THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

12

ÖZEL KONU

BETONUN TAŞINIM ÖZELLİĞİ

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.

Eylül, 2023

BETONUN TAŞINIM ÖZELLİĞİ

Giriş

Betona ve içerisindeki çelik donatıya hasar veren sülfat atağı, klorür atağı, donma-çözülme, alkali-silika reaksiyonu gibi birçok farklı çevresel ve içsel mekanizma bulunmaktadır. Bu mekanizmaların gerçekleşmesi için betonun içine belli maddelerin taşınımı gerekmektedir. Betonda dayanıklılığın tam olarak anlaşılması ve bu sayede tasarım yapılabilmesi için farklı taşınım proseslerinin incelenmesi gerekmektedir.

Taşınım Prosesi

Taşınım prosesleri detaylı bir şekilde incelenmeden önce betonun geçirgenliği konusu irdelenmelidir. Genel olarak betondaki bozulma, suyun varlığından ve betonun içine nüfuz eden bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Çoğu bileşen bir çözelti içinde farklı yüklerden oluşan iyonlara ayrışır. Mesela sodyum klorür (NaCl), suyun içinde Na^+ ve Cl^- iyonlarına çözünür. Taşınım prosesi bu iyonların iki farklı şekilde hareket etmesine neden olmaktadır:

1. ***Su iyonlarla hareket edebilir ya da***
2. ***İyonlar suyun içinde hareket edebilir.***

Bu yüzden, betonda oluşacak hasar suyun hareketinden veya suyun içindeki iyonların hareketinden kaynaklanmaktadır.

Absorbsiyon ve adsorbsiyon terimlerini kullanmadan önce, bu terimlerin arasındaki fark bilinmelidir. ***Absorpsiyon***, suyun kılcal emme ya da osmoz yolu ile betona nüfuz etmesidir. ***Adsorpsiyon*** ise bir iyonun betona geçici ya da kalıcı bir şekilde bağlanması ve hareketinin engellenmesidir. Adsorpsiyon prosesi, kimyasal bir reaksiyon veya çeşitli fiziksel (yüzeysel) etkiler sonucu oluşmaktadır.

Geçirgenlik

Geçirgenlik, gözeneklerin belirli bir akışkanla doyurulmuş olduğu bir basınç gradyanı altında gözenek yapısı boyunca akışkanların hareketidir. Betonun geçirgenlik yoluyla sıvı transfer kapasitesini ölçen geçirgenlik katsayısı olarak ifade edilir. Betonun geçirgenliği; mikro yapısına, nem durumuna ve nüfuz eden akışkanın özelliklerine bağlıdır. Bozulma ile ilgili olarak, nüfuz eden sıvının agresif olduğu durumlarda geçirgenlik oldukça zararlıdır. Yumuşak suyun bir tünel kaplamasından geçmesi ve betonun çözünebilir bileşenlerini süzerek betonu zayıflatması buna örnek verilebilir. Baraj veya tünel yapılarında etken basınç su basıncıdır. Diğer yapılarda absorpsiyon prosesi basınç farkları yaratmaktadır.

Betonun geçirgenliğini, alt ve üst su düzeyi farkını kullanarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı (hidrolik iletkenlik) ile tanımlanır. Bilim adamları elbette bu hesaplamaya viskoziteyi de dâhil etmektedir. Yüksek geçirgenliğe sahip bir betonun önemi su geçirebilme kabiliyetinden öte betonu klorür ve sülfat tuzlarının saldırısına maruz bırakma riskidir.

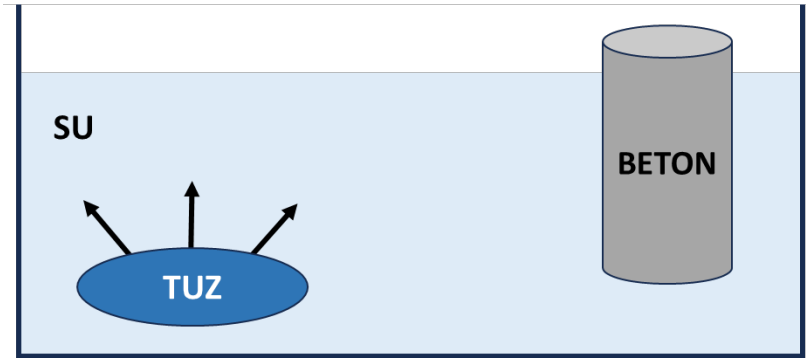
Difüzyon

Difüzyon; sıvıların, gazların veya iyonların gözenekli bir malzeme boyunca konsantrasyon gradyanı ile taşındığı süreçtir. Difüzyon kısmen veya tamamen doymuş betonda meydana gelir ve yüksek yüzey konsantrasyonu nedeniyle içeriye doğru yayılan tuzlara maruz kalan birçok beton yapı için önemli bir taşıma mekanizmasıdır. Difüzyon için malzeme özelliği, tipik olarak bir difüzyon katsayısı ile ölçülen "yayılabilirlik"tir.

Difüzyon, Fick'in birinci ve ikinci difüzyon yasaları ile tanımlanır. Betonda difüzyon çeşitli faktörler nedeniyle karmaşık hâle gelir. Bunlar; hidratasyon ürünleriyle kimyasal etkileşimler, kısmen doymuş koşullar, çatlaklar ve boşluklar gibi kusurlardır. Bunların tümü Fick yasalarının ardındaki varsayımları büyük ölçüde geçersiz kılar ancak yine de bu yasalar, analiz ve tahmin için "görünür" veya "etkili" yayılma katsayılarına başvurularak hâlâ kullanılmaktadır.

Deniz yapılarında veya buz çözücü tuzlara maruz kalan yapılarda klorür difüzyonu, donatı çeliğinin pasifliğini yitirmesine neden olarak yıkıcı korozyona neden olmaktadır. Aktif korozyon için gerekli olan betondaki oksijenin çelik yüzeye taşınması da esas olarak difüzyonla gerçekleşir.

Difüzyon, herhangi bir sıvı akımı olmadan iyonların doygun betonun içinden geçiş yapabilmesidir. Difüzyon yoğunluk farklarından dolayı meydana gelmektedir. Yoğun bir çözelti az yoğun bir çözelti ile temas ettiğinde yoğunlukları eşit olana dek çözeltiler arasında iyon transferi olmaktadır. Su dolu bir konteynerin bir köşesine tuz koyulduğunda belli bir süre sonra tüm su aynı yoğunlukta olur.



Şekil 1: *Difüzyon prosesi*

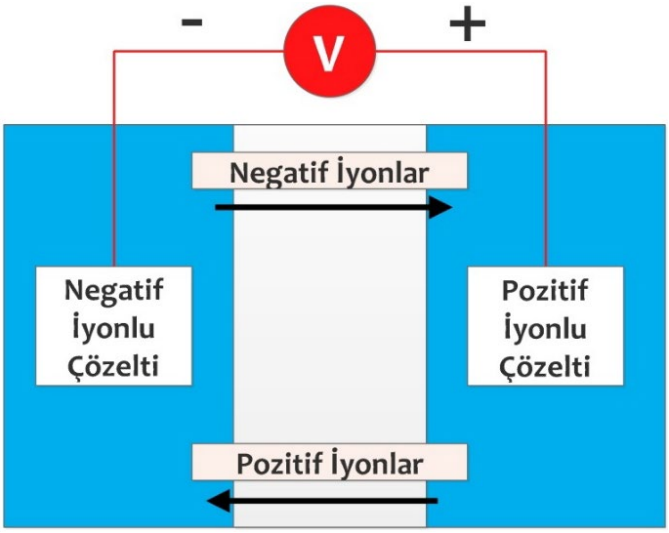
Şekil 1'de görüldüğü gibi su dolu bir kaba tuz ve beton numunesi konulduğunda, tuzun zamanla su içinde çözündüğü ve eş yoğunlukta bir çözelti oluşturduğu görülür. Bu sayede çözeltinin betona nasıl nüfuz ettiği daha iyi anlaşılmış olur. Aynı mekanizma ile beton boşluk suyu içindeki iyonlar da beton dışına difüzyon yolu ile çıkarak çözelti içinde eş yoğunluk oluşturacak şekilde dağılır.

Difüzyon sadece sıvılara mahsus bir taşınım şekli değildir. Ayrıca gazlar için de difüzyon geçerlidir. Unutulmaması gereken bir nokta da iyonların genelde eş ve zıt yüklerle difüzyon olduğudur. Eğer bu durum gerçekleşmezse, oluşacak elektrik potansiyelinden dolayı iyonlar elektro-geçişe uğrar.

Elektro-Geçiş

Elektro-geçiş, elektrik akımının varlığından dolayı yeni çözelti içinde voltaj farkı oluşmasıyla gerçekleşir. Bu durum dış kaynaklı olabilir ya da herhangi bir doğru-akım güç kaynağında meydana gelen bir sızıntı ile oluşabilir. Ayrıca sıkça görüldüğü gibi, donatıda oluşan paslanma (korozyon)

sonucu elektrik potansiyeli oluşur. Eğer betona bir elektrik akımı uygulanırsa, negatif iyonlar pozitif elektroda doğru hareket eder. Elektro-geçiş betonun elektrik direnci ile hesaplanabilir çünkü bu betonun elektrik iletmesinin tek yoludur. Betonda elektrik iletimi metalde olduğu gibi elektron transferi ile değil, doğru akımın klorür iyonlarını (Cl^-) beton içine ve hidroksil iyonlarını (OH^-) beton dışına taşıması ile olur.



Şekil 2: *Elektro-geçiş prosesi*

Bu mekanizma esas olarak beton içindeki klorürün beton yüzeyine pozitif voltaj verilerek uzaklaştırılması prosesi için kullanılır. Bunun avantajı donatıya negatif voltaj verilerek bir nevi katodik koruma şeklinde korozyonu yavaşlatmasıdır ama bunun yanında dezavantaj olarak, betondan uzaklaştırdığı negatif iyonların pratikte problem yaratabilmesidir.

Isıl Değişkenlik Kaynaklı Hareket

Su, katılar içinde sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru hareket eder. Bu hareket katının geçirgenliği ile doğru orantılıdır ve yüzeyde gerçekleşen buharlaşmadan tamamen bağımsızdır. Doygun betonda, sıcak bölgede bulunan iyonlar soğuk bölgelere doğru hareket eder. Bu durum en iyi şekilde, katı tuz bulaşmış betonun gün ışığında ısınması ile daha iyi anlaşılabilir. Yüzeydeki boşluklarda bulunan tuza doygun hâldeki su daha soğuk bölgelere doğru göç eder.

Adsorpsiyon

Geçirgen bir malzemede iyon transferinden bahsediliyorsa, adsorpsiyonun da hesaba katılması gerekmektedir. Çoğu durumda, iyon yığını geçirgen malzeme içinde diğer tarafa geçmeden adsorbe edilir. Betonda, adsorbe edilmiş iyonlar beton içinde farklı yollarla durdurulur ve hareketleri engellenir. Bu yüzden, betona hasar veremez.

Betonda klorür yoğunluğu hesaplanırken bazı sistemler kullanılır. Bunlar:

1. Asit-çözünür maddeler asitte çözüldüğünde adsorbe edilmiş klorür dâhil tüm klorür elde edilmiş olur.
2. Suda-çözünür maddeler su içinde yıkandığında (bu süreç adsorbe edilen iyonların çözünmesi için çok kısa olmalı) klorür yoğunluğu tespit edilebilir.

Birçok kanıt çözelti içindeki iyonların beton içindeki donatıyı korozyona uğrattığını göstermektedir. Bu nedenle "suda-çözünme" testi en kullanışlı olanıdır. Aksine; klorür bağları arasındaki olası kopmalardan, sıcaklık etkisinden ve karbonlaşmadan dolayı "asitte-çözünme" testi daha çok tekrarlanan sonuçlar verir.

Kapasite faktörü, katı konsantrasyonun sıvı konsantrasyona oranıdır. Betonda, adsorpsiyon daha çok çimentoda olur. Bu nedenle, kapasite faktörü çimento miktarı ile doğru orantılıdır ve uçucu kül kullanımı ile artmaktadır.

Kılcal Su Emme

Kılcal su emme, suyun ıslak yüzeyli küçük boşluklar tarafından yüzey gerilmesinden dolayı emilmesidir. Betondaki boşluklar ne kadar küçük olursa daha yüksek kılcal su emme basıncına maruz kalır ancak, bu etki geçirgenliğin az olması nedeniyle dengelenir.

Kılcal su emme prosesi en iyi şekilde görülmek istenirse, beton numunesinin tuzlu su bulunan bir tepside ve nemsiz bir odada birkaç ay bekletilmesi yeterlidir. Tuzlu su çözeltisi bu süreçte beton tarafından yukarı doğru çekilmektedir. Bu emme, korumasız dış yüzeye kadar devam eder ve buharlaşma meydana gelir. Bunlar meydana gelirken yüzeye yakın boşluklar buharlaşma ile birlikte kristalize tuz ile dolar. Boşluklarda bulunan tuz betonun parçalanması için gerekli basıncı oluşturmuş olur. Tuzun kristalizasyonu sonucu oluşan bu hasar mekanizması en çok yağış oranı düşük iklimlerde görülür.

Osmoz

Osmoz olayı yarı geçirgen bir zar olduğunda gerçekleşir. Bu zar çözünmüş malzemenin geçmesine izin vermezken, suyun rahatça transferini sağlar. Beton yüzeyinde suyun rahatça geçmesi, aksine su içinde erimiş kirecin geçememesi buna en iyi örnektir. Osmoz, zayıf (az yoğun) çözeltiden güçlü (çok yoğun) çözeltiye suyun geçişini sağlar.

Mesela yarı geçirgen bir zarla ayrışmış bir kabın ayrı haznelerine farklı çözeltiler koyulduğunda, zamanla daha yoğun olan çözeltide su seviyesinin arttığı görülür ancak bu durum pratikte bu kadar belirgin görünmez. Beton geçirgenlik özelliğinden dolayı osmoz ile emdiği suyu oluşacak basınç farkı yüzünden geri verir. Eğer aynı yoğunlukta iki farklı çözelti kullanılırsa, osmoz yine görülecektir. Su akımının yönü daha çok bağıl osmotik faktörlere bağlıdır. Osmoz özellikle klorür ve sülfat iyonlarının beton tarafından emilmesinde çok önemlidir.

Kontrol Parametreleri

Buraya kadar taşınım proseslerinden bahsedildi. Anahtar sorular şunlardır: "Bu proseslerden hangileri kontrol edilebilir?" ve "Bu prosesler beton dayanıklılığına (dürabilite) nasıl etki ediyor?".

Şekil 3'te ilk sütunda beton özelliklerini etkileyen faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler aslında doğrudan taşınım özelliklerini etkilemez, daha çok ikinci sütundaki özellikleri etkiler. Bunlar boşluk sıvısı kimyası, beton matris kimyası ve geçirgenliktir. Üçüncü sütun nakil özelliklerini göstermektedir. Son sütunda ise betonda oluşacak hasar durumları bulunmaktadır. İlk sütundaki herhangi bir değişiklik, ikinci ve üçüncü sütunu etkileyerek son sütundaki hasar durumlarını engelleyebilir.

Şekil 3'te ilk sütunda görüldüğü gibi su/çimento oranı ve bakım (kür), betonda boşluk hacmini doğrudan etkiler. Su/çimento oranı azaldıkça su ihtiva eden kılcal boşluk miktarı azalmaktadır. Bununla birlikte iyi bir bakım (kür) da aynı etkiyi göstermektedir

Şekil 3: *Dürabiliteye etki eden faktörler*

Betonda boşluk hacminin azalması basınçla oluşan akımları ve difüzyonu da azaltır. Bu etki doğrudan olarak donma-çözülme ve karbonatlaşmadan veya klorür girişi sonucu meydan gelen korozyon gibi hasarların oluşmamasına ya da düşük seviyede kalmasına sebep olur.

Şekil 3'te siyah okla belirtildiği gibi boşluklarda bulunan sıvının kimyasını çimento cinsi etkilemektedir. Silika dumanı, yüksek fırın cürufu veya uçucu kil gibi puzolanik malzemelerin kullanılması hidroksil ve alkali iyonlarının miktarını azaltmaktadır. Bunlar esas olarak elektrik yükü taşıyan iyonlardır. Bu iyonlardaki azalma direk olarak elektro-geçiş mekanizmasının yavaşlamasına neden olmaktadır. Önemli olan sonuç ise donatı korozyonun azalmasıdır.

Kırmızı oklar çimento tipinin beton matrisinin kimyasını etkilediğini göstermektedir. Örnek vermek gerekirse, sülfata dayanıklı çimento kullanıldığında daha az alüminat oluşmaktadır. Oysa ki alüminat iyonları, klorür iyonları ile birleşerek Friedel tuzu oluşturmaktadır. Sülfata dayanıklı çimento kullanıldığında klorür iyonlarının bağlanması sınırlanmış olur ve serbest klorür miktarı korozyon için daha riskli seviyede oluşur.

KAYNAKLAR

1. Claisse, Peter. (2014). Transport Properties of Concrete: Measurements and Applications.
2. Torrent, R.J., Neves, R.D., & Imamoto, K.-I. (2021). Concrete Permeability and Durability Performance: From Theory to Field Applications (1st ed.). CRC Press.

www.thbb.org

www.thbbakademi.org