

RAPORTÖR GÖRÜŞ ÖZETİ

KONU - I

BETON KALİTESİNİN YAPI AÇISINDAN ÖNEMİ

M.Süheyl AKMAN

Prof.Dr.

Teknik Üniversite-İnşaat Fakültesi
İstanbul

Beton kalitesinin yapı açısından önemi konusu, malzemeden beklenen üç ana nitelik dikkate alınarak incelenmiştir. Bunlar,

- Güvenlik,
- Dayanıklılık,
- Ekonomi'dir.

I.Ulusal Beton Kongresine güvenlik konusunda 3, dayanıklılık konusunda 3 ve ekonomi konusunda 2 bildiri sunulmuştur. (X)

1. Güvenlik

Güvenlik kavramı taşıyıcı yapının tümü veya taşıyıcı yapı elemanı için anlam taşır. Yapıyı veya yapı elemanını oluşturan malzemenin belirli bir dayanıma sahip olması ise güvenliğin sağlanmasında en önemli koşuldur. İnşaat mühendisi bu genel mantiki sonucu somutlaştırmak ve sayılarla ifade etmek zorundadır.

Yapı güvenliği ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişkinin kurulmasında ilk yaklaşım güvenlik gerilmelerinin kullanımı olmuştur. Yapıda yüklemeler sonunda oluşan gerilmelerin, güvenlik gerilmesinden küçük kaldıkları sürece yapının güvenliğinin sağlandığı kabul edilmiştir. Son yıllarda, hemen hemen her olgudaki gibi fiziksel yasalarda da kesinliğin bulunmadığı fikri, ağırlık kazanmıştır. Kesinliğin karşıtı olan olasılık inşaat mühendisliği alanında ve özellikle güvenlik kavramında etkinliğini

(x) Raportör görüş özetlerinde verilen bildiri referans No'ları, Kongre yayın kitabının, "İçindekiler" bölümündeki sıra No. larıdır.

belirginleştirmiştir. Yüklerin, kesitlerin, dayanımların değerleri büyük dağılımlar göstermektedir. Çoğunlukla rastgele nitelikli olan bu dağılımlara dayanarak bir yapının güvenliğini kesin (deterministik) biçimde ifade edebilir miyiz? Betonun elemandaki fonksiyonunu dikkate almadan, sadece güvenlik gerilmelerini denetleyerek elemanın güvenliği hakkında yargıda bulunabilir miyiz? Bu iki sorunun cevapları kongrede sunulan üç bildiride verilmektedir. (1,2,3)

Betonarme yapılarda kabul edilen göçme riski 10^{-6} olarak öngörülmektedir. Bu risk düzeyini aşmamak üzere beton basınç dayanımını hesaplamak gerekir. Saptanacak beton dayanımı ise tek bir sayıdan ibaret değildir. A.Gündüz'ün bildirisinde vurguladığı gibi dayanımın aritmetik ortalamayla ifadesi yetersiz ve anlamsızdır. Dayanımlardaki dağılımı belirleyen başka bir istatistik değerin de verilmesi gereklidir. Bu değer istatistikte ikinci moment diye tanımlanan "varians"tır. Basınç dayanımının aritmetik ortalaması (birinci moment) ve variansının kritik değerlerinin yapı güvenliğinden, diğer bir deyişle göçme riskinden itibaren hesaplanabilmesi için aritmetik ortalama ve variansın da davranış fonksiyonunun değişkenleri oldukları dikkate alınmalıdır. Davranış fonksiyonu veya durum fonksiyonu, yapısal sistemin davranışının matematik ifadesi yani matematik modelidir. Fonksiyonun değişkenleri rastgele karakter gösteren malzeme mukavemetleri, yükler, kesitler, vb. olmaktadır. Davranış fonksiyonunun sıfıra eşit olması limit durumu, pozitif olması güvenli durumu, negatif olması göçme durumunu tanımlar. Fonksiyonun aritmetik ortalaması ve variansı da değişkenlerin aritmetik ortalamaları ve varianslamadan itibaren (2) ve (3) formülleri ile hesaplanmaktadır (1).

A.Gündüz davranış fonksiyonunun normal dağılım yasasına uyduğunu varsayarak göçme durumunun olasılığını β "güvenirlik indeksi" ile tanımlamaktadır. Öte yandan değişkenlerin, fonksiyonun variansına etkisinin mertebesini α "duyarlılık katsayısı" ile ifade etmektedir. Bkz.formül (6). α katsayısı bazı değişkenler için bağıl olarak küçük olmaktadır. Bu durumda o değişkenin fonksiyonda stokastik bir işlev yapmadığı deterministik karakterde olduğu yani fonksiyonun olasılıklı dağılımına etki etmediği kabul edilir. Bu yaklaşım, beton basınç dayanımı, durumu fonksiyonunun değişkeni olarak incelendiğinde ilginç sonuçlara götürmektedir. Yazar, bir kiriş (moment etkisi önemli) ve bir kolon (normal kuvvet etkisi önemli) için durum fonksiyonlarını yazarak basınç dayanımının etkisini inceliyor. Basınç dayanımında dağılımı da hesaba katan bir büyüklük olarak varyasyon katsayısı (standart sapma/aritmetik ortalama) ele alınıyor. Tablo-II'de görüldüğü gibi varyasyon katsayısı 0,15'den 0,25'e

yükseldiğinde yani dağılımı yüksek bir beton üretildiğinde, davranış fonksiyonundan elde edilen göçme riski normal kuvvetin etkin olduğu kolonda 1000 misli artıyor; buna karşılık momentin etkin olduğu kiriste sadece 1.13 katına çıkıyor.

Bayülke, Ayık ve Hürata'nın ve Tankut ve Ersoy'un bildirilerinde de beton basınç dayanımına olan bu farklı duyarlık somut gözlemlere ve klasik mukavemet kavramlarına dayanılarak açıklanmaktadır. (2,3). Bayülke ve arkadaşları deprem konusunda, Tankut ve Ersoy ise dayanım yönünden denetlenen yapılarda probleme değiniyorlar. Her iki bildiride de Eksenel Yük-Moment karşılıklı etki diyagramından yararlanılıyor. Kolonlarda moment-eksenel yük etkisinde meydana gelen göçmede basınç veya çekme türü kırılmalar olabileceği, daha sakıncalı olan basınç kırılmalarının eksenel yükün ağırlık taşıdığı durumlarda meydana geldiği belirtildikten sonra düşük dayanımlı betonla üretilen bir kolonda, aynı moment-normal kuvvet yükleme durumu için göçmenin basınç kırılması bölgesine kaydığı gösteriliyor. (Bkz. her iki bildirinin 2.ci şekilleri). Ancak bu bildirilerde beton dayanımının dağılmayı da içeren karakteristik mutlak değeri dikkate alınıyor, dayanımdaki dağılmanın etkinliği ayrık bir faktör olarak incelenmiyor.

Beton basınç dayanımının yapı güvenliği açısından daha çok normal kuvveti yüksek kolonlarda etkin olduğu yargısı, beton kalite kontrolünü bir bütün olarak ele almak zorunda olan üreticinin disiplini üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir. Yapılanın yeniden denetlenmesinde teknik açıdan gerçekçi olan bu değerlendirmenin üretim ve tasarım aşamasında ne oranda dikkate alınması gerektiği önemli bir tartışma konusudur.

Güvenlik konusundaki bildirilerin ısıktuttukları diğer hususlar aşağıda ele alınmıştır.

A.Gündüz, taşıma gücü yönteminde tüm elemanlarda aynı kısmi güvenlik katsayısı alınmasının yapı elemanlarında farklı güvenilirlik düzeyleri oluşturduğunu belirtiyor. Bu durumun bazen tüm yapının göçmesine neden olabileceğini hatırlatıyor. Varyasyon katsayısının 0,15'i aşmamasının en gerçekçi yaklaşım olduğunu vurguluyor, varyasyon katsayısının daha büyük olmasıyla ortaya çıkan sakıncaların kısmi güvenlik katsayıları artırılarak giderilebileceğini ancak bu çözümün yapıdaki mukavemet dağılımını artıracak ve ekonomik olmayacağını ifade ediyor. Beton dayanımına duyarlı elemanlarda, seçilen beton dayanımına göre göçme riskinin hesaplanmasını ve risk yüksek bulunduğunda tasarım dayanımının düşürülmesini tavsiye ediyor.

N.Bayülke, M.S.Aşık ve A.Hürata bir betonarme yapının servis ömrü içinde geçireceği en şiddetli depremi "beklenen düzeyde hasar" la

geçistirmesi şartını belirttikten sonra ülkemizde daima bu düzeyin üstüne çıkıldığını ifade ediyorlar. Bu durum tasarımda ve üretimde yönetmeliklere aykırı davranmaktan kaynaklanmaktadır. Ülkemizde yapılan kısıtlı araştırmalarda B160 betonunun ancak $90-100 \text{ kgf/cm}^2$ küp basınç dayanımında kaldıkları gözlenmiştir. 1967 Mudurnu, 1971 Bingöl, 1974 İzmir, 1986 Doğanşehir depremlerinde yıkılan betonarme binalarda sorumluluk düşük beton basınç dayanımıdır. Düşük basınç dayanımı kolonların moment-eksenel yük taşıma gücünü ve kesme taşıma gücünü düşürmektedir. Yukarda açıklandığı gibi düşük dayanımlı beton için kolonun göçmesi basınç kırılmasına kaymakta ve moment taşıma gücü de % 30 azalmaktadır. Kesme dayanımı, basınç dayanımının fonksiyonu olduğundan, basınç dayanımının % 50 azalması kesme dayanımında da % 30 bir azalma meydana getirmektedir. Ayrıca basınç dayanımının azalması donatı-beton aderansını da düşürmektedir. Kiriş uçlarında beklenen deprem enerjisini yutma niteliği de, betonun çelik akmadan kırılması sebebiyle yük olmaktadır. Doğanşehir depreminde incelenen Sürgü Temel Eğitim Okulunda orta aks kolonları basınç ve kesme kırılmaları türünde nedenlerle göçmüştür; beton basınç dayanımının düşük olması bu sonuçlara götürmüştür.

T. Tankut ve U. Ersoy, Ülkemizde yapı güvenliği kuşku lu yapı sayısının batı ölçülerine göre çok yüksek olduğunu ifade ediyorlar. Kuşku lu durumlarda izlenecek prosesi sistematize eden yazarlar yapı güvenliğinin salt beton dayanımına dayanılarak yapılmasının eksik ve yanlış değerlendirmelere neden olacağını belirtiyorlar. İlk projelendirmede izlenen yöntemin yeniden değerlendirmede de kullanılabileceği, (1) denkleminin geçerli olduğu anlatılıyor, ancak güvenlik kriteri aynı olmakla beraber katsayıların değişik olabileceğine işaret ediliyor (3). Örneğin dış etkiler değiştirilmiyor buna karşı göçme olasılığı ve donatı hasarlıysa donatı güvenlik katsayısı yükseltiliyor, gerçek dayanımı belirlenen beton için güvenlik katsayısı ve öz ağırlık katsayısı düşürülüyor. Beton dayanımını tahminde karot almanın zorunluluğu vurgulanıyor. Tahribatsız yöntemlerin yaklaşıklığı belirtiliyor. Yazarlar yeniden değerlendirmelerin kesinlikle taşıma gücü yöntemiyle yapılmasını öneriyorlar. Ayrıca yerel bozulmaların uyum yeteneği ile (adaptasyon) karşılanabileceği, beton hesap dayanımının, belirsizlik çarpanı içeren bir formülle (Bkz. formül 2) hesaplanabileceği, bu iki sübjektif yaklaşımın ve tümüyle değerlendirmenin ancak uzman kişilerce gerçekleştirilebileceği sürekli vurgulanıyor.

2. Dayanıklılık

Üretimin hemen sonrasında yeterli kaliteye sahip olan betonun, bu

kaliteyi yeterli bir süre koruması gerekir. Servis ömrü olarak tanımladığımız bu sürenin uzun olması betonun dayanıklı olduğunu gösterir. Dayanıklılık özelliği beton kalitesinin bir diğer önemli ölçütüdür; basınç dayanımı oranında güvenlik ve ekonomi üzerinde etkili olur.

Dayanıklılık konusunda sunulan üç bildiri de derleme niteliğindedir (4,5,6). İlk iki bildiri genel biçimde dayanıklılık problemini ele almışlardır. Üçüncü bildiri ise dayanıklılık probleminin özel ve güncel bir konusunu incelemektedir.

M.S.Akman ve M.Colleparadi-N.O.Gököz bildirilerinde betonun hasarına yol açan malzeme kusurlarını ve çevre etkenlerini sıralamaktadırlar. Her iki bildiri de betonda su geçirimsizliği özelliğinin dayanıklılık hususunda en önemli malzeme faktörü olduğunda hemfikirdirler. Bu bakımdan geçirimsizlik konusu ayrıntılı biçimde tartışılmıştır. Akman geçirimsizlikte agrega-çimento hamuru geçiş bölgesindeki makro-çatlakların en önemli faktör olduğunu ileri sürmekte, agrega tane boyutlarının ve granülometrisinin etkinliğini tartışmaktadır. Colleparadi-Gököz ise iyi bir kür, uygun bir su/çimento oranı seçimi ve yeterli vibrasyonla bu çatlakların berteraf edilebileceğini ileri sürüyorlar ve daha ziyade çimento hamurunun geçirimsizliğinin etkinliği üzerinde duruyorlar.

Colleparadi-Gököz hasar nedenleri arasında teknoloji yetersizliğinin payını % 42, kontrol eksikliğinin payını % 22, tasarım hatasının payını % 12 olarak kabul ediyorlar. Bu kabul, asıl sorumluluğun üretimde ve dolayısıyla müteahhitte olduğunu ifade etmektedir. Bu arada kullanıcının bilinçsizliğinin de hesaba katılması gerektiği hatırlatılıyor. Yazarlar işlenebilmenin, iyi yerleşmenin ön koşulu olduğu üzerinde ısrarla duruyor, iyi yerleşme sonunda geçirimsizliğin azaldığını tekrarlıyorlar. Günümüz beton teknolojisinde süper akışkanlaştırıcı kullanımının işlenebilme üzerindeki çok olumlu etkisi bulunduğunu ifade ediyorlar. Ancak Özkul ve Uyan'ın taze beton çatlakları konusunda verdikleri bildiride süper-akışkanlaştırıcıların bu tür çatlakları artırabileceği ileri sürülmektedir (5,6).

M.S.Akman hasar etkenleri arasında donma-çözülme, aşınma ve donatı paslanması problemlerini ayrıntılı biçimde inceliyor ve beton hammadde-lerinin seçimi ile yapı elemanlarının detaylandırılmaları sorunlarını bu problemlerin ışığında çözmeye çalışıyor. Özellikle ülkemiz ve İstanbul yöresinde çimento, agrega ve katkı maddelerinin dayanıklılık açısından yarattıkları sakıncalar ifade ediliyor. Dayanıklılık konusunda Katkılı Portland veya Traslı çimentoların dikkate alınması, agrega ocaklarının

organizasyonun gerekliliği üzerinde duruluyor. Tüketicinin bilinçlenmesinin en etkin çözüm koşulu olduğu ifade ediliyor. Tasarımda çelik sınıfı, beton basıncı dayanımı yanında dayanıklılığı da nicelendiren bir özelliğin, geçirimsizlik katsayısı gibi, belirtilmesi öneriliyor.

Özkul ve Uyan bildirilerinde betonun dayanıklılık ve özellikle geçirimsizlik özelliğini bozan taze beton çatlaklarını inceliyorlar. Plastik rötre çatlakları olarak tanımlanan bu çatlakların oluşmasındaki nedenleri iki ayrı nedene dayandırıyorlar: Çimento hamurunun ani buharlaşma sonucu büzülmesi ve taze betonda oturma şeklinde gelişen segregasyon. İç içe gelişen bu iki olayı ayrı ayrı analiz etmekle erken rötre çatlaklarının faktörleri arasındaki çelişkili durumu ortaya koymaya çalışıyorlar. Terleme sonucu oluşan yüzey suyunun yüzeysel buharlaşmayı karşılayamaması sonucu 10 cm derinliğe, 2 m. uzunluğa, 3 mm. genişliğe varan çatlaklar oluşuyor. Buharlaşmayı hızlandıran faktörler ortamın kuruluğu, rüzgârı, sıcaklığı ve taze betonun sıcaklığıdır. Dođa koşullarından olan ilk üç etken için bazı kür önlemleri almak mümkündür, dördüncü faktör ise üretimin denetlenmesi ile sağlanabilir. Beton bileşenlerinin etkisi çimento hamuru büzülmesi ve oturma olaylarında zıt önlemleri gerektirmektedir. Oturmayla simültane gelişen bir olgu terlemedir. Terlemeyi sınırlamak oturmayı da azaltacaktır. Ancak terlemeyi önlemek de yüzeydeki çimento hamuru büzülmesini şiddetlendirecektir. Bu değerlendirmeye göre ince taneleri ve çimentoyu artırmak, su miktarını azaltmak oturmayı ve terlemeyi azaltır, ancak çimento hamuru rötresini çoğaltır. Yazarlar erken rötre çatlaklarına etkiyen diğer faktörleri de zikretmektedirler. Negatif faktörler yalancı priz, yüksek dozda süper akışkanlaştırıcı, geciktirici katkı, hazır betonda yeniden su verme (retempering) kalıpların kuruluğu, ince paspayı, yüzeye yakın sık donatı kullanılmasıdır.

Bu konuda hazır beton üretiminin güncelleştiği ülkemizde taze beton sıcaklığının denetlenmesi zorunluluğunu vurgulamak yerinde olacaktır. Büyük kentlerdeki hızlı beton tüketimi, özellikle çimentonun silotajına imkân vermemektedir; fabrikadan gelen sıcak çimento, sıcaktan korunmamış agregayla birleşince taze beton sıcaklığı 30°C'yi rahatlıkla aşmada ve erken rötrede önemli bir faktör meydana gelmektedir.

4. Ekonomi

Mühendislik problemleri daima ekonomi ile sağlamlığın çatıştığı ve optimum bir çözümle sonuçlanan problemlerdir. Kısa vadeli olarak düşünüldüğünde betonda da benzer bir sorunla karşılaşılır. Ancak kalitenin önemi ve kaliteyi gerçekleştirmek üzere yapılan çabaların toplam maliyette sağladığı yararlar dikkate alınırsa sağlamlık ve ekonomi

yönündeki çözümlerin paralelliği ortaya çıkar.

E.Öztekin ile N.Taner'in sundukları iki bildiri de bu gerçeği çarpıcı bir biçimde kanıtlamaktadır (7,8).

Genel kalite kontrol ve maliyet kavramlarından yola çıkan E.Öztekin, beton üretimindeki kalite gereksinmelerini, kalite için yapılan ödemeleri, kalite'nin ekonomiye etkisini sayılarla ifade etmektedir. Aşırı kalitenin anlamsızlığını belirledikten kalite kavramı ve kalite düzeyini seçiklikle tanımlayan yazan, kalite düzeyinin tasarımıyla, kalite kavramının üretimle eşleştiğini belirtiyor. Kalitenin sadece üretim sonunda belirlenmesinin, ıskartayı yükselterek maliyeti olumsuz etkilediğini, ancak ülkemizde endüstriyel ve kültürel düzey nedeniyle hâlen bu durumun yaşanmadığını yazan Öztekin, endüstrileştikçe ve tüketici bilinçlendikçe bu aşamaya gelineceğini ifade ediyor.

Kalite kontrolde üç unsur; hammadde, donanım ve insan olmaktadır. Kalite kontrolde süreklilik şarttır, dört aşamada kontrol yapılır. Bunlar, hammadde ve donanımın sürekli denetimi, üretim sırasındaki kontroller, üretimin örnekleme yoluyla denetimi ve kalite kontrolünün bir üst kuruluşça denetimi olmaktadır.

Kalite kontrolü maliyetini göstermek üzere yıllık 120.000 m³ beton üreten bir kuruluş örnek alınmıştır. Bu kuruluşun laboratuvar ve personel masrafı kârın % 1-2'sidir. Cari fiyatlara göre bu kuruluşun yıllık cirosu 10 milyar TL.dir. Kalite kontrolü ile agregada 50 milyon TL., Çimentoda 70 milyon TL, katkı maddesinde 20 milyon TL, Kum yerine alternatif bir malzeme (taş unu gibi) kullanımı ile 30 milyon TL. tasarruf mümkün görülmektedir. Böylece % 2 lik bir laboratuvar ve personel masrafına karşılık % 30-40 mertebesinde bir kâr artışı sağlanabilir.

Kalite kontrolünün tüketici üzerindeki olumlu psikolojik etkisinin de önemli yararını vurgulayan Öztekin ayrıca hammadde, enerji israfını önleyerek ülke ekonomisine de önemli katkılar sağlanacağını belirtiyor; ancak böyle bir kalite kontrolünün endüstrileşmiş üretimde yapılabileceğini de hatırlatıyor.

M.N.Taner yüksek kaliteli ve dolayısıyla basınç dayanım sınıfı yüksek beton üretiminin sağladığı ekonomik yararları cari Bayındırlık ve İskân Bakanlığı fiyatlarına ve bir kolonla bir giriş üzerinde yaptığı boyutlama hesaplarına dayanarak somutlaştırıyor. Yapı elemanlarında BS 14 beton, S220 çelik ile BS 20 beton S420 çelik olarak yaptığı hesaplarda kolonda % 13, girişte % 33 mertebesinde ekonomi sağlandığını kanıtlıyor. Yazar dayanımı yüksek beton kullanmanın yararlarını ise şöyle sıralıyor: Kolon, giriş boyutları küçülür, yapı hafifler temel boyutları küçülür, donatı miktarı azalır, yüksek kaliteli donatı kullanımı mümkün olur.