

YÜKSEK YAPILARDA YÜKSEK DAYANIMLI BETON

M. Hulusi ÖZKUL

Doç.Dr.

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi

İstanbul, Türkiye

Mustafa E. KARAGÖLER

Araş.Gör.Dr.

İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi

İstanbul, Türkiye

ÖZET

Genel olarak betonarme kullanımının çelik karkas yapılara göre önemli üstünlükler taşıdığı bilinmektedir. Son yıllarda su azaltıcı katkı teknolojisindeki gelişmelerle birlikte üstün nitelikli puzzolanların beton üretiminde kullanılmaları, yüksek dayanımlı betonun (28 günlük basınç dayanımı 41 N/mm^2 'den daha büyük beton) laboratuvarlardan çıkıp günlük yapıya girmesine neden olmuştur. Bu çalışmada yüksek dayanımlı betonların genel özellikleri ele alınacak, daha sonra dönemlerinin en yüksek betonarme yapılarından olan Texas Commerce Tower ile Chicago South Wacker Tower'ın yapımında kullanılan betonlar ve diğer bazı yüksek yapılarda kullanılan yüksek dayanımlı betonlar hakkında bilgi verilecektir.

1. GİRİŞ

Betonarme yapıların çelik karkas yapılara göre bazı üstünlükler taşıdığı bilinmektedir (1). Öncelikle betonarme yapıların bakımları daha kolaydır; olağan koşullarda korozyon olasılığı taşımazlar, tam tersine dayanımları zamanla artar. Önemli bir üstünlükleri de yangına karşı dayanıklı olmalarıdır. Yorulma ve titreşim etkilerine karşı daha dayanıklıdır. Üretimleri daha az enerji gerektirir; çeliğe göre daha ekonomiktirler.

Son yıllarda yüksek dayanımlı betonların yaygınlaşması ile birlikte yüksek katlı yapılarda betonarme kullanımı çelik kullanımı ile yarışabilecek düzeye ulaşmıştır. Bu yapılarda alt katlarda yüksek dayanımlı beton

kullanılmakta, üst katlara çıkıldıkça dayanımlar azaltılmakta, ve en üst katlarda ise yarı hafif betonla (2) yetinilebilmektedir.

Yüksek dayanımlı beton kullanımının geleneksel betona göre bir üstün yanı daha ekonomik olmasıdır. Yüksek dayanımlı beton üretimi için yapılan harcamadaki artış oranı, geleneksel betona göre elde edilen dayanımdaki artış oranından daha azdır. Örnek olarak A.B.D.deki birim fiatlara göre(3)

21 N/mm² dayanımlı betonun birim fiyatı: 58.9 \$/m³

96 N/mm² dayanımlı betonun birim fiyatı:183.10\$/m³

dür. Burada dayanımda 4.7 oranında artış sağlanırken fiattaki artış 3.1 oranında kalmaktadır.

1.1. Yüksek Dayanımlı Betonların Özellikleri

28 günlük dayanımı 41 N/mm²'den daha büyük olan betonlar yüksek dayanımlı olarak tanımlanır. Beton dayanımı genel olarak çimento hamuru boşluk yapısına, agreganın özelliğine ve agrega-çimento hamuru geçiş bölgesi özelliklerine bağlıdır. Çimento hamuru ve geçiş bölgesi özellikleri betondaki su/çimento oranı ile yakından ilgilidir. Bu oran düşürülerek daha az boşluklu beton üretilebilir. Aynı zamanda max. agrega dane çapı küçültülerek geçiş bölgesi özellikleri iyileştirilebilir. Ancak bu iki yaklaşımın beton dayanımı üzerindeki iyileştirici etkisinin belirli bir üst sınırı vardır(1). Bu sınırın üstüne çıkmak için beton yapısında var olan ve betonun zayıf yanı olarak görülen kalsiyumhidroksit (Ca(OH)₂) kristallerinin oluşmasını önlemek gerekir. Bu kristaller hegzogonal yapıda olup kolayca kırılma özelliği gösterirler.

Beton işlenebilirliğini kötüleştirmeden çimento hamuru ve geçiş bölgesinde boşluk miktarını azaltmak için çimento dozajını artırmanın yanında su azaltıcı katkı kullanımı birlikte düşünülebilir. Çimento dozajı 600 kg/m³'ün üzerine çıkabilmektedir.Bu durumda hidrartasyon ısısını düşük tutucu önlemler gerekir. Öte yandan su azaltıcı katkılarda, özellikle son yıllarda üstün akışkanlaştırıcı (super plasticizer) katkı teknolojisinde önemli gelişmeler olmuştur. Lignosulfonat, naftalin, melamin ya da polimer esaslı olan bu katkılar kullanılarak su/çimento oranı 0.30'un altına inebilir. Burada önemli bir nokta, bu kadar düşük su/çimento oranlarındaki küçük değişimlerin beton dayanımını önemli ölçüde değiştirdiği gerçeğidir.

Yukarıda beton iç yapısının zayıf yanı olarak nitelendirdiğimiz Ca(OH)₂

kristallerin oluşumunu önlemek amacıyla Puzzolan kullanılır. Puzzolanların Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek çimento içindeki diğer hidrate elemanlara benzer yeni elemanlar oluşturdıkları bilinmektedir. Bu yeni elemanlar çimento hamuru ve geçiş bölgesinde kolay kırılmayan sağlam elemanlardan oluşan homojen bir ortam oluşturmakta aynı zamanda küçük boşlukları doldurma özelliği göstermektedir. Puzzolan olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü (4), ve son yıllarda kullanımı yaygınlaşan silis dumanı önerilebilir. Silis dumanında, SiO_2 oranı çok yüksek değerlerde bulunabilir (% 90'ın üzerine çıkabilir) ve inceliği çimento inceliğinin 50-60 katına ulaşabilir. Puzzolan kullanımının bir başka olumlu yanı çimento hidratasyon ısısını düşürmesi, böylece ısı çatlak oluşumunun önlenmesidir. Ayrıca aslında atık malzeme olan puzzolanlar çimentodan daha ucuza mal olur.

1.2. Yüksek Dayanımlı Beton Kullanımından Örnekler

1960'lı yıllarda 40 N/mm^2 ile başlayan yüksek dayanımlı beton kullanımı 1990'lı yıllarda 100 N/mm^2 'lik değerlere ulaşmıştır. Beton dayanımındaki gelişim 10'ar yıllık aralıklarla ele alındığında aşağıdaki Tablo'daki durum ortaya çıkar:

Tablo I. Dünya'da Beton Dayanımındaki Gelişme

Yıl	Beton Dayanımı (N/mm^2)
1960-70	40-50
1970-80	50-70
1980-90	70-100
1990-	100 -

1979 yılında yapımına başlanan A.B.D.'nin Houston, Texas Kentindeki Texas Commerce Tower (5), 75 katı ile dönemin en yüksek betonarme yapılarındandır. Kullanılan toplam 71.872 m^3 'lük betonun % 35'i yüksek dayanımlıdır. Temelden 8. kata kadar olan karkas yapıda 51.8 N/mm^2 dayanımlı beton kullanılmıştır. 8 ile 30 katlar arasında 41.4 N/mm^2 , 30-60 arası 34.5 N/mm^2 ve 60'ın üzerindeki çatıya kadar olan katlarda 27.6 N/mm^2 dayanımlı beton kullanılmıştır. Çatıda ise 20.7 N/mm^2 dayanıma sahip yarı hafif beton yeğlenmiştir. Beton üretiminde 28 günlük basınç dayanımı 40 N/mm^2 olan çimento seçilmiştir. Puzzolan olarak çimento miktarının % 20-30 oranında % 34 SiO_2 içeren ve C tipi olarak tanımlanan uçucu kül yer almıştır. Doğal kum ve max. dane çapı 25.4 mm. olan kireç taşı kökenli agrega kullanılan beton da su azaltıcı katkı ile su/çimento oranı azaltılırken işlenebilmede çökme

10 cm. dolayında tutulabilmıştır. Bu betonla ilgili tipik bir karışım örneği ve elde edilen basınç dayanımı aşağıda verilmiştir. Laboratuvarda elde edilen bu sonucun üretim alanında % 85 oranında uygulanabildiği anlaşılmıştır.

Tablo II. Texas Commerce Tower'da Kullanılan Betonun Bileşimi

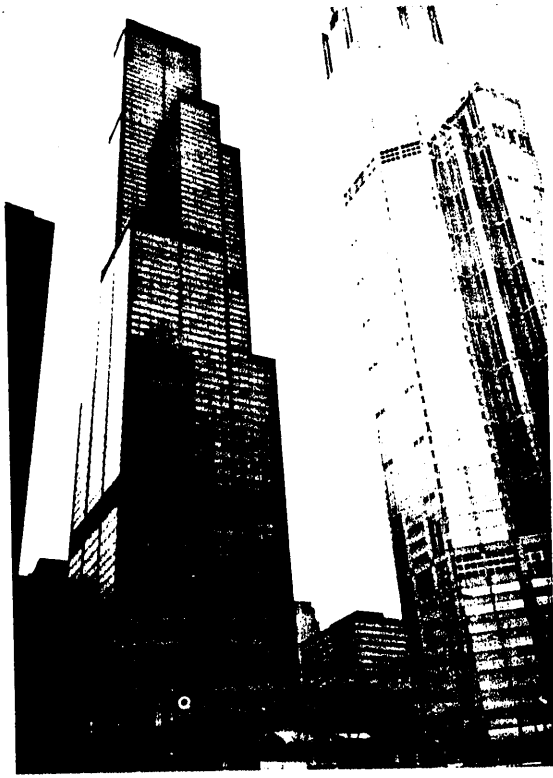
Çimento	: 448.5 Kg/m ³
Uçucu Kül	: 112 Kg/m ³
Su azaltıcı katkı	: 0.8 lt/m ³
Çökme	: 10 cm
Su/çimento	: 0.30
Dayanım (28 gün)	: 72.7 N/mm ²

Bu yapının üretimindeki ilginç bir nokta temel betonunun 6346 m³ bölümünün 15 saatte, 5276 m³'lük ikinci bölümünün ise 15 gün sonra 11 saat içinde dökülmesidir. Bu arada ortaya çıkabilecek yüksek orandaki hidratasyon ısısı puzzolan kullanımı nedeniyle zararsız düzeyde tutulabilmıştır.

Şu anda dünyanın en yüksek betonarme çok katlı (79 katlı ve 295 m. yükseklikte) yapısı olarak bilinen ve 1989 yılında yapımı biten A.B.D.'nin Chicago kentindeki 79 katlı "311 South Wacker Tower" adlı yapıda (Şekil 1) kolonlar 13. kata kadar 82.7 N/mm² dayanımlı beton ile üretilmiştir (6). Beton dayanımı daha üst katlarda giderek azaltılarak en üst katta 41.4 N/mm²'ye inmiştir.

Pompa ile basılan betonda alt katlarda 76.5 m³/saat olan döküm hızı üst katlarda 42 m³/saate düşmüştür. Değişik oranlarda silis dumanı kullanılan betonda çimento dozajı 356 kg/m³'dür. Oldukça yüksek olan işlenebilme (çökme 22.9 cm) yüksek oranlarda üstün akışkanlaştırıcı (süper plasticizer) kullanılarak sağlanmıştır. Çökme kayıplarının önüne geçebilmek için akışkanlaştırıcı alanda (on site) katılmıştır. Doğal kum ve kireç taşı kökenli agrega kullanılan betonun toplam miktarı yapım sonunda 84.000 m³'e ulaşmıştır.

Chicago'nun aynı bölgesinde 225 W. Wacker Drive'de yer alan 31 katlı betonarme yapıda ise kullanılan beton dayanımları 31-96 N/mm² arasında değişmektedir (3). Silis dumanı ve uçucu külün puzzolan olarak kullanıldığı betonlarda üstün akışkanlaştırıcı kullanılarak işlenebilme istenilen değerde gerçekleştirilebilmiştir. Puzzolan ve priz geciktirici yardımıyla hid-



Şekil 1. 311 South Wacker Tower ve Sears Tower

rotasyon sonucu beton sıcaklığı 38°C de tutulabilmıştır. Bu betonların klorür geçirgenliği ile sünme ve rötire değerlerinin önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir.

Yüksek dayanımlı betonların bir başka kullanım alanı da açık denizlerdeki petrol platform yapılarıdır. Bunların son örneklerinden birisi olan Kuzey Denizi'ndeki Gullfaks platformunun yüksekliği 216 m'ye ulaşmaktadır (7). Bir Norveçli Firma'ca hazırlanan betonda inceliği artırılan ($4000 \text{ cm}^2/\text{gr}$) özel bir çimento (65 N/mm^2 dayanımlı) yanında % 5-10 oranında $200.000 \sim 250.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ inceliğinde silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanında SiO_2 oranı % 90'ın üzerindedir. Feldispat ve Kuvartz esaslı agregada max. dane çapı 19 mm. dir. Donatıların çok sık olması nedeniyle 22-25 cm çökme değerinde olan işlenebilme ortalama 2 lt/m^3 miktarında üstün akışkanlaştırıcı ile sağlanmıştır. Beton dayanımları $70-100 \text{ N/mm}^2$ arasında gerçekleşmiştir.

2. SONUÇ

Önceleri araştırma laboratuvarlarının duvarları arasında kalan yüksek dayanımlı beton üretimi son yıllarda alana inmiştir. Yukarıda ele alınan örneklerde, üstün akışkanlaştırıcı kullanılarak su/çimento oranı 0.30'lara inerken işlenebilme 20-25 cm'lik çökme değerlerinde tutulabilmektedir. Yüksek dayanımlı betonlar için temel olan homojen iç yapı oluşumu, 1979 yılında uçucu kül ile sağlanırken 1990'lara doğru uçucu külün yanında üstün nitelikli bir puzzolan olan silis dumanı kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. 1960'lı yıllarda 40 N/mm²'lik dayanımda başlayan yüksek dayanımlı beton kullanımı, 1970'li yılların sonunda 70 N/mm²'ye ulaşmıştır ve 1990'lı yıllarda 100 N/mm²'yi aşması beklenmektedir. Üretilen bu betonlar çok yüksek yapılarda bile pompa ile kolayca iletilebilmiştir.

3. KAYNAKLAR

1. Mehta, P. Kumar., "Concrete Structure, Properties and Materials" Prentice-Hall, Inc., 1986.
2. Taşdemir, M. Ali., "Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları", Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1982.
3. Moreno, J., "225 W. Wacker Drive", Concrete International, Vol. 12, No.1, p. 35, Jan. 1990.
4. Mazlum, F., "Pirinç Kabuğu Külünün Pozzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık 1989.
5. Cook, J.E., "Research and Application of High-Strength Concrete Using Class C Fly-Ash", Concrete International, Vol.4, No. 7, p.72, 1982.
6. Page, K.M., "Pumping High Strength Concrete on World's Tallest Concrete Building", Concrete International, Vol. 12, No. 1, p.26, Jan. 1990.
7. Ronneberg, H. ve Sandvik, M., "High Strength Concrete for North Sea Platforms", Concrete International, Vol. 12, No. 1, p.29, Jan. 1990.