THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

1

İÇİNDEKİLER

- ***Betonla İlgili Akılda Tutulması Gereken Önemli Konular***
- ***Betonda Uçucu Kül Kullanımı***
- ***Pirotin ve Betona Etkisi***
- ***Beton Basınç Dayanım Birimleri***
- ***Geçmişten Geleceğe Vazgeçilmez Yapı Malzemesi: Beton***

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.

Ekim, 2021

BETONLA İLGİLİ AKILDA TUTULMASI GEREKEN ÖNEMLİ KONULAR

Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir

Günümüzde inşa edilmekte olan anıtsal yapılar, önemli kamu binaları, yüksek binalar, köprüler ve önemli su yapıları giderek daha yüksek performanslar gerektirmektedir. Büyük yatırımlara mal olan bu yapıların servis ömürleri süresince işlevlerini belirli bir güvenlik içerisinde yerine getirmeleri beklenir. Yapı sahibi ve kullanıcıların gereksinimlerini etkin biçimde karşılayabilme yeteneği yapının performansı olarak adlandırılır. Performansa göre tasarım, servis ömrü süresince yapıdan beklenen özelikleri etkin bir şekilde elde edebilmek için yapı elemanlarının sistematik olarak tasarlanması biçiminde özetlenebilir. Günümüzde, son gelişmelerin ışığında hazırlanan Avrupa ve dünya standartlarında minimum tasarım servis ömrü; geçici yapılar, değiştirilebilir prefabrike betonarme yapı elemanları, çatı makası ile kirişler ve ziraat yapıları için sırasıyla, 10, 10-25, ve 15-30 yıl, binalar ve kamu yapıları için TS EN 206'da belirtilen koşullar altında beklenen minimum tasarım servis ömrü 50 yıldır. Yaygın bir şekilde kullanılan şartnamelere veya bazı ülkelerin EN 206'ya olan ulusal eklerine göre; anıtsal yapılar, önemli köprüler ve viyadükler ile büyük inşaat mühendisliği yapıları için minimum tasarım servis ömrü 100 yıldır. Minimum tasarım servis ömrü 100 yıl ise yapı; servis ömrü boyunca esaslı bakım ve onarım uygulanmaksızın beklenilen yüksek performansı yerine getirecek demektir.

Bir yapının inşaatı sırasında izlenen zorunlu aşamalar: 1) mevcut zemin ve çevre koşullarına uygun tasarım ile deprem hesabını da içeren projenin tüm detaylarının hazırlanması, 2) projenin amacına uygun malzemelerin seçimi, 3) montaj ve işçilik, 4) denetim ve 5) inşaat süresince oluşan kusurların onarımı şeklinde özetlenebilir. Betonun uzun süreli performansında; bileşen malzemelerin standartlarda öngörülen özelikleri ile betonun; taze, sertleşen ve sertleşmiş haldeki özelikleri önemli işleve sahiptir.

Dürabilite (dayanıklılık) için olabildiğince geçirimsiz ve çatlaksız bir beton üretmek gerekir. Optimum su/çimento oranını kullanarak, kılcal boşlukları azaltarak ve bağlayıcı malzemenin özeliklerini kontrol altında tutarak geçirimsiz beton elde edilebilir. Dürabilite amacıyla tasarım sonucunda, kılcal boşluklar azaltıldığından dayanım da doğal olarak sağlanmış olur. Betonarme bir yapı dış yüklere karşı emniyetli bir şekilde tasarlanmış olsa dahi donatı üzerindeki örtünün (pas payının) kalınlığı ve kalitesi yapının uzun süreli performansını belirler. Pas payının dürabilitesinde şu etkenler oldukça önemlidir; i) karbonatlaşma, ii) klor iyonu yayınımı, iii) donma-çözülme, iv) alkali silika reaksiyonu (ASR) ve gecikmiş etrenjit oluşumu (DEF), ve v) varsa sülfat etkisi. Önemli alt yapı projelerinin şartnamelerine göre, karbonatlaşma nedeniyle oluşan korozyona karşı direnç için, betonun su/bağlayıcı (S/B) oranı 0,40'tan düşük olmalıdır. S/B oranı hem dürabiliteyi hem de dayanımı etkileyen en baskın parametredir. Söz konusu S/B oranı 0,40'tan düşük olarak üretilen bir betonda pas payının kalınlık ve kalite (dayanım, dayanıklılık ve yeterli kür) bakımından yeterli olması koşuluyla, betonarme yapının karbonatlaşmaya bağlı korozyon riski göz ardı edilebilir. Ancak, özellikle otoyollar gibi büyük alt yapı projelerinde S/B oranı 0,40'ın altında tutulduğunda her ne kadar karbonlaşmaya bağlı korozyon ihmal edilmiş olsa da beton, donma-çözülme çevrimlerine yeterli dirençte olmayabilir. Böylece, dışa açık brüt beton yüzeylere sahip köprülerin ve viyadüklerin donma-çözülme etkilerine ve ASR'ye karşı

tasarım aşamasında gerekli önlemler alınmalıdır. DEF, bir erken yaş çimento hidratasyon ürünü olan mineral etrenjitin gecikmeli oluşumuyla bağlantılı biçimde zamanla betonun genleşmesi ve çatlamasıdır. DEF, normal etrenjit oluşumunu engelleyen betondaki erken yaştaki yüksek sıcaklıkların (65^{o}C'nin üstü) bir sonucudur. Bu bakımdan, kütle betonlarında sıcaklık kontrollü döküm yapılmalı, aşırı iç-dış sıcaklık farkından ileri gelen termal çatlamalara ve DEF oluşumuna karşı gereken önlemler alınmalıdır. Sonuçta, çimento miktarını arttırıp aşırı sıcaklık artışına ve anormal hava koşullarında aşırı "iç-dış sıcaklık farkına" neden olmamak için güçlü bir süperakışkanlaştırıcı tercih edilmelidir. Otojen rötre gibi deformasyonlara neden olmamak için de "S/B" oranının 0,30'un altına düşürülmemesine çalışılmalıdır. Böylece, büyük kesite sahip kütle beton dökümünde aşağıdaki öneriler göz önünde bulundurulabilir: i) Yeterli sıcaklık kaydı tutulmalıdır. ii) Sıcaklık kontrol planları aşırı termik gradyana karşı etkili olmadığında çok şiddetli çatlaklar oluşabilir. Bundan dolayı, çok büyük kesitli betonarme elemanlarda ve baraj betonu gibi kütle betonlarında sıcaklıklar kontrol edilirken daha fazla özen gereklidir. iii) Betonun yerleştirilmesinden sonra izin verilebilir maksimum sıcaklık ile izin verilebilen sıcaklık farkları belirtilmelidir. iv) Ortalama beton iç sıcaklığı ile yüzeye yakın pas payı derinliğindeki sıcaklık farkı yaklaşık 20^{o}C'nin altında oluncaya dek kütle betonu korunmalı ve sıcaklık izlenmelidir. Eğer, söz konusu bu sıcaklık farkı izin verilebilir maksimum değeri, örneğin 20^{o}C gibi tanımlanmış belli bir değerden büyükse, korunmayan beton yüzeyi hızla soğur ve yüzeyde çatlaklar oluşabilir. v) Tabakalı beton dökümlerinde tabakalar arasındaki sıcaklık farkı da 20^{o}C gibi kritik bir değeri aşmamalıdır.

Kaliteli agrega kullanmanın gerekli olduğu, standart dışı bir agrega ile başta dayanım olmak üzere betonda belirtilen koşulların sağlanmasının mümkün olmadığı açıktır. Bundan dolayı; özellikle uzun süreli tasarım servis ömrü iddiasındaki yapılar için tüm ilgili taraflar mutabık kalmalı, istişare edilerek çalışılmalı ve projenin şartnamesine uyulmalıdır.

Belirlenmiş çevresel etkiler altında olan ve uzun süreli performans gerektiren bir BA yapı için; i) maksimum "su/çimento" oranı, ii) minimum çimento içeriği, iii) bağlayıcı türü ve iv) minimum paspayı gibi esaslar beton karışım tasarımı öncesinde göz önüne alınsa da ön denemeler ve mock-up (deneme amaçlı beton blok) kapsamında laboratuvarda ölçülen ve sahada denenen beton özeliklerinin, imalat döneminde yerindeki beton üzerinde doğrulanması gereklidir. Betonun döküm yerinde ölçülen birim ağırlığı, hedef birim ağırlığı (gerçek birim ağırlık) ile kontrol edilmelidir. Ayrıca, betonun yerindeki performansının; karıştırma, taşıma, yerleştirme, pompalama, sıkıştırma ve kürleme işlemlerine bağlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla, saha uygulamaları için, temel ve üst yapı betonlarında karıştırma süresi, homojenlik, işlenebilirlik ömrü ve pompalanabilirlik için kullanılan malzeme ve yöntemler şartnamede belirtilen koşulları sağlamalıdır. Dört mevsimin yaşandığı ülkemizde, proje boyunca bir onaylı betonla çalışmanın doğru olmadığı birçok deneme kütle beton dökümlerinde kanıtlanmıştır. Özellikle, mevsim geçişlerinde betondaki bağlayıcı bileşenlerinde gerekli değişikliklerin yapılması zorunlu olup sıcaklık kontrollü mock-up dökümleriyle beklentilerin karşılandığı kanıtlanmalıdır.

Bir betonarme inşaatın imalatı sırasında özen gösterilmesi gereken bazı önemli hususlar da göz ardı edilmemelidir. Kısaca imalat sırasında; 1) aşırı sehime, 2) erken yaş çatlaklarına, 3) pas payı yetersizliğine, 4) yetersiz veya aşırı vibrasyona, 5) ayrışmaya, 6) geniş açıklıklı perdelerde ve özellikle de toprak perdelerindeki engellenmiş rötre çatlaklarına, 7) kolon ve perde diplerinden çimento hamurunun sızması sonucu geride bağlanmamış bal peteği görünümünde iri agreganın oluşması

şeklindeki kusurlara, 8) donatı durumuna göre maksimum agrega boyutunun belirlenmesine, 9) betonun anormal hava koşullarında korunmasına ve kürüne, 10) soğuk derzlerin oluştuğu bölgelerde pürüzlendirme ve talaş, kırıntı ve stiropor gibi atıkların bu bölgelerden uzaklaştırılmasına, dolayısıyla temizlikle ilgili gereken önlemlerin alınmasına özen gösterilmelidir.

Olabildiğince geçirimsiz bir beton tasarlanmış olsa bile, dıştan yalıtım yapılmamışsa, betondaki herhangi bir çatlaktan su geçişi olacağından bodrum katlarının alttan ve yanlardan diğer bir deyişle dışarıdan yalıtılması zorunludur.

Türkiye Bina Deprem Yönetmenliğinde (TBDY) öngörülen beton ve donatı çeliği ile ilgili koşullar da sağlanmalıdır. Kolonlarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde donatı düzenlemesi ile ilgili TBDY'de belirtilen önlemler alınmalıdır. Özel deprem etriyelerinin her iki ucunda mutlaka 135 derece kıvrımlı kancalar bulunmalıdır. Statik proje müellifinin onayıyla özel deprem çirozlarında bir uçta 90 derece kıvrımlı kanca yapılabilir. Ancak böyle bir durumda, kolonun veya perdenin bir yüzünde, kanca kıvrımları 135 derece ve 90 derece olan çirozlar hem yatay hem de düşey doğrultuda şaşırtmalı olarak düzenlenebilir. Özel deprem etriyeleri boyuna donatıyı dıştan kavramalı ve kancaları aynı boyuna donatı etrafında kapanmalıdır. Çiroz, her iki ucunda boyuna donatıları ve dış etriyeyi kesinlikle sarmalıdır. Etriyeler ve çirozlar beton dökülürken yerlerinden kaymayacak biçimde boyuna donatılara sıkıca bağlanmalıdır.

Betonarmenin önemli bir bileşeni olan beton, basınç gerilmelerini karşılar, yeterli kalitede ve kalınlıktaki bir pas payı taşıyıcı sistemdeki çekme gerilmelerini alan donatı çeliğini korozyona ve yangına karşı korur. Betonla çelik donatı arasında iyi bir aderans vardır ve bu iki malzemenin ısıl genleşme katsayıları özdeş sayılabilir. Betonarmeyi mümkün kılan bu üstünlükler göz önüne alınırken, betonun donatı işçiliğindeki kusurları kapatmak için kullanılan bir malzeme olmadığını akılda tutmak gerekir.

Betonarme yapıdaki pas payı elemanları tercihen yapıda kullanılan betonun harç fazından üretilmelidir. Plastik pas paylarının kullanılması durumunda bunların imalat boyunca ezilmelerini ve dönmelerini önlemek için gereken önlemler alınmalıdır. Betonarmenin maruz kaldığı çevresel etkilere karşı olabildiğince boşluksuz ve geçirimsiz bir pas payı bölgesini oluşturmanın zorunlu olduğu ve hidratasyon sonucu ortaya çıkan kireci bağlamanın gerekli olduğu unutulmamalıdır.

Son yıllarda gerek deney tekniklerinde gerekse bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler yüksek dayanımlı- yüksek performanslı beton konusunda yapılan çalışmalara önemli bir ivme kazandırmıştır. İstenilen kırılma parametrelerine uygun olan, mevcut çevresel etkilere göre istenilen servis ömrüne sahip betonları tasarlamak, çeşitli modeller kullanarak mekanik özeliklerini ve kırılma parametrelerini hesaplamak ve bunları deneylerle gerçeklemek günümüzde olasıdır. Yüksek dayanımlı betonların en önemli dört sorunu otojen rötre, yüksek erken yaş çatlak riski, yangına karşı düşük direnç ve kırılma sırasında gevrek davranış sergilemeleridir. Günümüzde kaydedilen gelişmelerden anlaşıldığı üzere bu sorunlar aşılabilmekte, istenen performans özelikleri bu betonlara kazandırılmakta ve beklenen optimum çözümler elde edilebilmektedir. Yakın gelecekte proje müelliflerinin; yapı sahibinin, tüm ilgili tarafların ve kullanıcıların gereksinimlerine yanıt verebilecek biçimde yapının sadece yük taşıma kapasitesini değil, sünekliğini, dürabilitesini, işletilebilirliğini ve bakımını göz önüne alarak performansa dayalı projeler üretmeleri beklenmektedir. Böylece, gelecekte beton alıcısı sadece basınç dayanımını değil, betonun kırılma parametrelerini, çatlak riskine karşı şekil değiştirme

kapasitesini, en büyük agrega boyutunu, kullanılan agregaların hacim oranlarını ve yapı için çevresel etkiler gibi birçok parametreyi bildirerek hazır beton üreticisinden beton talebinde bulunacaktır.

Kılcal boşluklar betonun dürabilitesini etkileyen önemli etkenlerden biridir. Su/çimento oranı düştükçe kılcal boşluklar azalmaktadır. Kılcal boşlukların azaltılması genelde betonun servis ömrünü uzatır. Puzolanik malzemelerin betondaki hidratasyon ısısını düşürmesi ve hamur fazının boşluk yapısını iyileştirmesinin yanında diğer önemli bir işlevi ise agrega–çimento ara yüzeyinin güçlendirmesidir. Ara yüzey özeliklerinin iyileştirilmesinin iki temel nedeni vardır, bunlar; i) puzolanik etki, ii) filler etkisi (boşlukları doldurma etkisi). Filler etkisi puzolanın tane boyut ve dağılımı ile yakından ilgili olup ara yüzeydeki tane dizilişini doğrudan etkiler. Çimentodan çok daha düşük inceliğe ve puzolanik aktiviteye sahip olan mineral katkıların kullanılmasıyla ara yüzeyde daha sıkı bir diziliş elde edilebilir ve böylece betonun dayanımı da arttırılabilir.

Kaynak

Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir'in Uluslararası 10. Beton Kongresi Bildiri Kitabı'nda yer alan yazısı

BETONDA UÇUCU KÜL KULLANIMI

Beton üretiminde uçucu kül kullanımının geçmişi Portland çimentosu ve yüksek fırın cürufu kadar eski değildir. Amerika'da uçucu kül kullanımı 1930'lu yıllara denk gelmektedir. İlk kapsamlı çalışma R.E.Davis tarafından 1937 yılında yayımlanmıştır. Amerika'da uçucu külün kullanıldığı ilk proje, yapımına 1929 yılında başlanan Hoover Barajı'dır [1, 2]. Türkiye'de ise ilk çalışmalara 1964 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından başlanmıştır. Yapımı 1967-1971 yılları arasında süren Gökçekaya Barajı'nda ilk kez uçucu kül kullanılmıştır [3]. Uçucu kül ile ilgili standart ise 1969 yılında Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tarafından yayımlanmıştır. 2018 yılı verilerine göre Türkiye'de yıllık 23 milyon ton civarında termik santral atığı kül ve cüruf açığa çıkmaktadır [4]. 2020 yılında ülkemizde hazır beton üretiminde 2,5 milyon ton civarı uçucu kül kullanıldığı öngörülmektedir. Dünyada en çok uçucu kül Hindistan, Çin ve Amerika'da kullanılmaktadır. Uçucu kül hazır beton üretiminde mineral katkı olarak kullanıldığı gibi çimento içerisinde de bileşen olarak yer alabilmektedir.

Uçucu külün beton performansına birçok olumlu katkısı vardır ancak bu yazıda madalyonun diğer yüzüne bakılacaktır.

Madalyonun Diğer Yüzü

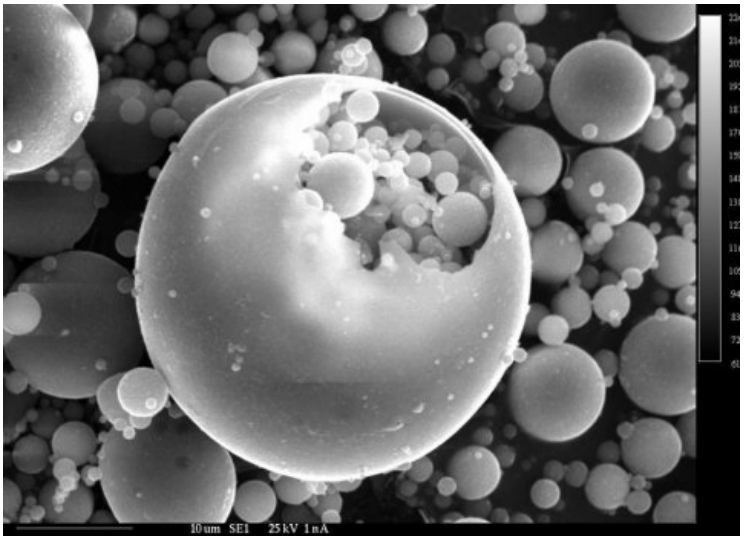
Uçucu kül kendi başına bağlayıcı olmayan ancak çimento hidratasyon ürünü olan $Ca(OH)_2$ ile tepkimeye girebilen ve bunun sonucunda dayanım sağlamada baş aktör olan C-S-H jeli oluşturan bir malzemedir. Aşağıdaki formüllerde oluşan reaksiyonlar görülmektedir. C-S-H jeli oluşumu ne kadar faydalı ise zayıf bir ürün olan ve dürabilite açısında sorun yaratabilen $Ca(OH)_2$ miktarının azalması da bir o kadar faydalıdır. Bu durum zaten uçucu kül gibi mineral katkıların kullanılmasındaki en önemli nedenlerden birisidir.

$$3CaO.SiO_2 + nH_2O \rightarrow 2CaO.SiO_2.(n\text{-}1)H_2O + Ca(OH)_2$$

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow CaO.SiO_2.H_2O$$

Uçucu külün uzun vadede beton dayanımını arttırdığı şüphe götürmez. Ancak, özellikle yüksek miktarda uçucu kül kullanılan betonlarda hidratasyon sonucu ne kadar $Ca(OH)_2$ açığa çıktığı ve buna karşılıklı ideal olarak ne kadar uçucu kül gerektiği net olarak bilinmemektedir. Teorik olarak $Ca(OH)_2$ miktarının %20-30 oranında olduğu bilinse de $Ca(OH)_2$ ve uçucu kül için teorik olarak verimli bir oran hesaplanamamaktadır.

Elbette uçucu külün tek olumlu katkısı basınç dayanımına olan etkisi yani "puzolonik etkisi" değildir. Uçucu külün "morfolojik etkisi" de oldukça önemlidir. Uçucu kül pürüzsüz kürecik şeklindedir. Vitreous yani camsıdır. Suyu adsorbe etme yani yüzeyinde bağlama özelliği zayıftır. Bunun sonucunda betonda su ihtiyacında azalma ve erken kuruma rötresinde iyileşme meydana gelir. Bir diğer önemli etki de tanecik boyutu nedeniyle "boşlukları doldurma" etkisidir. Unutulmaması gereken bir konu da uçucu külün çimentoyu bire bir oranda ikame edememesidir. Genelde eş değerlik katsayısı olarak 0,4 kullanılmaktadır. Bu nedenle toplam bağlayıcı diğer bir ifade ile toplam çok ince malzeme miktarı artmaktadır.



Resim 1. Uçucu kül

Tüm bu belirtilen etkiler genel anlamda bilinen ve kabul edilen gerçeklerdir. Ancak, bunların etkinliği toplam bağlayıcıdaki uçucu kül oranına bağlıdır. Yüksek oranda uçucu kül içeren karışımlarda teorik kabullerin açıklanması daha karışık bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'de uçucu kül kullanımı çok yaygın olmasa da genelde 1 m^3 hazır betonda 30-70 kg arasında değişmektedir. Oysa dünyada bazı ülkelerde ortalama 120-150 kg/m^3 dozajlar görülmektedir.

Çimentonun özgül ağırlığı çimento tipine göre değişmektedir. En çok kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunda bu değer 3,1 – 3,15 gr/cm^3 civarındadır. Uçucu kül için bu değer 2 – 2,5 gr/cm^3tür. Çimento ile uçucu külün özgül ağırlıkları arasındaki bu fark aslında bir soruna da neden olmaktadır. Düşük yoğunluklu uçucu kül tanecikleri ile daha yoğun çimento tanecikleri ayrışabilmektedir. Beton kütlesinin yüzeyinde daha fazla uçucu kül konsantrasyonu oluşmaktadır. Özellikle yüksek oranda kül kullanılan karışımlarda yüzeye yakın tabakanın dayanımı olumsuz etkilenir. Ayrıca, plastik rötre çatlağı oluşumu da artar.

Resim 2. Çin'de bir hava alanı apronu – %40 oranında uçucu kül kullanımına bağlı yüzey problemi

Uçucu külün hem puzolonik hem de boşluk doldurma özelliği sonucunda hava içeriği daha düşük bir yapı oluşur. Aslında bu bir avantaj gibi gözükse de donma-çözülme etkisine maruz yapılarda ters bir etki oluşturur. Tabi ki bu tür durumlarda hava sürükleyici katkı kullanımı ile bu durum engellenebilir. Ancak, uçucu kül dozajının yüksek olması ve karbon içeriğinin de fazla olması hava sürükleyici katkının etkisini azaltabilmektedir.

Çok net bir açıklaması olmasa da yüksek oranda uçucu kül içeren betonlar buzlanmaya karşı uygulanan tuzlama çalışmalarından daha çok olumsuz etkilenmektedir.

Sonuç

Uçucu kül yıllardır yapılan çalışmalar ve edinilen tecrübeler sonucunda beton performansına olumlu katkıları olan bir mineral katkı olarak kabul görmüştür. Özellikle deniz yapıları, arıtma tesisleri, kimyasal etkilere maruz yapılarda betonun dürabilitesini iyileştirir. Bu tür projelerde genelde toplam bağlayıcının %20-50'si oranında uçucu kül kullanılmaktadır. Yüksek oranda uçucu külün sadece teorik ve pratik kabullere göre değerlendirilmesi yanlıştır. Bu nedenle özellikle yüksek miktarda uçucu kül içeren betonlarda detaylı test ve analizlerin yapılması ve optimum oranın tespit edilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. ACI 232.2R - Use of Fly Ash in Concrete Reported by ACI Committee 232 http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/2322r_96.pdf
2. Use of Fly Ash in Concrete, Perkins+Will, November 2011 https://assets.ctfassets.net/t0qcl9kymnlu/1Tx57nRsWYYMEC824CkOaI/38239c5e0fb2044af10bc2b1fac38cf8/FlyAsh_WhitePaper.pdf
3. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türk Çimento Yayını, Temmuz 2009
4. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Termik-Santral-Su,-Atiksu-ve-Atik--Istatistikleri-2018-30674
5. Fly Ash in Concrete: A Literature Study of the Advantages and Disadvantages, Sintef https://www.sintefbok.no/book/download/1000
6. W.Yang, The Issues and Discussion of Modern Concrete Science, Springer

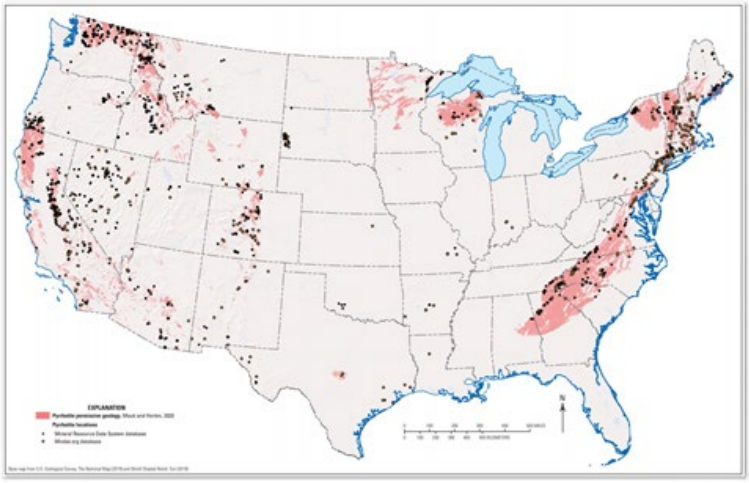
PİROTİN VE BETONA ETKİSİ

PİROTİN
Kimyasal Bileşimi: $Fe_{1-x}S$
Kristal Biçimi: Levhaması veya piramit şeklinde kristaller ve genellikle masif taneli agregalar halinde
Sertlik Derecesi: 3,5 – 4,5
Özgül Ağırlık: 4,58 – 4,65 gr/cm^3
Renk ve Şeffaflık: Bronz-sarı, kahverengimsi bronz, opak
Parlaklık: Metalik parlaklıkta
Ayırıcı Özellikleri: Manyetik özelliği ile kalkopiritten, rengi ve sertliği ile piritten ayrılır.
Bulunduğu Yerler: Yaygın olarak gabro, peridotit ve norit gibi bazik magmatik kayaçlarda pirit ve diğer sülfitlerle birlikte bulunur. Hidrotermal damarlarda, metamorfik yataklarda ve nadiren pegmatitlerde bulunur.

Pirotin minerali içindeki sülfür, oksitlenerek sülfata dönüşme eğilimindedir. Sülfat ise bilindiği üzere betonda çok ciddi hasarlara yol açacak reaksiyonları tetikleyen bir bileşendir. Sülfatın neden olduğu reaksiyonlar sonucunda oluşan ürünler hacimsel olarak genleşmeye neden olur ve yapısal bütünlüğü bozar. Bu etki bazen birkaç yıl bazen de 5-10 yıl gibi uzun bir süre sonra görülebilmektedir.

Betonda sülfat etkisi dış veya iç ortamdan dolayı kaynaklanır. Bu yazıda bahsedilen sülfat etkisi betonun kendi bünyesinden yani bileşenleri kaynaklı olan bir türdür. Konu literatür açısından yeni olmamasına rağmen ABD'nin iki eyaletinde son yıllarda ilginç gelişmeler yaşanmaktadır.

2020 yılında ABD Jeoloji Araştırma Kurumu (USGS); ABD'nin tüm eyaletlerini kapsayacak şekilde, beton bütünlüğünü tehlikeye sokma potansiyeline sahip bir mineral olan pirotin haritasını yayımladı. Haritanın ABD inşaat endüstrisinin pirotin içeren kayaçlardan kaçınmasına yardımcı olacağı umulmaktadır.



Resim 1. ABD genelinde pirotinin bulunmasının muhtemel olduğu yerler

Betondaki pirotin minerali, Connecticut ve Massachusetts'in bazı bölgelerindeki ev sahipleri için muazzam sorunlara neden olmaktadır. Sadece Massachusetts eyaletinde bu mineral yüzünden temelleri hasar gören 2000 adet evin onarılması için 350 milyon dolar gerektiği tahmin edilmektedir.

Resim 2. Betonda pirotin kaynaklı hasar

Bir demir sülfür minerali olan pirotin, yaygın olarak "aptal altını" olarak bilinen pirit ile ilişkilidir ve piritin yeniden kristalleşmesi sırasında kükürt kaybetmesiyle oluşur. Bununla birlikte, piritin aksine, pirotin hem daha nadir bulunur hem de daha reaktiftir. Suya ve oksijene maruz kaldığında, sülfürik asit ve alçı taşı gibi çeşitli ikincil mineraller oluşturmak için tepkimeye girer. Bu oluşan maddeler bir nevi yerine geçtikleri pirotin mineralinden daha büyük hacim kaplarlar. Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'ne göre bu durum, Massachusetts ve Connecticut'ta binlerce evin hasar görmesine neden olmuştur.

Pirotin minerali içeren kayaçların beton üretiminde agrega veya dolgu maddesi olarak kullanılması durumunda; betonda hacimsel genleşme, betonun çatlaması ve bozulması gibi ciddi sorunlar görülebilmektedir.

Çalışma kapsamında birçok eyalete ait jeolojik haritalar ve anket çalışmaları veri tabanı olarak kullanılmıştır. Mineral nadir olduğu ve tüm ABD'deki kesin dağılımı bilinmediği için, araştırmacılar bunun yerine, pirotin oluşması için orta ila yüksek derecede metamorfize edilmiş jeolojik ortamlarda kükürt açısından hangi zengin kayaların oluştuğunu belirlediler. Özellikle piritin bulunabileceği kükürt açısından zengin deniz çökeltilerinden oluşan metamorfik kayaçlar ilgi çekici olmuştur.

Araştırmacılar, pirotin mineralinin çoğunlukla Appalachian Dağ zinciri boyunca metamorfik kayaçlarda ve batı ABD'deki küçük ceplerde bulunduğu sonucuna vardı. Ekip haritanın sıkıntılı minerallere sahip olduğu bilinen kaya oluşumlarını açığa çıkarmayacağını ancak risk altında olanların bulunabileceği konusunda açıklama yapmıştır.

Resim 3'te Connecticut eyaletindeki bir ocak görülmektedir. Bu ocaktan çıkarılan agregalarda beton için son derece zararlı olan pirotin minerali yer almaktadır. 1983 yılından beri inşa edilen 34.000 adet evde bu malzeme ile üretilen hazır beton kullanıldığı tahmin edilmektedir. 2016 yılında maden ocağı ile eyalet arasında pirotin içeren agregaların beton sektörüne satışının yapılmaması için bir anlaşma imzalanmıştır.

Resim 3. Connecticut eyaletindeki bir ocak

Loughborough Üniversitesi'nde çalışan bir inşaat mühendisi olan Sergio Cavalaro, haritanın elbette yardımcı olacağını düşünmektedir. Bununla birlikte, Cavalaro, betona zarar verecek mineralleri içeren agregaların tanımlanması için bu değerli bilginin tek başına yeterli olmayacağını; belirlenmiş limitleri kontrol edebilmek için uygun test ve doğrulama yöntemlerinin gerekli olduğunu ifade etmiştir.

Hem Avrupa Birliği ülkeleri hem de Kanada beton üretimi için toplam agreganın sülfür içeriği için standartlar belirlemiştir ancak ABD belirlememiştir. Gerçi Connecticut eyaleti 2019 yılı sonunda "Testing Structural Concrete Aggregate for Pyrrhotite" isimli bir araştırma raporu yayımlamıştır. (https://www.cga.ct.gov/2019/rpt/pdf/2019-R-0225.pdf)

Sonuç

Bu fenomen, coğrafi olarak sınırlı gibi görünse de potansiyel olarak çok sayıda ev zaten şimdiden etkilenmiş veya risk altındadır. Etkilenen betonun iyileştirilmesi bir seçenek gibi görünmemektedir. Sorunun tek çözümü evlerin temellerinin tamamen çıkarılması ve pirotin agregası içermeyen yeni betonla değiştirilmesidir.

Etkilenen bodrum katlarının nasıl düzeltileceğini anlamanın yanı sıra, uygun agrega test prosedürlerinin uygulanması da gerekebilir. Testlerin sadece taş ocaklarında bu tür bir agregaya sahip olduğu bilinen alanlar için mi yoksa tüm alanlar için mi yapılması gerektiği halen çözülmüş değil.

Araştırmacılar sorunu anlamak için çalışmaya devam etmekte ve beton endüstrisinde farkındalığın artırılması için eğitimler ve bilgilendirmeler yapmaktadır.

Kaynaklar

https://www.chemistryworld.com/news/mineral-map-hopes-to-end-concrete-that-has-damaged-thousands-of-us-homes/4011751.article?adredir=1

https://www.usgs.gov/news/new-usgs-map-helps-identify-where-pyrrhotite-a-mineral-can-cause-concrete-foundations-fail-may

https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20203017

http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pirotin

https://www.cga.ct.gov/2019/rpt/pdf/2019-R-0225.pdf

https://www.paintsquare.com/news/?fuseaction=view&id=21979

https://www.masslive.com/news/2020/01/massachusetts-estimates-350m-needed-to-fix-2000-homes-with-crumbling-foundations.html

https://www.telegram.com/news/20200213/mineral-in-concrete-puts-houses-at-risk-of-foundation-failures

https://nordicconcrete.net/wp-content/uploads/2019/01/Full-report_workshop-proceeding-nr.-14_2019_01.pdf

https://www.cga.ct.gov/2019/PDdata/Tmy/2019SB-00995-R000308-Geiss,%20Christopher,%20Professor-Trinity-crumbling%20concrete%20foundations-TMY.PDF

https://nordicconcrete.net/wp-content/uploads/2019/01/Full-report_workshop-proceeding-nr.-14_2019_01.pdf

BETON BASINÇ DAYANIM BİRİMLERİ

Basınç: Bir yüzeye etki uygulayan dik kuvvetin birim alana düşen miktarına basınç denir. Uluslararası Birimler Sisteminde temel basınç birimi Pascal (Pa)'dır.

Pascal (Pa): 1 metrekarelik yüzeye 1 Newton'luk kuvvetin dik olarak etkimesi sonucu meydana gelen basınçtır.

1 kgf: 1 kilogramlık kütleye etki eden yer çekimi kuvvetinin büyüklüğü yani ağırlığıdır.

N (Newton): Kütlesi 1 kg olan bir cismin hızını, saniyede 1 m/s arttırmak için o cisme uygulanması gereken kuvvet miktarıdır.

$N = kg.m/s^2$

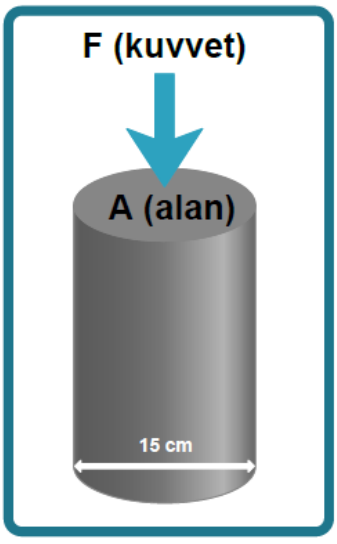
$kgf = kg.g = kg.\ (9.8\ m/s^2) \approx 10\ kg.m/s^2$

$1\ kgf = 10\ N$

$Pa = N/m^2 = 0.1\ kgf/m^2$

$1\ MPa = 10^6.Pa = 10^5.\ kgf/m^2 = 10\ kgf/cm^2$

$30\ MPa = 300\ kgf/cm^2$



Basınç Dayanımı = $F_{maks}/A = f_c$

$F_{maks} = 1000\ KN$

$A = \pi.d^2/4 = 3.14\ (15cm)^2 / 4 = 176.6\ cm^2$

Basınç Dayanımı = $100.000\ kgf / 176.6\ cm^2$

$= 566\ kgf/cm^2 = 56.6\ MPa$

$1\ kgf = 9.8N \approx 10N$

$1\ MPa = 10\ kgf/cm^2$

$1\ MPa = 100\ tonf/m^2$

$1\ MPa \approx 145\ psi$

$1\ MPa = 10\ bar$

Kaynak

https://www.betonvecimento.com/beton-2/beton-basinc-dayanimi-birimleri-2

GEÇMİŞTEN GELECEĞE VAZGEÇİLMEZ YAPI MALZEMESİ: BETON

G İnsanoğlunun, barınma ve yaşam alanları oluşturma ihtiyacı uygarlık tarihindeki önemli gelişmelere zemin hazırlamıştır. İlkel çağların mağaralarından günümüzün devasa gökdelenlerine kadar gelen bu süreçte büyük ilerlemeler kaydedilmesini sağlayan iki temel buluştan söz etmek mümkündür: Betonun keşfi ve betonarmenin keşfi.

Beton ve harç benzeri karışımların kullanıldığı ilk yapılara günümüzden 12.000 yıl önce Göbeklitepe'deki tapınak inşasında rastlandı. Mısır piramitlerinde ve Çin Seddi'nin yapımında ise kireç ve alçı esaslı harçlar kullanıldı. Romalılar kireci ve İtalya'da buldukları volkanik külü bir araya getirip, bağlayıcı malzeme olarak kullandı ve buna puzzolan çimento adını verdi. İtalya'da bulunan Pantheon, Coliseum, Roma Hamamları gibi pek çok Roma yapısı ve yaklaşık 8.000 km uzunluğundaki Roma yolu bu malzeme ile yapıldı. Betonun özelliklerinden ilk kez MS 27 yılında, mimari ile ilgili bir kitapta bahsedildi.

Resim 1. Göbeklitepe kalıntıları

Resim 2. Coliseum, İtalya

Bundan 500 yıl sonra insanlık tarihinin en önemli yapılarından biri olan Ayasofya'nın yapımında beton kullanıldı. 1.000'li yıllara doğru ise Orta Asya ve Anadolu'da Türkler ve Persler, "Horasan Harcı" adlı çok güçlü bir bağlayıcı geliştirdi.

Modern anlamda çimento, beton ve betonarme ise 19. Yüzyılda ortaya çıktı. Fransa'da, Louis Vicat ilk yapay çimentoyu üretti. İngiliz Joseph Aspdin "Portland Çimentosu"nu geliştirdi. Fransız Bahçıvan Joseph Monier, daha sağlam saksılar üretmek için betona demir çubuklar ekleyince betonarmenin temellerini atmış oldu. Bu buluşların ardından çimento ve betonun ürün özelliklerine ve kullanımına ilişkin yenilikler birbiri ardına geldi. İskoçya'da Portland Çimentosu kullanılarak ilk beton yollar yapıldı. Bunu Fransa'da yapılan ilk betonarme köprü izledi. 20. yüzyılın başında Fransız Perret, yük taşıyan duvarlar yerine kolon, kiriş ve döşemelerin kullanıldığı ilk yapıyı tasarladı. Bu inşaat biliminde önemli bir yenilikti. Türkiye'de ilk betonarme yapıları 20. yüzyılın başlarında yapıldı, örneğin İstanbul Beyoğlu'ndaki Mısır Apartmanı'nın yapım başlangıç tarihi 1905'tir.

İnşaat teknolojisinde çığır açan asıl büyük yenilik, 1903 yılında Almanya'da yaşandı. Kum, çakıl, çimento ve suyun belli oranlarda karıştırılarak, inşaatta doğrudan kullanılmaya hazır bir malzeme halinde şantiyeye taşımayı ilk kez Hamburg'lu bir yapı ustası başardı ve "Hazır Betonun Bağlayıcılık

Özelliğini Kaybetmeden Koruma İşlemi" fikrinin patenti aldı. Böylece, Almancadaki adıyla "Transportbeton", Türkçe söylenişiyle de "Hazır Beton" literatüre girmiş oldu. Hazır beton, Alman göçmenlerinin etkisiyle Kuzey Amerika'ya taşındı ve burada hızla yaygınlaştı. 1916 yılında Amerika'da "Transmikser"in tasarlamasıyla hazır beton kullanımı arttı. Bunun ardından, şantiyede beton dökümünü çok daha pratik hale getiren bir başka araç olan Beton Pompası geliştirildi. 1927 yılında Alman mühendisler, betonun karıştırma makinesinden kullanıldığı yere pompalanması fikri üzerinde çalışmaya başladı ve "Beton Harç İletme Pompası" adlı aracın patentini aldı. Hazır betonun tesisten şantiyeye taşınması ve aktarılmasında kullanılan transmikser ve beton pompasının geliştirilmesiyle, hazır betonun dünya çapındaki yaygınlığı daha da arttı. Sonraki yıllarda kaydedilen teknolojik yeniliklerle, özellikle 1960'lı yıllarda kimyasal katkıların, 1970'li yıllarda liflerin betonda kullanılmaya başlanmasıyla, değişik kullanım amaçlarına yönelik, yüksek dayanımlı ve çevre koşullarına daha dayanıklı betonlar üretilmeye başlandı.

Beton kullanımının gittikçe arttığı bir çağda yaşıyoruz. Hızla artan nüfusun barınma ihtiyaçlarına en uygun karşılığı vermesi, estetik yapılarda kullanım kolaylığı sağlaması, dayanıklı ve sürdürülebilir olması, betonu alternatifi zor bulunan bir yapı malzemesi hâline getiriyor. Kara yollarından deniz altı tünellerine, köprülerden gökdelenlere kadar pek çok farklı alanda, çeşitli amaçlarla betondan yararlanılıyor. Tasarımcıların elinde birer sanat eserine de dönüşebiliyor. Bu nedenlerle çok geniş bir kullanım alanı edinen beton, sudan sonra dünyada en fazla tüketilen malzeme hâline gelmiştir. Uygarlıkların tarihinde önemli bir yeri olan betonun gelişim yolculuğu hâlen sürüyor. Üniversiteler, laboratuvarlar, sektörel kuruluş ve enstitülerde çimento ve hazır betonun niteliklerini geliştirmeye yönelik araştırmalar aralıksız devam ediyor ve beton performansı her geçen gün daha da yükseliyor.

Betonun genel olarak avantajları nelerdir?

Çevre Dostu Malzeme: Beton

• Betonarme binalar, ekstra ısıtma veya soğutma ihtiyacını azaltan yüksek termal kütleye sahiptir, bu da yüksek enerji verimliliği anlamına gelir.

• Beton, açık gri rengiyle ısı adasının etkisini azaltabilir. Bu albedo etkisi olarak bilinir.

• Beton, yeni betona veya başka uygulamalara tamamen geri dönüştürülebilir. "Döngüsel ekonomi" kavramında bu çok önemlidir.

• Ham madde olarak sadece işlenmemiş malzemeler kullanılmaz, aynı zamanda geri dönüşümlü agregalar ve geri dönüştürülmüş su da kullanılabilir.

• Beton üretiminde kullanılan karışım suyu, etkili su azaltıcı katkılar kullanılarak kolayca en aza indirilebilir.

• Beton santralleri sıfır atık tesisi olarak sınıflandırılabilir. Bütün atıklar geri dönüştürülebilir.

• Cüruf veya uçucu kül gibi endüstriyel yan ürünler betonda ham madde olarak çimento yerine veya çimento üretiminde kullanılır. Ek olarak, çimento üretimi sırasında alternatif yakıtlar kullanılır.

• Betonarme yapıların servis ömrü, betonarme donatılarının korozyona karşı korunması gibi yüksek dayanıklılık özelliklerinden dolayı çok uzundur.

• Beton, çimento üretim sürecinde ortaya çıkan CO_2 emisyonunun %40'ına kadar kullanım ömrü boyunca CO_2'yi havadan alabilir.

• Beton ve çimento endüstrisi, karbon yakalama (capture) teknolojisi veya betonda sıvılaştırılmış karbon kullanımı gibi daha az CO_2 emisyonu çözümü bulmaya çalışıyor. Günümüzde endüstrimiz karbon içermeyen çimento fabrikaları inşa etmeye çok yakındır.

Sosyal Malzeme: Beton

• Beton; barajlar, yer altı ulaşım sistemleri, sıhhi sistemler, nükleer santraller, havaalanları, vakıflar gibi inşaat mühendisliği yapılarının çoğu için tek olası malzemedir.

• Yangın güvenliği betonla birlikte standart olarak gelir. Özel kaplama veya sızdırmazlık gerektirmez. Beton eşsiz ve kanıtlanmış yangına dayanıklılık özelliklerine sahiptir. Yanmaz veya erimez ve yapısal stabilitesini yüksek sıcaklıklarda tutar. Ayrıca, yangından etkilendiğinde toksik duman çıkarmaz.

• Betonarme binalar deprem sarsıntılarına dayanabilir. Betonarmenin dayanıklılığı ve sağlamlığı, yüksek deprem güvenlik seviyeleri gerektiren binalar inşa etmek için idealdir.

• Beton, yerel halkı istihdam eden yerel bir işletmedir, üretim değeri de yerel olarak kalmaktadır. Bu nedenle, betonla inşa etmek kalite ve güçten ödün vermeksizin çok uygun maliyetlidir.

• Beton, günlük yaşamımızda büyük fark yaratan inovasyon konusunda sınırsız potansiyele sahiptir.

• Beton, mimarların ve mühendislerin kompleks, dinamik ve ilgi çekici formlar ifade etmesini sağlar.

• Beton inorganiktir; bu nedenle sağlık için güvenlidir.

Ekonomik Malzeme: Beton

• İnşaat için alternatif malzemelerle karşılaştırıldığında, betonun üretim maliyeti düşüktür. Betonun ana bileşenleri çimento, su ve agregadır. Bütün bu malzemeler yerel pazarlarda mevcuttur.

• Çok dayanıklı bir malzeme olan beton, yapıların bakım maliyetlerini düşürebilir.

• Yüksek termal kütle seviyesi sayesinde beton, enerji verimliliğine katkıda bulunabilir.

• Hem beton hem de çimento üretiminde, uçucu kül ve cüruf gibi bazı yan ürünler ile bazı geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılır. Bu, döngüsel ekonomiye temel katkıdır.

Kaynak

Hazır Beton Dergisi 152. sayı

https://www.thbb.org/media/356333/hazir_beton_dergisi_teknik_notlar_gecmisten_gelecege_vazgecilmez_yapi_malzemesi_beton_152.pdf

www.thbb.org

www.thbbakademi.org