THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

4

İÇİNDEKİLER

- ***Beton Yüzeyinde Çiçeklenme***
- ***Beton İle İlgili Yanlış Bilinenler***
- ***İnşaat Sektöründe Önemli Kilometre Taşları***
- ***Alkali – Karbonat Reaksiyonu***

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.

Mayıs, 2022

BETON YÜZEYİNDE ÇİÇEKLENME (EFFLORESCENCE)

Çiçeklenme nedir?

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 iklim koşullarında çiçeklenme daha sık görülür.

Resim 1. Beton yüzeyinde çiçeklenme

Çimento hidratasyonu sonucu oluşan ve suda çözünebilen $Ca(OH)_2$, çiçeklenme olayında önemli rol oynar. Betona yağış ya da zemin yoluyla giren su, beton içindeki tuzları yüzeye taşır.

$$\mathbf{Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O}$$

Yukarıdaki tepkimede görüldüğü gibi suyun yardımıyla yüzeye çıkan $Ca(OH)_2$, CO_2 ile tepkimeye girerek suda zor çözünen $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat)'ı oluşturur. Böylece, Resim 1'de görüldüğü gibi beton yüzeyinde beyaz renkte lekeler oluşur.

Çiçeklenmeye neden olan etkenler nelerdir?

- 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 yetersiz olması ya da hiç olmaması,
- Onarımı yapılmamış çatlaklar,
- Yapı temelinin su yalıtımının kötü olması,
- Kireç içerikli sıvaların kullanımı.

Çiçeklenmenin yapıya etkisi nedir?

Çiçeklenme sonucu oluşan beyaz lekeler betonun dayanımı ve dayanıklılığı açısından sorun teşkil etmese de estetik açıdan istenmeyen bir duruma neden olur. Bu lekeler Resim 2'de görüldüğü gibi basınçlı su ile temizlenebilir, ancak her zaman başarılı olunamamaktadır. Burada lekenin kaynağı olan tuzun cinsi önem taşımaktadır.

Çiçeklenme beton ve sıva dışında tuğlada da görülebilmektedir. Genelde beyaz, yeşil ve kahverengi lekeler oluşmaktadır ve bu lekeleri temizlemek oldukça güçtür. Tuğlada görülen yeşil ve kahverengi lekeler daha çok tuğla içeriğindeki kil (vanadyum tuzu) ve renklendirici (mangan dioksit) kaynaklıdır.

Resim 2. Onarım için beton yüzeyi tazyikli su ile yıkanır, sert bir fırça ile fırçalanır ya da belirli oranlarda düşük konsantrasyonlu asit çözeltileri kullanılabilir.

Çiçeklenme öncesi alınması gereken önlemler nelerdir?

- 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 arttırıcı özelliği olan puzolanik katkılar kullanılmalıdır.
- Düşük alkali çimento kullanılabilir.

- C_3S oranı düşük çimento kullanılabilir. C_3S hidratasyonunda C_2S'e oranla 3 kat daha fazla $Ca(OH)_2$ oluşmaktadır.
- Kışın buz çözücü olarak tuz yerine solüsyon kullanılmalıdır.
- Yapı ile zemin arasında yeterli yalıtım yapılmalıdır.
- Binadaki derz ve saçaklar su yalıtımını en iyi sağlayacak şekilde yapılmalıdır.

Çiçeklenme sonrası çözüm önerileri nelerdir?

- 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.
- Yukarıdaki yöntemler ıslak ve kuru fırçalamadan sonuç alınamadığı takdirde uygulanmalıdır.

Tablo 1. Çiçeklenmeye yol açan tuzlar ve kaynakları

Ana Çiçeklenme Tuzu		Olası kaynağı
$CaSO_4.2H_2O$	Kalsiyum Sülfat	Tuğla
$Na_2SO_4.10H_2O$	Sodyum Sülfat	Çimento-tuğla reaksiyonu harcı
K_2SO_4	Potasyum Sülfat	Çimento-tuğla reaksiyonu harcı
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat	Çimento harcı veya beton
Na_2CO_3	Sodyum Karbonat	Çimento harcı
K_2CO_3	Potasyum Karbonat	Çimento harcı
KCl	Potasyum Klorür	Asitle yıkamada
NaCl	Sodyum Klorür	Deniz suyu
$VaSO_4$	Vanadyum Sülfat	Tuğla
$VaCl_2$	Vanadyum Klorür	Asitle yıkama
Mn_3O_4	Mangan Oksit	Tuğla
Fe_2O_3 veya $Fe(OH)_3$	Demir Oksit	Demir ile temasta
$Ca(OH)_2$	Kalsiyum Hidroksit	Çimento

Kaynaklar

1. Sprenent, B., “Effloresence-Minimizing Unsightly Staining”, The Aberdeen Group, 1992.
2. ACI SCM - 17, “Troubleshooting Concrete Problems”, ACI Seminer Notes,2000.

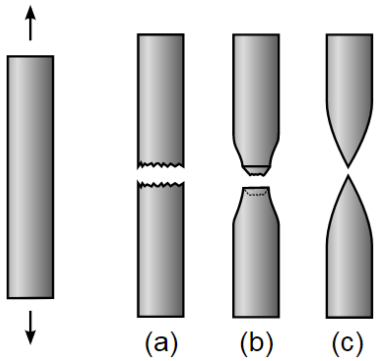
BETON İLE İLGİLİ YANLIŞ BİLİNENLER

1. Beton gevrek bir malzeme midir?

Betonun gevrek bir malzeme olup olmadığı konusuna geçmeden önce ilgili terimlerin üzerinde durulması faydalı olacaktır.

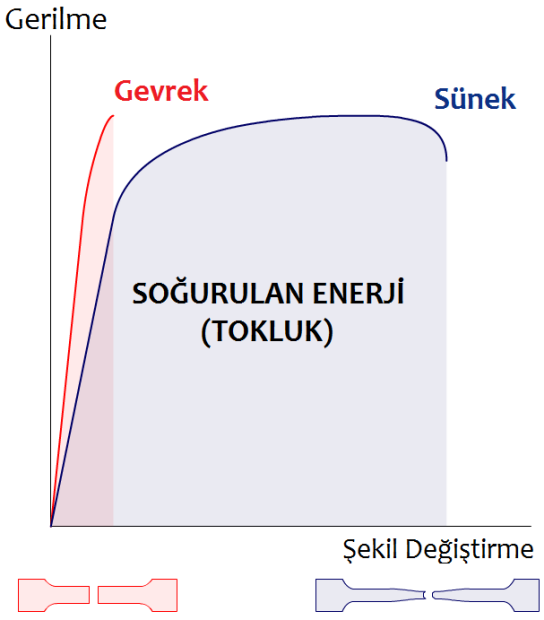
Süneklik: Bir malzemenin plastik şekil değiştirme kabiliyetine süneklik denir.
Gevreklik: Plastik şekil değiştirme kabiliyetinin olmaması durumunu ifade eder.
Tokluk: Malzemenin kopana dek absorbe ettiği (soğurduğu) toplam enerjiyi ifade eder. Sünek malzemelerin tokluğu yüksek, gevrek malzemelerin tokluğu ise düşüktür.

Şekil 1'de gevrek ve sünek kırılma şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. a) gevrek kırılma b) sünek kırılma c) tam sünek kırılma

Şekil 2'deki grafikte gevrek ve sünek malzemelerin davranışı görülmektedir.



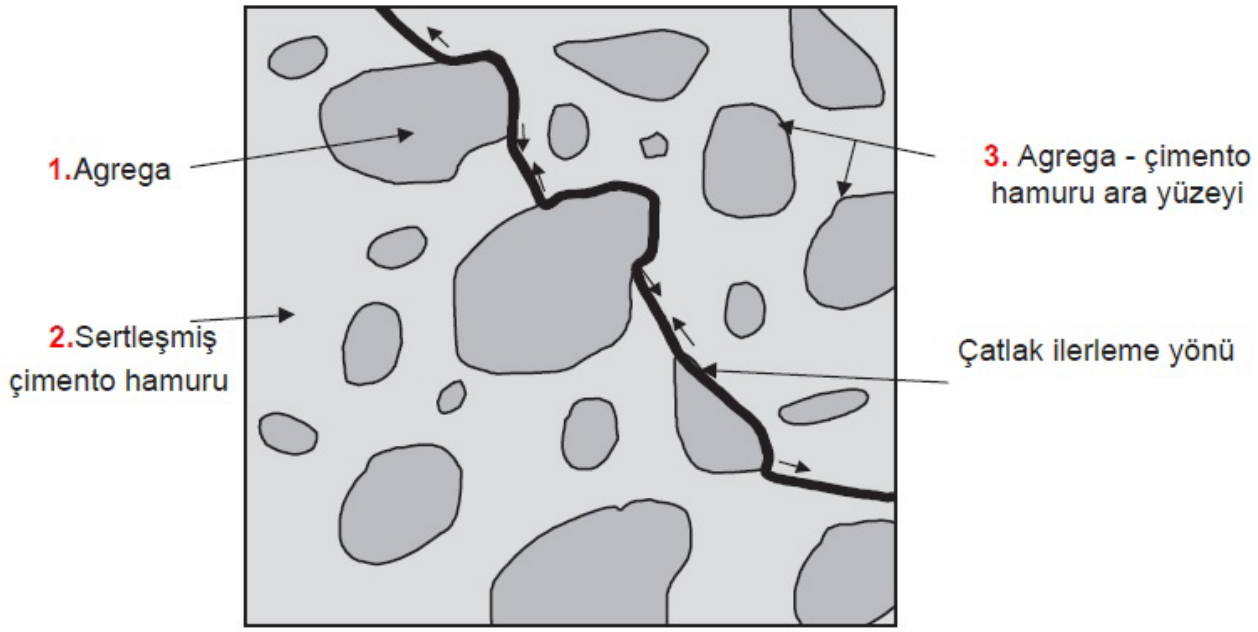
Şekil 2. Gevrek ve sünek malzemelerin davranışı

Şimdi baştaki soruyu tekrar soralım. Beton gevrek bir malzeme midir?

Betona gevrek bir malzeme demek tam olarak doğru değildir. Beton kısmen gevrek özellik gösterse de kırılma mekaniği incelendiğinde yarı gevrek (quasi-brittle) davranış sergilediği açıkça görülmektedir. Ayrıca, betona gevrek bir malzeme demek büyük bir haksızlık olacaktır. Beton, çelik gibi sünek bir malzeme olmadığı gibi cam gibi de gevrek değildir. Unutulmamalıdır ki mühendislik, malzemenin sünek olmasını yani tokluk seviyesinin yüksek olmasını tercih eder.

Beton, üç fazlı heterojen bir malzemedir. Şekil 3'te betonun bu üç fazı gösterilmiştir. Bunlar;

1. Agrega
2. Çimento hamuru (matris)
3. Agrega – çimento hamuru ara yüzeyidir.



Şekil 3. Betonu oluşturan fazlar

Betonun kırılma mekaniği bu üç fazın özelliklerinin bir sonucudur. Şekil 4'te betonun gerilme - şekil değiştirme grafiği görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde betonun farklı yük seviyelerinde farklı davranış sergilediği görülmektedir.

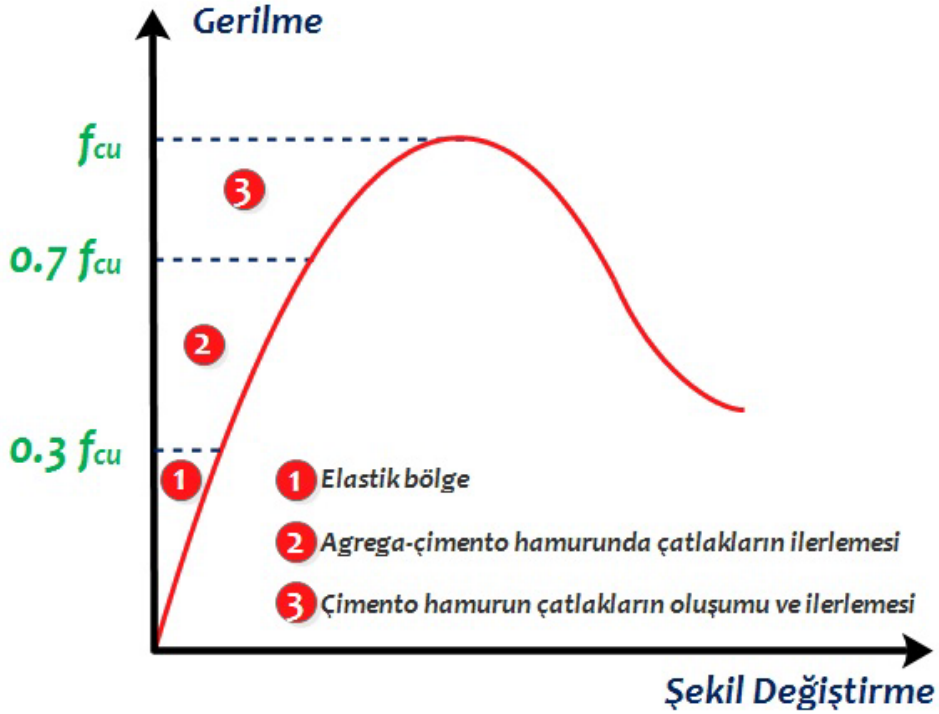
Beton, herhangi bir yüke maruz kalmasa bile içinde boşluklar ve mikro çatlaklar bulundurur. Bu mikro çatlaklar agrega - çimento hamuru ara yüzeyinde malzemelerin farklı mekanik özellikleriyle birlikte rötre (büzüşme) ve termal gerilmeler nedeniyle oluşur. Bu çatlaklar betonun düşük çekme dayanımına sahip olmasının da sorumlusudur.

Beton, tepe yükünün (f_{cu}) %30'una kadar lineer elastik bir davranış sergiler. Bu süreçte agrega - çimento hamuru ara yüzeyinde çatlaklar oluşur ve mevcut çatlaklar aktif hale geçer. Bu çatlaklar stabil haldedir. Yük kaldırıldığında şekil değiştirme ilk haline yani "0" değerine geri döner.

Tepe yükünün (f_{cu}) %70-90'ı kadar yüklemede ise elastik davranış kaybolur. Şekil 4'te görüldüğü gibi eğri, lineerlikten sapmaya başlar. Bu aşamadan agrega - çimento hamuru ara yüzeyindeki çatlakların

uzunluğu, genişliği, sayısı ve şiddeti artar. Tepe yüküne (f_{cu}) yaklaştıkça çatlak oluşumu çimento hamuruna geçer ve çatlaklar uygulanan yük doğrultusunda birleşerek ilerlemeye devam eder. Bu aşamada çatlak ilerlemesi hızlanır ve yeni çatlaklar oluşur. Grafikte görüldüğü gibi eğri lineerlikten daha da uzaklaşır.

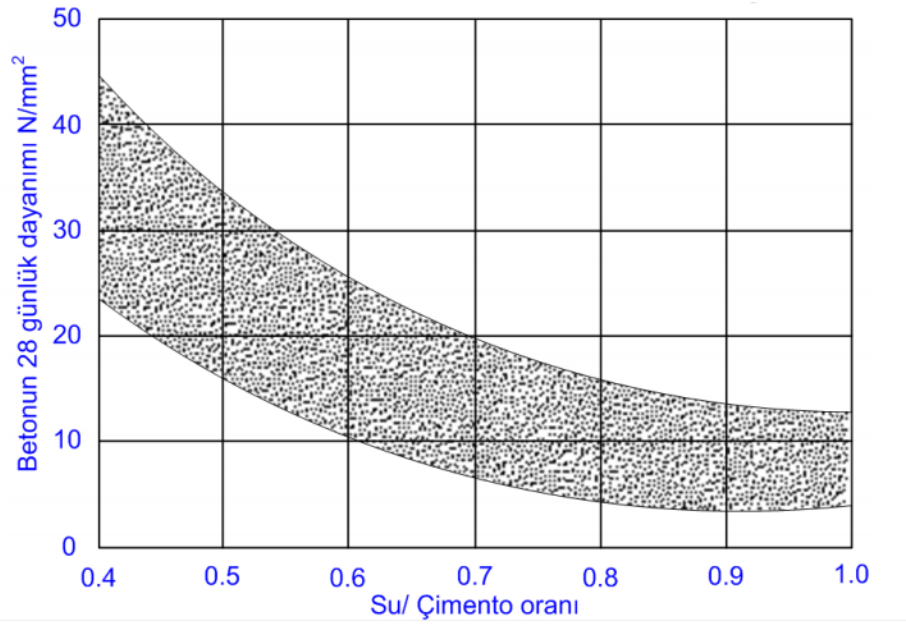
Tepe yüküne ulaşıldığında ise beton artık daha fazla yüke karşı koyamaz ve şekil değiştirme daha düşük yük altında devam eder. Çatlaklar ilerlemeye devam ettikçe şekil değiştirmeler artar ve yük taşıma kapasitesi azalır. Bu davranış betonun yük taşıma kapasitesinin aniden sıfırlanmasına engel olur. Tepe yükünden (f_{cu}) sonra beton tokluk kazanır ve gevrek davranışın dışında yani ***"yarı gevrek"*** davranış sergiler. Tepe yükünden sonraki bölgede "şekil değiştirme yumuşaması" meydana gelir. Kırılma yani betonun göçmesi, betonun daha fazla şekil değiştiremediği noktada gerçekleşir.



Şekil 4. Betonun gerilme-şekil değiştirme grafiği

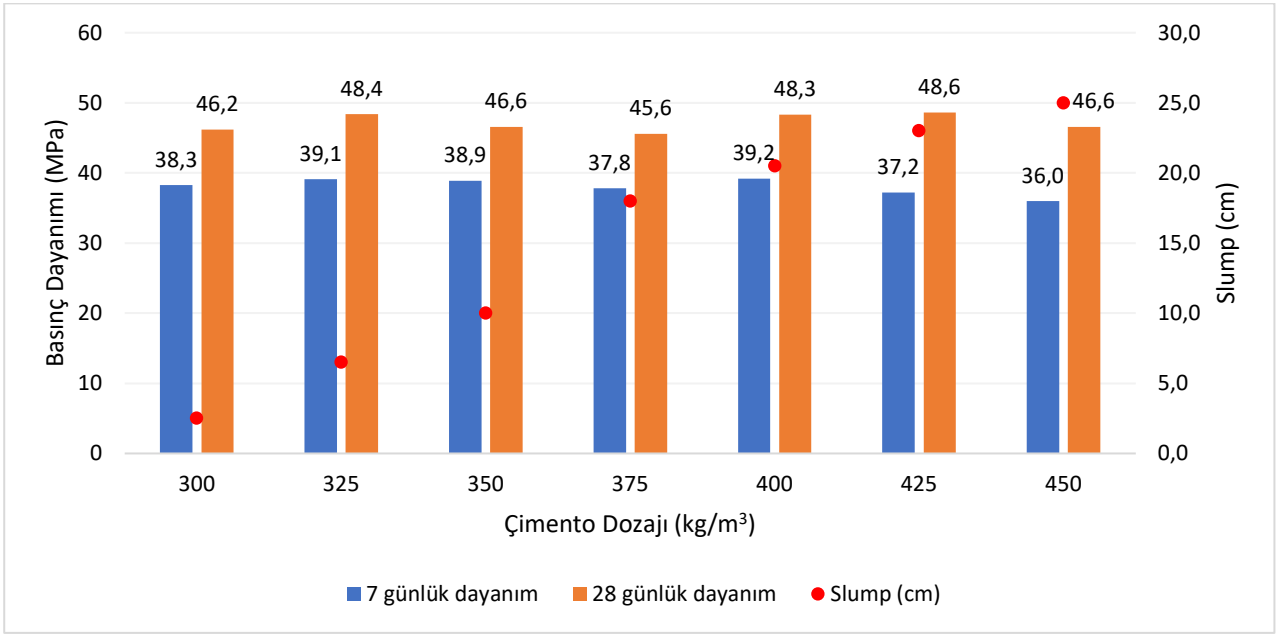
2. Betondaki çimento miktarı arttıkça basınç dayanımı artar mı?

Beton dayanımı; çimento matrisine, matris-agrega arasındaki bağa (ara yüzey) ve agrega dayanımına dayanmaktadır. Normal dayanımlı beton için matris dayanımı ve matris-agrega ara yüzeyi ön planda iken, yüksek dayanımlı betonlarda agrega dayanımı da öne çıkmaktadır. Matris (çimento hamuru) ve matris-agrega bağ dayanımı büyük oranda matrisin porozitesine (gözeneklilik) bağlıdır. Porozite başlangıçta çok ince tanecikli malzemelerin ve daha sonra hidratasyon ürünlerinin boşlukları doldurması ile azalmaktadır. Dolayısıyla da su/çimento oranın azalması ve hidratasyon derecesinin artması sonucu basınç dayanımı artmaktadır. Şekil 5'te su/çimento oranı ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişki görülmektedir.



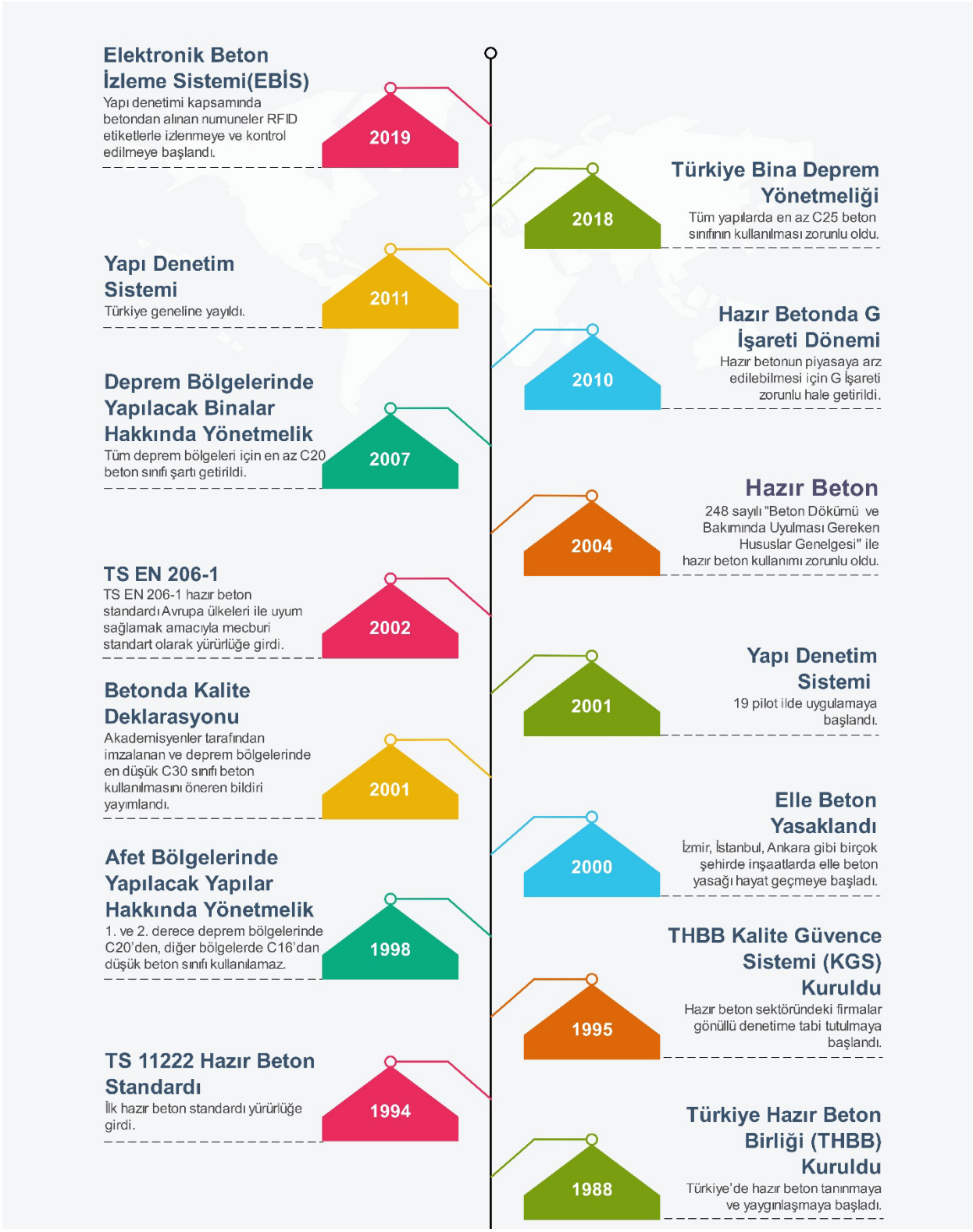
Şekil 5. Su/çimento oranı - beton dayanımı ilişkisi

Beton karışımında çimento miktarının artması su/çimento oranının kesinlikle azalması anlamına gelmemektedir. Bunu bir soru ile daha iyi ifade etmek mümkün. Aynı malzemeler ile üretilen bir betonda çimento içeriğinin 300 kg'dan 450 kg'a artırılması basınç dayanımını kesinlikle arttırır mı? Bu sorunun cevabı aşağıdaki grafikte net bir şekilde görülmektedir. Türkiye'de laboratuvar ölçekli yapılan bu çalışmada eşit su/çimento oranında çimentonun dozajının arttırılması beton basınç dayanımını belirgin bir şekilde değiştirmemektedir. Bu çalışmadan çıkan diğer bir bulgu da eşit koşullarda eşit su/çimento oranında beton basınç dayanımları eşdeğerdir. Demek ki çimento miktarından ziyade su/çimento oranı beton dayanımını etkilemektedir. Ayrıca, su/çimento oranının düşük olması dayanım kadar dayanıklılık için de son derece önemlidir.



Şekil 6. Eşit su/çimento oranında (0,55) çimento dozajı - beton dayanımı ilişkisi

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ÖNEMLİ KİLOMETRE TAŞLARI



ALKALİ – KARBONAT REAKSİYONU

Alkali-Karbonat Reaksiyonu Nedir?

Alkali-karbonat reaksiyonu (ACR) ilk olarak Swensson tarafından Ontario, Kanada'da 1957 yılında gözlemlenmiş ve araştırılmıştır. O günden bu yana birçok araştırmacı bu konu üzerinde durmuş ve çeşitli bilgiler elde etmiştir. Fakat günümüzde, ACR'nin mekanizması ve zararları halen tam olarak anlaşılmış değildir ve bu konuda çelişkili bulgular vardır.

Bu reaksiyonda dolomit veya magnezyum içeren kireç taşları, reaksiyon sonucu magnezyum hidroksite dönüşürler. Dedolomitasyon adı verilen bu olay, harita şeklinde çatlaklara ve betonun tamamen parçalanmasına yol açabilir. Dolomitin esas maddesi $MgCO_3$ su etkisiyle $Mg(OH)_2$'e dönüşmekte, $Mg(OH)_2$ ise suda çözünerek suyun taşın içine sızmasını sağlamaktadır. Taşın iç kısımlarında jeolojik devirlerden kalma kil damarları varsa bunlar su ile temas edip şişmekte ve agregaları patlatmaktadır. Alkali-karbonat jeli miktarca az olup genleşmeye daha ziyade dolomitin boşalması ile suya maruz kalıp şişen kil bileşenleri neden olmaktadır.

Tipik bir alkali karbonat reaksiyonu:

Brusit Tuzu

$$CaMg(CO_3)_2 + 2MOH \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + M_2CO_3$$

M; potasyum (K), sodyum (Na) veya lityum'u (Li) temsil etmektedir.

Alkali karbonatlar betonda Portland çimentosunun hidratasyon ürünleri ile birleşerek yeniden alkali üretirler.

$$M_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2MOH + CaCO_3$$

ACR'ye sebep olan karbonat kayaçlarının belirli bir mineralojik bileşimi vardır. Kısmen büyük dolomit kristalleri; ince taneli kalsit, kil ve genellikle silt boyutundaki kuvarsttan oluşan matrisin içinde bulunmaktadır. Alkali- karbonat reaktif kayaçların belirleyici özelliği dokularıdır. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tanımına göre reaktif kayaçlarda dikdörtgen şekilli dolomit kristalleri merkezde sıkı bir şekilde veya hafifçe dağınık olarak bulunabilir. Dağınık bulunan dolomit kristallerinin kenarları daha sivri iken, merkezde birbirine sürtünen şekilde bulunanlar daha yumuşak biçimlidir.

Dedolomitizasyon sırasında dolomit ve kireç, kendilerinden daha büyük hacimli olan kalsite ve brusit dönüşür. Bu reaksiyonun betonun toplam hacmi üzerindeki etkisi küçüktür fakat fazla oranda reaktif agrega taneleri içeren bölgelerde lokal genleşmelere, bu sebeple de lokal çatlaklara yol açabilir. Bu sırada da agrega ile çimento arasındaki bağ zayıflar. Diğer taraftan da betonun porozitesini ve geçirimliliğini arttırarak, betonun donma-çözünme gibi diğer mekanizmalara karşı dayanıklılığını azaltır. Dedolomitizasyonun yol açtığı genleşme kuvvetlerinin, ASR ile kıyaslandığında ihmal edilebilir olduğu söylenebilir.

Tipik dokuya sahip dolomit agregası betonda yüksek alkali içerikli bir çimento ile kaba agrega yerine kullanılırsa, ACR'ye yol açarak aşırı genleşmelere ve hasara yol açabilir. Dolomit agregasının güçlü alkalilerle reaksiyona girerek brusit, kalsiyum-karbonat ve çözülebilir alkali-karbonat oluşturduğu dedolomitizasyon reaksiyonunun ACR genleşmesinin temelini oluşturduğu kabul edilmiştir. Yine de ACR'nin varlığı bazı araştırmacılar tarafından hala kabul edilmemiştir.

Dolomit

Dolomit minerali

Dolomitik kireçtaşı

Kalsiyum ve Magnezyumun çift karbonat bileşiği olan Dolomitin kimyasal formülü $CaMg(CO_3)_2$ olup, dolomitin kalsitten ayrı özellikte bir mineral olduğu ilk kez Fransız Jeolog Deodat de Dolomieu tarafından belirlenmiş ve 1791 yılında Count Dolomien tarafından isimlendirilmiştir. Kimyasal olarak teorik bileşimi aşağıdaki şekildedir:

$CaCO_3$: %54,35
CaO: %30,4
$MgCO_3$: %45,65
MgO: %21,7
CO_2: %47,9

Dolomit, kireç taşlarından CaO'in yerini kısmen veya tamamen MgO 'in alması ile oluşmaktadır. Bu yüzden bileşimi açısından kireç taşları ile ilişkisi olup, yanalda ve düşeyde daima kireç taşları ile geçişlidir.

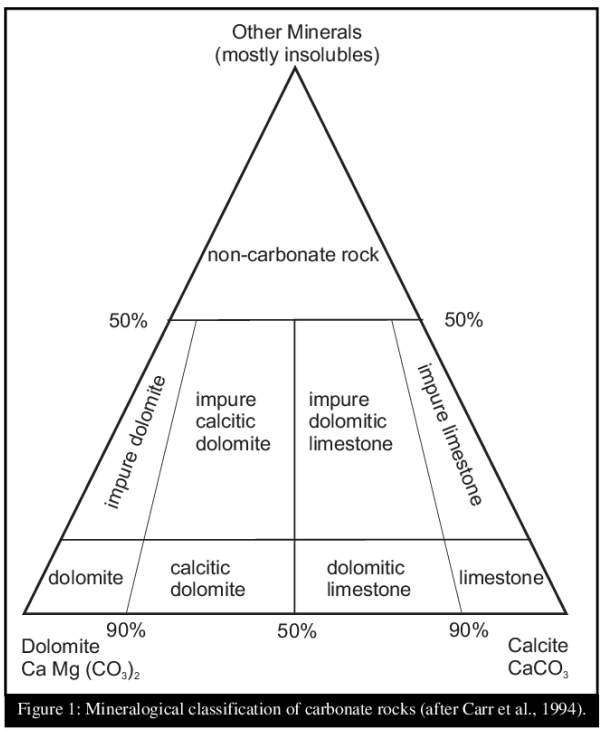


Figure 1: Mineralogical classification of carbonate rocks (after Carr et al., 1994).

Kireç taşı	$MgCO_3$ (%)
Yüksek kalsiyumlu kireç taşı	0 – 5
Magnezyumlu kireç taşı	5 – 35
Dolomitik kireç taşı	35 - 46

- Hazır beton sektöründe kullanılan kireç taşı agregalarında genelde $MgCO_3$ oranı %1-2 civarındadır ancak %4-5 gibi oranlar da görülebilir.
- Kireç taşında $MgCO_3$ arttıkça dolomotik özellik öne çıkar. Özellikle Trakya ve Karadeniz bölgesinde bu tür agregaları hazır beton sektöründe kullanıldığı bilinmektedir.

Betonda Açısından Değerlendirme

- Beton üretiminde dolomit agregası kullanımında bir engel yoktur.
- Ülkemizde dolomit kaynaklı alkali-karbonat reaksiyonuna dair bir bulgu tespit edilmemiştir.
- TS 706 EN 12620 Standardında agregadaki MgO içeriği ile ilgili bir limit bulunmamaktadır.
- Şüphe durumunda "ASTM C586 - Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates" kapsamında test yapılabilir. Testin yaklaşık bir yıl sürmesi ve ülkemizde birkaç yerde (THBB Lab. gibi) yapılıyor olması nedeniyle pratik değildir.
- Bazı beton bileşenlerinde MgO içeriğinin belirli bir limit üzerinde olması istenmez.
    - Klinkerde MgO içeriği %5 üzerinde olmamalıdır. Bunun nedeni MgO kaynaklı genleşme riskidir. Bu nedenle çimento ham maddesi olarak kullanılan kireç taşında $MgCO_3$ içeriğinin belirli bir sınır üzerinde olmaması istenir.
    - Yüksek fırın cürufunda MgO içeriği maksimum %18'dir.

Kaynaklar

1. Baradan B., Yazıcı, H., Ün, H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite) İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği, 2010.
2. Concrete Petrography, Technical Report No 71, Concrete Society, 2010.
3. Çakır, Ö.A., Alkali-Agrega Reaktivitesinin Tespitinde Kullanılan Deney Metotlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2007.
4. Garcia E, Alfonso P, Tauler E. Mineralogical Characterization of Dolomitic Aggregate Concrete: The Camarasa Dam (Catalonia, Spain). Minerals. 2020; 10(2):117. https://doi.org/10.3390/min10020117
5. Goralczyk, Stefan. (2012). Alkali-Carbonate reaction of aggregates. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. 28. 45-62.
6. Gün, M., Adapazarı Bölgesindeki Agregaların Alkali Agrega Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007.
7. Zarif, H.İ., Tuğrul, A.,Dursun, G., İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 16, S. 2, SS. 61-70 , Y. 2003.

www.thbb.org

www.thbbakademi.org