

# KÜB

KATKI ÜRETİCİLERİ BİRLİĞİ



## KÜB BÜLTENİ

7

Şubat 2025

# İÇİNDEKİLER

- ❑ **BETONUN DAYANIKLILIĞI VE SERVİS ÖMRÜ** (syf. 1)
- ❑ **BETONDA ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONU** (syf.8)
- ❑ **PÜSKÜRTME BETON UYGULAMASI** (syf. 10)
- ❑ **YAĞIŞLI HAVALARDA BETON DÖKÜMÜ** (syf.21)

## 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](mailto:info@kub.org.tr)

Web sitesi: [www.kub.org.tr](http://www.kub.org.tr)

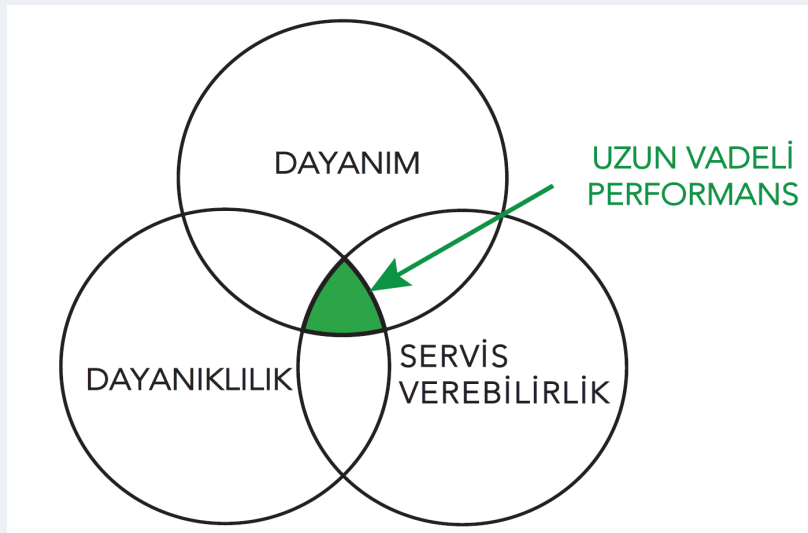




## BETONUN DAYANIKLILIĞI VE SERVİS ÖMRÜ

Beton dünya çapında en çok kullanılan inşaat malzemesidir. Standartlara ve şartnamelere göre uygun bir şekilde üretilmiş ve uygulanmış beton; emniyetli, iyi bir ekonomik değere sahip, uzun ömürlü, kullanışlı ve estetik yapılar için son derece önemli bir unsurdur.

Çoğu yapı geçici olacak şekilde inşa edilmez ve onlarca yıl hizmet vermesi beklenmektedir. Uzun vadeli performans, projenin tasarım ve inşaat aşamasında başlar ve bir yapının belirli bir sıklıkta ve planlanan zaman diliminde belirli düzeyde bakım ve onarımın gerekli olacağı hizmet ömrünü kapsar. Şekil 1'de uzun vadeli performansı oluşturan temel özellikler görülmektedir. Bunlar; dayanım, servis verebilirlik ve dayanıklılıktır.



Şekil 1. Dayanım, dayanıklılık ve servis verebilirliğin uzun vadeli performans ile ilişkisi

### Dayanım

Dayanım ya da mukavemet, cisimlerin çeşitli dış etkiler ve bu dış etkilerin neden olduğu iç kuvvetler karşısında gösterdikleri dirençtir. Dayanım, malzemenin özelliklerine bağlıdır. Bir malzemenin dayanımı; onun aksenal gerilmeye, kayma gerilmesine, bükülmeye ve burulmaya dayanma kapasitesine ve ayrıca bu etkilere karşı şekil değiştirme kapasitesine bağlıdır.

Yapılar kendilerini ve maruz kalınan yükleri destekleyecek şekilde tasarlanır ve inşa edilir. Yeterli dayanıma sahip olmayan bir yapı, uzun vadeli performans bir yana, hiçbir zaman hizmet verme yeteneğine sahip olamaz. Çoğu yapısal tasarımda dayanım öncelikli husustur ve birçok standart ve kodun içeriği çoğunlukla dayanıma ayrılmıştır. Ancak, dayanım tek başına uzun vadeli performans için yeterli değildir.

Dayanım, servis verebilirlik ve dayanıklılık birbiriyle ilişkilidir. Yeterli dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanan bir yapı, tasarım servis ömrüne ulaşmak için yeterli dayanıklılığa veya kullanılabilirliğe sahip olmayabilir. Yapısal tasarım ve detaylandırmadaki çok sayıda husus, dayanıklılığı ve servis verebilirliği etkiler. Bunlar arasında elemanların sürekliliği, birleşim



yerleri, birleşim yeri aralığı, donatı detayları vb. faktörler yer almaktadır. Bu detaylar çoğu zaman bozulmanın ilk görüldüğü yerlerdir.

Bu bilgiler ışığında yapısal dayanımın sadece malzeme dayanımına bağlı olmadığı; ayrıca donatı işçiliği, betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması, bakımı ve kürü gibi uygulama aşamalarından da etkilendiği net olarak söylenebilir. İlave olarak korozyon, sülfat saldırısı ve alkali-silika reaksiyonu gibi dayanıklılıkla ilgili mekanizmalar betonarme yapıların dayanımını ve dayanıklılığını, dolayısıyla yapısal bütünlüğünü olumsuz etkiler.

### **Servis Verebilirlik**

İnşaat mühendisliği ve yapı mühendisliğinde servis (hizmet) verebilirlik, bir yapının hala kullanışlı kabul edildiği koşulları ifade eder. Yani servis verebilirlik; bir yapının verimli kullanımını etkileyen performansın, kullanıcı bakış açısından değerlendirilmesi olarak tanımlanır. Estetik, deformasyon, aşırı titreşim, yangına dayanıklılık, su geçirmezlik gibi durumları içeren servis verebilirlik; geçici veya kalıcı olabilir. Bu sınır durumların aşılması halinde, yapısal olarak sağlam olabilen bir yapının yine de uygun olmadığı değerlendirilebilir. Yapıları kullanılamaz hale getiren, dayanım dışındaki koşulları ifade eder. Örneğin, bir gökdelen şiddetli bir şekilde sallanabilir ve içinde bulunan insanların bundan rahatsız olmasına neden olabilir (tıpkı deniz tutması gibi). Yapısal olarak sağlam olan bu yapı, insan yerleşimine uygun olmadığından dolayı servis verebilirlik sınırını aşmış olarak değerlendirilir. Daha yaygın bir örnek ise yüksek rutubete maruz kalan bodrum katlarıdır. Yapısal olarak dayanım açısından sorun yaşanmasa dahi bu tür ortamlar konforsuz ve sağlık açısından riskli değerlendirilebilir.

Yapısal çatlaklar gibi çok sayıda hizmet verebilirlik sorunu, dayanıklılık kaybına da neden olabilmektedir. Donma-çözülme nedeniyle tabaka atma/pullanma/dökülme (örneğin beton yolların dökülen yüzeyleri sürüş konforunu olumsuz etkiler) veya alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşan çatlaklar, yapının artık işlevsel olmamasına veya sızıntılara (örneğin su tutma havuzları, savak kapakları, dolu savaklar) yol açabilmektedir. Bir dayanıklılık problemi nedeni ile hasar oluştuğunda başka hasar mekanizmaları da devreye girip yapının hasar görme hızı artabilir. Örneğin sülfat etkisi nedeni ile oluşan çatlama, donatı korozyonunun başlamasına dolayısıyla daha hızlı bir bozulma sürecine dönüşebilir. Uygunsuz drenaj gibi sorunlar hem dayanıklılığı hem de servis verebilirliği etkilemektedir.

### **Dayanıklılık**

Şekil 2'de görülen MS 72 civarında inşa edilmiş Roma Kolezyumu yaklaşık iki bin yıllıktır. Bu yapının dayanıklılığı, yapısal tasarıma ve Roma çimentosu ile üretilen donatı içermeyen betona dayanmaktadır. Tasarımcıların ve inşaatçıların bu ikonik eseri bu kadar uzun süre dayanacak şekilde inşa etmeyi amaçlamış olmaları pek olası değil, ancak modern tasarım profesyonelleri ve inşaatçılar eski yapılardan neyin işe yarayıp neyin yaramadığını öğrenebilme imkanına sahiptir.





Şekil 2. Roma Kolezyumu

Günümüzde dayanıklılık, bir malzemenin veya yapının büyük bir onarım veya rehabilitasyona gerek kalmadan belirli bir süre boyunca hizmet ortamında servis verebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Daha teknik bir ifade ile dayanıklılık; yapısal bir tasarımın korozyon, yorulma, sünme, çatlama, yangın, kimyasal bileşenler ve hava koşulları gibi çevresel faktörlerden kaynaklanan bozulmaya ve hasara karşı direnç gösterme yeteneğidir.

Dayanıklılık için zaman dilimini tanımlamak, yapıların bütçe veya çevre üzerindeki etkisini en aza indirecek şekilde başarıyla yönetilmeleri açısından kritik öneme sahiptir. Buna ek olarak, dayanıklılıkla ilgili tanımlar sıklıkla hem dayanımdan hem de servis verebilirlikten de bahseder. Çoğu zaman, birindeki eksiklik diğer ikisinde de eksikliğe yol açabilmektedir. Örneğin drenajı uygun olmayan bir saha zemininde:

1. Başlangıçta, bir saha betonu üzerindeki göllenme öncelikle bir hizmet verebilirlik sorunudur.
2. Bununla birlikte zamanla bu göllenme korozyona neden olabilir, derz dolgularının bozulmasını hızlandırabilir veya genleşme derzlerinde suyun birikmesine neden olabilir. Bunlar dayanıklılıkla ilgili sorunlardır.
3. Hızlandırılmış korozyon hem dayanıklılık hem de servis verebilirlik açısından endişe verici olan çatlamanın artmasına ve sonuçta dayanım kaybına neden olabilir.

Betonun dayanıklılığı; fiziksel ve kimyasal özellikler, servis ortamı ve tasarım ömrü gibi birçok faktöre bağlıdır. Şiddetli bir spesifik ortamda tatmin edici performans gösteren bir beton, başka bir çevresel etki ortamında düşük ya da orta dereceli olarak kabul edilen bir durumda zamanından önce bozulabilir. Örneğin yüksek derecede zararlı kimyasal ortama (XA3) maruz kalan bir yapının klorür etkisine ya da donma-çözülme etkisine de dirençli olması beklenmemelidir. Bu esas olarak çeşitli maruz kalma koşullarına betonun göstereceği direnç farkından kaynaklanmaktadır.

Fiziksel özellikler genelde agresif maddelerin betonun içine ve dışına hareketi açısından tartışılmaktadır. Kimyasal özellikler, hidrate olmuş çimentonun esas olarak kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), kalsiyum alüminat hidrat (C-A-H) ve kalsiyum hidroksit (Ca(OH)<sub>2</sub>) olmak üzere



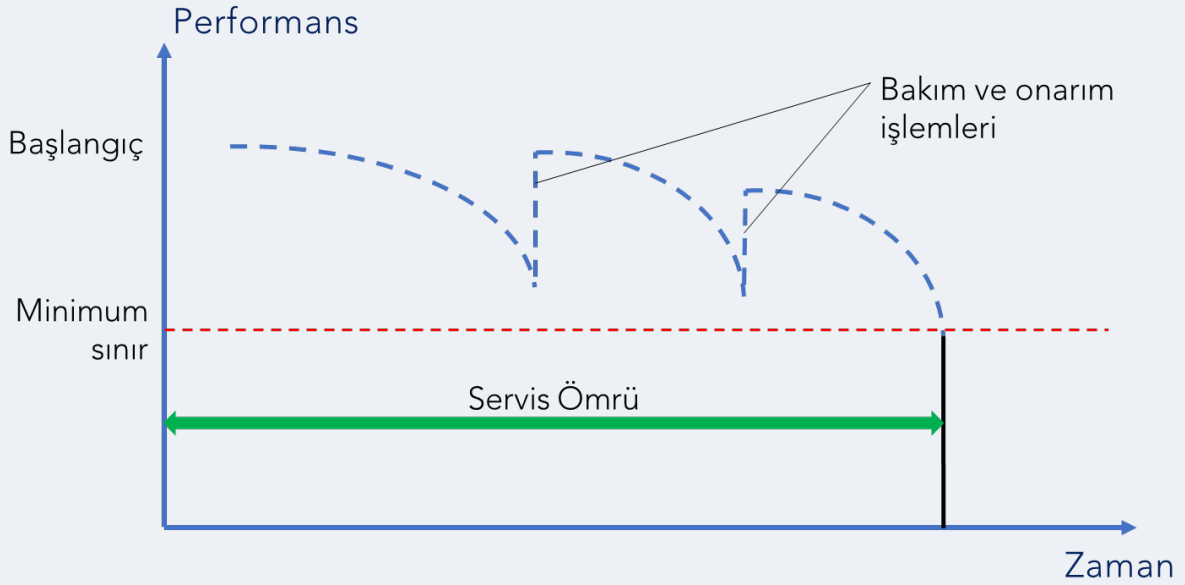
hidratasyon ürünlerinin miktarına ve niteliğine atıfta bulunur. Nüfuz eden maddelerin bu hidratlarla reaksiyonları inert, yüksek oranda çözünür veya genleşebilen ürünler oluşturmaktadır. Kimyasal saldırının şiddetini belirleyen ise bu reaksiyon ürünlerinin doğasıdır. Betonda fiziksel hasar, kısıtlama altında genleşme veya büzülme nedeniyle (örneğin kuruma büzülme çatlama, donma-çözülme etkisi, döngüsel ıslanma ve kuruma) veya servis sırasında aşınma, erozyon veya yangına maruz kalma sonucu meydana gelebilir. Yüzey katmanı ve örtü bölgesi (pas payı) çevreden gelebilecek fiziksel ve kimyasal saldırılara karşı ilk savunma hattı görevi görmesi nedeniyle dayanıklılıkta çok önemli bir rol oynamaktadır.

Yüksek dayanıklılık performansının ancak tasarım kriterleri, inşaat süreçleri ve bakımın birbiriyle bağlantılı olması durumunda elde edilebileceği yaygın bir kanıdır. Beton örtüsü, betonarme bir yapı içindeki çelik donatıları çevreleyen ve koruyan beton katmanının kalınlığını ve niteliğini ifade eder. Bu bağlamda beton örtüsü, donatı çeliğinin korozyona karşı korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Rutubet, yangın, kimyasallar ve diğer çevresel faktörler gibi dış etkenlere karşı bariyer görevi görerek çelik donatıyı korozyondan korur ve tüm sistemin yapısal bütünlüğünü sağlar. Bu nedenle bir betonarme yapının dayanıklılığı, uygun bir inşaat süreci ile garanti edilmesi gereken, çelik donatıları örten ve koruyan beton kalınlığı (pas payı) ile doğrudan ilişkilidir.

Dayanıklılık olmadan bir yapı, beklenen servis ömrü için dayanım ve hizmet verebilirlik gereksinimlerini asla karşılayamaz. Bu karşılıklı ilişkiler nedeniyle dayanıklılık bazen anlaşılması zor bir kavram olarak kabul edilir. Özet olarak "bir malzemenin veya yapının hava koşullarına, kimyasal saldırıya, aşınmaya ve diğer çevre koşullarına direnme ve belirli bir süre boyunca hizmet verilebilirliğini sürdürme yeteneği" olarak tanımlanır. Tanımlar belirli bir süre için minimum performans gerektirir ve bu da "tasarım servis ömrüne" eşdeğerdir.

### **Servis Ömrü Sonu**

Yukarıda belirtilen uzun vadeli performans çerçevesi bağlamında servis ömrünün sonu, performansın bazı yönlerinin (örneğin dayanım, dayanıklılık, fonksiyonellik/estetik) bozulması ve azalması nedeniyle kabul edilebilir bir eşiğin altına düştüğü zaman olarak düşünülebilir. Bu durumda onarım maliyetleri çok yüksek kabul edilir. Basitçe söylemek gerekirse, servis ömrünün sonu, bir yapının artık istenen işlevi yerine getiremeyeceği ve müdahale önlemlerinin artık maliyet etkin olmayacağı zamandır. Şekil 3'te görüldüğü gibi yapıda zamanla performans azalmakta ve onarımlarla performans iyileştirilebilmektedir, ancak belli bir minimum performans değerinin altında teknik ve ekonomik olarak yapının servis ömrü sonuna gelmektedir.



Şekil 3. Servis ömrü ve yapı veya beton performansı ilişkisi

Dayanıklılık için servis ömrünün tanımlanması bağlamında, yeni yapılarla mevcut yapıların değerlendirilmesindeki farklılıktan kaynaklanan zorluklar bulunmaktadır. Genel görüş ister yeni ister mevcut olsun, tasarımda muhafazakâr bir yaklaşım benimseyerek servis ömrünü; hasarın veya kabul edilemez durumun ortaya çıkmasından önceki süre olarak tanımlamaktır. Ancak, durum değerlendirmesi yapılırken ve müdahale edilip edilmeyeceği belirlenirken, servis ömrünün tanımlandığı şey genellikle dayanıklılık performansının kendisinden ziyade dayanıklılık performansının dayanım ve servis verebilirlik üzerindeki sonuçlarıdır. Bu durumlarda servis ömrünün sonunun belirlenmesi, tasarım sınır durumlarından ziyade kullanıcı tanımlı sınır durumlarına dayanır.

Servis ömrünün sonunu tanımlama zorluğunun belki de en iyi örneği, klorür tuzlarından ya da karbonatlaşmadan kaynaklanan korozyondur. Tasarımda hizmet ömrünün sonu, tasarım uzmanları tarafından, klorür konsantrasyonunun başlangıç eşiğini aştığı ve korozyonun başladığı nokta olarak kabul edilir ancak bu korozyon başlangıcının fiziksel hasar olarak kendisini göstermesi yıllar alabilmektedir. Ayrıca korozyonun, yapının artık yeterli dayanıklılığa sahip olmadığı veya servis verebilirliğinin etkileneceği noktaya kadar yayılması da yıllar sürebilir. Gerçekçi olmak gerekirse, hiçbir tasarım profesyoneli veya yapı sahibi, özellikle onarım önlemlerinin mümkün olduğu durumlarda, çelik arayüzüne kritik düzeyde klorür ulaştığında yapının servis ömrü sonuna geldiğini kesin olarak kabul etmez. Bu genellikle yeni yapıların ilk tasarımı sırasında benimsenen bir yaklaşımdır.

Servis ömrü sonunun doğrudan ele alınmasındaki diğer bir zorluk da kabul edilebilir eşik performansın öznel doğasından kaynaklanmaktadır. Klorür kaynaklı korozyona duyarlı betonarme eleman örneğine dönülecek olursa, eğer korozyon başlangıcı servis ömrünün kesin olarak sonu değilse; kabul edilemez performans için birden fazla seçenek mevcut olmalıdır. Korozyona bağlı çatlama, potansiyel eşik sınır durumlarından biridir; ufalanmanın ortaya çıkışı ise alternatif bir sınır durumu olabilir çünkü dökülme potansiyel olarak güvensiz



bir durum oluşturur. Sayısız seçenek ve bunların farklı yapılar üzerindeki etkileri nedeniyle limit durumu tanımlamak zordur.

Bakım ve onarımın servis ömrü süresine etkisi de yüksektir. Düzenli bakım, dayanıklılık kaybına bağlı bozulma oranını ve erken hasar veya hızlı bozulma riskini azaltır.

### Tasarım Servis Ömrü

Servis ömrü sonu konseptleri, bir yapının artık kullanışlı olmadığı süreye veya yapının kritik bir eşiğe ulaşana kadar geçen süreye odaklanır ancak iyi zamanlanmış beton bakım ve onarımları hizmet ömrünü uzatabileceğinden, bu kavramlar hizmet halindeki yapıların yönetilmesi açısından pratik olmayabilir. Bu nedenle "tasarım servis ömrü", "hedef tasarım servis ömrü" veya "çalışma servis ömrü" kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram; AASHTO, ISO, EN, fib, ACI gibi küresel standartların da tercih ettiği bir terminolojidir. Kısaca "tasarım servis ömrü", ISO 16311-1'e göre "bir yapının veya elemanlarının, büyük bir onarım gerektirmeden, belirlenen amaç için kullanılacağı, yapının tasarımında belirtilen süre"dir. Tablo 1'de EN 1990 -Eurocode Yapı Tasarım Esasları Standardına göre çeşitli yapı tiplerinin en az tasarım servis ömrü belirtilmektedir.

Tablo 1. Tasarım kategorisine göre belirlenen tasarım servis ömrü ve örnekleri

Tasarım Kategorisi	En az tasarım servis ömrü (yıl)	Örnekler
1	10	Geçici yapılar
2	10-25	Değiştirilebilir yapı kısımları, örnek olarak; kren kirişleri, mesnetler
3	15-30	Zirai yapılar ve benzerleri
4	50	Binalar ve diğer yaygın yapılar
5	100	Anıt yapılar, köprüler ve inşaat mühendisliği alanına giren diğer yapılar

Tasarım uzmanları için daha önemli olan husus; yapının dayanıklılığını, ilk onarımların ne zaman yapılması gerektiğini ve tasarımın servis ömrüne ulaşmak için hangi bakımların gerekli olduğunu açıklayan bir öngörüye sahip olmaktır. Tasarım servis ömrü kavramı aynı zamanda bir tasarım profesyonelinin, tasarım servis ömrü karşılandığında veya önceden tanımlanmış diğer kriterler karşılandığında sorumluluğunu potansiyel olarak sınırlamasına da olanak tanır.





### **Betonda ve betonarme yapılarda bozulmanın iki aşaması aşağıdaki gibidir:**

1. **Başlangıç aşaması:** Bu aşamada malzemede gözle görülür bir zayıflama veya yapının işlevinde bir azalma meydana gelmez ancak koruyucu bariyerin bir kısmı agresif ortam tarafından kırılır veya aşılır. Karbonatlaşma, klorür migrasyonu ve sülfat atağı başlangıç periyodunun süresini belirleyen mekanizmalara örnektir.
2. **Yayıma aşaması.** Bu aşamada aktif bir bozulma meydana gelir ve fonksiyon kaybı oluşur. Zamanla artan oranda bir takım bozulma mekanizmaları gelişir. Donatı korozyonu, bozulmanın yayılmasına önemli bir örnektir.

Betonarme yapılar; beton ve çelik donatı olmak üzere iki malzemeden oluştuğundan, betonun bozulması ile donatının korozyonu arasında ayırım yapmak gerekmektedir. Betonarme yapıların bozulması; mekanik, kimyasal, fiziksel ve elektrokimyasal mekanizmaları içermektedir. Tablo 2’de TS EN 1504-9’a göre beton ve donatıda yaygın olarak görülen bozulmaların nedenleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Yaygın olarak bilinen bozulma nedenleri

Beton	Donatı Korozyonu
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Mekanik<ul style="list-style-type: none"><li>○ Aşınma</li><li>○ Yorulma</li><li>○ Darbe</li><li>○ Aşırı yükleme</li><li>○ Hareket (oturma gibi)</li><li>○ Patlama</li><li>○ Titreşim</li></ul></li><li>2. Kimyasal<ul style="list-style-type: none"><li>○ Alkali-agrega reaksiyonu (ASR ve ACR)</li><li>○ Zararlı maddeler (sülfatlar, GEO, tuzlar, yumuşak su gibi)</li><li>○ Biyolojik etki</li></ul></li><li>3. Fiziksel<ul style="list-style-type: none"><li>○ Donma-çözülme</li><li>○ Isıl tesirler</li><li>○ Tuz kristalleşmesi</li><li>○ Büzülme</li><li>○ Malzeme kaybı</li><li>○ Yangın</li></ul></li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Karbonatlaşma</li><li>2. Korozif kirleticiler<ul style="list-style-type: none"><li>○ Deniz suyu</li><li>○ Yollara serpilen tuz</li><li>○ Beton bileşenlerinden gelen tuz</li><li>○ Diğer kirleticiler</li></ul></li><li>3. Kaçak akımlar</li></ol>

Betonarme bir yapının dayanıklılığını belirleyen, çevre ile etkileşime girdiğinde her malzemenin bozulma mekanizmaları arasındaki olası etkileşimdir. Önemli olan her bir malzemenin potansiyel dayanıklılığından ziyade yapının bulunduğu ortamdaki performansı ve dayanıklılığıdır.



## BETONDA ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONU

Bazı kayaç türleri, çimentodaki alkalilerden ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) türetilen gözenek suyundaki hidroksitlerle reaksiyona girerek betona zarar verebilen reaktif silika içermektedir. Bu reaksiyona alkali-silika reaksiyonu denilmektedir. Alkali-silika reaksiyonu (ASR) hasarının görsel işaretleri, beton yüzeyindeki çatlaklardan gelen jellerle birlikte ortaya çıkan çıkıntılar veya Şekil 1'de görülen "harita" çatlaklarıdır.



Şekil 1. Alkali-silika reaksiyonu sonucu oluşan harita çatlakları

ASR, çimento hidratasyonu sonucu açığa çıkan alkali iyonların agregadaki reaktif silis içeren minerallere saldırmasıyla başlar ve agregaların yüzeyinde veya gözeneklerinde alkali-silis jeli oluşumuna neden olur. Oluşan jel; suyu emerek şişer ve bölgesel genleşmeye ve çatlamaya neden olur. Bu da agrega bütünlüğünü veya agrega ile hidrate çimento hamuru arasındaki bağı (aderansı) bozar. Su, betonun içine nüfuz ettikçe jel katı fazdan sıvı faza geçer. Sıvı jelin bir kısmı daha sonra su ile süzülür ve çatlaklarda birikir.

ASR nedeniyle oluşan hasar; yapı sahiplerinde ve özellikle de birçok inşaat mühendisliği yapısının (barajlar, iskeleler ve köprüler) yapısal bütünlüğünden sorumlu olan yetkililerde büyük endişeye neden olabilmektedir. Bununla birlikte, ASR'nin ne ölçüde zararlı olabileceği; agregaların doğası ve boyutu, reaktif silika miktarı, alkali konsantrasyonu ve nemin mevcudiyeti gibi belirli kritik koşullara bağlıdır.

Alkali-karbonat reaksiyonu olarak bilinen bazı dolomitik kireç taşları ile çimentodaki alkaliler arasındaki reaksiyon da betona zarar verebilmektedir. Ancak reaktif karbonat kayaçları çok yaygın değildir.

ASR yalnızca yüksek pH'ta gerçekleşmektedir çünkü silisli minerallerin çözünürlüğü pH arttıkça artmaktadır. Düşük alkali içeren çimento kullanımı alkali içeriğini ve dolayısıyla gözenek çözeltisinin pH'ını kontrol etmektedir. Reaktif alkali içeriği genellikle alkali eşdeğeri ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,65 \text{K}_2\text{O}$ ) cinsinden ifade edilir ve maksimum seviye genellikle çimento kütlesinin



%0,6'sı veya 3,0 kg/m<sup>3</sup> beton olarak kabul edilir. Puzolanik malzemeler içeren katkılı çimento kullanımı ya da beton üretiminde doğrudan bu mineral katkıların kullanımı çeşitli nedenlerden dolayı ASR açısından faydalıdır. Bunlardan en önemlileri puzolanik reaksiyonla oluşan C-S-H oluşumu, geçirgenliğin azalması ve pH'ın düşmesidir.

Silika jelinin şişmesi yalnızca suyun varlığında meydana gelmektedir ancak pratikte, özellikle su tutan yapılarda, suyu açıktaki betondan uzak tutmak neredeyse imkansızdır. Servis koşullarında suyun varlığı nedeniyle baraj, iskele ve rıhtım gibi yapılar ASR saldırılarına karşı diğer yapılara göre daha savunmasızdır.

### ALKALİ – SİLİKA REAKSİYONU (ASR) ÖZET BİLGİ

<b>ASR'nin nedenleri</b>	Reaktif silis içeren agrega ve yüksek alkali içeren çimento kullanımı ve ortam rutubeti
<b>ASR'nin zararları</b>	ASR, çimento hidratasyonu sonucu açığa çıkan alkali iyonların agregadaki reaktif silis içeren minerallere saldırmasıyla başlar ve agregaların yüzeyinde veya gözeneklerinde alkali-silis jeli oluşumuna neden olur. Oluşan jel; suyu emerek şişer ve bölgesel genleşmeye ve çatlamaya neden olur. Zamanla yapısal bütünlük kaybolur.
<b>Beton tasarımında dikkat edilmesi gerekenler</b>	TS 13515'teki çevresel etki koşulları dikkate alınarak uygun çevresel etki sınıfı belirlenmelidir. Düşük alkali içeren çimentolar ve uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıları tercih edilmelidir. Reaktif silis içeren agrega kaynakları tercih edilmemelidir. Betonun su/bağlayıcı oranı düşük olmalıdır.
<b>Uygulama esnasında dikkat edilmesi gerekenler</b>	Uygulama esnasında betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve kürüne son derece dikkat edilmelidir. Su yalıtımı uygulaması dikkatli yapılmalıdır.
<b>Kimyasal katkıların etkisi</b>	Süperakışkanlaştırıcı beton kimyasal katkıları betonun su/bağlayıcı oranını azaltarak daha geçirimsiz bir yapı oluşmasını sağlar. Lityum tuzları ve bazı metal oksitler gibi alkali-silika reaksiyonu azaltıcılar kullanılarak etki azaltılabilir.



### PÜSKÜRTME BETON UYGULAMASI

Püskürtme beton olarak da bilinen "shotcrete" işlemi, hava kompresörleri veya diğer özel ekipmanlar aracılığıyla yüksek hızda püskürtülen betonun yüzeylere uygulanması işlemidir. Püskürtme betonunun kalitesi, kullanılan malzemelerin ve katkı maddelerinin niteliğine bağlıdır.

Püskürtme beton kuru ve ıslak karışım olarak iki tipte sınıflandırılmaktadır. Kuru karışımda, kuru bileşenler püskürtme beton makinesine verilir ve daha sonra nozuldaki su ile birleştirilir. Islak karışım, makineye beslenmeden önce malzemelerin suyla önceden karıştırılmasını içerir. Her iki yöntemin de avantajları vardır ve belirli proje gereksinimlerine göre seçilir.

Püskürtme beton uygulamaları çok sayıda ve çeşitlidir. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmektedir:

**Yapısal Onarım ve Rehabilitasyon:** Püskürtme beton; köprüler, tüneller, barajlar ve binalar gibi mevcut yapıların onarılması ve güçlendirilmesi için yaygın olarak kullanılır. Yapısal bütünlüklerini geri kazanmak ve ömürlerini uzatmak için boru ve kanalizasyonlar gibi hasarlı veya bozulmuş alanlara uygulanabilir.

**Yeraltı İnşaatı:** Püskürtme beton, tüneller, metro sistemleri, madenler ve mağaralar gibi yeraltı yapılarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kazılan yüzeylere etkili destek sağlar ve toprak erozyonunu ve su girişini önlemeye yardımcı olur.

**Kaya ve Şev Stabilizasyonu:** Püskürtme beton, şevleri stabilize etmek, toprak erozyonunu önlemek ve heyelan riskini azaltmak için etkili bir çözümdür. Yapısal takviye sağlamak ve hava koşullarına ve erozyona karşı korumak için eğimlerin yüzeyine uygulanır.

**Yüzme Havuzları ve Su Özellikleri:** Püskürtme beton, yüzme havuzlarının, su parklarının ve dekoratif su özelliklerinin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dayanıklı ve su geçirmez bir yapı sağlarken karmaşık şekil ve tasarımların oluşturulmasına izin verir.

**Mimari ve Sanatsal Uygulamalar:** Püskürtme beton, inşaatta karmaşık mimari tasarımların, heykellerin ve sanatsal öğelerin oluşturulmasını sağlar. Çok yönlülüğü, geleneksel inşaat yöntemleriyle elde edilmesi zor olabilecek benzersiz ve özelleştirilmiş yapıların gerçekleştirilmesine izin verir.

**Koruyucu Kaplamalar:** Püskürtme beton, açık deniz yapıları, deniz duvarları ve endüstriyel tesisler gibi zorlu çevre koşullarına maruz kalan yüzeylere koruyucu kaplamalar uygulamak için kullanılabilir. Püskürtme beton tabakası korozyona, aşınmaya ve kimyasal saldırılara karşı bir bariyer görevi görür.



Şekil 1. Püskürtme beton uygulaması

### Püskürtme Beton Özelliklerini Etkileyen Parametreler

Beton tasarımı	Uygulama	Ortam şartları
<ul style="list-style-type: none"><li>Çimento/bağlayıcı tipi ve miktarı</li><li>Su/çimento (su/bağlayıcı) oranı</li><li>Agreganın mineralojik yapısı</li><li>Kimyasal katkı türü</li><li>Mineral katkı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Metot</li><li>Ön hazırlık</li><li>Püskürtme</li><li>Kürleme</li><li>Operatör yetkinliği</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Sıcaklık</li><li>Su</li><li>Yüzey tipi</li><li>Yüzey kalitesi</li><li>Yapım yöntemi</li></ul>

TS EN 14487-2 Standardına göre püskürtme beton uygulaması aşağıda belirtildiği şekilde yapılmaktadır:

#### Uygulama Öncesi Hazırlık İşlemleri

- ⇒ Tüm zayıf ve gevşek kayalar kaldırılmalıdır.
- ⇒ Zemindeki su kaçaklarının püskürtme beton kalitesine zarar vermesini önlemek amacıyla zemin suyu, hortum, boru veya diğer drenaj sistemleri ile toplanmalıdır.
- ⇒ Belirtilen herhangi bir kaya mekaniği cihazı montajlanmalıdır.
- ⇒ Püskürtme öncesi basınçlı su jeti ile toz, moloz ve diğer atık malzemeler kaldırılmalıdır.
- ⇒ Alt tabakanın su emmesi ve sonrasında püskürtme beton üzerinde olumsuz bir etki riski göz önünde bulundurularak püskürtme öncesi ilave ön ıslatma ihtiyacı dikkate alınmalıdır.
- ⇒ Çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda çalışma yapılırken püskürtme betonun kalitesini sağlamak için önlemler alınmalıdır.





- ⇒ Ortam sıcaklığının püskürtme veya kür işlemi süresince 0oC'nin altında beklenmesi durumunda, donma nedeniyle oluşan hasara karşı betonun korunması için önlemler planlanmalıdır.
- ⇒ Ortam sıcaklığının püskürtme veya kür işlemi süresince yüksek tahmin edilmesi durumunda, hasar etkilerine karşı betonun korunması için önlemler planlanmalıdır.

### **Tamir, İyileştirme ve Serbest Duran Yapılar İçin Hazırlık İşlemleri**

- ⇒ İş iskelesi, kalıp iskelesi ve kalıp için genellikle TS EN 13670-1 uygulanır.
- ⇒ İskele ve kalıp çok fazla şekil değiştirme oluşmayacak şekilde geri sıçrayan ve dökülen malzemeyi de içeren tüm yükleri taşımak için yeterince sağlam olmalıdır,
- ⇒ Nozul kullanan operatörün çalışma güvenliği sağlanmalıdır,
- ⇒ Nozul ile uygulama yüzeyi arasında yeterli mesafe sağlanabilecek şekilde yerleştirilmelidir
- ⇒ İşlem yapılacak elamanın tüm kısımlarına kolay erişime izin vermelidir.
- ⇒ Püskürtme beton işlemleri için kalıp, geri sıçrayan ve dökülen malzemeyi önleyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- ⇒ Püskürtme betonun, tamamen temiz, pürüzlü ve kusur bulunmayan yüzeye uygulanması önemlidir. Alt tabaka yüzeyini aşındırma kapasitesine sahip yüksek basınçlı su jeti veya kum püskürtme yöntemleri önerilir.
- ⇒ Tamir ve iyileştirme amacıyla beton alt tabakasının hazırlanması ve donatının yerleştirilmesi, TS EN 1504-10'a uygun olmalıdır
- ⇒ Tamir ve iyileştirme amacıyla, mevcut beton alt tabakasının (veya diğer gözenekli malzeme) ön-ıslatmasında EN TS 1504-10 dikkate alınmalıdır.
- ⇒ Püskürtme işlemi yapılacak kısımla temas halindeki kalıp veya taşıyıcı kısımlar, püskürtme betonun donma etkisine karşı yeterli dayanım direncine sahip olmadan önce donmasını engelleyecek bir sıcaklığa sahip olmalıdır.
- ⇒ Püskürtme veya kür işlemi süresince ortam sıcaklığının 0°C'nin altında beklenmesi durumunda, donma nedeniyle oluşan hasara karşı betonun korunması için önlemler alınmalıdır.
- ⇒ Ortam sıcaklığının püskürtme ve kür işlemi süresince yüksek olacağının tahmin edilmesi durumunda, hasar etkilerine karşı betonun korunması için önlemler alınmalıdır.

### **Donatılar**

- ⇒ Donatılar; hasır, çubuk veya fiber şeklinde olabilir.
- ⇒ Zemin güçlendirme için kafes kiriş ve çelik bağlantılar bu malzemelerin ilgili şartnamelere uygunluğu sağlandıktan sonra püskürtme beton içerisinde kullanılabilir.
- ⇒ Püskürtme beton yapılar için çubuk ve hasır donatılar, EN 13670-1'e uygun olmalıdır.
- ⇒ Donatı için kullanılan çelik ve polimer fiberler sırasıyla EN 14889-1 veya 14889-2'ye uygun olmalıdır.
- ⇒ Donatı, püskürtme işlemi süresince yerinde kalacak ve sarsılmayacak şekilde sabitlenmelidir,



- ⇒ Donatı çubuklarının tasarımı ve yerleştirilmesi, gölge etkisini en aza indirmek ve sıkıştırmayı artırmak amacıyla püskürtme işlemine uygun olarak yapılmalıdır,
- ⇒ İki veya daha fazla hasır donatı tabakasının birleştirilmesi durumunda, alt hasır donatı tabakası, önceki püskürtme beton tabakasından en büyük agrega boyutunun en az iki katı mesafeye yerleştirilen üst hasır donatısına sabitlenmeden önce püskürtme beton içine gömülmelidir (hasır donatı tabakası içinde gerekli bindirme uygulanmaz),
- ⇒ Basınçlı hava, uygun donanım kullanılarak yağdan arındırılmalıdır (örneğin, yağ ayırıcı).

### **Donanımlar**

- ⇒ Bileşen malzemeler, iklim, birbirine karışma veya kirlenme gibi etkiler nedeniyle malzeme özellikleri önemli ölçüde değişmeyecek ve bunların ilgili standarda uygunluğu korunacak şekilde depolanmalı ve taşınmalıdır.
- ⇒ Depolama bölmeleri, bileşen malzemelerin kullanımındaki hataları önlemek için belirgin bir şekilde işaretlenmelidir.
- ⇒ Bileşen malzeme tedarikçilerinden alınan özel talimatlar dikkate alınmalıdır.
- ⇒ Tesisler, depo, silo ve ambarlardan numune alımına olanak sağlamalıdır.
- ⇒ Hazır harmanlanmış kuru karışımların kullanılması durumunda, bu karışımlar EN 1504-3'e uygun olmalıdır.
- ⇒ Islak ve kuru karışım püskürtme yöntemleri için karıştırıcılar, bileşen malzemelerin uniform dağılımını sağlama kapasitesine sahip olmalıdır.
- ⇒ Genellikle beton akışı zamana göre sabit değildir bu nedenle priz hızlandırıcı katkı maddelerinin ilave oranı, beton imalat miktarıyla eş zamanlı olmalıdır.
- ⇒ Çelik ve polimer fiberler kullanıldığında fiber uzunluğu, tıkanma olmaksızın püskürtülebilecek fiber uzunluğu deneysel olarak belirlenmedikçe kullanılan boru veya hortum iç çapının %70'ini aşmamalıdır.
- ⇒ Donanım, malzeme ve betonla ilgili muayene ve deney işlemleri için gerekli olması durumunda, ihtiyaç duyulan tüm gerekli tesis, donanım ve talimatlar kullanıma uygun şekilde hazır bulundurulmalıdır.
- ⇒ İlgili deney donanımlarının kalibrasyonu zamanında yapılmalı ve kalibrasyon işlemleri kaydedilmelidir.

### **Harmanlama, karıştırma ve beton sevkiyatı**

- ⇒ Çimento, agregalar, fiberler, kimyasal katkı maddeleri ve toz haldeki mineral katkıları kütlice tartılarak harmanlanmalıdır. İstenilen harmanlama doğruluğunun sağlanabildiği ve belgelendirilebildiği durumlarda, hacimsel ölçümü içeren diğer yöntemlere izin verilir.
- ⇒ Karışım homojen bir görünüme sahip olana kadar karıştırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Fiber ilavesi yapılması durumunda, karışım içinde uniform bir dağılımın sağlanması için özel önlemler alınmalıdır.
- ⇒ Taşıma veya püskürtme esnasında püskürtme makinesinden yere dökülen herhangi bir karışım yeniden kullanılmamalıdır.



### Kuru karışım işlemi:

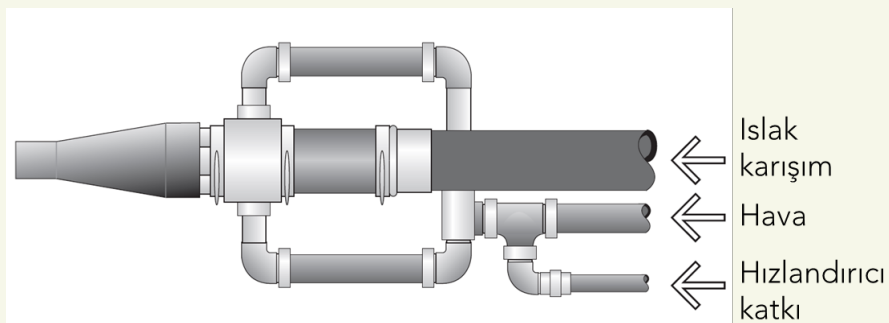
- ⇒ Püskürtme işlemi sonuna kadar taze betonun yeterince işlenebilir kalması için uygun önlemler alınmalıdır.
- ⇒ Nemli agregaya sahip kuru karışım bileşenler genellikle karışımdan sonraki 90 dakika içerisinde uygulanmalıdır.
- ⇒ Bir harmanın püskürtme işlemi bitene kadar 90 dakikadan daha fazla zamana ihtiyaç duyulması durumunda, seçilen önlemler ile sağlanan işleme süresi gösterilmeli ve önceden doğrulanmalıdır.
- ⇒ Etüv kurusu agregaya sahip kuru karışım bileşenler, sınırlı bir süre için depolanabilir ancak su ile karıştırıldıktan hemen sonra uygulanmalıdır. Etüv kurusu malzemelere nozuldan önce veya püskürme makinesine yerleştirilmeden önce ön nemlendirme uygulanmalıdır.
- ⇒ Hızlı priz alan çimento kullanılması durumunda işlem, karışımın açık hava ile sınırlı temasına izin verecek şekilde oluşturulmalıdır.
- ⇒ Kuru karışım içindeki ayrışma (segregasyon) gibi zararlı değişimler, şantiyedeki taşımalar ile birlikte yükleme, nakliye ve boşaltma süresince en aza indirilmelidir.

### Islak karışım işlemi:

- ⇒ Püskürtme işlemi sonuna kadar karışım betonunun yeterince işlenebilir kalması için uygun önlemler alınmalıdır. Normal işlenebilirlik süresi, genellikle yapım öncesi gerçekleştirilen deneylerle belirlenmelidir.
- ⇒ Daha uzun işlenebilirlik süresi gerektiren çalışmalarda, bu durum ilave deneylerle doğrulanmalıdır.
- ⇒ Temel karışımdaki ayrışma, kasma, karışım pastası kaybı (sulu ince malzeme kaybı) veya diğer değişimler gibi zararlı değişimler, döküm yerine taşıma ile birlikte yükleme, nakliye ve boşaltma süresince en aza indirilmelidir.

### Püskürtme İşleminin Uygulanması

- ⇒ Püskürtme öncesinde beton sıcaklığı ve çökme (slamp) miktarı, şantiyede sürekli kontrol edilmelidir.
- ⇒ Nozula beton akışının (hava basıncı, priz hızlandırıcı ve beton akışı) ayarlanması için nozul daima alt tabakadan başka bir tarafa çevrilmelidir.



Şekil 2. Uzaktan kumandalı uygulamalar için tipik ıslak karışım nozulunun ayrıntıları



- ⇒ Püskürtme beton, beton bileşenin geri sıçrama ve dökülmesini sınırlayacak şekilde karışım oranına sahip olmalı ve püskürtme işlemi uygulanmalıdır. Beton bileşenin geri sıçrama ve dökülmesini etkileyen önemli faktörler: beton karışım oranları, nozul açısı ve alt tabakaya mesafesi, priz hızlandırıcı oranı ve tünel içindeki uygulamanın alanı vb.
- ⇒ Nozul konfigürasyonu, proses kadar hızlandırıcı seçimine de bağlıdır. Alkali hızlandırıcılar tercihen nozulun iki ila beş metre ilerisinde eklenir. Bu, katkının betonla daha iyi karışmasını sağlar ve biraz daha uzun reaksiyon süresi sağlar. Sonuç olarak, daha az toz oluşur ve erken dayanım performansı daha yüksek olur. Alkali içermeyen hızlandırıcıların eklenmesi, başlangıçta son derece reaktif oldukları için yukarı akışta değil; doğrudan nozulda yapılmalıdır.
- ⇒ Püskürtme performansı yeterli basınç ve hacme sahip temiz ve kuru hava kaynağına bağlıdır. Bu da belirli ekipman özelliklerine, ekipmanın durumuna, sahadaki çalışma koşullarına, hortum uzunluğuna ve çapına bağlıdır. Uygulama için tipik hava gereksinimleri:
- Islak püskürtme beton için, hava tüketimi yaklaşık 600–700 kPa basınçta yaklaşık 12 m<sup>3</sup>/dakikadır.
  - Kuru püskürtme beton için, hava tüketimi 300–600 kPa arasındaki bir basınçta yaklaşık 15 m<sup>3</sup>/dakikadır.
- ⇒ Nozul, donatının tam olarak gömülmesi ve geri sıçrayan ve dökülen malzemeleri en aza indirilmesiyle birlikte optimum yoğunluk ve kalınlıkta bir tabaka oluşturmak amacıyla mümkün olduğunca uygulama yüzeyine dik olarak yöneltilmelidir. Püskürtme betonda, İtme ve kaydırma yapılmamalıdır. Optimum nozul mesafesinden ve açısından sapma, geri sıçrayan ve dökülen malzemeyi artırabilir ve püskürtme beton kalitesini azaltabilir.
- ⇒ Yüzey ile nozul arasındaki mesafe, şantiye koşullarına, iyi sıkıştırma elde etme olasılığına, donatının tamamen gömülmesine ve geri sıçrayan ve dökülen en az malzeme miktarına göre belirlenir. Püskürtme için optimum mesafe genellikle 1-2 metre arasındadır. Nozul mesafesi çok düşükse, bu daha yüksek toz ve geri sıçrama oluşur. Nozul mesafesi çok fazla ise, püskürtme beton alt tabaka üzerinde yeterince iyi sıkıştırılamaz. İki veya daha fazla tabaka uygulamasında belirli bir püskürtme beton kalınlığı, sarkma ve dökülmeyi önlemek için gerekli olabilir. Bu özellikle baş mesafesi üstünde yapılan çalışmalarda uygulanmaktadır.
- ⇒ Her bir beton tabaka kalınlığı, birkaç parametreye bağlıdır ve saha koşulları ile karışımın bileşimini esas almalıdır. Tabaka kalınlığı, kimyasal katkı maddesi (örneğin, priz hızlandırıcılar) kullanımı, mineral katkıların kullanımı (örneğin, silis dumanı) veya hızlı priz alan çimento kullanımı ile artırılabilir.
- ⇒ Önceki tabaka sonraki tabakayı taşıma kapasitesine sahip olmadan önce sonraki tabaka uygulanmamalıdır.
- ⇒ Belirlenen toplam kalınlığı elde etmek için farklı tabakaların yerleştirilmesi arasında geçen süre dikkate alınarak önceki püskürtme beton yüzeyi basınçlı hava, yüksek basınçlı yıkama, fırçalama veya kum püskürtme ve ön ıslatma ile temizlenmelidir.
- ⇒ Düzensiz ve pürüzlü kaya katmanlarındaki uygulamalar (örneğin, delme ve patlatmalı kazı) için ilave düzleştirilmiş tabaka istenilebilir. Böyle olması durumunda bu işlem ilk önce gerçekleştirilmelidir.

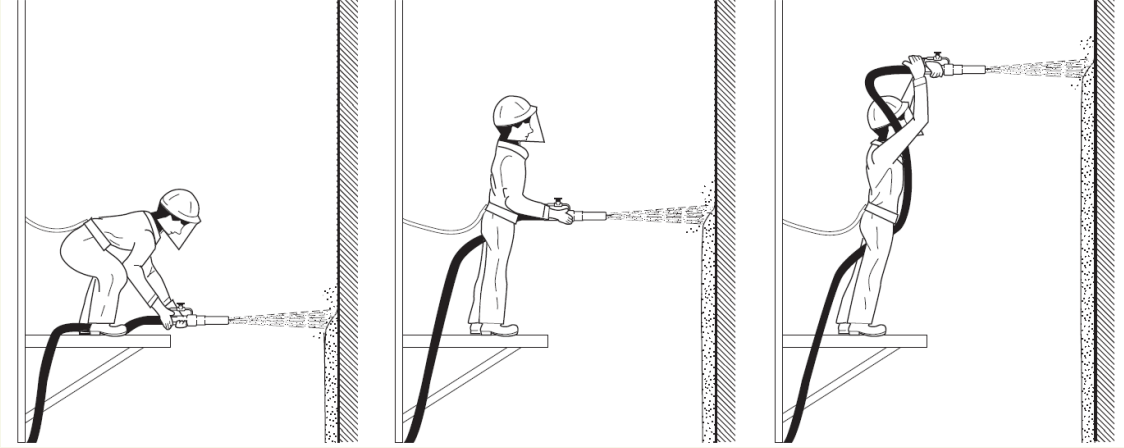


- ⇒ Yerinde püskürtme beton, herhangi bir geri sıçrayan ve dökülen malzemeye karışmayacak şekilde homojen bileşime sahip olmalıdır.
- ⇒ Püskürtme beton uygulanmadan önce fazla püskürtülen ve geri sıçrayan ve dökülen gevşek malzemeler çevre alanlardan ve alt tabakadan uzaklaştırılmalıdır.
- ⇒ Püskürtme esnasında veya donatı boyunca geri sıçrayan ve dökülen malzeme ve gölge etkisi sonuçları dikkate alınmalıdır. Gölge etkisinin önlenemediği durumlarda olası olumsuz etkileri en aza indirecek çalışmalar yapılmalı ve özel önem verilmelidir:
  - Donatı etrafında hava akış hızının yeterli olması sağlanmalıdır. Bu durum, nozul ile donatı arasında uygun mesafe ile veya karışımın güçlü hava akışı ile taşınmasıyla gerçekleştirilir,
  - Mümkün olduğunca en pratik şekilde gerekli beton örtü tabakası kalınlığı sağlanarak donatının gömülmesi gerçekleştirilmelidir. Düzgün dökülen beton yüzeyinde olduğu gibi pürüzlü püskürtme yüzeyine de beton örtü tabakasıyla ilgili aynı gerekler uygulanır,
  - Diğer donatı tipleri üzerine çelik fiberle güçlendirilmiş beton püskürtülmesi durumunda zayıf sıkıştırma önlenir,
  - Ön ıslatma uygulanmış alt tabaka, fazla sudan (akan su) arındırılmalıdır.
- ⇒ Taze püskürtme beton yüzeyinin elle düzeltilmesi, aderans ve dayanıma zararlı etki yapabilir. Püskürtülen malzeme özelliklerinin aksine izin vermediği durumda, genel olarak püskürtme beton püskürtüldüğü şekliyle bırakılmalıdır.
- ⇒ İstenilen yapı için işlenen nihai beton yüzeyi gibi özel yüzey yapısının gerekli olması durumunda, ilave işlemler kullanılabilir.
- ⇒ Yeterli dayanıklılık ve tabakalar arası bağ dayanımı sağlanarak plastik büzülme en aza indirmek amacıyla kür işlemi uygulanmalıdır.
- ⇒ Püskürtme işlemi tamamlandıktan sonra yüzey gecikmeden kür işlemine tabi tutulmalıdır. Son tabakanın uygulamasının üzerinden 2 saatten fazla süre geçmesi durumunda, kür işlemi ayrıca ara püskürtme aşamalarına da uygulanır.
- ⇒ Sadece çevre etki sınıfı X0 veya XC1 koşullarına maruz kalacak betonda en az kür süresi, 5 °C'ye eşit veya daha yüksek beton yüzey sıcaklığının sağlanması durumunda 12 saat olmalıdır.
- ⇒ Yapım yerinde geçerli ulusal standart veya hükümlerde farklı gerekler belirtilmediği durumda, aşağıda verilenler uygulanır:
  - X0 veya XC1 haricindeki çevre etki sınıfına maruz püskürtme beton, belirlenen basınç dayanım sınıfının en az %50'sine ulaşana kadar kür işlemine tabi tutulmalıdır. Tarif edilmiş püskürtme beton, en az eşdeğer bir süre boyunca kür işlemine tabi tutulmalıdır,
  - Yapım yerindeki ulusal standartlar ve hükümlerde yukarıda verilen gerekler, bir eşdeğer süreye dönüştürülebilir.
- ⇒ Kür işlemi, beton yüzeyi üzerine püskürtülen kür bileşeni veya karışım esnasında betona eklenen bir kimyasal katkı maddesi ile sağlanabilir. Kür bileşeni, sonraki beton tabakasının uygulaması öncesinde kaldırılmalıdır.
- ⇒ Kür işleminde kullanılan mamullerin etkisi, yapım öncesi deneyler veya diğer ilgili belgelerle doğrulanmalıdır.





- ⇒ Tabakalar arasındaki yerinde bağ dayanımı deneyleri (ara tabaka bağ dayanımı), çalışmaya başlamadan önce gerçekleştirilmelidir. Saha deneyleri, kür malzeme tipinin değiştirilmesi durumunda gerçekleştirilir,
- ⇒ Soğuk havalarda püskürtme yapılırken veya donmuş kaya ya da zemine püskürtme işlemi uygulanırken dona karşı koruma için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu koruma, püskürtme betonda yerinde en az 5 MPa basınç dayanımı elde edilene kadar sağlanmalıdır.



Şekil 3. Püskürtme betonun aşağıdan yukarıya uygulanması

Maden ortamlarında yer altına uygulanan püskürtme beton genellikle kürlenmez. Sıcak kaya yüzeyi, yüksek hızlı havalandırma akışı nedeniyle buharlaşma ve aktif olarak geliştirilen tünellere erişimin olmaması nedeniyle, yeraltı madenciliği ortamında püskürtme betonun kürlenmesinde büyük zorluk vardır. Püskürtme betonun büzülme çatlama bu kürlenme eksikliğinden dolayı şiddetlenir. Püskürtme betonun genellikle "döngü içinde" uygulandığı madencilikte üretimi engelleyecek ve döngü sürelerini uzatacak olsa da su kürü uygulanabilmektedir.

### **Geri Sıçrama (Rebound)**

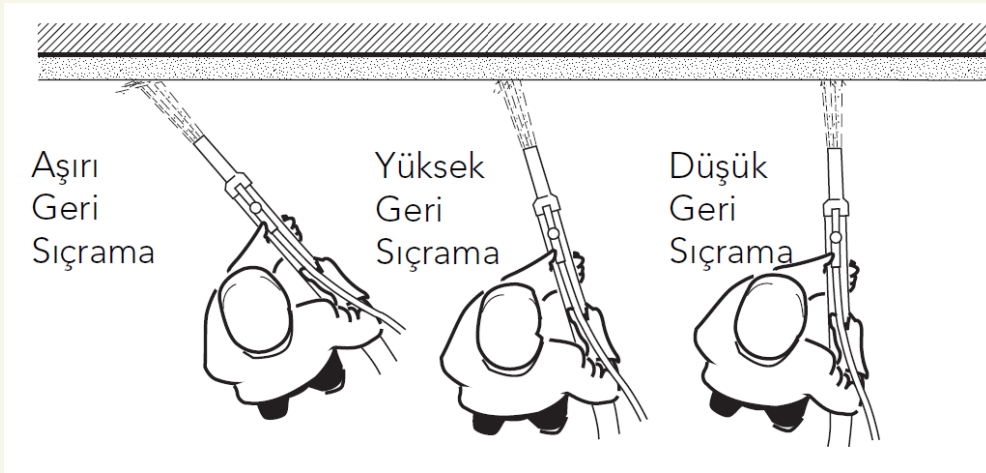
Geri sıçrama (rebound), beton püskürtme işlemi sırasında betonun hedef yüzeye yapışmayarak geri sekmesi yani dökülmesidir. Püskürtme işlemi sırasında geri sıçramayı azaltmak, püskürtme beton için en karmaşık zorluklardan biridir. Geri sıçrama, malzeme israfının artması ve baştan sona gereken çalışma süresinin uzaması anlamına geldiği için hem ekonomik hem de lojistik açısından önemlidir.

Püskürtme beton katkıları, geri sıçrama miktarını azaltmak veya önlemek için kullanılır. Bu katkı maddeleri, püskürtme betonunun akışkanlığını artırır ve malzemenin hedef yüzeye daha iyi yapışmasını sağlar. Ayrıca, katkı maddeleri püskürtme betonunun dayanıklılığını artırır ve su geçirimsizliğini geliştirir. Kimyasal katkıların geri sıçrama oranını azaltması malzeme israfını azaltırken, doğrudan karbon ayak izinin azalmasına da olumlu katkı sağlar.



Gerı sıçrama miktarını etkileyen faktörler şunları içerir:

- ⇒ Operatörün teknik becerileri ve deneyimi
- ⇒ Püskürtme yönü (yukarı, aşağı, yatay)
- ⇒ Püskürtme parametreleri (hava basıncı, nozul, püskürtme çıkışı)
- ⇒ Püskürtme işlemi (yoğun/ince akış)
- ⇒ Ekipmanın durumu
- ⇒ Püskürtme beton karışımı tasarımı (agrega, tesviye eğrisi, hızlandırıcı, fiberler, bağlayıcı)
- ⇒ Püskürtme beton performansı (çok erken dayanım, yapışma dayanımı, tabaka kalınlığı)
- ⇒ Yüzey durumu (düzgünlük, temizlik)
- ⇒ Ortam şartları ve beton sıcaklığı



Şekil 4. Uygulamanın geri sıçramaya etkisi

Püskürtme işlemi sırasında geri sıçrama değişkenlik göstermektedir. Püskürtme betonun doğrudan katı yüzeye çarptığı ilk anda, geri sıçrama çok daha yüksektir. Püskürtülen malzemenin kinetik enerjisinin yüksek olması nedeniyle ilk geçişteki iri agrega geri sıçramaya meyillidir. Bunun sonucunda alt tabaka yüzeyinde en küçük çatlakları ve boşlukları doldurabilen ince bir kum ve bağlayıcı pasta tabakası oluşur. Daha sonraki süreçte geri sıçrama azalır. Geri sıçrama miktarı daha sonra püskürtülen betonun yapışma kuvveti ile kontrol edilir.

Sahada geçerli olan koşullar altında gerçek geri sıçrama ölçümleri yapılmadan, miktar yalnızca kabaca tahmin edilebilir. Deneyimlere göre dikey püskürtme beton uygulamalarında geri sıçrama oranı kuru karışım için %20-30, ıslak karışım için %5-15 seviyesindedir.

### **Kimyasal Katkıların Püskürtme Betonda Uygulamalarında Etkisi**

Kimyasal katkılar; çimento, agrega ve suyun tek başına kombinasyonu ile kontrol edilmesi oldukça zor olan püskürtme beton özelliklerini iyileştirmek ve değiştirmek için kullanılmaktadır. Püskürtme betona katkıların eklenmesi, temel karışım sırasında gerçekleşmektedir. Püskürtme betonun bir özelliği olarak, hızlandırıcı katkı maddesi sadece



püskürtme işlemi sırasında hortum ucundan karışıma eklenir. TS EN 934-5'e göre maksimum katkı dozajı çimento ağırlığının %12'sidir.

Püskürtme betonda kullanılan üç temel katkı maddesi; süperakışkanlaştırıcılar, geciktiriciler ve püskürtme betonun elleçlenmesi, güvenliği ve nihai kalitesi açısından son derece önemli olan püskürtme beton hızlandırıcılarıdır. Püskürtme beton için mevcut olan geniş katkı yelpazesi Tablo 1'da ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Tablo 1. Püskürtme betonda kullanılan katkılar

Hedef Parametre	Kullanılan Katkılar
Basınç dayanımı	Süperakışkanlaştırıcılar
Eğilme dayanımı	Kür katkıları
Dayanıklılık	Fiber donatılar
Pompalanabilirlik	Viskozite modifiye katkıları
Püskürtülebilirlik	Süperakışkanlaştırıcılar
Dayanım gelişimi	Hızlandırıcılar Süperakışkanlaştırıcılar

### Fiber Donatıların Püskürtme Betonda Uygulamalarında Etkisi

Fiberlerin beton üzerindeki etkisi fiber tipine, malzemesine, şekline ve boyutlarına bağlıdır. Temel olarak iki fiber tipi vardır:

1. Mikro fiberler (küçük, ince fiberler, monofilament veya fibrile,  $d < 0,30$  mm)

Mikro fiberlerin kullanımı, erken yaştaki rötre çatlaklarını azaltarak püskürtme betonun özelliklerini etkileyebilmektedir. Ayrıca, PP mikro fiberlerin kullanımı, bir yangın durumunda beton yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında, eriyerek ve buhar genişmesi için boşluk alanını artırarak dökülme önleyici bir etkiye sahiptir.

2. Makro fiberler (daha büyük çaplı uzun fiberler,  $d > 0,30$  mm)

Esas olarak eğilme tokluğunun, enerji emiliminin ve darbe direncinin artırılması gibi sertleşmiş beton özellikleri için kullanılmaktadır.

Son yıllarda geçici zemin desteği olarak çelik ağ takviyesi yerine sentetik fiberlerin kullanımı sağladıkları avantajlar nedeniyle yaygın hale gelmektedir. Tünel açma ve madencilikte zemin desteği için olağan güçlendirme yöntemleri yerine fiber kullanmanın faydaları:

- ⇒ Daha güvenli çalışma koşulları (güvenli olmayan alana ağ montajı yapılmaz)
- ⇒ Daha hızlı iş ilerlemesi (kafeslerin ek kurulumu yok)
- ⇒ Yapısı gereği korozyona uğramaması



- ⇒ Fiberlerin homojen olarak dağılması
- ⇒ Takviyenin doğrudan beton içinde yer alması
- ⇒ Kafes titreşimi nedeniyle geri sıçrama olmaması
- ⇒ Su yalıtım membranları, doğrudan püskürtme betonun üzerine yerleştirilebilir.

**İşlenebilirlik ve karışım tasarımı:** Fiberler, ek bir yüzey alanı oluşturdukları için taze betonun işlenebilirliğini azaltabilir. Bu nedenle beton karışım tasarımı bu duruma göre yapılmalıdır.

**Pompalanabilirlik:** Genel olarak, fiberli betonun besleme hunisi ızgarası ve borulardan geçmesi fiberlerin uzunluklarını ve dozaj seviyelerini sınırlar. Çelik fiberlerin uzunluğu hortum çapının 2/3'ünden fazla olmamalıdır. Pompalanabilirlik kontrolü için proje gereksinimleri de göz önüne alınarak uygun beton reçetesi hazırlanmalı ve uygun lif miktarı ve uzunluğu hesaplanmalıdır.

**Enerji emilimi:** Püskürtme beton genellikle kırılma bir davranış sergiler. Betonun basınçta ve özellikle çekmede dayanabileceği deformasyon sınırlıdır. Püskürtme betonda daha yüksek düzeyde sünek davranış elde etmek için yapısal fiberler kullanılır. Fiberlerin eklenmesiyle, malzemenin kırılma davranışı sünek bir davranışa dönüşür, çünkü betondaki çatlaklar fiberler tarafından devralınan veya aktarılan bazı kuvvetlerle sınırlandırılır ve/veya köprülenir. Beton yapının sünekliği, çatlaklı betondan fiber çekilmesiyle artırılır. Bu davranış; fiber tipine, fiber geometrisine ve fiber malzemesine, ayrıca beton karışım tasarımına ve fiberlerin dozajına bağlıdır. Örneğin, çelik fiberler küçük bir deformasyon aralığında iyi bir yük taşıma kapasitesi sağlarken, sentetik fiberler artan deformasyonla artan bir yük taşıma kapasitesi gösterir.

**Dayanıklılık:** Püskürtme betonun dayanıklılığı fiber donatı kullanımıyla iyileştirilmektedir.



## YAĞIŞLI HAVALARDA BETON DÖKÜMÜ

Yağışlı havalarda beton dökümü, betonun kalitesini ve dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir. Yağmur, beton yüzeyini bozabilir, su-çimento oranını artırarak dayanım kaybına neden olabilir ve yüzeydeki malzemenin ayrışmasına yol açabilir.

Yeni uygulanmakta olan betonun yağışlardan ne ölçüde etkileneceği yağmura maruz kalma süresine ve yağmurun şiddetine bağlıdır.

Betonun genellikle 30-60 dakika olan ilk priz süresine henüz ulaşılmadığında yağmurun olumsuz etkisi en yüksek seviyede olur. Betonun fiziksel ve dayanım performansı tamamen bozulur. Böyle bir durumdan kesinlikle kaçınılmalıdır.

Beton ilk priz süresi ile son priz süresi arasında olduğunda yağışa maruz kalırsa betonun yüzeyi hem görsel açıdan hem de sağlamlık açısından olumsuz etkilenir. Sertleşme sonrasında zayıf üst tabaka nedeniyle yüzeyde tozuma ve bozulma meydana gelir.

Ancak, genellikle 4-10 saat arasında gerçekleşen son priz süresinden sonra meydana gelen yağışlar şiddetli olmamak şartıyla olumsuz bir etkiye neden olmaz. Aksine beton için doğal bir kür görevi yapar.



Şekil 1. Yağmurlu havada beton dökümü yapılan zeminlerde yüzey hasarı

### Yağışlı Havalarda Beton Uygulaması İçin Alınacak Önlemler

#### 1. Betonun Üstünün Korunması

Beton dökümü sırasında ya da hemen sonrasında yağmur yağmaya başlarsa, henüz priz almamış beton yüzeyi bozulabilir. Bu yüzden beton döküm alanının üzerini örtüler, tenteler veya branda ile kapatmak gereklidir. Bu şekilde beton, doğrudan yağmurla temas etmeden dökülebilir ve priz süreci sağlıklı bir şekilde tamamlanabilir.

Beton döküldükten sonra yağmur bekleniyorsa, beton yüzeyinin su geçirmez bir örtüyle korunması gereklidir. Yağmur betonun yüzeyine nüfuz ederek su-çimento oranını artırabilir ve yüzeyde zayıf, gevşek bir tabaka oluşmasına yol açabilir.





Betonu döktükten sonra beton yüzeyinde biriken su varsa uygun ekipmanla alınmalıdır. Bu su, ihmal edilirse betonun yüzeyinde sorunlara neden olmaktadır.

### **2. Betonun Su/Çimento Oranını Kontrol Etmek**

Yağışlı havalarda betonun su ile aşırı karışmasını önlemek için su/çimento oranına dikkat edilmelidir. Yağmur suyu, beton karışımına karışarak su/çimento oranını artırabilir ve betonun mukavemetinin azalmasına neden olabilir. Bu yüzden döküm sırasında su eklenmemesi ve karışımın doğru oranda yapılması çok önemlidir.

Dış koşullara göre betonun kıvamı ayarlanmalı ve gerektiğinde karışıma su azaltıcı katkı maddeleri eklenmelidir. Bu katkılar, betonun işlenebilirliğini korurken, su/çimento oranını düşük tutar.

### **3. Zemin Hazırlığı**

Yağmurla ıslanan zemin, beton dökümünden önce iyice kontrol edilmelidir. Islak veya suya doygun zeminler, betondan su çekebilir ve betonun su-çimento oranını bozarak zayıf bir yapı oluşmasına neden olabilir. Bu durum, beton dökümünden önce zeminin yalıtılması veya drenaj kanallarıyla fazla suyun uzaklaştırılması gerektiğini gösterir.

Beton döküm sahasında su birikintilerinin olmamasına dikkat edilmelidir. Zemindeki fazla suyun tahliye edilmesi, betonun düzgün yerleştirilmesi ve dayanıklı olması açısından önemlidir.

### **4. Priz Süresine Dikkat Edilmesi**

Yağmur, henüz priz almamış betonun hidrasyon sürecini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle betonun priz süresini kontrol etmek için uygun katkı maddeleri kullanılmalı veya döküm öncesinde yağış durumu dikkate alınarak döküm zamanlaması planlanmalıdır.

Beton dökümünden sonraki ilk birkaç saat kritik bir dönemdir. Bu süre içinde betonun üzerine yağmur yağarsa, yüzey hasar görebilir. Bu yüzden beton, özellikle ilk sertleşme evresinde üstü örtülerek korunmalıdır.

### **5. Betonun Düzgün Kürlenmesi**

Yağışlı havalarda betonun düzgün bir şekilde kürlenmesi önemlidir. Betonun nem dengesini korumak için kürlenme örtüleri kullanılabilir. Eğer yağış sonrası sıcaklık hızla artarsa, betonun yüzeyinde çatlamlar olabilir. Bu yüzden betonun nem kaybını önlemek için kürlenme işlemi dikkatli bir şekilde yürütülmelidir.

Yağışlı havalarda betona su emdiren kürlenme yöntemlerinden kaçınılmalı, bunun yerine membran kürlenme veya kimyasal kür malzemeleri tercih edilmelidir. Bu yöntemler, betonun yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak su kaybını önler.

Yüzeydeki fazla suyu emmesi için yüzeye çimento serpilmemelidir.



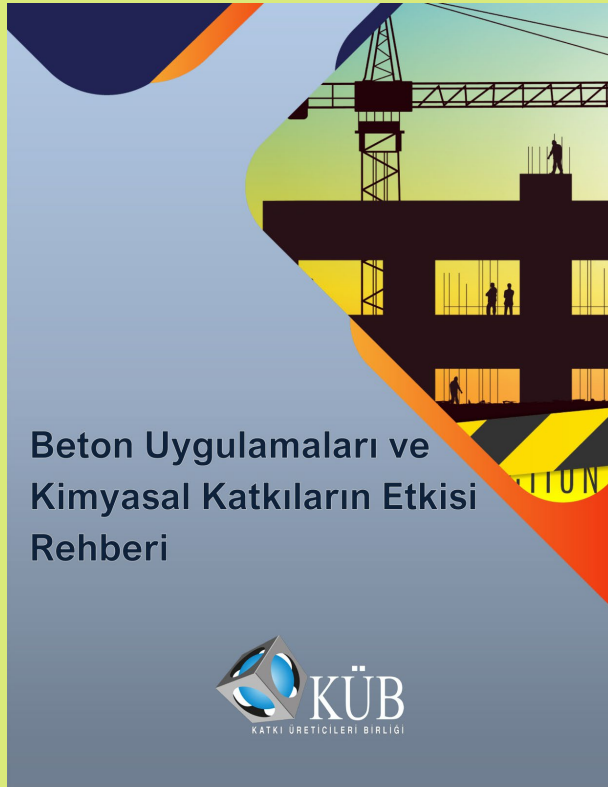
### **6. Betonun Yerleştirilmesi ve Vibrasyon**

Betonun yerleştirilmesi sırasında yağmur yağarsa, yerleştirmenin kesintiye uğramaması için gerekli koruyucu önlemler alınmalı. Beton vibratör ile yerleştirildiğinde yağmur suyu betona karışmamışsa, vibrasyon betonun daha homojen bir yapıya sahip olmasına yardımcı olur. Vibrasyon sırasında yağmur beton içine girmişse, homojenliğin bozulmaması için yerleştirme sırasında suyun betondan uzaklaştırılması gerekebilir.

### **7. Uygun Zamanlama**

Yağışlı bir dönemde beton dökümü yapılacaksa, hava durumu tahminleri dikkate alınmalıdır. Ağır yağış beklentisi varsa beton dökümü ertelenmeli veya yağmur geçene kadar koruyucu önlemler alınarak çalışma yapılmalıdır. Hafif yağmur durumlarında beton dökümüne devam edilebilir, ancak şiddetli yağış bekleniyorsa, beton dökümünden kaçınılmalıdır.

# 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

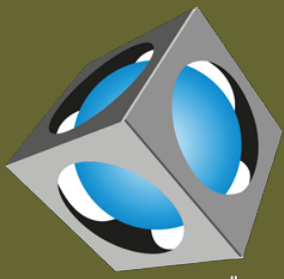
onbironendüstriyel

Polisan  
YAPIKİM

Sika  
BUILDING TRUST

YAPICHEM

kub.org.tr



# KÜB

KATKI ÜRETİCİLERİ BİRLİĞİ



YAPI ÜRÜNLERİ  
ÜRETİCİLERİ  
FEDERASYONU



TÜRKİYE  
**İMSAD**  
İNŞAAT MALZEMESİ SANAYİCİLERİ DERNEĞİ  
ASSOCIATION OF TURKISH CONSTRUCTION MATERIAL PRODUCERS



EFCA