Mah. Atatürk Cad. Sakarya Sok. Plaza No: 38 D:18 Maltepe / İstanbul

Tel: +90 (216) 456 43 24

E-Posta: info@kub.org.tr

Web sitesi: www.kub.org.tr





BETONDA DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ

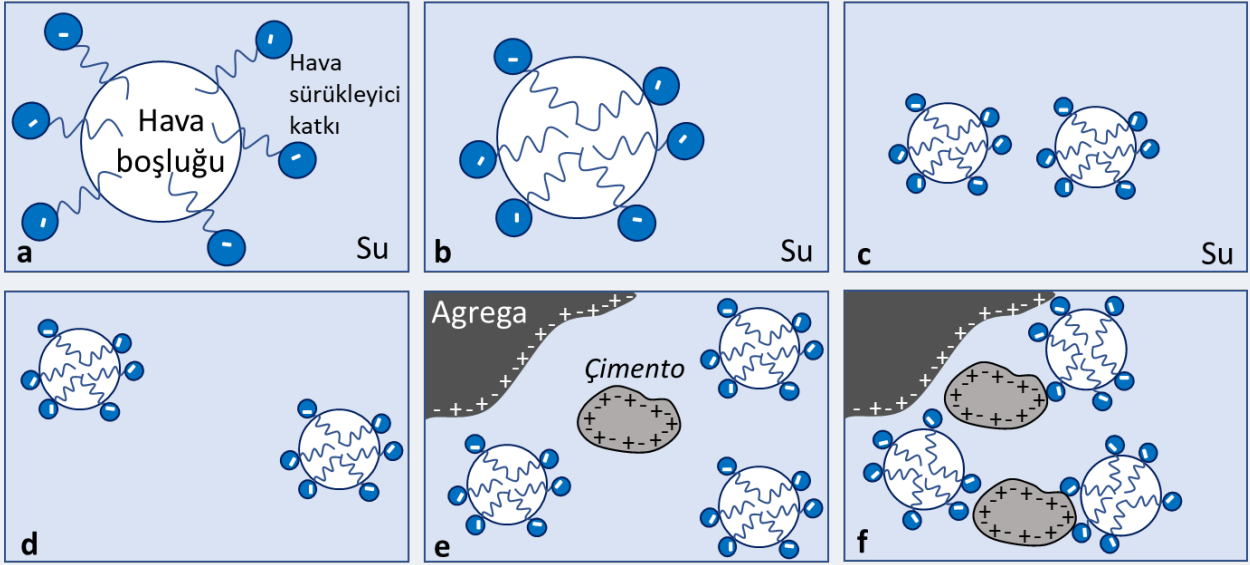
Donma-çözülme hasarını henüz plastik kıvamdaki taze betonda ve ayrıca sertleşmiş betonda ayrı incelemek gerekir. Ancak her iki durumda da asıl neden aynı olup, suyun donarak buza dönüştüğünde yaşanan yaklaşık %9'luk hacim artışıdır.

Donma ve çözülme döngülerinden dolayı genelde iki tür bozulma olduğu kabul edilmektedir. Bunlar iç yapıda çatlama ve yüzeyde pullanmadır. Çimento hamurundaki donma hasarını gözeneklerdeki hidrolik basıncın neden olduğu gerilmelere bağlayan hidrolik basınç teorisi geliştirmiştir. Kılcal gözeneklerdeki su dondukça hacimsel artış meydana gelir. Gözenekler suyla dolu olduğu için buzun genişleyeceği yer yoksa, genişleme kaynaklı kuvvetler gözeneklerin bozulmasına neden olmaktadır. Gözeneklerin içindeki su, değişen konsantrasyonlarda çözünmüş tuzlar içerdiği durumda ise suyun tamamı aynı anda donmamaktadır. İyonik konsantrasyonlardaki bu farklılıklar ozmotik basınçların oluşmasıyla sonuçlanmaktadır.

Donma-çözülme döngüleri nedeniyle oluşabilecek iç çatlak ve bozulmaları önlemenin yolu, betona hava sürükleyici katkıları ekleyerek kılcal ağ içerisinde küçük ayrık hava boşluklarının oluşmasını sağlamaktır. Hava boşlukları, kılcal boşlukların bozulmasına neden olmadan buzun içine doğru genişleyebileceği hava rezervuarları görevi görmektedir. Bunun, don saldırısından kaynaklanan hasarı en aza indirmenin en etkili yolu olduğu laboratuvar verileri ve saha deneyimiyle doğrulanmıştır. Uygun hacim ve aralık faktörleriyle birlikte uygun hava sürüklenmesi, donma ve çözülme döngüleri sırasında neme maruz kalan betonun dayanıklılığını önemli ölçüde artırmaktadır. Sürüklenen hava aynı zamanda betonun kimyasal buz çözücülerinin neden olduğu yüzey hasarlarına karşı direncini de artırmaktadır.

Referans geleneksel bir betona göre hava sürüklenmiş beton bir miktar dayanım kaybına maruz kalsa da hava katkılarının betonun işlenebilirliğine olumlu etkisi ve akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı ile su/çimento oranı bir miktar düşürülerek dayanım kaybı rahatlıkla telafi edilebilir.

Hava sürükleyici katkıları, karıştırma sırasında taze betona kontrollü miktarda küçük, düzgün dağılmış ve sertleşme sonrasında da kalıcı olan hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkılardır. Hava sürükleyici katkıları, hava-su arayüzünde etki eder. Hava sürükleyici katkıları tipik olarak hidrofilik olan ve suyu çeken negatif yüklü bir başlığa ve suyu iten hidrofobik bir kuyruğa sahiptir. Şekil 1'de gösterildiği gibi; hidrofobik uç, karıştırma işlemi sırasında oluşan kabarcıklar içindeki havaya çekilir. Hidrofilik olan kutup ucu, kendisini suya doğru yönlendirir (a). Hava sürükleyici katkı, hava kabarcıklarını tutmak ve stabilize etmek için yeterli dayanım ve esnekliğe sahip, sabun filmine benzer, sert, su itici bir film oluşturur. Hidrofobik film ayrıca suyu kabarcıklardan uzak tutar (b). Mekanik karıştırma hava kabarcıklarını dağıtır. Her kabarcığın etrafındaki yük, kabarcığın birleşmesini önleyen itici kuvvetlere yol açar (c&d). Yüzey yükü, hava kabarcığının çimento ve agrega parçacıklarının yüklü yüzeylerine yapışmasına neden olur. İnce agrega parçacıkları ayrıca karışımdaki kabarcıkları tutmaya yardımcı olmak için üç boyutlu bir ızgara görevi görür (e). Bu, karışımın kohezyonunu geliştirir ve hava kabarcıklarını daha da stabilize eder (f).



Şekil 1. Hava sürükleyici katkıların çalışma mekanizması

ÖZET BİLGİ	
Donma-çözülmenin nedenleri	Donma-çözülme döngüsünün sıklığı ve şiddeti, buz çözücü maddelerin betona nüfuzu, betonun geçirimli ve suya doygun olması, beton dayanımının yetersiz olması
Donma-çözülmenin zararları	Donma-çözülme sonucunda beton yüzeyinde tabaka atma, pullanma ve dökülme; iç yapıda ise çatlak oluşumuna bağlı hasar meydana gelir.
Beton tasarımında dikkat edilmesi gerekenler	TS EN 206 ve TS 13515'teki çevresel etki koşulları dikkate alınarak uygun çevresel etki sınıfı belirlenmelidir. TS EN 206 Standardına göre donma-çözülme etkisinin baskın olduğu XF koşullarında TS 706 EN 12620'ye uygun, yeterli donma-çözülme dayanıklılığına sahip agregalar kullanılmalıdır. XF2, XF3 ve XF4 sınıflarında betonun hava içeriği en düşük %4 olmalıdır. Betonun su/bağlayıcı oranı düşük olmalıdır. Bu sayede betonun geçirimsizliği artar. Mineral katkı kullanımı ve uygun çimento tipleri tercih edilmelidir. Donma-çözülme dirençli agregalar kullanılmalıdır.
Uygulama esnasında dikkat edilmesi gerekenler	Beton içerisindeki çelik donatıyı koruyan beton örtüsü (pas payı) kalınlığı doğru bir şekilde belirlenmeli ve uygulamada buna dikkat edilmelidir. Uygulama esnasında betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve kürüne son derece dikkat edilmelidir. Beton erken yaşta donmaya karşı korunmalıdır. Hava sürüklenmiş betonun sıkıştırılmasında aşırıya kaçılmamalıdır. Donma-çözülme etkisi beton yüzeyini daha hızlı etkilediği için yüzey işlemlerine dikkat edilmelidir.
Kimyasal katkıların etkisi	Süperakışkanlaştırıcı beton kimyasal katkıları betonun su/bağlayıcı oranını azaltarak daha geçirimsiz bir yapı oluşmasını sağlar. Ayrıca betonun işlenebilirliğini artırarak daha kolay yerleşmesine ve sıkışmasına neden olurlar. Hava sürükleyici katkıları ile beton içerisinde kontrollü hava boşlukları oluşturulur. Bu sayede donma-çözülmenin beton içerisinde iç gerilmelere neden olması engellenir/azaltılır. Su tutucu ve su geçirimsizlik katkıları kullanılabilir. Kimyasal kür malzemeleri betonun rötre çatlaklarını engelleyerek/azaltarak betona çatlaklardan su, sıvı ve gaz akışını azaltır.



BETONDA SÜLFAT ATAĞI

Doğal yollarla oluşan sodyum, potasyum, kalsiyum veya magnezyum sülfatları toprakta, deniz suyunda veya yer altı suyunda bulunabilmektedir. Sülfatlar ayrıca sanayide ve gübre yapımında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Sülfat tuzları toprağın ve yer altı suyunun kirlenmesine neden olmaktadır. Çimento bünyesinde de sülfat bulunmaktadır.

Sülfat saldırısı aşağıdaki biçimlerde gerçekleşebilmektedir:

1. Tuz kristalleşmesine bağlı fiziksel saldırı
2. Dış kaynaklardan gelen sülfat iyonları ile sertleşmiş çimentodaki bileşenler arasındaki reaksiyonları içeren dış kimyasal sülfat saldırısı
3. Beton içinde sülfatın geç salımından dolayı iç kimyasal sülfat saldırısı

Fiziksel Saldırı

Bu tür bir saldırının, üst yüzeyi kuru ortama maruz kalan ve alt yüzeyi ise tuz içeren çözeltilerle temas halinde olan geçirgenliği yüksek betonda meydana gelmesi muhtemeldir. Bu koşullar altında çözeltiler kılcal etkiyle yüzeye çıkmaktadır. Yüzey buharlaşması nedeniyle ve eğer buharlaşma hızı tuz çözeltisinin yüzeye göçünden daha hızlıysa üst yüzeyin altında tuz kristalleşmesi meydana gelmektedir. Bu durum; gözeneklerde pullanma, dökülme ve çatlamaya neden olan gerilmeler oluşturmaktadır. Hasar genellikle yüzeyin bozulması şeklindedir ve yüzeyden kütle kaybı ciddi seviyeye ulaşabilmektedir. Bu hasar, elemanın kesitinde önemli bir azalma olmadığı sürece genel olarak yapısal hasara yol açmamaktadır.

Bu tür hasarlar çatlak bölgelerinde beyaz kristal birikintilere neden olur ve beton yüzeyinde tuz kristalleşmesinin meydana geldiği çiçeklenme ile karıştırılmamalıdır. Fiziksel sülfat saldırısı sonucu hasarlı numunelerin mineralojik analizinde etrenjit ve alçıtaşı bulunmaz.

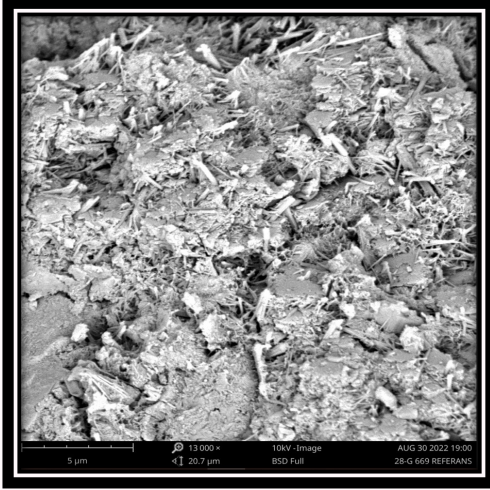
Dış Sülfat Saldırısı

Normal Portland çimentosu genel olarak kimyasal sülfat saldırısına karşı savunmasızdır. Hasarın boyutu betonun kalitesine, ilgili sülfat bileşiklerinin türüne ve bunların konsantrasyonlarına bağlıdır. Geçirimsizliği yüksek betonda, sülfat iyonları dış kaynaklardan betona nüfuz eder ve çimento hidrasyon ürünleriyle reaksiyona girer. Düşük geçirgenlik özelliklerine sahip betonun kullanılması, sülfat iyonlarının betona nüfuz etmesinin sınırlandırılmasında oldukça önemlidir.

Sodyum sülfat, Ca(OH)_2 ile tepkimeye girerek alçıtaşı ve NaOH oluşturur. Alçı daha sonra kalsiyum alüminat hidrat (C-A-H) ile reaksiyona girerek etrenjit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) oluşturur. NaOH oluşumu çimento sisteminde yüksek alkalinite sağlar ve C-S-H stabil kalır.



Şekil 2'de aynı su/çimento oranına (0,5) sahip beton numunelerinin 28 günlük SEM fotoğrafları görülmektedir. %5 Na₂SO₄ içeren suda kür edilen numunedeki yoğun etrenjit oluşumu net bir şekilde gözükmemektedir.



a)%100 suda kür



b)%5 Na₂SO₄ içeren suda kür

Şekil 2. %100 suda ve %5 Na₂SO₄ içeren suda kür edilen aynı su/çimento oranındaki beton numunelerinin 28 günlük SEM görüntüleri

Kalsiyum sülfat ise etrenjit oluşturmak için yalnızca kalsiyum alüminat hidrata saldırır. Etrenjit oluşumuna hacim genişmesi eşlik eder, bu da iç gerilimlere ve çatlamaya neden olur. Magnezyum sülfatla temas eden betonda bozulma, diğer süfatların neden olduğu hasardan daha ciddi olabilmektedir. Magnezyum sülfat, Ca(OH)₂ ve kalsiyum alüminat hidratin yanı sıra C-S-H'ye de saldırır. Magnezyum sülfat saldırısının kritik sonucu, C-S-H'nin tahrip olması ve bunun sonucunda aderans kaybı ve dayanımın azalmasıdır.

Kireç tüketen puzolanik reaksiyon nedeniyle mineral katkıların kullanılması, kalsiyum hidroksit miktarının azaltılmasında ve alçı oluşumunun baskılanmasında faydalı olmaktadır. Düşük C₃A içeriğine sahip, sülfata dayanıklı çimentonun kullanılması, etrenjitin zarar verici oluşumunu en aza indirmektedir.

Yeraltı yapıları veya tüneller, temeller, borular ve kazıklar gibi elemanlar sülfat saldırısına karşı hassastır. Hasarlı betonun yüzeyi genellikle beyazımsı bir görünüme sahiptir. Hasar genellikle kenarlarda ve köşelerde başlar ve sonunda kırılmalı ve hatta yumuşak bir duruma düşer. Etrenjit ve alçıtaşının her ikisi de hasarlı numunelerin mineralojik analizinde mevcuttur.



Şekil 3. Beton yüzeyinde sülfat etkisi sonucu hasar oluşumu

İç Sülfat Saldırısı

İç sülfat saldırısı, sülfat kaynağının dahili olduğu bir kimyasal saldırı durumudur. Geç sülfat salımı nedeniyle sertleşmiş betonda etrenjit oluşarak genleşme ve çatlama neden olur. Bu olaya gecikmiş etrenjit oluşumu (GEO) adı verilmektedir. Bu olgu, yüksek sülfat içeriğine sahip çimentoların kullanıldığı buharla kürlenmiş ürünlerde rapor edilmiştir. Etrenjit 70°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda stabil değildir. Bu nedenle, çimentonun erken hidratasyonu sırasında oluşan etrenjit, kür sıcaklığı 70°C'yi aştığında ayrışır. Açığa çıkan sülfat iyonları C-S-H tarafından emilir. Hizmet sırasında bu iyonlar, etrenjitin yeniden oluşmasıyla ortam koşulları altında desorbe edilir.

Bütünsel bir yaklaşım mekanizmasında, GEO'nun oluşması için üç koşulun karşılanması gerekmektedir. Bunlar (a) mikro çatlakların varlığı, (b) geç sülfat salımı ve (c) suya maruz kalmadır. Betonda mikro çatlaklar, üretim sırasında buhar kürü işlemiyle veya öngerilmeli elemanlarda bölgesel yüksek gerilmelerle oluşabilir.

Alçı taşıyla karışmış agregalar veya kükürt bakımından zengin klinker, erken hidratasyonda hemen bulunmayan ancak daha sonra GEO'yu besleyebilen sülfat kaynakları olabilir. Aşırı ısıtılmış betonda etrenjitin erken hidratasyonundan kaynaklanan termal bozunması nedeniyle sülfatlar da mevcut olabilir. Suya maruz kalma, bu sülfat ve diğer reaktif iyonların göçünü ve ardından mevcut mikro çatlakların içinde etrenjitin birikmesini sağlar. Hasar, etrenjit şişmesi veya kristal büyümesinden kaynaklanır.

Sülfat bakımından zengin topraklara veya yeraltı suyuna maruz kalan yüksek geçirgenliğe sahip beton, fiziksel ve kimyasal etkilerden dolayı bozulabilir. Bu nedenle sülfat atağının kontrolünde yüksek kaliteli, düşük geçirimli betonun kullanılması önemlidir. Sülfat dirençli veya katkı çimentonun kullanılması ek bir avantaj sağlar. Buhar kürlenme işlemiyle üretilen öngerilmeli ürünler GEO ile ilgili sorunlara daha yatkındır. Sülfat kaynağına bakılmaksızın, birbirine bağlı mikro çatlakların ve suyun varlığı, sülfatla ilgili herhangi bir beton için gerekli



bir durumdur. Yukarıdakilerin ışığında, mikro çatlakların gelişimini en aza indirmek için prefabrik ürünlerin üretim sürecinde dikkatli olunmalıdır. Servis sırasında betonu nispeten kuru bir durumda tutmak için iyi bir drenaj veya su yalıtım sistemi gerekli olabilir.

TS EN 206 Standardına göre zeminden alınacak su veya toprak numunelerinin sülfat içeriği analiz edildikten sonra sülfat etkisinin şiddetine göre çevresel etki sınıfını belirlenmeli ve beton tasarımı bu etkiye göre yapılmalıdır. Özellikle XA2 ve XA3 sınıfları için sülfata dayanıklı çimento içeren veya belirli koşulları karşılamak koşuluyla uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren beton karışımları kullanılmalıdır. TS EN 197-1 Standardı kapsamında CEM I SR, CEM IV SR ve CEM III ana sınıfları olmak üzere toplam 7 adet sülfata dayanıklı çimento cinsi bulunmaktadır.

ÖZET BİLGİ

Sülfat atağının nedenleri	<ul style="list-style-type: none">• Tuz kristalleşmesine bağlı fiziksel saldırı• Dış kaynaklardan gelen sülfat iyonları ile sertleşmiş çimentodaki bileşenler arasındaki reaksiyonları içeren dış kimyasal sülfat saldırısı• Beton içinde sülfatın geç salımından dolayı iç kimyasal sülfat saldırısı
Sülfat atağının zararları	Etrenjit oluşumuna neden olarak hacim genişmesi meydana gelir ve bu da iç gerilimlere ve çatlama neden olur.
Beton tasarımında dikkat edilmesi gerekenler	TS EN 206 ve TS 13515'teki çevresel etki koşulları dikkate alınarak uygun çevresel etki sınıfı belirlenmelidir. Betonun su/bağlayıcı oranı düşük olmalıdır. Bu sayede betonun geçirimsizliği artar. Mineral katkı kullanımı ve sülfata dayanıklı çimento tipleri tercih edilmelidir.
Uygulama esnasında dikkat edilmesi gerekenler	Uygulama esnasında betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve kürüne son derece dikkat edilmelidir. Prefabrik elemanlarda ve kütle betonlarda maksimum beton sıcaklığının 70oC üzerine çıkmasına izin verilmemelidir.
Kimyasal katkıların etkisi	Süperakışkanlaştırıcı beton kimyasal katkıları betonun su/bağlayıcı oranını azaltarak daha geçirimsiz bir yapı oluşmasını sağlar. Ayrıca betonun işlenebilirliğini artırarak daha kolay yerleşmesine ve sıkışmasına neden olurlar. Su tutucu ve su geçirimsizlik katkıları kullanılabilir. Kimyasal kür malzemeleri ise betonun rötre çatlaklarını engelleyerek/azaltarak betona çatlaklardan sıvı ve gaz akışını azaltır.



BETON YÜZEY UYGULAMALARINDA YAŞANAN SORUNLAR

Beton yüzeyinde boşluklar (Bughole)

Beton yüzeyini etkileyebilecek birçok değişken bulunmaktadır. Yüzey boşluklarının en yaygın nedenleri; hava sıkışması, kalıp ayırıcıların yanlış kullanımı ve beton karışımındaki fazla sudur. Hava, beton karışımı içinde hapsoldüğünde yüzeye doğru hareket ederek boşluklar oluşturabilmektedir. Çapı 15 mm'yi geçmeyen ve beton yüzeyinde dağınık olarak görülen bu boşluklara "kuş gözü" de denilmektedir. Kalıbın üst kısmında daha sık görülmektedir. Yapıya estetik görünüm dışında önemli zararları yoktur.



Şekil 4. Beton yüzeyinde oluşan hava boşlukları

Kalıp ayırıcı maddeler yüzey boşluklarının önemli bir nedenidir. Kalıp ayırıcılar doğru şekilde uygulanmadığında ya da uygun olmayan malzemeler kullanıldığında yüzeyde boşluklar oluşabilmektedir. Aynı sorun, kalıplarda su kaldığında da ortaya çıkmaktadır.

Pürüzsüz bir beton yüzeyi elde etmek için aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir:

- ◆ Uygulamada doğru viskoziteyi sağlamak için beton karışım tasarımında değişiklikler gerekebilir. Ürün/kalıp/sıkıştırma türü, gereken karışım viskozitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmaktadır.
- ◆ Betonun sıkıştırma işlemi doğru ekipmanlarla ve doğru yöntemle yapılmalıdır. Karıştırma süresinin yeterli ve hatta bir miktar uzun olması beton içindeki havanın tahliye edilmesini sağlar.
- ◆ Bazen yerleştirme işlemi yavaşlatmak, kalıp doldurulurken fazladan havanın betona hapsolmesini engelleyebilmektedir. Kolon gibi bazı formlar, alttan pompalanarak veya bir tremi borusu kullanılarak daha iyi doldurulmaktadır. Bir kalıbı çok hızlı doldurmak betonun ayrışmasına ve bu da daha fazla yüzey boşluğuna neden olabilir.



- ◆ *Betonu kalıplardan çıkarmak için doğru kalıba doğru kalıp ayırıcı uygulanmalıdır. Kalıp ayırıcı doğru şekilde kullanılmazsa su birikintisi oluşur. Bu su birikintileri, havayı ve suyu hapsederek titreşim işlemiyle uzaklaştırılmalarını engelleyebilmektedir.*



Kalıp ile beton arasına ince bir tabaka halinde uygulanan kalıp yağı, kalıbın betondan söküldükten sonra beton yüzeyinin pürüzsüz bir şekilde istenilen düzgünlükte olmasını ve kalıbın betondan kolay bir şekilde ayrılmasını sağlar. Genellikle daha ince bir kalıp ayırıcı kaplama, havanın kalıp boyunca kolayca beton yüzeyine geçmesini sağlar. Daha kalın yağlar bazen havanın beton yüzeye ve kalıba sıkışmasına neden olarak yüzey boşluklarına neden olabilir. Uygulandıktan sonra kalıp yağı içerisinde bulunan suyun buharlaşması için süre verilmelidir. Genelde bu süre minimum 15 dakika olmalıdır.

Uygulandıktan sonra kalıp yağı içerisinde bulunan suyun buharlaşması için süre verilmelidir. Genelde bu süre minimum 15 dakika olmalıdır.

Tabakalaşma (Delamination)

Tabakalaşma, döşeme yüzeyinin ince katmanlarının taban betonundan ayrılmasıdır. Bu katmanın kalınlığı 3 mm ila 8 mm arasında değişebilmektedir. Tabakalaşma alanının boyutu birkaç santimetrekareden birkaç metrekareye kadar ulaşabilmektedir.

Taze beton yerleştirildiğinde ve sıkıştırıldığında katı maddeler (çimento ve agrega) çöker. Bu doğal oturma, fazla karışım suyunun ve sıkışan havanın yer değiştirmesine (terleme) ve daha hafif malzemelerin yüzeye doğru hareket etmesine neden olur. Bitirme işlemleri zamanından önce başlarsa ve hava alma işlemi tamamlanmadan yüzeyi kapatır veya mühürlerse, yüzey harcı altında hava ve/veya su hapsolür. Beton sertleştikçe, su veya havanın hapsoldüğü yerlerde yüzey altı boşlukları oluşur. Bu boşluklar, yüzeyin hemen altında, döşeme kullanımı sırasında sonunda ayrılabilen zayıflamış bölgeler oluşturur.



Şekil 5. Beton yüzeyinde tabakalaşma



Olası nedenler:

- ◆ Betonun terlemesi devam ederken bitirme işlemi yapılması
- ◆ Hava içeriği yüksek beton kullanımı
- ◆ Yüksek su/çimento oranı
- ◆ Döşemenin kalın olması
- ◆ Yüksek sıcaklık, rüzgâr ve düşük nem gibi çevre koşulları sonucunda buharlaşmanın fazla olması
- ◆ Aşırı derecede sıkıştırma uygulaması sonucu yüzeyde fazla çimento harcı toplanması ve yüzeyin zayıflaması
- ◆ Aşırı miktarda uygulanan su kürü işlemi sonucu yüzey dayanımının azalması
- ◆ Önlemler:
 - ◆ Soğuk havada priz hızlandırıcı katkı kullanılması
 - ◆ Kimyasal kür malzemeleri kullanılarak etkili kür işlemi yapılması
 - ◆ Bitirme işleminin zamanında yapılması
 - ◆ Soğuk zemin (4-5°C) üzerine beton yerleştirilmemesi
 - ◆ Hava sürükleyici katkı kullanılmaması

Petek Dokusu (Honeycomb)

Betonda petek dokusu oluşumu, yerleştirme sırasında beton akışındaki engeller nedeniyle veya beton yerleştirildikten sonra yetersiz sıkıştırma teknikleri nedeniyle betonun ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Peteğin boyutuna ve konumuna bağlı olarak bu kusur, nihai üründe estetik veya yapısal bir sorun olarak değerlendirilmektedir. Daha çok perde ve kolon-kiriş kesişim bölgelerinde oluşmaktadır. Kenarlarda bulunan petekler çıplak gözle görülür ve kalıp kaldırılır kaldırılmaz kolayca fark edilir. Beton kütlesi içindeki petekler, ancak ultrasonik testler vb. gelişmiş tekniklerle tespit edilebilir.



Şekil 6. Beton yüzeyinde petek dokusu oluşumu

Olası nedenler:

- ◆ Yetersiz pas payı ve betondaki en büyük agrega tane çapının proje şartlarına uygun olmaması
- ◆ Malzemenin ayrışması



- ◆ *Kötü vibrasyon uygulaması*
- ◆ *Uygun olmayan agrega gradasyonu*
- ◆ *Kolon ve perdelerle yüksek mesafeden beton dökümü*
- ◆ *Aynı yapı elemanına ait betonun kıvamındaki anormal değişkenlikler*

Önlemler:

- ◆ *Uygun sıkıştırma yapılarak malzemenin ayrışması engellenmelidir.*
- ◆ *Kendiliğinden yerleşen-sıkışan beton kullanılabilir.*
- ◆ *Projeye uygun en büyük agrega tane çapı sınıfında ve kıvamında beton kullanılmalıdır.*
- ◆ *Kolon ve perdelerde dış vibratör kullanılmalıdır.*
- ◆ *Tamir harcı kullanarak hasarlı bölge onarılır. Onarım yapılırken bölgenin tamamen temizlenmesine dikkat edilmelidir.*

Kabuk Atma (Scaling)

Kabuk atma, yüzey harcının veya beton yüzeyi üzerindeki kaba agrega parçacıklarını çevreleyen harcın pullanma veya soyulma sonucu genel kaybı olarak tanımlanmaktadır. Kabuk atma, tipik olarak donma-çözölmeye maruz kalma nedeniyle betondan ayrılan beton yüzeyin küçük yerel yamaları olarak başlar. Zamanla bu yerelleştirilmiş yamalar genişleyebilir ve büyük ölçekli alanlar oluşturmak için bir araya gelebilir. Uygun şekilde tasarlanmış, üretilmiş, sıkıştırılmış ve kürlenmiş kaliteli betonun bu tür bir bozulmaya maruz kalması beklenmez. Kabuk atma 4 farklı şiddet ölçeğinde değerlendirilmektedir.

Hafif Şiddet: Kaba agreganın açığa çıkmadığı durum

Orta Şiddet: Yüzey harcının 5 ila 10 mm derinliğe kadar kayba uğradığı ve kaba agreganın açığa çıktığı durum

Yüksek Şiddet: Yüzey harcının 5 ila 10 mm derinliğe kadar kayba uğradığı ve 10 ila 20 mm derinliğindeki agrega parçacıklarını çevreleyen bir miktar harç kaybını içeren durum

Çok Yüksek Şiddet: Kaba agrega parçacıklarının yanı sıra harcın genellikle 20 mm'den daha fazla bir derinliğe kadar kaybını içeren durum



Şekil 7. Beton yüzeyinde kabuk atma



Olası 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-çözölmeye karşı direnç azalır.
- ◆ Yetersiz kür uygulaması
- ◆ Düşük hava içerikli betonun donma-çözölmeye karşı dirençsizliği
- ◆ Tuzlama çalışmaları
- ◆ Çok düşük hava içerikli beton
- ◆ Yetersiz drenaj
- ◆ Anormal hava koşullarında beton dökümü

Önlemler:

- ◆ Hava sürükleyici katkı 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.

Yüzey Dökülmesi (Spalling)

Dökülme, genellikle donatı çeliğinin üst katmanlarına uzanan beton yüzeyin kırılmasıdır. Parçacıklar 150 mm veya daha fazla çapta, 25 mm veya daha fazla derinlikte olabilmektedir. Betonun dökülmesi; binalar, çok katlı otoparklar, köprüler, dalgakıranlar, tanklar ve bentler dahil olmak üzere çok çeşitli yapıları etkilemektedir. Dökülme, altındaki agregayı açığa çıkarırken beton yüzeyini yamalı ve çukurlu bırakmaktadır. Dökülme tespit edilir edilmez uygun şekilde onarılmalıdır, aksi takdirde beton yüzey bütünlüğünü tehlikeye atmakta ve elemanın nihai kapasitesini düşürmektedir. Buna ek olarak, dökülme yapının estetik görünümünü bozabilmektedir.

Donma-çözölme döngüsü, alkali-silika reaksiyonunun genleşme etkisi veya ateşe maruz kalma dahil olmak üzere parçalanmanın meydana gelmesinin birçok nedeni bulunmaktadır. Bununla birlikte, dökülmenin en yaygın nedeni çelik donatı çubuklarının korozyonudur. Aşınan çelik, orijinal hacminin on katına kadar genişleyerek çevredeki betona baskı uygulayabilmektedir.



Şekil 8. Beton yüzeyinde dökülme

Olası nedenler:

- ◆ Donma-çözülme etkisi
- ◆ Yangına maruz kalma
- ◆ Donatının paslanması (korozyon)
- ◆ Kaplamadaki büyük gerilmeler
- ◆ Alkali-silika reaksiyonu
- ◆ Kötü işçilik
- ◆ Kış aylarında tuzlama
- ◆ Betonun hava içeriğinin çok düşük olması
- ◆ Yüksek su/çimento oranı
- ◆ Yetersiz pas payı

Önlemler:

- ◆ Düşük kıvamda beton kullanmak
- ◆ Hava sürükleyici katkı kullanmak
- ◆ İyi kür (en az 7 gün devamlı) uygulaması
- ◆ İlk yıllarda beton yüzeyinde tuzlama çalışmalarına izin verilmemelidir.
- ◆ Polipropilen fiber kullanımı

Çiçeklenme (Efflorescence)

Çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan Ca(OH)_2 (kalsiyum hidroksit)'in ve beton içinde bulunan veya betona dışardan giren bazı tuzların zamanla sertleşmiş beton yüzeyine çıkarak oluşturduğu beyaz lekeler çiçeklenme olarak adlandırılır. Renkli ve brüt betonlarda estetik açıdan renk kalitesini bozmakla beraber, çiçeklenmenin betonun dayanımına önemli bir etkisi yoktur. Özellikle; yağışlı kış aylarında çiçeklenme daha sık görülür.

Beton içerisinde çok miktarda bulunan ve suda çözünen Ca(OH)_2 çiçeklenme olayında önemli rol oynar. Betona yağış ya da zemin yoluyla giren su, beton içindeki tuzları yüzeye taşıyarak ortaya çıkar. Suyun yardımıyla yüzeye çıkan Ca(OH)_2 atmosferdeki CO_2 (karbon dioksit) ile



tepkimeye girerek suda zor çözünen CaCO_3 (kalsiyum karbonat)'ı oluşturur. Böylece, beton yüzeyinde beyaz renkte lekeler oluşur.

Çiçeklenme, çimentonun hidrasyonu sonucunda oluşan Ca(OH)_2 'in ve beton içerisinde bulunan bazı tuzların zamanla sertleşmiş beton yüzeyine çıkarak oluşturduğu beyaz lekelerdir. Renkli betonlarda estetik açıdan renk kalitesini bozmakla beraber, betonun dayanım gibi performans özelliklerine fazla bir etkisi bulunmamaktadır. Buharlaştırma yavaş olacağından kış aylarında çiçeklenme daha sık görülür.



Şekil 9. Beton yüzeyinde çiçeklenme

Olası nedenler:

- ◆ Suda çözünen sülfat, nitrat, klor, krom ve molibden gibi tuzları içeren yeraltı suyunun yukarı hareket ederek, temele ya da beton kaplamaya geçmesi;
- ◆ Standartlara uygun olmayan malzeme kullanılması;
- ◆ Betonun fazla geçirimli olması;
- ◆ Yapılarda drenajın ve su yalıtımının yetersiz olması
- ◆ Onarımı yapılmamış çatlaklar

Önlemler:

- ◆ Beton üretiminde su/çimento oranı düşük tutulmalı, betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması uygun yapılarak betonun geçirimliliği azaltılmalıdır.
- ◆ Kullanılan karışım ve kür suyunda ve agregalarda çeşitli tuzların bulunmamasına özen gösterilmelidir.
- ◆ Beton karışımında, Ca(OH)_2 'i azaltıcı ve betonun geçirimsizliğini ve dayanıklılığını artırıcı özelliği olan puzolanik katkıları kullanılmalıdır.
- ◆ Onarım için beton yüzeyi tazyikli su ile yıkanır, sert bir fırça ile fırçalanır ya da belirli oranlarda düşük konsantrasyonlu asit çözeltileri kullanılabilir. Bu uygulama için yeterince deneyim ve bilgi gereklidir.



Özellikle beyaz renkli CaCO_3 lekesini çıkarmak için 1:10 seyreltide hidroklorik asit çözeltisi kullanılmalıdır. Çözeltinin metal ile temas etmemesi sağlanmalıdır. Yanlış uygulama sonucu beton yüzeyinde renk değişikliğine sebep olabilmektedir. Renkli betonda 1:50 oranında asit çözeltisi uygulanmalıdır. Boya yapılacak yüzeylerde %10 amonyum ya da potasyum asit çözeltisi uygulanmalıdır. Genel uygulama öncesi belirli bir bölümde deneme yapılarak en uygun çözelti oranı tespit edilmelidir. Fazla asit içeriği yüzeyde doku kaybına, renk değişimine ve görünür agregalı yüzey oluşumuna neden olabilir. CaCO_3 gibi suda çözünmeyene lekeler tazyikli su ile zeminden aşındırılarak temizlenebilmektedir. Bazı durumlarda kumlama da yapılmaktadır, ancak bu yüzey dokusunu bozabilmektedir. Bu yöntemler ıslak ve kuru fırçalamadan sonuç alınmadığı takdirde uygulanmalıdır.



Çiçeklenme, betonun bulunduğu ortam kadar betonun geçirimsizliği ile de ilgili bir durumdur. Bu nedenle su/çimento oranını düşüren süperakışkanlaştırıcı katkılarla birlikte su geçirimsizlik katkılarının kullanımı, betonun geçirimsizliğini azaltmakta ve dolayısıyla çiçeklenme etkisini minimize etmektedir.

Renk Düzensizliği (Discoloration)

Betonun renginin düzensizliği hem müteahhit hem de mal sahibi için bir memnuniyetsizlik kaynağıdır. Betonda renk düzensizliğini etkileyen faktörler arasında tutarsız beton karışımı, proje sahasında karışıma su eklenmesi, çimento renginin değişmesi, farklı oranlarda ve kaynaklardan mineral katkı kullanılması, farklı kaynaklardan agregaya kullanılması, kötü işçilik vb. yer almaktadır. Bu faktörlerden kaynaklanan renk bozulması, beton yerleştirildikten hemen sonra ortaya çıkmaktadır. Renk bozulması, koyu lekeler veya alacalı yüzey görünümleri sergilemektedir. Aşınma ve yaşlanma sonucu beton yüzeyindeki renk bozuklukları zamanla azalmaktadır.



Şekil 10. Beton yüzeyinde renk düzensizliği



Olası nedenler:

- ◆ Erken ya da geç bitirme işlemleri
- ◆ Polietilen koruma tabakalarının yüzeye teması
- ◆ Beton içeriğindeki kalsiyum klorür, çimentoda alkali oranı, katkıları
- ◆ Farklı malzeler kullanmak ve her yerde farklı sitle mala işlemi yapmak. Malayla sıkı düzeltilen yerler daha koyu olacaktır. Erken düzeltilen yüzeylerde ise daha sonra su/çimento oranı artacağına daha açık gölgeler oluşur.
- ◆ Farklı zamanlarda dökülen betonda su/çimento oranı farklılığı ya da bileşenlerindeki farklılıklar (mineral katkı kullanılması veya agrega cinsinin değişmesi)
- ◆ Yanlış kür uygulamaları sonucu yüzeyin farklı yerlerinde hidrasyonun değişken olması
- ◆ Priz hızlandırmak için kalsiyum klorür kullanılması

Önlemler:

- ◆ Kimyasal kür malzemesi kullanırken renk bozup bozmayacağı önceden incelenmeli
- ◆ Beton yüzeyi uygun ve sabit bir şekilde düzeltilip, bitirilmelidir.
- ◆ Soğuk havalarda kalsiyum klorür içeren katkıları kullanılmamalıdır.
- ◆ Uzun süre döküm yapılacak işlerde kullanılan malzemenin sabit olması sağlanmalıdır.
- ◆ Yüksek alkali içeren çimento kullanılmamalı
- ◆ Farklı malzemelerden oluşan kalıp sistemi kullanılmamalıdır. Farklı su emmeleri 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 kullanarak etkili sonuç alınabilir. Bu çözelti kuru beton yüzeyine 15 dakika uygulanır.
- ◆ Mala uygulaması ile oluşan renk bozuklukları için boyama yapılabilir.
- ◆ Aşınma ve yaşlanma sonucu beton yüzeyindeki renk bozuklukları gittikçe azalır.

Tozuma (Dusting)

Beton yüzeyindeki su/çimento oranının artması yüzey dayanımını düşürmekte ve dayanıksız bir tabaka meydana getirmektedir. Aşınmaya karşı güçsüz olan bu tabakada kolayca tozuma meydana gelmektedir. Bu durum daha çok zemin betonlarında ve beton yollarda istenmeyen bir durumdur. Ayrıca çimento tozunun solunması sağlık açısından sakıncalıdır.



Şekil 11. Beton yüzeyinde tozuma



Olası nedenler:

- ◆ Betonun terlemesi bitmeden yapılan yüzey bitirme işlemi sonucu beton yüzeyinde terleme suyunun buharlaşmasını engelleyecek bir tabaka oluşur. Bu tabaka terleme suyunu tutarak su/çimento oranının artmasına neden olur. Sonuç olarak da düşük dayanımlı bir beton yüzeyi oluşur.
- ◆ Su emmesi düşük olan zemin veya polietilen kaplama üzerine beton dökümünde bu problem görülebilir. Bu durum betonun daha fazla terlemesine neden olur.
- ◆ Hava sıcaklığı beton sıcaklığında yüksekse ve rutubet varsa beton yüzeyinde yoğuşma meydana gelir ve yüzeyde su/çimento oranı artar.
- ◆ Kapalı alanlarda yetersiz havalandırma terlemeyi yavaşlatır.
- ◆ Çeşitli araçlardan çıkan karbondioksit gazı karbonatlaşmaya neden olur. Bu da yüzeyin dayanım ve dayanıklılığını düşürür.
- ◆ Yetersiz kür sonucu beton yüzeyinde zayıf bir tabaka oluşur ve yüzey dayanımı zayıflar.
- ◆ Yüzeye uygulanan aşırı dozda su kürü sonucunda yüzeyde zayıf tabaka oluşur.
- ◆ Taze betonun yağmur, kar veya rüzgârdan korunmaması sonucu beton donar ve yüzey dayanımı azalır.

Önlemler:

- ◆ Yeterli kıvamda ve düşük su/çimento oranına sahip beton en yüksek dayanım, dayanıklılık ve yüzey aşınma direnci sağlayacaktır. Genellikle zemin betonlarında S3 (10-15cm) kıvamının üzerinde beton tercih edilmemelidir.
- ◆ Plastik kıvamdaki betona terleme suyunu emmesi için çimento serpilmemelidir. Terleme çok fazla oluyorsa karışım dizaynı değiştirilmelidir.
- ◆ Beton terlemeye devam ederken yüzeyinde bitirme işlemi yapılmamalıdır. Seviyeleme işleminden hemen sonra yüzey düzeltme işlemi tamamlanmalıdır. Yüzey bitirme işlemlerini yaparken yüzeye su serpilmemelidir.
- ◆ Beton doğrudan geçirimsiz yüzeyler üzerine dökülmemelidir. Böyle zeminler üzerine (10-15cm) sıkıştırılabilir dolgu malzemesi serilebilir.
- ◆ Beton yüzeyi yeterli sürede etkin bir şekilde küre tabi tutulmalıdır.
- ◆ Soğuk havalarda beton sıcaklığının 10oC'nin üzerinde olması (TS EN 206'ya göre beton sıcaklığı en düşük 5oC'dir) tavsiye edilir.
- ◆ Uygun kimyasal katkıları seçilmelidir.

Beton Yüzeyinden Parça Atması (Popout)

Beton yüzeyinden konik şekillerde parçaların kırılması ve değişik boyutlarda (5mm-5cm) çukur oluşmasıdır. Genelde betonun ilk yıllarında görülmektedir. Ana neden su emmesi yüksek olan agrega ya da beton içinde kömür ve odun gibi istenmeyen maddelerin su emerek şişmesi ve basınçla betonu çatlatmasıdır.

Hem kireçtaşı hem de çakıl kaynaklarında bulunan yumuşak gözenekli agregalar, doymuş bir durumda donma/çözülme koşullarına maruz kaldığında parçalanabilmektedir. Hava sürüklemesi, kışın donma/çözülme döngüleri sırasında oluşan genleşme kuvvetlerinden çimento hamuru için koruma sağlarken, kaba agrega parçacıkları için herhangi bir koruma sağlamamaktadır. Yerel agrega kaynakları az da olsa yumuşak ve gözenekli parçacıklar



içeriyorsa, iri agrega önemli miktarlarda nemi emebilir ve donma-çözülme döngüleri sırasında kırılmalar meydana gelebilir. Ortaya çıkan genleşme hem agregayı hem de çevredeki betonu kırar.



Şekil 12. Beton yüzeyinde parça atması

Olası nedenler:

- ◆ *Dayanaksız ve su emmesi yüksek agrega kullanılması*
- ◆ *Donma-çözülme etkisi*
- ◆ *Alkali-silika reaksiyonu*
- ◆ *Yetersiz kür*

Önlemler:

- ◆ *Daha dayanıklı agrega kullanmak*
- ◆ *Düşük su/çimento oranıyla beton üretmek*
- ◆ *Uygun ve etkili kür metotları uygulamak*
- ◆ *Sorunlu bölgeler tamir harcı ile onarılır, ancak geniş bir alanda sorun varsa ince bir beton kaplama uygulanabilir.*

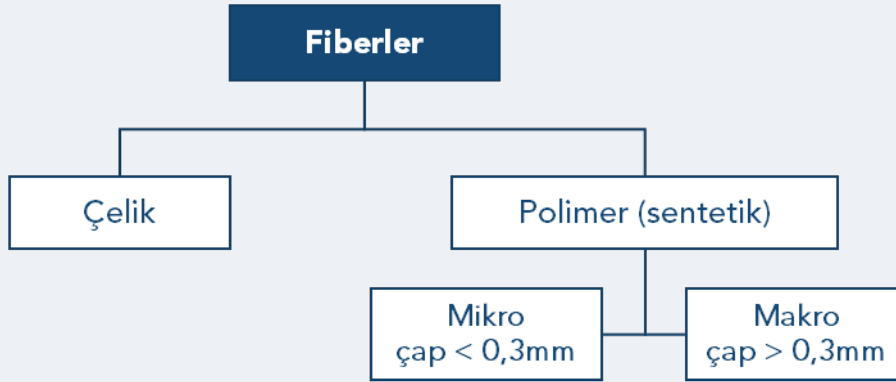


BETON FİBER DONATI UYGULAMALARI

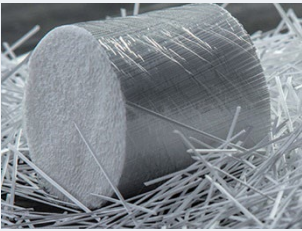
Fiber donatılı beton (FDB), 3 boyutlu bir güçlendirme sistemi oluşturmak için beton içerisinde düzgün bir şekilde dağılmış süreksiz fiberlerden (lifler) oluşmuş bir beton türüdür. Fiberlerin beton, harç ve sıva gibi çimentolu malzemelere dahil edilmesi aşağıda belirtilen malzeme özelliklerini iyileştirmektedir:

- ✧ Süneklik
- ✧ Tokluk
- ✧ Çatlak direnci
- ✧ Çekme dayanımı
- ✧ Geçirimsizlik
- ✧ Yangın direnci
- ✧ Darbe / kırılma direnci
- ✧ Yorulma direnci

FDB için kullanılan malzemeler genellikle çelik, polimer (sentetik), cam ve doğal fiberlerdir. Betonda kullanılan çelik ve sentetik fiberlerin özellikleri TS EN 14889 Standartlarında belirtilmektedir. Şekil 35'te belirtildiği gibi sentetik fiberler çaplarına göre mikro ve makro olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.



Şekil 13. Betonda kullanılan fiberlerin sınıflandırılması



Makro sentetik fiber



Mikro sentetik fiber



Çelik fiber

Şekil 14. Betonda kullanılan farklı fiberler



Sentetik Fiber Donatılar

Beton teknolojisindeki gelişmelerin bir örneği olan sentetik fiber donatılar projelere sunduğu çeşitli avantajlar sebebiyle farklı mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. En yaygın kullanım alanları endüstriyel zemin betonları, püskürtme betonlar, beton yollar, tünel betonları, slab-track ray altı betonları ve prekast segmentler olan sentetik fiber donatılar gerek yapısal üstün özellikleri gerekse maliyet ve uygulama avantajları nedeniyle geleneksel çelik donatıya güçlü bir alternatif olarak var olmaktadır.

Sentetik fiber donatılar; makro ve mikro sentetik fiber donatılar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Makro sentetik fiberler, zemin betonları gibi belirli uygulama alanlarında geleneksel donatı ihtiyacını tamamen ya da kısmen ortadan kaldıran fiber çeşitleridir. Mikro sentetik fiber donatılar ise ana amacı rötreye çatlaklarını engellemek olan ve beton içerisinde ikincil donatı olarak kullanılan fiber çeşitleridir. Ayrıca, tamir harçları ve sıva işlerinde de kullanılmaktadır.

Mikro sentetik fiber donatılı betonların özellikleri:

- ◆ Mikro sentetik fiberler beton içerisinde 3 boyutlu dağılarak, erken yaşta beton yüzeyinde su kaybı nedeniyle oluşabilecek büzülme çatlaklarının oluşumunu engeller.
- ◆ Uzun ömürlü ve ekonomiktir.
- ◆ Yapısı gereği korozif ortamlardan olumsuz etkilenmez.
- ◆ Alkalilere karşı dirençlidir.
- ◆ Darbe direnci yüksektir.
- ◆ Beton yüzeyinde tozuma oluşmasını engeller.
- ◆ Donma-çözülme etkisine karşı dayanıklıdır.
- ◆ Yangın direnci yüksektir.
- ◆ Çatlakların engellenmesiyle elde edilen geçirimsiz betonla birlikte sistemin bakım maliyeti azalır.
- ◆ Çatlak oluşumunun minimize edilmesiyle betona dışardan zararlı madde girişi engellenir. Bu sayede betonun durabilitesi artar.
- ◆ Ekstra işçilik gerektirmeyerek kolay uygulanır.

Makro sentetik fiber donatılı betonların özellikleri:

- ◆ 3 boyutlu çalışarak yüzeyde oluşan negatif momentlere karşı basınç donatısı görevini üstlenir.
- ◆ Yapısı gereği korozif ortamlardan olumsuz etkilenmez.
- ◆ Alkalilere karşı dirençlidir.
- ◆ Yüksek eğilme, çekme ve kesme dayanımı ile darbe ve aşınmalara karşı dirençlidir.
- ◆ Yüksek süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahiptir.
- ◆ Uzun dönem dayanıklılık performansı sağlar.
- ◆ Betonun her noktasına dağılarak betonu sarar ve yüksek aderansla tutunur.
- ◆ Büzülme çatlaklarını ve ısı genleşme etkilerini engeller.
- ◆ Yapısal olarak eğilmede ve yarmada çekme dayanımı sağlayarak çelik hasır ihtiyacını ortadan kaldırır.
- ◆ Çelik hasır donatı montajındaki zaman kaybını ortadan kaldırır.



- ◆ Uygulama süresini kısaltarak operasyonel ve işçilik maliyetlerinden önemli bir tasarruf sağlar.
- ◆ Pas payı gerektirmeyerek beton kalınlığını azaltır.
- ◆ İş güvenliği açısından sahada hasır donatının yarattığı riskleri önler.

Günümüzün inşaat pazarında fiber donatılı betonlar aşağıda belirtilen birçok alanda uygulanmaktadır:

- ◆ Saha betonları ve endüstriyel zeminler
- ◆ Püskürtme betonları
- ◆ Tüneller
- ◆ Kaplama betonları
- ◆ Ray altı betonları
- ◆ Beton yollar
- ◆ Prekast betonları
- ◆ Yangına dayanıklı kaplama betonları
- ◆ 3D baskı betonları

Genellikle geleneksel çelik donatıya kıyasla uygun maliyetli ve kullanımı kolay bir alternatif olan fiberler betonun mühendislik özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır. FDB, çelik donatıların yerine kullanıldığında bu malzemelerin sipariş edilme ve depolanma ihtiyacını, yoğun emek gerektiren donatıyı kesme, birleştirme, yerleştirme ve sabitleme sürecini ortadan kaldırmaktadır. FDB'nin yerleştirilmesi daha hızlı ve güvenli olmaktadır. Fiberler hazır beton üretimi esnasında karışıma katılacağı gibi şantiyede de transmikser içindeki betona ilave edilebilmektedir.

Endüstriyel Zemin Uygulamalarında Sentetik Fiber Donatılı Betonlar

Beton uygulaması yapılmadan önce gerekli zemin iyileştirme işlemleri yapılmalıdır. Zemin mekanik yöntemlerle uygun sıklık derecesine getirilmeli ve gerekli deneylerle (Plaka Yükleme Deneyi, CBR, Kum Konisi ve Proktor gibi) test edilmelidir. Betonun zeminle arasındaki etkileşimine bağlı olarak ağır yükler altında oluşacak kesme direncine karşı fiber donatılı beton tasarımı, statik hesabı uzmanlarınca hazırlanmaktadır.

Sıkıştırılan zeminin tesviyesi yapılır ve saha temizlenir. Yeterli taşıma kapasitesine ulaşan zeminin, istenen hassasiyette tesviyesi yapılmalıdır ve ölçüm aletleri ile tüm sahada kot değerleri not edilmelidir. Uygulaması yapılacak zemin betonu kalınlığı, zemindeki en yüksek kot değeri bulunan bölgeye getirilmelidir.

Soğuk derz olacak yerlerde dikiş donatıları yerleştirilmelidir. Betonun yatay düzlemde serbest olarak hareket edebilmesi için dikiş donatılarının bir tarafına kılıf yerleştirilmelidir veya başka özel sistemler de uygulanabilir. Saha betonu yapılacak zemin üstüne polietilen örtü serilmelidir. Bu örtü beton ve alt zemin arasındaki sürtünmeyi azaltır ve sıvı geçişini engeller. Zemin betonu ile yapının taşıyıcı elemanları ve perde/duvar gibi yapılar arasındaki bağlantı, elastometrik malzemelerle ayrılmalıdır. Tavsiye edilen sentetik fiber kullanım dozajları, proje gereksinimlerine bağlı olarak 2 kg/m³ ve 5 kg/m³ arasına değişiklik gösterir.



Homojen karışım, fiberlerin beton santrallerinde agrega bandına eklenmesiyle veya sahada beton mikserine katılarak en az beş dakika tam hızda çevrim yapılmasıyla elde edilmektedir. Fiberler eğer betonda çözünebilen ambalaj içindeyse paketler betona doğrudan ya da fiberler paketten boşaltılarak katılır. Doğru dozajlama için paketlerin adetleri sayılmalı ve not edilmelidir. Beton temininin aksaması, beton imalatında soğuk derz oluşmasına sebep olacağından, önceden belirlenmiş döküm programına göre imalat yapılmasına özen gösterilmelidir.

Eğer uygulama lazerli masterlama makinesiyle yapılıyorsa, önce gerekli koordinat değerleri girilmelidir. Sonrasında hazırlanan fiber donatılı beton, ana kalıplarına dökülmeli ve lazerli sistem yardımıyla istenilen kod hassasiyetinde vibrasyonla sıkıştırılarak masterlanmalıdır.

Beton serim işleminin ardından sahadaki fiziksel koşulların (sıcaklık, nem, rüzgâr) durumuna göre dökümü takip eden birkaç saat içerisinde (bitmiş beton yüzeyinin parmak izi bırakacak kıvama gelmesinden sonra) tepsi perdah işlemleri yapılmalıdır. Fiberden arındırılmış yüzeyler elde etmek için, perdah makinesinin bıçakları bir süre için düz ayarlanması (örneğin; ilk iki geçiş) ve birbirine dik konumda olması tavsiye edilir. Devam eden geçişler standartlarda tarif edildiği gibi normal teknik ve zamanlamalarla verilir. Süpürgeli beton fırçası veya mala kullanımında, hareketin sadece tek yönde olmasına dikkat edilmelidir. Yüzey sertleştiricili uygulamalarda, yüzey sertleştiricinin beton üzerinde eşit dağılımına özen gösterilmelidir. Priz almaya başlayan beton, üzerinde gezilecek kadar kıvam kazandığında yüzey sertleştirme uygulamasıyla birlikte perdah uygulaması da yapılır. Ardından beton uygun şekilde kürlenmelidir.

Derz kesimi, beton dökümünden itibaren mümkün olan en kısa süre içerisinde yapılmalıdır. Derzler genellikle aks aralıklarına denk getirilir ve ortada bulunan derzler aks aralıklarıyla eşit mesafelerde bulunur. Fiber içeren betonlar için, klasik ıslak bir testere ile yapılan kesim, beton derinliğinin 1/3-1/4'ü aralığında olmalıdır. Bölmelerin Uzunluk/Genişlik oranı 3/2'den küçük olmalıdır ve merkeze olabilecek en yakın mesafede bulunmalıdır. Derz kesim alanlarının ortalama 5-7m x 5-7m olması tavsiye edilir.

İzolasyon derzi, zemin ve bitişik yapı elemanlarının arasında dikey ve yatay hareketin serbestçe oluşmasının gerektiği yerlerde kullanılmalıdır. Saha zemini oturmalarının binaya zarar vermemesi için önemlidir. İzolasyon derzi, duvarla, kolonlarla, ekipman temelleriyle, temel destekleriyle, ya da kanalizasyon şebekesi, rögar, karter ve merdiven gibi sınırlı noktalarla birleşim yerlerinde kullanılmalıdır.

Betonda çimentonun suyla olan hidrasyon reaksiyonunun devam etmesi amacıyla bilinen kür teknikleri uygulanmalıdır. Beton, nemli tutulması durumunda çimento hidrasyon ile birlikte beton dayanım kazanmaya devam eder. Zemin betonları ıslatılarak, üzerine geçirimsiz örtü malzemeleri serilerek ya da kimyasal kür uygulaması ile kürlenebilir. Kür işlemi yapılmadığı takdirde betonda yüzey çatlaklarının oluşması ve dayanımının düşük olması gibi problemler ortaya çıkabilir. Endüstriyel zemin betonu 28 gün sonra tam mukavemetini kazandıktan sonra dizayn yüklerine karşı kullanıma hazır hale gelir.



Tünel Uygulamalarında Sentetik Fiber Donatılı Betonlar

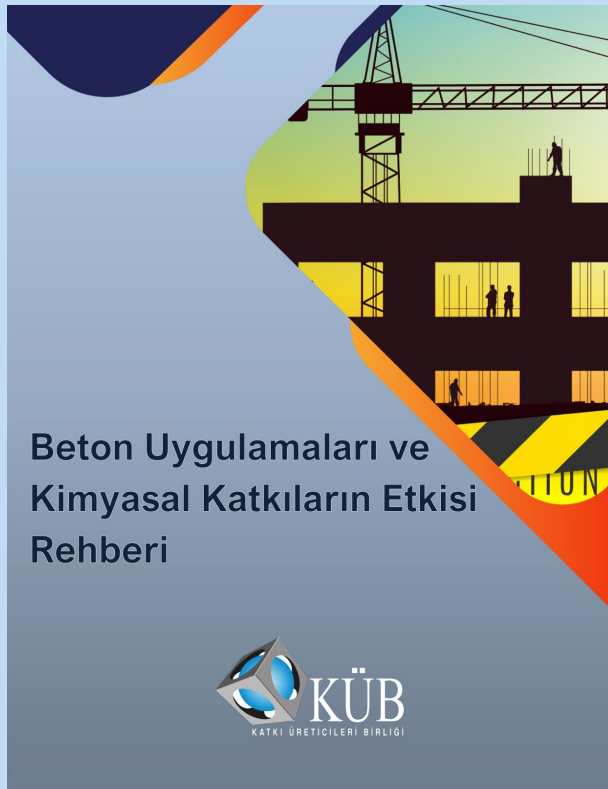
Tünel imalatlarında betonun eğilme mukavemetini artırmak amacıyla kullanılan fiber donatıların geleneksel donatılardan en önemli farkı beton içinde üç boyutlu dağılarak her yönde çalışmasıdır. Bu çok yönlü dağılım, betonun sünekliğini artırarak enerji sönümlenmesini mümkün kılmaktadır ve betonun çatlama sonrası direncini belirgin oranda arttırmaktadır. Zemin kaya hareketleri nedeniyle ortaya çıkan gerilmeler, yüksek tokluk ve deplasman kapasitesine sahip makro fiber donatılı betonla taşınmaktadır.

Püskürtme beton imalatlarının birincil amacı betonu mümkün olan en kısa sürede uygulayarak kazı yapılan alanda meydana gelebilecek ani göçmeleri engellemektir. Bu hızlı uygulama ihtiyacıyla birlikte iş kazalarının yaşanmaması oldukça kritiktir. Özellikle tünel içinde düzgün olmayan kesitlerde geleneksel çelik donatıların taşınması ve yerleştirilmesi son derece zahmetli ve ciddi güvenlik riskleri oluşturabilecek bir süreçtir. Makro sentetik fiber donatılı püskürtme beton uygulamalarında hazır bir şekilde sahaya gelen fiberle güçlendirilmiş betonla kaplama imalatı çok daha hızlı ve güvenli bir şekilde icra edilmektedir. Kazı güvenliğinde sağlanan faydanın yanı sıra beton imalatının hızlanması sayesinde inşaat süresi kısaltmakta, işçilik giderleri azalmakta ve sistem maliyeti büyük oranda düşmektedir. Hızlanan imalatlar tünellerin daha erken hizmete açılmasını sağlar. Sentetik fiber donatıların püskürtme beton imalatlarına bir diğer önemli faydasıysa yüksek basınçla püskürtülen betonun bir kısmının yüzeye çarpma anında geri sıçrayarak kaybedilmesidir. Özellikle mikro sentetik fiberlerin betonda sağladığı yüksek tutuculukla bu geri sıçrama büyük oranda azaltılarak beton zayıfları minimize edilmektedir. Tünel inşaatlarında püskürtme beton sonrasında imalatı yapılan nihai kaplama betonlarında makro sentetik fiber donatılar kullanılabilir.

Teknik uzmanlar tarafından ilgili standartlar doğrultusunda projede gereken artık eğilme mukavemeti ve enerji yutma kapasitesi hesaplanmaktadır. Bu mühendislik hesaplamalarında beton kalınlığı zemin kaya sınıfı ve yük analizi gibi parametreler kullanılmaktadır. Akabinde tasarımı karşılayan fiber donatılı beton reçetesinin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmakta ve fiber dozajının tayin edilmesi için püskürtme betonlarda plaka numuneleri, nihai kaplama betonlarındaysa giriş numuneleri hazırlanmaktadır. Hazırlanan numuneler uygun koşullarda yirmi sekiz gün boyunca kürlendikten sonra akredite laboratuvarlarda test edilmektedir.

Aynı zamanda fiber dozajına göre betonun pompalanabilirliği ve gereken kıvam özellikleri göz önünde bulundurularak agrega granülometrisi ve kimyasal katkı oranları belirlenmektedir. Testler sonucunda dozajı belirlenen fiber donatılar beton santralindeki taşıyıcı bantlar ya da dozimetre aracılığıyla betona karışımına katılmaktadır. Elde edilen homojen dağılımlı betonun eğilme direncini arttırarak her noktada etkin çatlak kontrolü sağlamak ve tünelin servis ömrü boyunca yapısal güvenliğini korumaktadır.

KÜB YAYINLARI





TÜRKİYE PAZARINI %90 ORANINDA TEMSİL EDİYORUZ.

Akkim

chryso
SAINT-GOBAIN

EGECRETE
A licensee of EUCLID CHEMICAL

FOSROC

LYKSOR
Innovation & Trust

MAPEI
YAPIŞTIRICILAR • MASTİKLER • İNŞAAT KİMYASALLARI

onbironendüstriyel

Polisan
YAPIKİM

Sika
BUILDING TRUST

YAPICHEM

kub.org.tr

