

# YANGIN VE YÜKSEK SICAKLIĞIN BETONARME YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Demet Yavuz<sup>1</sup>, Şemsi Yazıcı<sup>2</sup>

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü<sup>1,2</sup>  
demet.yavuz@ege.edu.tr<sup>1</sup>, semsi.yazici@ege.edu.tr<sup>2</sup>

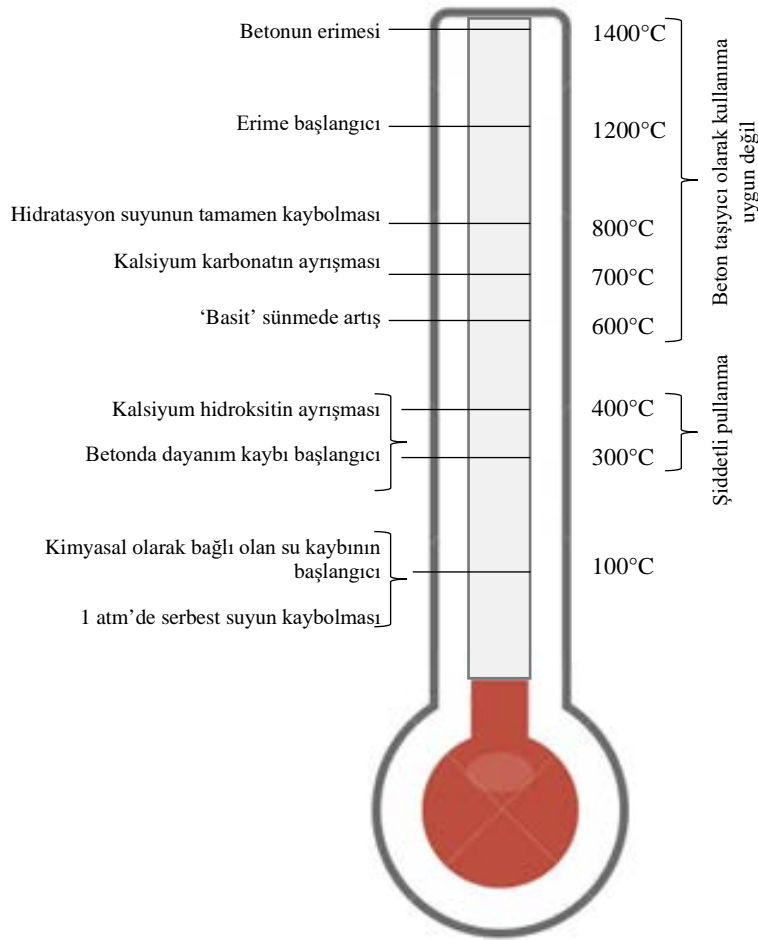
## ÖZET

Beton ve betonarme yapılar yangın karşısında oldukça iyi bir direnç gösteren kompozit bir malzeme olmalarına rağmen, yangın ve yüksek sıcaklık gibi etkilerin betonun mikro ve makro yapısını bozduğu ve dolayısıyla betonun mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği bilinen bir gerçektir. Betonun yangın karşısındaki davranışı beton karışımına bağlı olmakla beraber yangın neticesinde betonda gerçekleşen dayanım kaybı yangının ve yapının türüne bağlı olarak değişmektedir. Betonda yangın neticesinde oluşan mukavemet kaybı basınç dayanımı azalması, eğilme-çekme dayanımında azalma ya da beton yüzeyinde pullanma olarak görülebilmektedir. Pullanma ile beton donatısı açıkta kalabilmekte ve yangın ile direkt olarak temas halinde olmaktadır. Bu derleme çalışmada betonarme yapılarda yangın ve yüksek sıcaklık etkisi beton, donatı ve donatı beton aderansı göz önüne alınarak incelenmiş ve yapılarda meydana gelen hasarlar bu başlıklar altında listelenmiştir.

## 1.GİRİŞ

Beton, doğası gereği diğer yapı malzemelerine kıyasla yangına karşı daha dirençlidir. Ancak yine de tasarım yapılırken yangın etkisi göz önüne alınmalıdır. Yapısal bileşenler yangından sonra, dayanımlarında ya da elastisite modüllerinde azalma görülse dahi yıkılmadan ayakta durabilmelidirler. Beton ve betonarme yapıların yangın karşısındaki davranışının incelenmesi en az 1922'li yıllara dayanmaktadır [1]. Tasarım aşamasında betonun yangına karşı dirençli olmasını sağlayacak parametreler göz ardı edilebilmekte ve olası bir yangın durumunda bu ihmal oldukça ağır sonuçlar doğurabilmektedir. Betonun yangın direnci ile ilgili yapılan çalışmalar daha çok oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan betonun davranışının incelenmesi ve anlaşılabilmesi ve binanın yangın esnasında ve sonrasında yapısal güvenliğinin sağlanmasına odaklanmıştır. Beton düşük termal iletkenliği, alev almazlığı, artan sıcaklık ile küçük gerilme değişimleri göstermesi ve dolayısıyla beton çekirdeğinin herhangi bir bozulmaya uğramadan yük taşımaya devam edebilmesi dolayısıyla yangına karşı dirençli kabul edilmektedir [2-3]. Ancak beton içindeki donatı yangına karşı daha hassas olması nedeniyle yangından korunması gerekmektedir. Betonarme yapılarda donatı beton içerisine gömülerek bahsedilen korunma sağlanmaktadır. Betonun düşük termal iletkenliği sayesinde beton bileşenlerinin kimyasal dönüşümü daha yavaş ilerlemektedir. Ancak düşük termal iletkenlik aynı zamanda beton çekirdeğinde daha güçlü bir termal gradyan oluşmasına neden olmakta, bu termal gradyan betonda iç gerilmeler oluşturmakta ve çatlaklara yol açmaktadır [4].

Yangının ve yüksek sıcaklığın betonarme üzerindeki hasar yapıcı etkileri genel olarak beton, betonarme donatı ve beton-donatı aderansını (betonarme davranışına) etkileri ayrı ayrı olabilmektedir. Beton ve donatıda yangın ve yüksek sıcaklık etkisi ile oluşan hasarlar malzeme kaybı olarak oluşmakta daha ziyade bu malzemelerde oluşan hasar mekanik özelliklerde azalma ve içi yapıda değişim olarak ortaya çıkmaktadır [5-8].



Şekil 1. Portland çimentosunda sıcaklık ile meydana gelen fizikokimyasal proses [2]

## 2. YÜKSEK SICAKLIĞIN BETONARME DONATISI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Yapı çelikleri (beton donatı çelikleri) genel olarak düşük karbonlu çelikler olup bu çelikler yüksek sıcaklık etkisinde mekanik özelliklerinde (özellikle elastisite modülünde ve akma dayanımında önemli kayıpla yaratmaktadır. Genel olarak yapı çelikleri 200 °C civarındaki sıcaklıklarda iç yapıda tane sınırları arasına azot atomlarının difüzyon yapması sonucunda çeliğin çekme dayanımında az bir artış olmasına karşın, sıcaklık 250-300 °C den sonra bu etki ortadan kalkmakta mekanik özellik kaybına uğramaya başlamaktadır. Karşılaşılan sıcaklık 600 °C ye yaklaşınca çekme dayanımı çelik tipine bağlı olarak %50 ile %80 e varan dayanım kayıpları oluşturur. Sıcaklık 800°C civarına geldiğinde tüm yapı çeliklerinin dayanımlarının hemen hemen tamamı ortadan kalkar [5-8].

Yangın veya yüksek sıcaklık etkisinde çeliğin elastisite modülü de düşeceğinden çeliğe tesir eden mekanik etkiler (özellikle çekme etkisinde) sonucu oluşan gerilmeler nedeniyle ortaya çıkan uzamalar artar. Yüksek sıcaklık etkisinde elastisite modülündeki bu azalmalar 400 °C de %15, 600 °C de %40 'lara varabilmektedir. Elastisite modülündeki azalma, termik genleşme ve plastik deformasyonların başlaması sonucunda çelik donatılar aşırı deformasyon yapmaya başlarlar. Bir sonraki slaytta yer alan grafikte değişik yapı çeliklerinin çekme ve akma dayanımları üzerinde sıcaklık artışının etkileri açıkça görülmektedir [5-8].

Betonarme de beton örtü tabakası yeterli izolasyonu sağlayamaz ise beton içindeki çelik donatılar yaptıkları aşırı deformasyona bağlı olarak burkulmakta ve bu olay sonucunda beton örtü tabakasının patlamasına sebep olmaktadır. Beton örtü tabakasının ayrılması sonucunda da çelik donatı doğrudan doğruya yüksek sıcaklığa maruz kalacak ve dayanım kayıpları daha hızlı olacaktır. Böyle durumlarda eğer hara lokal ise o bölgedeki taşıyıcı elamanları ya mantolayarak güçlendirme ya da kırarak yerine yenisin yapılması ile onarım yapılabilir. Eğer hasar tüm yapıyı etkilemiş ise ya tüm yapıyı mantolamak ya da yıkarak yeniden yapma duru ortaya çıkacaktır.

Kısa süreli yangın veya yüksek sıcaklık sonrasında çelikte oluşan akam dayanımındaki düşmeler kalıcı olamaz. Eğer yangın tesiri 4-6 saat gibi bir periyotta olursa S420 çeliğinin mekanik özellikleri S220 çeliğinin mekanik özellikleri seviyesine düşer. Ayrıca yangın süresinin ve ulaşılan yangın sıcaklığının artması da mekanik özellik kayıplarının atışını daha da yükseltir. Herhangi bir betonarme yapıda yangın etkisi ile karşılaşmışsa mutlaka taşıyıcı elemanlardan çelik donatı örnekleri çıkarılıp mekanik özelliklerindeki kayıpların mertebesi saptanmalıdır. Çeliklerde yüksek sıcaklık etkisi ile azalan elastisite modülünün çeliğin iç yapısı gereği soğuma sonrasında tekrar 210.000 MPa 'a geri döndüğü de bilinmektedir [5-7].

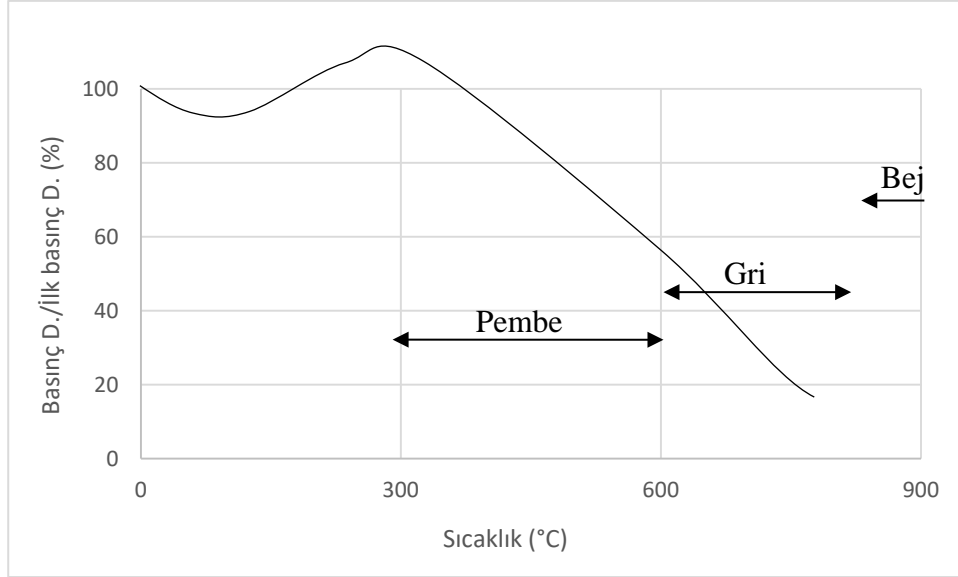
### 3. YÜKSEK SICAKLIĞIN BETON ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Betona yüksek sıcaklıkların etkisi çimento hamuru ve agregada fazında olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilmektedir. Çimento hamuru içerisinde teknik olarak iki tür su bulunmaktadır. Bunlardan birincisi çimentonun kılcal boşluklarından giren veya kılcal boşluklarında bulunan serbest sudur. İkincisi ise çimento hamurunda bulunan kimyasal sudur. Bilindiği üzere; çimentonun su ile yaptığı reaksiyon sonucunda CSH (kalsiyum silikat) adı verilen jel bir yapı ve  $\text{Ca(OH)}_2$  kalsiyum hidrosit oluşur ve bu yapı betona bağlayıcılık kazandırır. CSH jelleri bünyelerinde bulunan absorpsiyon suyu ile birbirlerine bağlı yapıdadır. Bu jel yapıdaki absorbe ve CHH 'ların içinde bulunan hidrat suları da buharlaşmayan kimyasal sudur. Buna karşın çimento hamurunda kılcal yolla bulunan su 100 °C de rahatlıkla buharlaşarak hamur içerisinde ayrılabilir. Yüksek sıcaklık veya yangına maruz kalan betonda ilk olarak bünyede yaklaşık olarak hacimce %4 civarındaki serbest su buharlaşmakta ve bünyeyi terk ederek betonun büzülmesine sebep olmaktadır. Bu olay sonucunda ortaya çıkan gerilemeler ve buhar basıncı etkisi ile beton çatlamakta, özellikle beton örtü tabakası ana kütlede ayrılmaktadır [5-7].

Yangın esnasında 300 °C den itibaren çimento hamurunda bulunan CSH jelinin kimyasal bağ suyu ve jel suyu kaybolmaya başlar. 300 °C den sonraki sıcaklıklarda CSH kristallerinin parçalandığı ve betonda geri dönüşü olmayan hasarların oluştuğu bilinmektedir. Sıcaklık seviyesi 500 °C civarına geldiğinde çimento hamuru bünyesinde bulunan  $\text{Ca(OH)}_2$  sönmemiş kirece ( $\text{CaO}$ ) dönüşümü olayı başlar. Bu dönüşümde %33 'e varan bir büzülme meydana gelir. Bu olay sonucunda betondaki dayanım kayıpları ciddi boyutlara ulaşır. Sıcaklığın daha da yükselmesi sonucunda bu defa beton içerisinde yer alan agregalarda bozulma ve düşümler yaşanır. Örneğin beton agregası olarak kullanılan kuvarst esaslı kumların 570 °C de polimorfik değişime uğrayarak alfa kuvarstan beta kuvarsta dönüştüğü ve bu olay sonucunda %15 e varan hacim artışı yaşandığı bilinmektedir. Bu genişleme etkisinin de betonda ciddi hasar yaratmaktadır. Yine betonlarda agregada olarak kullanılan kalker ve dolamitin de 800-900 °C civarındaki sıcaklıklarda  $\text{CaO}$  ve  $\text{MgO}$  'e dönüştüğü, bazalt gibi volkanik camsı agregaların ise 1000 °C de ayrıştıkları ve bu olaylar sonucunda betonun tamamen tahrip olduğu bilinmektedir [5-8].

Yine literatürdeki bilgilere göre; bünyesinde fazla miktarda serbest su bulunmayan betonun 300 °C ye kadar yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu söylenebilir. Ancak bu sıcaklığın üç defa tekrar etmesi durumunda beton bünyesinde mikro çatlaklar oluşmakta, çatlakların sayısı

artmakta ve betonun elastisite modülü düşmektedir. Ayrıca yangına maruz kalmış betonlarda yangın söndürme esnasında sıkılan suyun etkisi ile  $\text{Ca(OH)}_2$  sönmemiş kirece ( $\text{CaO}$ ) dönüşümü olayı tersine dönmekte, bünyedeki sönmüş kireç ( $\text{CaO}$ )  $\text{Ca(OH)}_2$  'e dönüşerek %44 'e varan hacim artışı yaratmaktadır. Boşluklu bir yapıya dönüşmüş olan beton  $\text{Ca(OH)}_2$  'in dışarı çıkarak betonun yüzeyden süzülmesine yol açar. Beton yüzeyinde yangın sonrasında görülen kireç lekeleri sıcaklığın  $550\text{ }^\circ\text{C}$  yi aştığını bize gösterir [5-8].



**Şekil 3.** Yüksek sıcaklıkların betonun basınç dayanımında ve renk değişimine etkisi [5]

Yukarıdaki grafikten de görüleceği üzere; yüksek sıcaklıklar etkisinde beton dayanım kaybetmekte hatta geçmektedir. Betonlar Yüksek sıcaklık tesirinde dayanım kaybına uğrarken aynı zamanda renk değişiminde uğramaktadır. Betonda sıcaklık etkisi ile görülen bu renk değişimleri yangın sonrasında betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığını belirlemede faydalı olur. Betonu  $300\text{-}600\text{ }^\circ\text{C}$  arasında yüksek sıcaklık tesirinde pembeleştiği,  $600\text{-}900\text{ }^\circ\text{C}$  arasındaki sıcaklık tesirinde ise grileştiği,  $900\text{-}1200\text{ }^\circ\text{C}$  'yi aşan sıcaklıklarda ise bej rengini aldığı,  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  'den sonra ise renginin sarardığı literatürde belirtilmektedir. Yüksek sıcaklık tesirine maruz alan betonda sadece basınç dayanımı olumsuz etkilenmez. Elastisite modülünde lineer olarak düşer, betonda mikro çatlaklar oluşur, boşluk oranı artar ve betonun yumuşamasına yol açılır. Yüksek sıcaklıkların s/ç oranı yüksek olan düşük dayanımlı betonlarda etkisi s/ç oranı düşük olan yüksek mukavemetli betonlar kıyasla daha düşük olmaktadır. Bu olaya betonun boşluk yapısının etkisi olduğu düşünülmektedir [5-7].

#### 4. YÜKSEK SICAKLIĞIN BETON-DONATI ADERANSINI ETKİSİ

Betonarme davranışının esasları beton ile donatı arasındaki aderansa bağlıdır. Betonarme davranışında betonun basınç gerilmelerini çelik donatılarında çekme gerilemelerini taşımaları esastır. Beton ile donatı arasındaki gerilme aktarımı beton ile donatı arasındaki aderans sayesinde sağlanmaktadır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonarmede betonun ve çelik donatının farklı termik genişleme katsayılarına sahip olmaları yüksek sıcaklık etkisinde ikisinin de farklı deformasyonlar yapmalarına sebep olmaktadır. Bu çekiş sonucunda birbirinden farklı deformasyon yapan beton ile çelik arasındaki ara yüzeyde (aderans bölgesinde) ayrılmalara, çatlak oluşumlarına neden olmaktadır. Bu olay sonucunda da istenilen betonarme davranışı

sergilenememektedir. Bu olayda ortaya çıkan aderansı kayıpları ulaşılan sıcaklığa ve tekrar sayılarından da etkilenmektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalarda 300 °C yi aşan sıcaklıklarda yeterli pas payı bırakılmaz ise donatı ile beton arasındaki aderansın tamamen kaybolacağını göstermektedir.

## SONUÇ

Yanmaz bir malzeme olarak sınıflandırılmasına rağmen beton, yangın ve yüksek sıcaklık etkisiyle mekanik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını kaybedebilmektedir. Ayrıca betonarme yapıların bünyelerinde bulunan donatı da yüksek sıcaklık ve yangın etkisinde yüksek termal iletkenliği sebebiyle deforme olabilmektedir. Betonarme yapılarda bırakılan pas payı ise bir örtü görevi görerek donatıyı korumaktadır. Betonarme yapılarda yangın ve yüksek sıcaklık etkisinin neden olduğu dayanım kaybı beton karışım özellikleri, nem miktarı, yangının süresi ve sıcaklığı gibi parametrelere bağlı olduğu için tasarım aşamasında bu faktörlerin göz önüne alınması oldukça önemlidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Lea, F. C. (1922). The resistance to fire of concrete and reinforced concrete. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 41(18), 395R-396R.
- [2] Khoury, G. A. (2000). Effect of fire on concrete and concrete structures. *Progress in structural engineering and materials*, 2(4), 429-447.
- [3] Malešev, M., & Radonjanin, V. (2017). Fire Damages of Reinforced Concrete Structures and Repair Possibilities. In 1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future, Zadar, Croatia, Session keynote (pp. 628-636).
- [4] Alonso, C. (2008). Assessment of post-fire reinforced concrete structures. Determination of depth of temperature penetration and associated damage. In *Concrete repair, rehabilitation and retrofitting II* (pp. 217-218). CRC Press.
- [5] Akman, S. (2000). Yapı hasarları ve onarım ilkeleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.
- [6] Erdoğan, T. Y. (2003). Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ Yayını, 1.
- [7] Baradan, B., Yazıcı, H., & Ün, H. (2010). Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, Türkiye.
- [8] Sidney, M. J., "Detoration, maintainance and repair of structures", Krieger Publishing Company, 1980, US