

RAPÖRTÖR GÖRÜŞ ÖZETİ
KONU: II

YÜKSEK DAYANIMLI BETON İLE TASARIM

İsmet AKA
Prof.
İTÜ İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

Yapılarda çelikle birlikte kullanılarak Betonarme ve Öngerilmeli Beton olarak yer almaya başladığından beri, gerek özellikleri, gerekse çelikle birlikte çalışması açısından sürekli araştırmalara konu olan beton sürekli olarak gelişmiş, son yıllarda "Yüksek Dayanımlı Beton" üretilerek yapıya girmiştir. Bu kısa açıklamadan belirttiği gibi, "Yüksek Dayanımlı Beton ile Tasarım" konusu; betonarme ve öngerilmeli beton yapılarda YDB kullanılmasının getireceği sorunlar, değiştirilmesi, düzeltilmesi, geliştirilmesi gereken kurallar ve yöntemler ile bu betonun kullanılmasını zorlayan yararları incelenerek ele alınmıştır.

Bu konuda kongreye sunulan 7 bildiriden 3'ü YDB'un NDB ile davranış farklarından dolayı ortaya çıkan sorunları çözüme kavuşan, çözüm isteyen yanları ile belirtmekte, 1'i YDB'un sünekliğini iyileştirmek için enine donatı kullanılmasını incelemekte ve 3'ü de YDB'un sağlayacağı ekonomiyi araştırmaktadır. Bu son gruptaki bildirilerden 1'i öngerilmeli betonla ilgilidir.

Burada bildiriler özetlenerek bir değerlendirme yapmaya çalışılacaktır.

Yüksek Dayanımlı Beton tanımı zamana ve betonun kullanıldığı bölgeye göre değişmektedir. Ş.M. Üzümeri ve Ş. Özden, U. Ersoy ve T. Tankut, O. Gürlek ve T. Özturan, A. Gündüz bildirilerinde bu konuyu açıkladıktan sonra sırası ile Üzümeri ve Özden 41 MPa' dan daha yüksek, Ersoy ve

Tankut TS 500'deki en yüksek dayanımlı betondan daha yüksek ($f_{ck} > 500 \text{ Kg/cm}^2$) betonları bildirilerinde YDB olarak tanımlayacaklarını, Gürlek ve Özturan yaptıkları maliyet karşılaştırması için TS 500'deki beton sınıflarını kullanacaklarını ve Gündüz'de incelemesinin C80'e ($f_{ck}=80 \text{ MPa}$) kadar olan betonlarla sınırlı olduğunu belirtmektedirler.

YDB'un yapılarda kullanılmasında ana sorun bu betonların NDB'lara göre özellik ve davranış farklılıkları olduğundan, mevcut yöntemlerin, yönetmelik hükümlerinin dayandığı deneylerin, gözlemlerin yönetmeliklerdeki betonlarla sınırlı kaldığı gözönüne alınarak, YDB'u yönetmeliklerde verilenlerin üstündeki betonlar olarak tanımlamak uygun görülmektedir. Bu görüşle YDB'lar Türkiye ve bugün için 28 günlük silindirik dayanımı 40-50 MPa'dan daha büyük olan betonlar olarak tanımlanabilir.

Bir hususa daha değinmekte yarar vardır:

Betonlar basınç dayanımları ile karakterize edilirler ve genellikle basınç dayanımları ile bütün özelliklerinin yükseldiği kabul edilir. Ancak YDB'larla yapılan hesaplarda güvenliği garanti etmek için dayanımı düşük almak yetmez. Gevrekleşme gibi bazı özellikler ters etki yapabilir.

YDB'la yapılan elemanların davranışı basınç dayanımındaki değişmeye paralel olmayabilir. Doğru ve güvenli bir karara varabilmek için betonun bütün özelliklerinin basınç dayanımı yükselince nasıl değiştiği, hangi biçim ve değerlere vardığı incelenmeli, bilinmelidir.

Üzümeri ve Özden bildirilerinde Malzeme, Mukavamet ve Yapı Elemanlarının Davranış Özelliklerini ayrıntıları ile incelemektedirler. Tankut ve Ersoy bildirilerinde aynı şekilde çeşitli özellikleri incelemekte, YDB kullanılarak imal edilen betonarme yapı ve yapı elemanlarında karşılaşılabilecek sorunlara ve bu konuda neyin bilinip neyin bilinmediğine değinmektedirler.

Atımtay bildirisinde bilinmesi gerekli özellikleri adları ile sıralamakta ve bunların araştırma aşamasında olduğunu belirtmektedir. YDB üzerine değerlendirmesini ise bu betonla yapılan döşemeler, kirişler, kolonlar ve perdelerdeki yapısal ve ekonomik etkilerini inceleyerek yapmaktadır.

YDB'da Poisson oranının 0,2 alınabileceği, büzülmenin (rötre) başlangıçta NDB'a göre daha hızlı gideceği, ancak sonuçta değişik olmadığı Üzümeri ve Özden ile Ersoy ve Tankut'un bildirilerinde yer almakta, Üzümeri ve Özden düşük dayanımlı betonlarda büzülmenin orta ve yüksek dayanımlı betonlara göre daha fazla olduğunu bildirmektedirler. Yine her iki bildiride sünme konusundaki araştırmalara göre YDB'daki sünmenin NDB'a göre daha az olduğu belirtilmekte, Üzümeri ve Özden bunun için % 25-50 oranını vermektedirler.

Bunlardan başka, basınç, çekme dayanımları, elastiklik modülü gibi özellikler konusunda yapılan araştırma sonuçlarına göre YDB'daki farklılıklar her iki bildiride özet olarak yer almaktadır.

Betonun Gerilme-Birim deformasyon eğrisi betonarme elemanların basınç ve çekme gerilmesi doğuran etkiler (M ve N) altındaki taşıma gücünün hesabında doğrudan etkilidir. YDB'un Gerilme-Deformasyon eğrisi NDB'larinkinden çok farklıdır. Doğrusal'a yakın bölümü dayanımın % 80'ine kadar gitmekte, maksimum gerilmede kısalması artmakta, ancak ondan sonra iniş bölümünde dikleşerek maksimum kısalma daha küçük olmaktadır. Üzümeri ve Özden bu özelliği "Basınç dayanımı 66 MPa'dan fazla olan YDB'un basınç altındaki davranışı yaklaşık olarak doğrusal elastik ve gevrektiler." biçiminde yorumlamaktadırlar.

Basit ve bileşik eğilme etkisinde taşıma gücü hesabı için basınç bölgesinde beton gerilmesi dağılımı konusunda yapılacak varsayımların çeşitliliği bilinmektedir. Üzümeri ve Özden bu konudaki dikdörtgen gerilme bloku, trapez gerilme bloku ve üçgen gerilme bloku olarak literatürde yer alan bazı basınç gerilmesi dağılımları hakkında bilgi vermekte. Gerilme-Deformasyon özelliklerinin farklılığından ötürü betondaki basınç kuvveti bileşkesinin yeri ve büyüklüğünün farklılığına rağmen ACI 318-89 Yapı Kodunun önerdiği dikdörtgen basınç blokunun YDB için de yaygın olarak kullanılmakta olduğuna işaret etmektedirler.

Ersoy ve Tankut bu konuda CEB (parabol + dikdörtgen), ACI (dikdörtgen blok) ve gerçek $\sigma-\epsilon$ eğrisinin kullanıldığı yaklaşımlar hakkında bilgi vermekte, bunlara göre C30 ve C100 betonları için dikdörtgen kesitte taşıma gücünü hesaplayarak karşılaştırma yapmaktadırlar. Sonuç olarak CEB yaklaşımında % 12, ACI yaklaşımında % 5 oranında daha büyük (Güvensiz tarafta) momentler elde edildiği görülmektedir. Gerçek $\sigma-\epsilon$ eğrisi için de küçük

idealleştirmeler yapmak zorunluğunu gözden uzak tutmamak gerekir.

Buradan belirttiği ve bildirilerde de işaret edildiği gibi her iki varsayımda YDB'a uygun düzeltmeler yapmak, geliştirmek için araştırmaların artması gerekmektedir.

Yine bildirilerde de işaret edildiği gibi, az donatılı kirişlerde basit eğilme etkisinde yapılan deneylerle varılan sonuçların tek eksenli gerilme durumunun tümü için genelleştirilmesi mümkün değildir, yanıltıcı olur.

Çekme dayanımının yüksekliği dolayısıyla ani kırılmayı önlemek için gerekli minimum donatı oranı YDB'da daha yüksek olmalıdır. Üzümeri ve Özden bu konuda önerilen formüller vermektedirler.

YDB'un sakıncalı bir özelliği NDB'a göre çok daha fazla gevrek bir davranış göstermesidir. Basınç bölgesindeki betonun iyi düzenlenmiş bir enine donatı ile sarılmasının gevrek kırılmayı önlediği, sünekliği arttırdığı bilinmektedir.

Ersoy ve Tankut ile Üzümeri ve Özden bu konuyu incelemekte, iyi bir sargılama ile YDB'un sünek davranışının etkileneceğini belirtmekte, ancak bu etkiyi hesaplamada kullanılan modeller NDB'lar için geliştirildiğinden, YDB'lar için uygulanabilirlikleri konusunda belirsizlikler olduğunu vurgulamaktadırlar. Ayrıca Üzümeri ve Özden sargılamada etriye olarak akma limiti yüksek çelik kullanıldığında YDB'larda oldukça büyük sünekliklerin elde edildiğine işaret etmektedirler.

A. Gündüz enine donatı ile sarılmış (kuşatılmış) kesitler için bir model geliştirerek hesap yöntemi vermektedir. C80'e kadar olan betonlar için geçerli kabul ettiği bu yöntemde CEB/FIP MC 90'da verilen, beton dayanımı arttıkça azalan maksimum birim kısalmalara dayanmakta, C20-C80 arasındaki betonlar için yeni değerler önermektedir. Uygulanabileceği alanı C80 betonları ile sınırlanmış olmakla birlikte deneysel araştırmalarla kanıtlandığında güvenilir bir yöntem olabilir.

Kesme etkisi altında YDB'un gevrek davranışının kesme dayanımını nasıl etkileyeceği bilinmelidir. Bu konuda Üzümeri ve Özden mevcut yöntemlerin YDB'larda güvensiz tarafta sonuçlar verebileceğini belirtmekte, çeşitli yapı

kodlarında kesme mukavemeti hesaplarında kullanılabilecek maksimum beton basınç dayanımının sınırlandırıldığını kaydederek bu sınırları vermektedirler. Ersoy ve Tankut aynı konuya değinmekte, beton dayanımından bağımsız olarak verilen minimum kayma donatısının YDB'lar için yetersiz kaldığını belirtmektedirler. Ancak TS 500'e göre yapılacak hesapların minimum kayma donatısı da dahil olmak üzere YDB'lar için de yeterli olabileceğini, yine de daha fazla deneysel veriye gereksinme olduğunu kaydetmektedirler.

Sonuç olarak, bildirilerde de sık sık vurgulandığı gibi YDB için iyi bir işçilik ve üretim kontrolünün yanında özelliklerini gözönüne alan iyi boyutlandırma ve detaylandırma yapılması gereklidir. Belirtildiği gibi birçok belirsizlik ve boşluklar olduğu için tasarımda dikkatli ve ihtiyatlı davranmalıdır.

Üzümeri ve Özden ile Ersoy ve Tankut bu belirsizlik ve boşlukları işaret eden, araştırma ve cevap gerektiren konuları özet olarak, liste halinde vermekte, Atımtay da soru halinde açık noktaları belirtmektedir.

Yüksek Dayanımlı Beton kullanılmasında en önemli amaç ekonomi sağlanmasıdır. Bu da özellikle kolonlarda belirgin olmaktadır.

O. Gürlek ve T. Özturan gerçekçi, uygulanabilir örnekler olması için TS 500'e uygun; BS 14, BS 30 ve BS 50 ile boyutlandırılan binalardaki kolon maliyetlerini incelemişlerdir. Model olarak alınan binalar 5, 10 ve 20 katlı ve her biri 5,0 ve 8,0 m dört açıklıklı çerçevelerden oluşmak üzere 6 adettir. Her binada toplam kolon maliyetleri hesaplanmış, beton sınıflarına göre karşılaştırabilmek için BS 14'e göre azalmalar yüzde olarak tablo ve diyagramlarla belirlenmiş ve diyagramlarla gösterilmiştir. Küçülen kolon boyutları dolayısıyla kazanılan alanlar da ekonomikliği arttırdığından bunlar da hesaplanarak bir tabloda verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; beklendiği gibi, beton dayanımı arttıkça toplam maliyette azalma olmakta, kat adedi fazla olan binalarda tasarruf ta artmaktadır. Küçük açıklıklı binalarda dayanım artışı daha verimli olmuştur. Üst katlarda dayanım artışı maliyeti de arttırmaktadır. Bu bakımdan özellikle kat adedi fazla olan yüksek binalarda kademeli olarak, yükseldikçe beton dayanımını düşürmek daha ekonomik olmaktadır. Kolon boyutlarının küçülmesi özellikle

çok katlı binalarda kayda değer, önemli miktarlarda alan kazandırmaktadır.

Maliyet hesaplarına kalıp dahil edilmemiştir. Beton miktarı azaldığında kalıpta azalacağından tasarruf belirtilenden fazla olacaktır. Ayrıca maliyetin yanında azalan çelik miktarının da ülke ekonomisi bakımından yararlı olacağına işaret etmek uygun olacaktır.

Uygulanabilir bina tipi ve beton sınıflarını konu aldığı için çalışma sonuçlarından pratik olarak yararlanmak mümkün görülmektedir.

Atımtay da bildirisinde YDB'un kolonlar için çok uygun bir malzeme olduğunu, diğer elemanlarda önemli yararlar sağlamayacağı görüşünü vurgulamaktadır.

I. Balioğlu, C. Akça, N. Parlar ve M. Korkmaz bildirilerinde Mersin'de BS 35 ile inşaatı tamamlanmış bulunan 48 katlı, temelden yüksekliği 178 m olan binanın BS 60, 80, 100 ve 120 betonları ile, boyutlarını değiştirerek çözmüşler ve sonuçlarını vermişlerdir.

Çalışmada maliyet hesaplanmamış, yalnız malzeme miktarları (Beton ve Çelik) belirtilmiştir. Beton miktarında dayanım yükselmesi ile doğrusala yakın bir azalma gözlenirken çelik miktarında BS 35'ten 60'a geçişte görülen azalma daha yüksek dayanımlar için yavaşlamaktadır. Kiriş yüksekliklerinin azalması donatıyı arttırdığından bu sonuç doğaldır. Ayrıca küçülen boyutlar deformasyonları arttırdığından BS 60 betonundan daha yüksek betonların kullanılabilirlik koşulunu sağlamadıkları belirtilmektedir ki buna göre ekonomikliklerinin araştırılmasına da gerek kalmamaktadır. Bu durumda kullanılabilirlik koşullarını yerine getiren, alt katlarda daha yüksek, kademeli olarak azalan, kiriş ve plaklarda da çok yüksek olmayan dayanımlı betonların kullanılması araştırılabilir, ekonomik ve öteki koşulları sağlayan bir çözüm elde edilebilir.

C. Kozanoğlu prefabrike kolon, kiriş ve aşıklarla oluşturulan bir sanayi yapısını örnek alarak betonarme ve önerilmeli beton aşıklar kullanıldığında YDB ile yapılan önerilmeli beton aşıkların sağladığı ekonomiyi hesaplamaktadır.

Aşıkların açıklığı 7,75 m. sabit alınmış ve karşılaştırma 16, 18, 20 ve 22 m açıklıklı, her biri 6,0 ve

8,0 m yükseklikli yapılar seçilerek yürütülmüştür. Betonarme aşıklar BS 25, öngerilmeli aşıklar ise BS 45 betonu ile hesaplanmıştır.

Sonuç olarak üst yapıda % 25 -30'a ve alt yapıda % 10-20'ye varan ekonomi sağlandığı belirtilmektedir.

Çatı örtüsü olarak 17 Kg/m² alınmıştır. Bildiride belirtilmemekle birlikte aşıkların kesitindeki küçülme yaklaşık olarak 30 Kg/m² yük azalmasına sebep olmakta, bu da toplam çatı yükünde (aşık+örtü+kar) % 15 kadar azalma ile sözü edilen ekonomiyi sağlamaktadır.

Burada aşık kesiti küçülmesinin beton dayanımındaki artıştan çok betonarme yerine öngerilmeli beton kullanılmasından kaynaklandığını belirtmek gereklidir. YDB'la betonarme aşık yapılsaydı sehim koşulu dolayısıyla kesit fazla küçülemezdi. Beton dayanımının yükselmesi öngerilmeyi mümkün ve yararlı yapmıştır.

Genel bir görüş olarak:

Betonarmenin yapılarda kullanılmaya başladığı ilk yıllarda düşük dayanımlı, tek bir türde beton ve çelikle inşaat yapılmış, daha sonraki yıllarda yapının gerektirdiği ve santiyenin imkânlarına göre, dayanımı yükseltilecek betonlar ve çelikler kullanılmaya başlanmıştır. Betonarmenin özelliği dolayısıyla, kullanılan çelik dayanımı belli sınırları aşamazken beton dayanımı yükselmeye devam etmiştir. Ancak son yıllarda varılan beton dayanımı beton özelliklerini bilinenlere göre değişik, tasarım yöntemlerini değiştirmeye zorlayan duruma getirmiştir. Bu bakımdan YDB'u yeni bir malzeme gibi incelemek, tanımak ve ona göre kullanmak gerekmektedir. Sünekliğin azalması, küçülen boyutlar dolayısıyla şekil değiştirmelerin artması yüzünden betonarmede kullanılacak betonların dayanımlarına, çelikler için olduğu gibi, bir sınır koymak gerekeceği düşünülebilir.

Sonuç olarak; YDB kullanabilmek için geliştirilecek araştırmalarla iyice belirlenecek özelliklerine, davranışına uygun bir tasarım yapılmalıdır. Bunun yanında şantiyedeki işçilik de YDB'un önemine uygun olmalı ve iyi bir üretim kontrolü yapılmalıdır. Gereken bilgi ve özenle yapılmış büro çalışmaları ile kusursuz bir tasarım gerçekleştirilse bile, şantiyede istenen betonun elde edilememesi durumunda YDB kullanma kararının yararlı olamadıktan başka zararlı, kötü sonuçlar doğurabileceği gözden uzak tutulmamalıdır.