THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

9

ÖZEL KONU

BETONDA KURUMA BÜZÜLME MEKANİZMASI VE ÇATLAKLARI

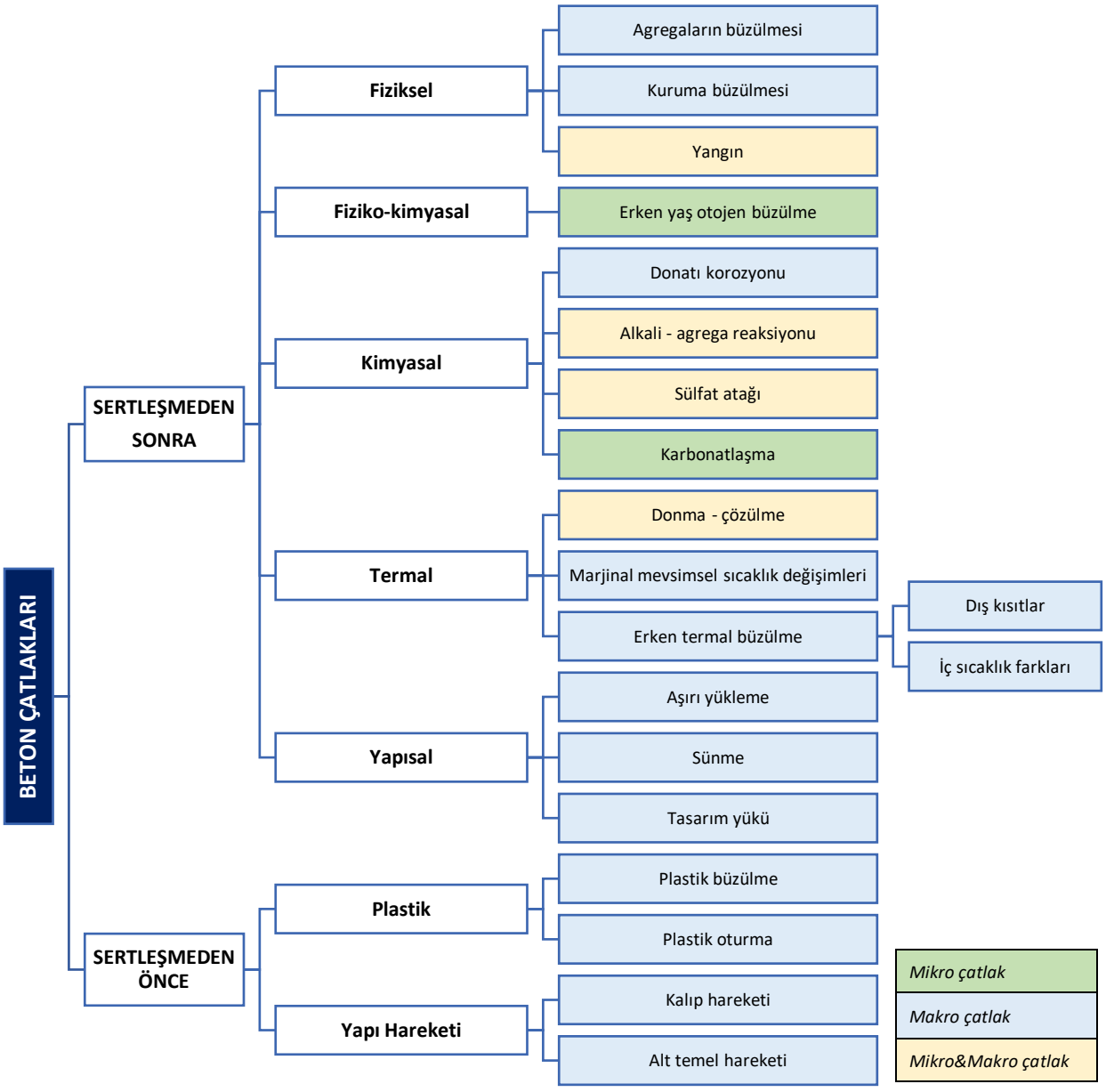
TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.

Ocak, 2023

BETONDA KURUMA BÜZÜLME MEKANİZMASI VE ÇATLAKLARI

Beton Çatlakları

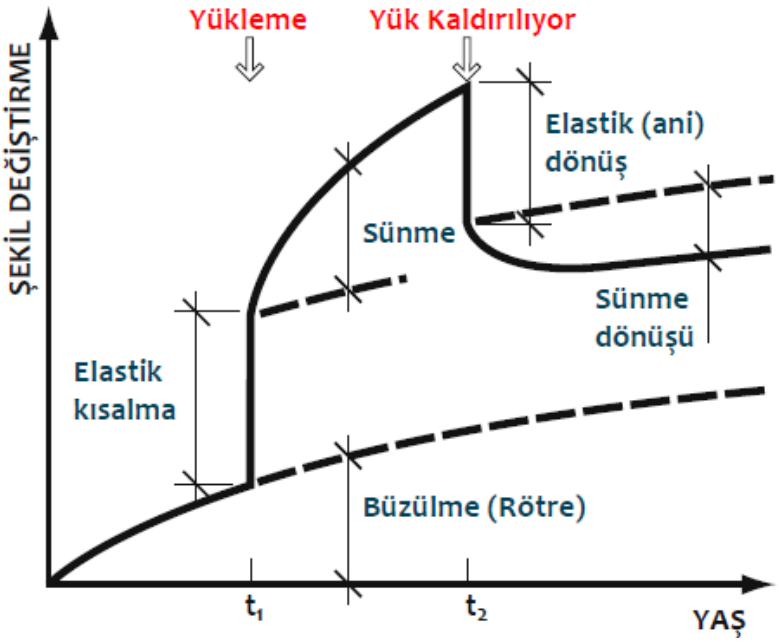
Beton taze haldeyken, sertleşirken ve sertleşmeden sonra çeşitli iç ve dış etkenlere bağlı çatlak oluşumu riskine maruz kalan bir yapı malzemesidir. Beton çatlaklarını önlemek için çatlakların oluşum ve mekanizmaları incelenmelidir. Şekil 1'de betonda görülebilen çatlak türleri ve ana nedenleri belirtilmektedir. Bu yazıda betonun sertleşmesinden sonra görülen fiziksel nedenlere bağlı olarak gelişen kurumu büzülmesi (rötresi) mekanizması konu edilmektedir.



Şekil 1. Betonda oluşan çatlakların türleri ve nedenleri [1]

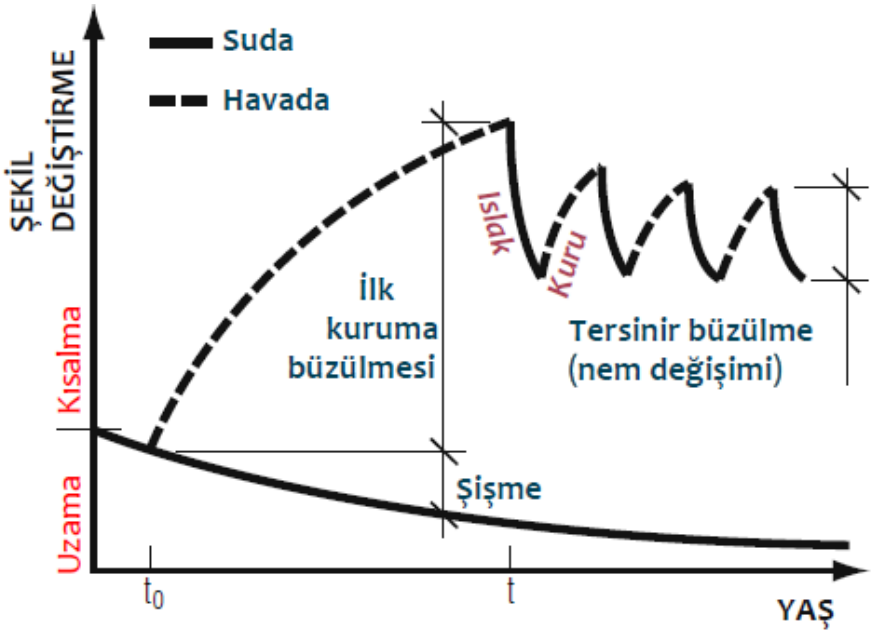
Kuruma Büzülmesi Mekanizması

Beton, hizmet ömrü boyunca bulunduğu dış ortam ile dengeye ulaşma eğilimindedir. Ortam koşulları kuru ise, betonun açıkta kalan yüzeyi buharlaşma nedeniyle su kaybeder. Buharlaşma hızı; bağıl neme, sıcaklığa, atmosfer basıncına, su/çimento oranına ve açıkta kalan beton yüzeyin alanına bağlıdır. Sertleşmiş betonda kaybedilen ilk su, betonun geniş kılcal gözeneklerinde tutulan sudur. Bu suyun kaybı önemli hacim değişikliğine neden olmaz. Bununla birlikte; kuruma devam ettikçe, küçük kılcal gözeneklerden ve daha sonra jel boşluklarından da su kaybı meydana gelir. Kılcal gözeneklerdeki buhar basıncının düşmesi ile sudaki çekme gerilmesi artar. Kapiler sudaki çekme gerilmeleri, suyu çevreleyen betondaki basınç gerilmeleri ile dengelenir ve bunun sonucunda beton büzülür. Jel boşluklarındaki suyun buharlaşması, katı fazın yüzey enerjisini değiştirir ve daha fazla büzülmeye neden olur. Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jelleri gözenekli olduğu için ıslanma ve kuruma altında büyük hacim değişikliklerine uğrar. Sonuç olarak; kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jelin hacmi ve özellikleri, betonun kuruma büzülmesini büyük ölçüde belirler. Kuruma büzülmesi, bir beton elemanında gözlenen toplam deformasyonun bir kısmını oluşturur. Şekil 2, termal hareket hariç çeşitli deformasyon bileşenlerini göstermektedir [2]. Büzülme zamana bağlıdır ve yükten kaynaklanmaz.



Şekil 2. Yük olmadığında, yük uygulandığında ve yük kaldırıldığında betonda oluşan deformasyon

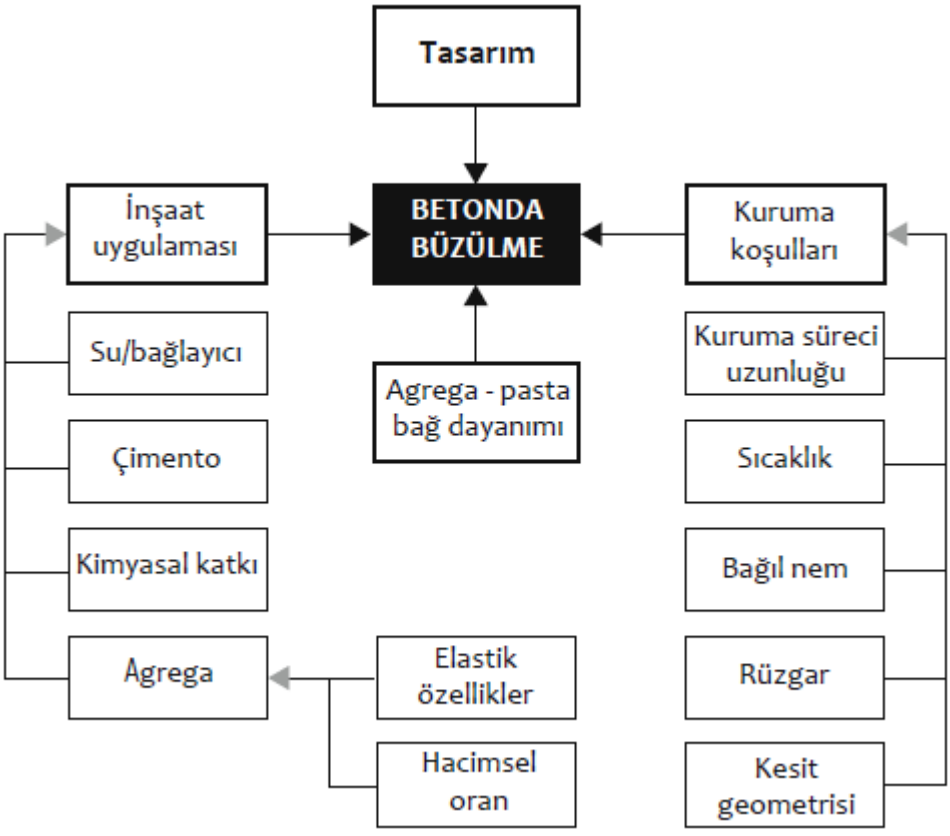
Betonun maruz kaldığı ortam nemliyse, nem akışı ortamdan betona doğru olmaktadır ve bunun sonucunda hacim artışı (şişme) meydana gelmektedir. Kuruma ve ıslanma döngüleri nedeniyle betondaki hacim değişikliklerinin şematik açıklaması Şekil 3'te gösterilmektedir [2]. En büyük büzülme hareketi başlangıçta meydana gelir. Bu büzülmenin önemli bir kısmı geri döndürülemez, yani sonraki nemli ortam koşullarında geri kazanılamaz.



Şekil 3. Kuruma ve ıslanma döngüsünde betonda oluşan deformasyon

Kuruma Büzülmesini Etkileyen Faktörler

Şekil 4'te belirtildiği gibi kuruma büzülmesi betondaki nem kaybına bağlı olduğundan kurumayı etkileyen dış etkenlerden ve ayrıca beton ve bileşenlerine ilişkin iç etkenlerden etkilenir.



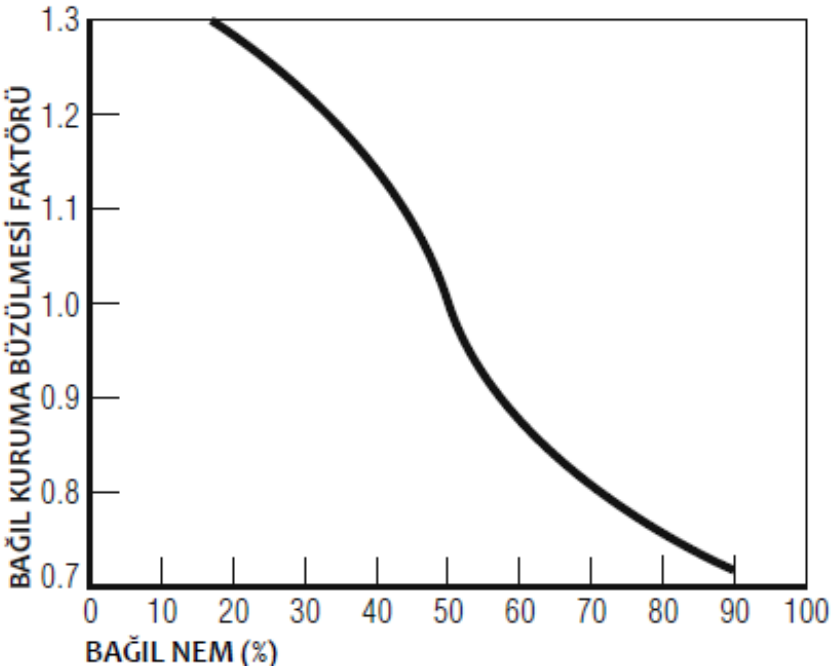
Şekil 4. Kuruma büzülmesini etkileyen faktörler

Dış Faktörler

Betondan nem kaybını etkileyen dış faktörler; ortam koşulları ve beton elemanın boyutu ve şeklidir.

Ortam koşulları

Hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı beton yüzeyinden nem kaybını etkilemektedir. Bir beton elemanın zıt taraflarındaki farklı ortam koşulları farklı kuruma derecesi ile sonuçlanır ve bu nedenle betonda farklı büzülme davranışları oluşur. Diğer tüm faktörler eşit olduğunda, değişen bağıl nemin betonun kuruma büzülmesi üzerindeki tipik etkisi Şekil 5'te gösterilmektedir [3]. Özet olarak; kuruma büzülmesi ortam sıcaklığındaki artış, bağıl nemdeki azalma, beton yüzeyini etkileyen rüzgârın hızı ve betonun bu koşullara maruz kalma süresi ile artmaktadır.



Şekil 5. Bağıl nemin kuruma büzülmesine etkisi

Beton Elemanın Geometrisi

Geniş ve kalın kesitli beton elemanlar küçük ve ince olanlara göre daha yavaş kurur. Sonuç olarak, aynı kuruma süresinde büyük boyutlu elemanlardaki büzülme küçük boyutlu olanlardan daha düşüktür. Beton eleman geometrisinin kuruma büzülmesi üzerindeki etkisi, çoğu kodda ve standartta, beton elemanın enine kesitinin alanının enine kesitin açıkta kalan çevresine bölümünün iki katı olarak tanımlanan teorik kalınlığı veya varsayımsal kalınlığı ile temsil edilir.

İç Faktörler

Betonun kuruma büzülmesini etkileyen iç faktörler çimento, agrega ve katkı gibi beton bileşenlerinin özellikleri; su/çimento oranı, su içeriği ve agrega hacmi gibi beton karışım tasarımı özellikleri ve yerleştirme, sıkıştırma ve kürleme gibi uygulamalardır.

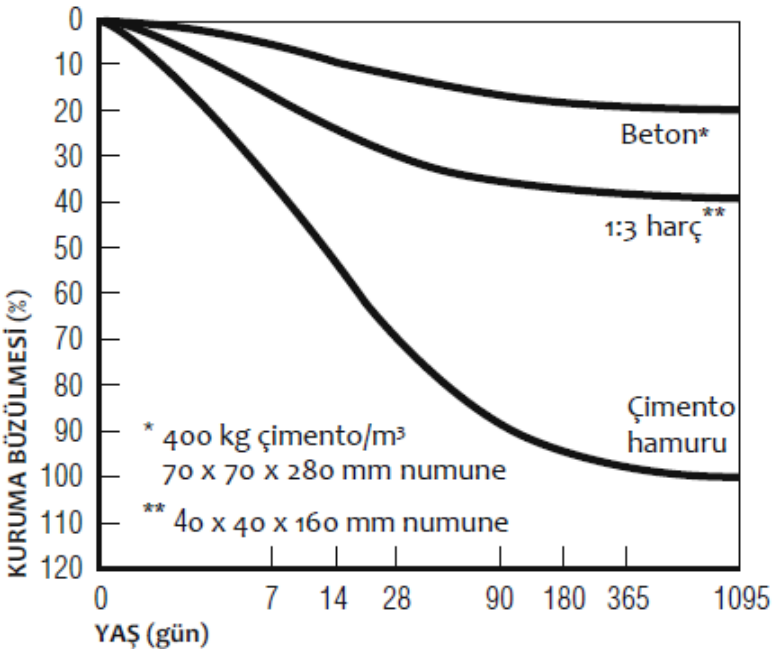
Çimento

Genel olarak çimento özelliklerinin kuruma büzülmeyi etkileyebileceği sonucuna varılmasına rağmen, etki tam olarak belirlenmemiştir. C_3A ve alkali içeriğinin baskın bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir [4]. Buna karşılık, C_3A ve alkali içeriğinin büzülme üzerindeki etkisi çimentonun alçı içeriğinden etkilenir; yani aynı C_3A içeriğine sahip çimentolar farklı alçı içeriklerinde farklı davranış sergilemektedir [5].

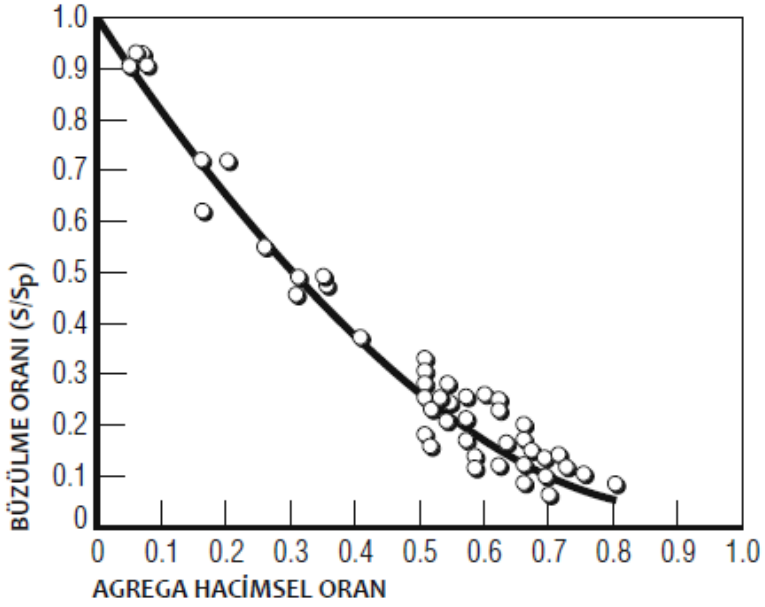
- Düşük C_3A içerikli çimentolar genellikle daha düşük kuruma büzülmesi sergiler.
- Katkılı çimentolar genellikle belirli bir kıvam (işlenebilirlik) için su ihtiyacının azalmasına ve dolayısıyla da kuruma büzülmesinin azalmasına neden olabilmektedir.

Agregalar

Agregaların büzülme üzerinde kısıtlayıcı etkisi vardır. Bu etki Şekil 6'da gösterilmektedir. Bununla birlikte, kısıtlayıcı etki değişkenlik göstermektedir. Literatürde yer alan çalışmalar bazı agrega türlerinin çimento hamurundan daha fazla büzülmeleri durumunda betonda büzülmeyi önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir [6,7,8]. Bu çalışmalar, bir agreganın büzülmesi ile su emme kapasitesi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani, kaliteli ve düşük kuruma büzülmesi olan agregalar genellikle düşük su emme karakterine sahiptir. Agreganın büzülmesi çimento hamurundan daha düşük olduğunda, agrega betondaki büzülmeyi sınırlar. Şekil 7'de görüldüğü gibi agrega hacminin artmasıyla betonun büzülmesi daha da azalmaktadır [9]. Betonun büzülmesi çimento hamurunun sadece %20'si kadar olabilmektedir.



Şekil 6. %50 bağıl nemde beton, harç ve çimento hamurunun karşılaştırmalı kuruma büzülmesi

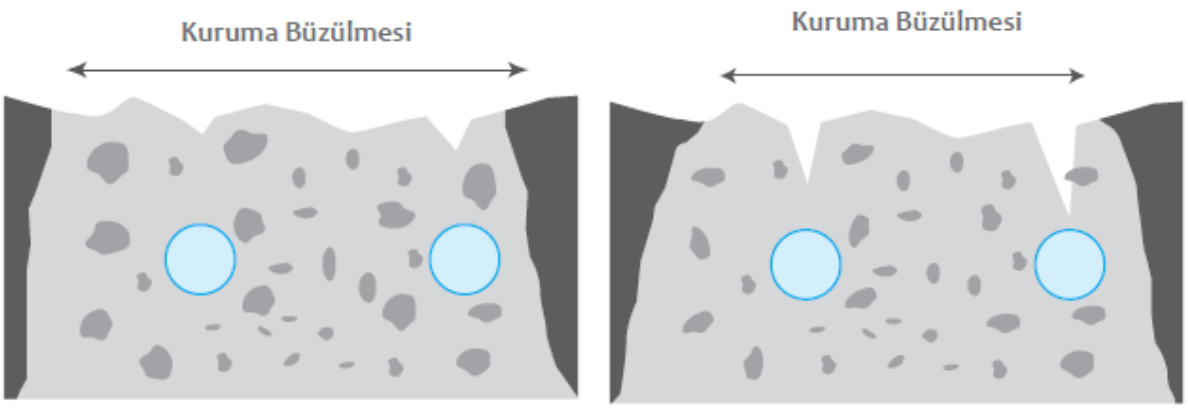


Şekil 7. Agrega hacminin büzülme üzerindeki etkisi (S= betondaki büzülme, S_p=çimento hamurundaki büzülme)

Gradasyon, maksimum tane çapı, şekil ve yüzey dokusu gibi diğer agrega özellikleri kuruma büzülmesini dolaylı olarak etkiler. Pratikte, bu özelliklerden herhangi biri betonun su ihtiyacında ve/veya çimento hamuru oranında değişikliğe yol açabilir. Agregalar silt, kil, kömür veya organik madde gibi diğer malzemelerle kirlenebilir. Bu malzemelerin çoğu büzülmeyi engellemez ve hatta özellikle yüksek miktarda su emme özelliği olan ve kuruyunca önemli ölçüde büzülen kil bunu arttırabilir. Bu kirletici malzemelerin çoğu agreganın yıkanması ile giderilebilmektedir.

Özetle; düşük su emme ve yüksek elastisite modülüne sahip sert ve yoğun agregalar, düşük kuruma büzülmesine sahip beton üretimi için önemlidir. Agreganın betonun kuruma büzülmesini sınırlama üzerindeki etkisi aşağıda belirtilen parametreler tarafından belirlenir:

- Agreganın karışımdaki hacimsel oranı
- Agrega tane çapı
- Agreganın elastisite modülü



Şekil 8. Agrega hacminin ve tane çapının kuruma büzülmesine etkisi

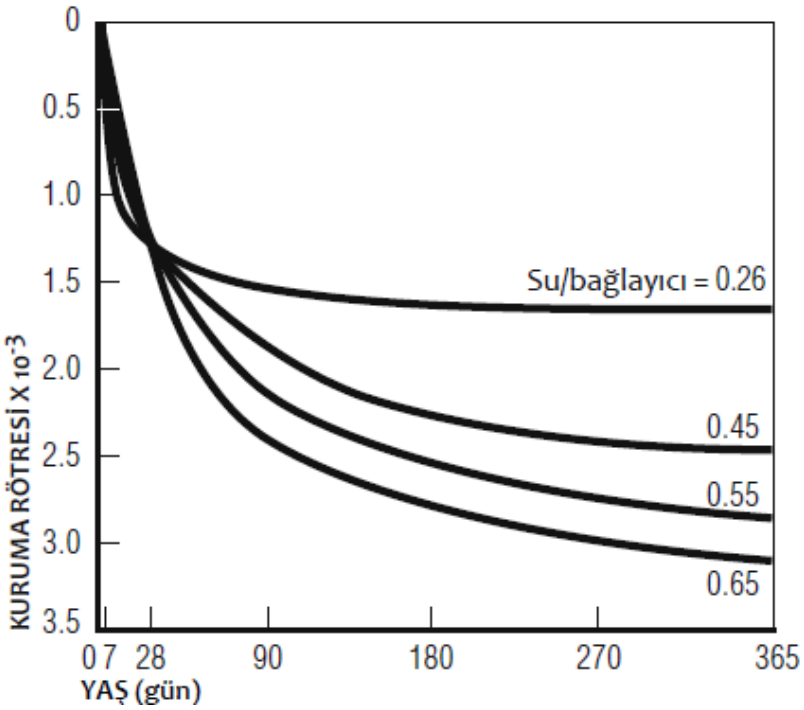
Katkılar

Belirli özellikleri elde etmek/geliştirmek ve ekonomik üretimi sağlamak için betona ilave edilebilen farklı işlevlerde kimyasal katkı vardır. Genel olarak kimyasal katkılar; formülasyonlarına, çimento ile etkileşimlerine, karışımdaki diğer katkılarla etkileşimlerine ve beton karışımının oranlarında meydana getirdikleri değişikliklere veya ayarlamalara bağlı olarak betonun büzülmesini değişen derecelerde etkiler.

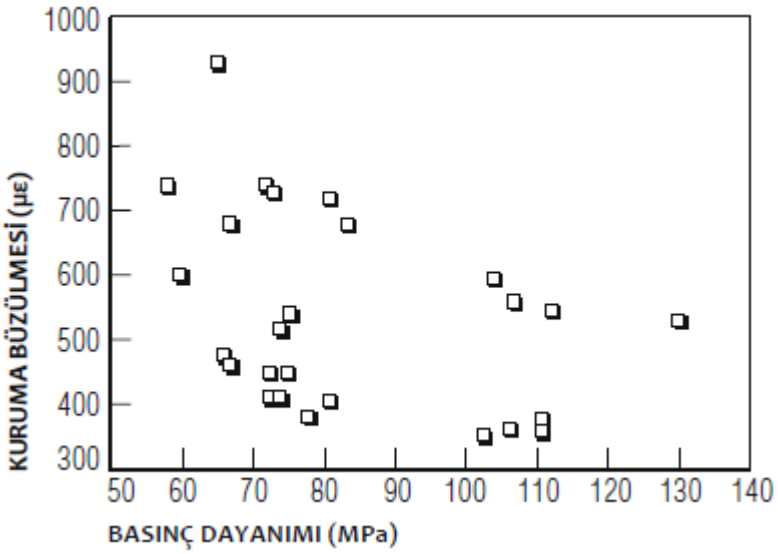
Su içeriği

Su içeriği arttıkça betonun kuruma büzülmesi artar. Su içeriği ile büzülmedeki değişiklik, daha önce bahsedilen çeşitli kuruma aşamalarında kaybedilen su türlerindeki farklılık ile açıklanabilir. Aynı zamanda betonun elastisite modülü ile de ilişkilidir. Yüksek su/çimento oranı daha düşük dayanıma ve daha düşük elastisite modülüne sahiptir ve bu nedenle de daha büyük bir büzülme eğilimine sahiptir. Su/çimento oranının kuruma büzülmesine etkisi Şekil 9'de gösterilmektedir [12]. Görüleceği gibi, 28 günü aşan yaşlarda, daha yüksek su/çimento oranı kuruma büzülmesinde önemli bir artışa yol açmaktadır.

Yüksek çimento içeriğinin her zaman daha yüksek kuruma büzülmesine yol açtığı savunulmuştur. Yüksek çimento içeriği, düşük su içeriği (dolayısıyla düşük su/çimento oranı) ve iyi kalitede agrega ile karakterize edilen yüksek performanslı/yüksek dayanımlı betonun düşük büzülme özelliklerine sahip olabileceğini gösteren Şekil 10, bu savın tam tersini göstermektedir [13].



Şekil 9. Su/çimento oranının çimento hamurunda kuruma büzülmesine etkisi



Şekil 10. Yüksek dayanımlı betonda kurumu büzülmesi

İnşaat uygulaması

Betonun yerleştirmesi, sıkıştırılması ve kürlenmesi kuruma büzülmesi şiddetini en aza indirmede önemli faktörlerdir. Beton işlenebilirliğini arttırmak veya son bitirme işlemine yardımcı olmak için betona şantiyede kontrolsüz su ilave etmek, betonun kuruma büzülmesini arttırmaktadır. Kapiler boşlukları azaltarak ve/veya süreksiz olmalarını sağlayarak daha geçirimsiz ve yoğun beton üretmek için uygun sıkıştırma ve kürleme gereklidir. Bu da betondaki nem kaybının ve dolayısıyla kuruma büzülmesinin azalmasına neden olmaktadır. Özellikle sıcak hava şartlarında uygun bir şekilde yapılan kür işlemleri beton yüzeyinin kurumasını önlemektedir.

Donatı miktarı

Çatlama meydana geldiğinde, büzülme çatlaklarının aralığı ve genişliği, betondaki donatı miktarına ve donatının çimento hamuru ile aderansına bağlıdır. Kuruma büzülmesinin neden olduğu çekme gerilmesini dağıtmak için yeterli takviyenin sağlanması, özellikle zemin üzeri döşemelerde ve yapısal nedenlerden dolayı donatı gerekmeyen benzeri uygulamalarda önemlidir. Hareketi kısıtlanmış betonda donatılar çekme gerilmelerine direnirken ve büyük çatlakların oluşumunu önlemeye yardımcı olurken, çatlamayı tamamen engelleyemez; ancak çatlakların daha yakın aralıklarda ve daha küçük bir genişlikte olmalarını sağlar.

Derzler

Genleşme derzleri, kuruma büzülmesinin bir sonucu olan harekete izin verir. Donatısız beton, kuruma büzülmesinin neden olduğu gerilmelerin betonun çekme dayanımını aştığı yerlerde düzensiz aralıklarla daha büyük çatlaklar oluşturma eğilimindedir. Bu tür çatlakları önlemek için uygun aralıklarla genleşme derzleri yapılmalıdır

Büzülme gerilmelerini kontrol etmek için sadece donatıya güvenmekten ziyade genleşme derzlerine yoğunlaşmak daha ekonomik olabilir. Genleşme derzlerinin konumu tasarımcı için sorun teşkil edebilse de normalde bunlar kuruma büzülmesine bağlı olarak en büyük gerilme yoğunluğunun bekleneceği yerlere yerleştirilmelidir.

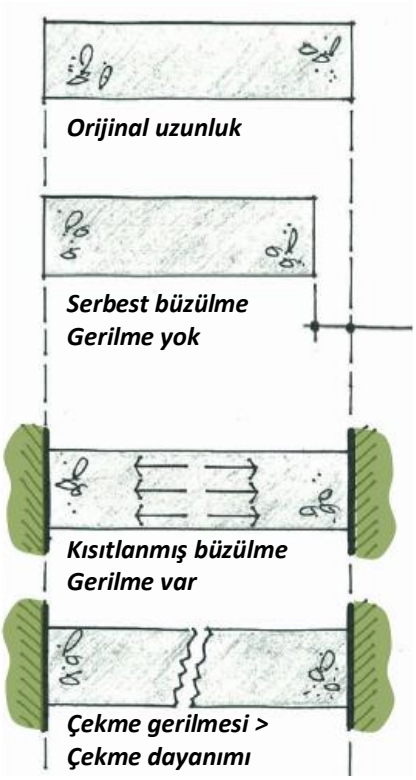
Kuruma Büzülmesi Çatlakları

Beton eleman serbest bir şekilde hareket edebiliyorsa kuruma büzülmesi önemli bir sorun oluşturmaz, ancak bu durum pratikte pek de mümkün değildir. Beton elemanın hareketi herhangi bir şekilde kısıtlanıyorsa; kuruma büzülmesi betonun çekme dayanımını aşması halinde betonun çatlamasına neden olur. Kuruma büzülmesinin azaltılması; beton elemanın kısıtlanmasından, tasarımından ve detaylandırılmasından da etkilenen çatlamayı mutlaka engellemeyecektir.

Büzülme çatlakları döşeme boyunca oluşabilmektedir. Bu tür çatlaklar suyun betona nüfuz etmesine neden olabilir ve sonuçta beton elemanın dayanıklılığı olumsuz etkilenir. Bu nedenle, kuruma büzülmesine bağlı çatlakların kontrolü önemlidir ve beton elemanın uygun şekilde tasarlanmasını ve detaylandırılmasını gerektirir.

Betonarme Elemanda Kısıtlanmış Büzülme

Büzülmeye karşı harici kısıtlamalar genellikle bir yapısal elemanın destekleri ve bitişik yapı tarafından sağlanır. Eğilme elemanlarının desteklerde kısıtlandığı durumda; büzülme, dış yüklerin neden olduğu eğilmeye ek olarak elemanda eksenel gerilme oluşmasına neden olur. Büzülme, genellikle çok sayıda eğilme çatlaklarının genişliklerindeki artışla eğilme elemanlarında dengelenir. Bununla birlikte, önemli ölçüde eğilmeye maruz kalmayan ve çekme ve sıcaklık değişimlerinin neden olduğu hareketlerin kısıtlandığı durumda çatlaklar kesitin tüm derinliği boyunca yayılma eğilimindedir. Bu tür çatlaklar, eğilme gerilmesinden ziyade doğrudan gerilmeden kaynaklandıklarından genellikle doğrudan gerilme çatlakları olarak adlandırılır. Tamamen kısıtlanmış doğrudan çekme elemanlarında, yükten bağımsız çatlamayı kontrol etmek için nispeten büyük miktarlarda donatı takviyesi gerekir [14].



Şekil 11. Büzülme çatlağı

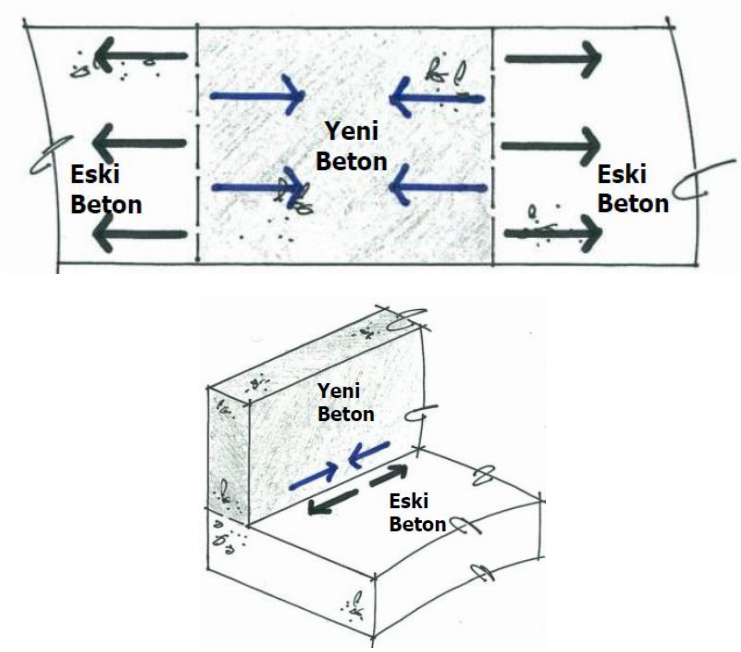
Büzülme, iki boyutlu serbest mesnetli beton elemanlarda boy kısalmasına neden olur. Ayrıca, kısıtlanmadığı veya nispeten büyük bir hacme sahip olmadığı sürece betonda gerilme oluşturmaz. Çekme gerilmelerinin, elemanın serbest çekmesi engellendiğinde betonda ortaya çıktığı iyi bilinen bir gerçektir. Kısıtlamalar iç veya dış kaynaklı olabilir. Betona gömülmüş donatı çubukları, kendiliğinden belirli bir miktar kısıtlama sağlar. Büyük miktarda hacmin bir iç kısıtlama durumu olabilir. Masif betonun iç kısmı, dış kısmını sınırlayabilir. Agregalar ayrıca iç kısıtlamalar olarak kabul edilir.

Genel olarak, büzülme çatlakları, kütle betonlar hariç dış kısıtlamalardan kaynaklanır. Perde duvarların betonarme döşemelerden önce döküldüğü aşamalı inşaat durumunda, perde duvarlar kür süresi boyunca serbest büzülmeye maruz kalır. Daha sonra dökülen ve bu sertleşen elemanlarla birleşen döşemelerde kısıtlanmış büzülme meydana gelebilir. Perde duvarlarda eğilme momentlerine ve kesme kuvvetlerine neden olan yanal yükler gözlenirken, buna karşılık, döşemenin kürlenme süresi boyunca düzlem çekme kuvvetleri döşeme plakalarında gözlemlenir.

Perde duvar ne kadar rijitse, döşeme plakalarındaki düzlem çekme gerilmelerinin o kadar yüksek olduğu açıktır.

Çoğunlukla plastik rötreden kaynaklanan erken yaş rötre çatlakları, beton elemanların dış yüzeyinde 2 ila 3 mm genişliğe ulaşan genişlikte olabilir. Ancak genişlikleri genellikle açık yüzeyin altında hızla azalır. Plastik çatlaklar tipik olarak 1 mm'yi geçmez, ancak elemanın tüm derinliğinden geçebilir. Plastik büzülme çatlağı oluşumuna yol açan mekanizmalar tam derinlikli çatlakları açıklamaz. Kuruma büzülmesinin plastik rötre çatlaklarının yayılmasına neden olması muhtemeldir [15].

Eğilme ve kesme kuvvetleri eleman üzerinde baskın değilse, kısıtlanmış büzülmeden kaynaklanan gerilmeler davranışı kontrol eder. Genel olarak büzülme şekil değiştirmeleri, beton çekme şekil değiştirme kapasitesinden daha büyüktür. Kısıtlanmış deformasyonların neden olduğu doğrudan gerilme çatlakları, büzülme ve termal gerilmeler tarafından indüklenir ve genellikle bir elemanın enine kesiti boyunca tamamen nüfuz eder. Bu da yapısal betonun en zor ve zahmetli özelliklerinden biridir [16].



Şekil 12. Eski betonla temas eden yeni betonda kısıtlanmış büzülme çatlakları

Kısıtlanmış büzülme çatlakları genellikle perdelerde, döşemelerde, tünellerde ve eski beton üzerine dökülen yeni betonlarda görülür. Bu tip çatlaklar perde içindeki boşluklar civarında belirgin biçimde oluşabilir. Kısıtlanmış rötre çatlaklarını azaltmak için alınması gereken önlemlerden bazıları [17]:

- Donatı miktarını arttırmak,
- Çelik tel veya polietilen fiber kullanmak,
- Dayanımı sağlayabilmek kaydıyla çimento miktarını biraz azaltmak,
- Kalıp alma süresini uzatmak,
- Dökümden hemen sonra doğru ve yeterli kür uygulamak ve gereken koruma önlemlerini almak,
- Hidratasyon ısısı düşük çimento kullanmak,
- Betonun su/çimento oranını düşürmektir.

Şekil 13. Döşeme ve perdelerde kısıtlanmış büzülme çatlakları

KAYNAKLAR

1. Evaluating Cracking in Concrete, Bluey Technologies. https://www.bluey.com.au/wp-content/uploads/2012/02/Cracking-in-Concrete-LR-R13-1.pdf.
2. Fulton's Concrete Technology, Seventh (revised) edition edited by B J Addis, Portland Cement Institute, South Africa, 1994.
3. Blakey, F A, Influence of Creep and Shrinkage on Structural Behaviour Constructional Review, November 1963, pp 15–21.
4. Roper, H, Shrinkage Tensile Creep and Cracking Tendency of Concretes Australian Road Research, Vol. 5, No. 6, December 1974, pp 26–35.
5. Pickett, G, Effect of Gypsum Content and Other Factors on Shrinkage of Concrete Prisms Proceedings, American Concrete Institute, Vol. 44, October 1974, pp 149–175.
6. Welch, G B, Creep and Drying Shrinkage Characteristics of NSW Concrete Concrete Institute of Australia, Special Publication No. 1, Shrinkage and Creep, 1978.
7. Roper, H, The Properties of Concrete Manufactured with Coarse Aggregate of the Sydney Area University of Sydney, Research Report R204, January, 1973.
8. L'Hermite, R G, Volume Changes of Concrete Proceedings 4th International Symposium on Chemistry of Cement, Session V, Paper 3, 1960.
9. Hobbs, D W and Parrott, L J, Prediction of Drying Shrinkage Concrete Beton Nr28, 1982.
10. Morgan, D R, Effects of Chemical Admixtures on Creep and Shrinkage of Concrete Paper presented at a Workshop on the Use of Chemical Admixtures in Concrete, University of NSW, Sydney, 1975.
11. Popovics, S, Concrete Materials – Properties, Specifications and Testing Second Edition, pp 221–271, Noyes Publications, 1992.
12. Soroka, I, Portland Cement Paste and Concrete Macmillan Press Ltd, 1979.
13. High Strength Concrete National Ready Mixed Concrete Association of Australasia and the Cement and Concrete Association of Australia, 1992.
14. Gilbert, I. (2001) "Shrinkage, Cracking and Deflection-the Serviceability of Concrete Structures", Electronic Journal of Structural Engineering, 1(1), pp. 15–37. doi: 10.56748/ejse.1121.
15. Transportation Research Board, 2006, Control of Cracking in Concrete – State of the Art, TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR E-C107
16. Nejadi S., 2005, Time-Dependent Cracking and Crack Control in Reinforced Concrete Structures, PhD Thesis, The University of New South Wales, Sydney, Australia
17. Taşdemir, M.A., Şengül, Ö., Şamhal, E., Yerlikaya, M., Endüstriyel Zemin Betonları, İMO Yayınları, 2005.

www.thbb.org

www.thbbakademi.org