

**KOLONLARDA YÜKSEK MUKAVEMETLİ BETON KULLANIMININ
MALİYET MUKAYESELİ İNCELENMESİ**

Oktay Gürlek
İnşaat Yük. Mühendisi
UTTAS
İstanbul, Türkiye

Turan Özturan
Doç.Dr.
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada,yüksek mukavemetli beton kullanımıyla binalarda değişen maliyetlerin araştırılması amaçlanmıştır.Çalışma boyunca yüksek mukavemetli betonun esas kullanım sahasını oluşturan ve binaların ana taşıyıcı elemanları olan kolonlar gözönünde tutulmuştur.Bu amaçla altı ayrı model-bina,üç ayrı beton sınıfına göre analiz edilmiş ve bulunan değerler çeşitli grafikler yardımı ile karşılaştırılmışlardır.Sonuçların daha gerçekçi olabilmesi için TS500 ve ilgili yönetmeliklere bağlı kalınmıştır.

1. GİRİŞ - BINALARDA YÜKSEK MUKAVEMETLİ BETON

Yüksek mukavemetli beton denildiğinde,günümüzde yaygın kullanım alanı bulunan betonun,daha iyi özelliklere sahip

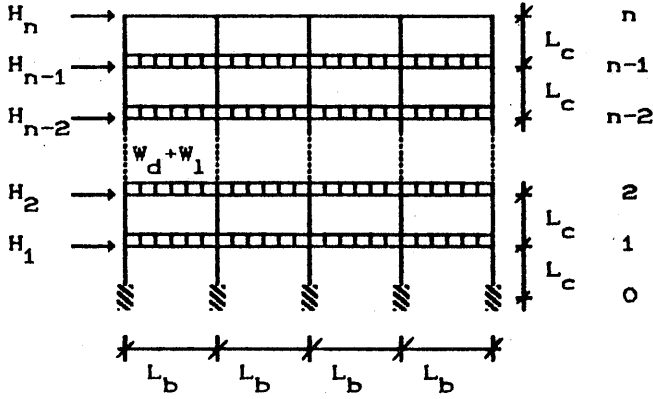
olan cinsi aklımıza gelmesine rağmen, bu cinsi belirli değerler içine sığdırmak mümkün değildir. Zira "yüksek mukavemet", görece bir ifade olup, zamana ve yere göre değişir. Yüksek mukavemetli beton üretiminin başlaması ve yaygın olarak kullanımı A.B.D.'nin gökdelenleriyle Unlu Şikago kentinde başlamıştır [1]. Yıldan yıla arttırılan ve uygulanan mukavemet gelişimi şöyle olmuştur: 1962'de 41MPa, 1965'de 52MPa, 1972'de 62 MPa, 1976'da 76MPa ve 1982'de 96MPa dayanımlı beton başarıyla üretilip uygulanmıştır [2].

Yüksek mukavemetli beton kullanımındaki ana amaçlar; bina yüksekliğini mimari kısıtlama olmaksızın arttırabilmek, daha ekonomik binalar inşa etmek, eleman boyutlarını azaltarak ek alan ve rahat hareket imkanı kazanmak ve daha estetik tasarımlı, güzel binalar üretebilmek olarak özetlenebilir. Müteahhitler açısından maliyetlerde tasarrufa gidilmesi konusu önemli olduğundan, bu konuda gerek laboratuvar düzeyinde, gerek inşa halindeki binalar üzerinde, gerekse model çalışmalar şeklinde araştırmalar yapılmaktadır.

2. TASARIM VE HESAPLAMA

Bu çalışmada mümkün olduğunca gerçekçi koşulları temsil edebilecek modellerin ve parametrelerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Özellikle çalışmanın belkemiğini oluşturan beton sınıflarının seçiminde, uygulanabilirlik ön plana alınmıştır. Bu amaçla, çalışmada baz olarak BS14, ikinci beton sınıfı olarak BS30, üçüncü ve en yüksek dayanım olarak ise BS50 uygun görülmüştür.

Mümkün olduğunca çok ve seri hesaplama imkanı vermesinden dolayı, araştırmanın her aşamasında paket bilgisayar programları kullanılmıştır. Yine aynı sebepten dolayı, model olarak seçilen binalar, çekirdeksiz ve perdesiz, kutu şeklinde düşünülmüştür [Şekil 1]. Türkiye'nin şartları gözönüne alınarak uç ayrı yükseklikte binanın iki ayrı açıklıklı



- W_d : Yayılı hareketsiz yük
 W_1 : Yayılı hareketli yük
 H_x : "X" noktasına uygulanan yanal yük
 L_b : Çerçeve açıklığı
 L_c : Kat yüksekliği
 n : Bina kat sayısı

Sekil 1 Betonarme Çerçevenin Kesiti

olarak analiz edilmesi uygun görülmüş ve buna göre alçak binaları temsilen 5 kat, orta yükseklik için 10 kat, yüksek binalar için ise 20 kat düşünülmüştür. Açıklık seçimi de aynı şekilde, kısa ve uzun olmak üzere, iki ayrı mesafe olarak düşünülmüştür. Kısa açıklık değeri için, konut ve işyerlerini temsil edecek 5m'lik mesafe; uzun açıklık için ise market, depo, kat otoparkı gibi yapılarda daha yaygın olan 8m'lik mesafe uygun görülmüştür.

Yükler; hareketli, hareketsiz, rüzgar ve deprem olarak dört ayrı türde hesaplanmış ve en elverişsiz koşulları oluşturacak kombinasyon seçilmiştir. Tüm hesaplarda TS498'de belirtilen hususlar dikkate alınmıştır. Deprem yükleri hesaplanırken, binalar ikinci derece deprem bölgesinde düşünülmüş ve hesaplar Afet Bölgeleri Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılmıştır. Rüzgar ve deprem yüklerinden en elverişsiz durumu oluşturanlar eşdeğer yatay düğüm yükleri olarak çerçeveye tatbik edilmiştir [Şekil 1].

Yukarıda kısaca belirtilen kesit ve yükler bilgisayara yüklenererek reaksiyonlar bulunmuştur. Bulunan reaksiyonlar, amaca uygun olarak tarafımızdan geliştirilmiş bir bilgisayar programı ile kesit alanı ile çelik miktarlarına dönüştürülmüştür. Bu sonuçların daha elle tutulur ve pratik bir değer ifade edebilmesi için, hesaplanan çelik miktarları, yine tarafımızdan geliştirilen ikinci bir program ile çubuk çap ve miktarlarına çevrilmiştir.

3. MALİYET ANALİZLERİ

Çalışmanın bu bölümünde ise, elde edilen kolon malzeme miktarları fiyat bazında ele alınarak yapılması gereken harcamalar hesaplanmıştır. Bu amaçla, çalışmanın yapıldığı Temmuz 1990 birim fiyatları derlenmiş, bilinen bazı hazır beton üreticisi firmaların BS14, BS30 ve BS50 betonlarının metreküp fiyatlarının ortalaması alınmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilen dört ana başlık altında incelenerek, sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır:

- . Binalardaki toplam kolon maliyetleri
- . Kolon maliyetlerinin kat bazında ayrı ayrı incelenmesi
- . Kolon maliyetlerinin toplam kaba inşaat maliyetine oranı
- . Kesit azalmasından sonra kazanılan alanlar

Ayrıca bu çalışmaya dahil edilmeyen, fakat inşaat maliyetine önemli etkilerde bulunabilecek diğer bazı faktörlere de konu sonunda kısaca değinilmiştir.

3.1 Toplam Kolon Maliyetleri

Bu kısımda, her binanın kolonlarının maliyetleri ayrı olarak hesaplanmış ve Tablo I'de gösterilen değerler elde edilmiştir.

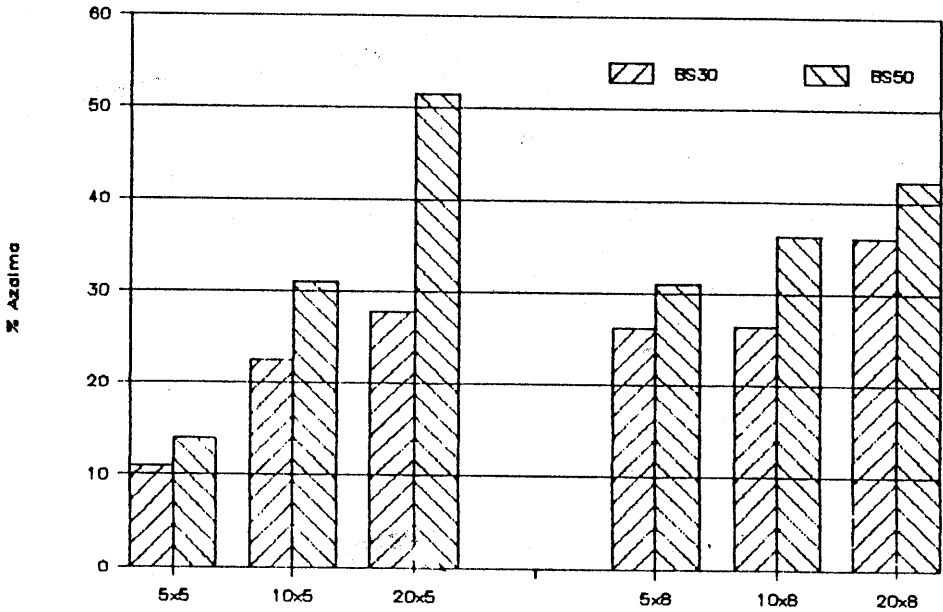
Tablo I Toplam Kolon Maliyetleri (Milyon TL)

Kat	BS14	BS30	BS50	Açıklık
5	10.1	9.0	8.7	5m
10	35.7	27.7	24.6	
20	121.1	87.3	58.6	
5	28.6	21.1	19.7	8m
10	99.3	73.0	63.4	
20	359.7	230.2	207.3	

Beton mukavemetinin artmasıyla azalan maliyet miktarlarının BS14'e göre yüzde cinsinden azalması ise Tablo II'de ve Şekil 2'de özetlenmiştir.

Tablo II Kolon Maliyetlerindeki Yüzde Azalma

Kat	BS30	BS50	Açıklık
5	10.9	13.9	5m
10	22.4	31.1	
20	27.9	51.6	
5	26.2	31.1	8m
10	26.5	36.2	
20	36.0	42.4	

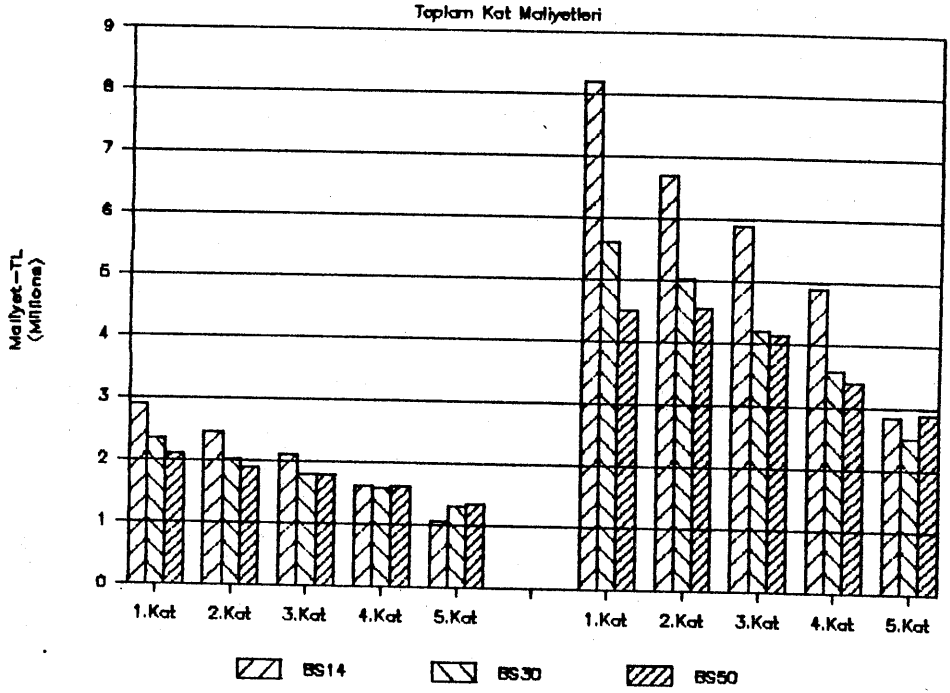


Şekil 2 Toplam Kolon Maliyetlerindeki Azalma

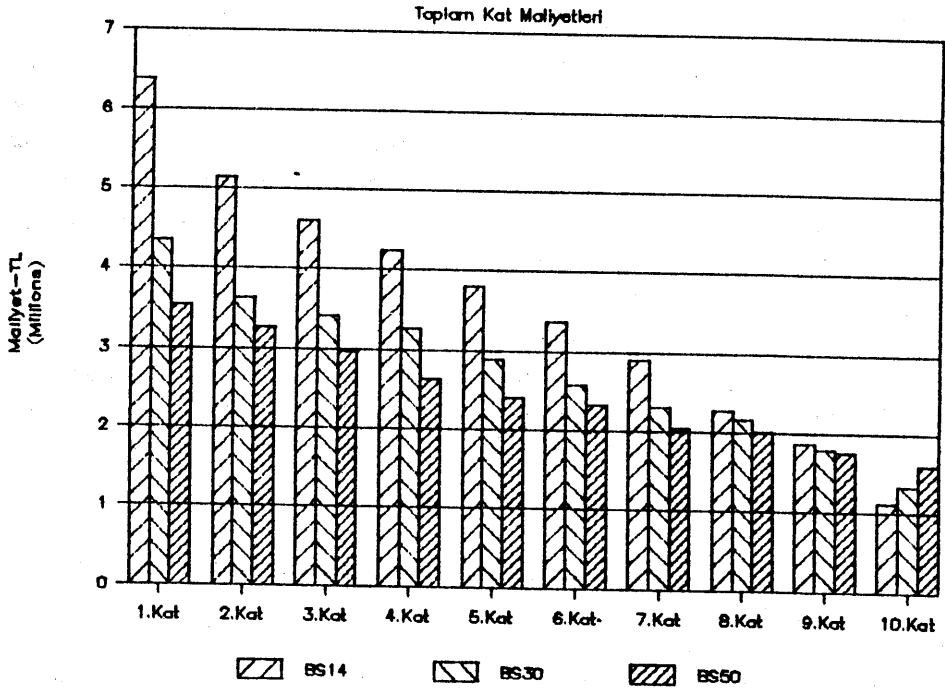
Tüm bu sonuçlar bize, analiz ettiğimiz altı binada da önemli miktarlarda maliyet azalmasının sözkonusu olduğunu göstermektedir. Hatta bu azalma 20 katlı ve 5m açıklıklı binada, 50%'yi aşmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, daha evvel bu konuda yapılmış araştırmaları da destekleyici mahiyettedir [1],[3],[4],[5]. Şekil 2'de göze çarpan hususlardan biri de, model-binalarda sağlanan tasarrufun, bina yüksekliği ile doğru orantılı olduğudur. Dikkati çeken diğer bir konu ise, tasarruftaki azalma eğiliminin 5m açıklıklı binalarda daha fazla olduğudur. Bu durum, uzun açıklıklı binalarda yük / moment oranının, kısa açıklıklı binalara nispeten daha düşük oluşması ile açıklanabilir. Diğer bir deyişle, momentleri fazılaşan kolonlarda, kiriş davranışı eğilimi artacak ve sonuçta bu durum, yüksek mukavemetli beton kullanımının avantajlarını azaltacaktır.

3.2 Kolon Maliyetlerinin Kat Bazında Ayrı Ayrı İncelenmesi

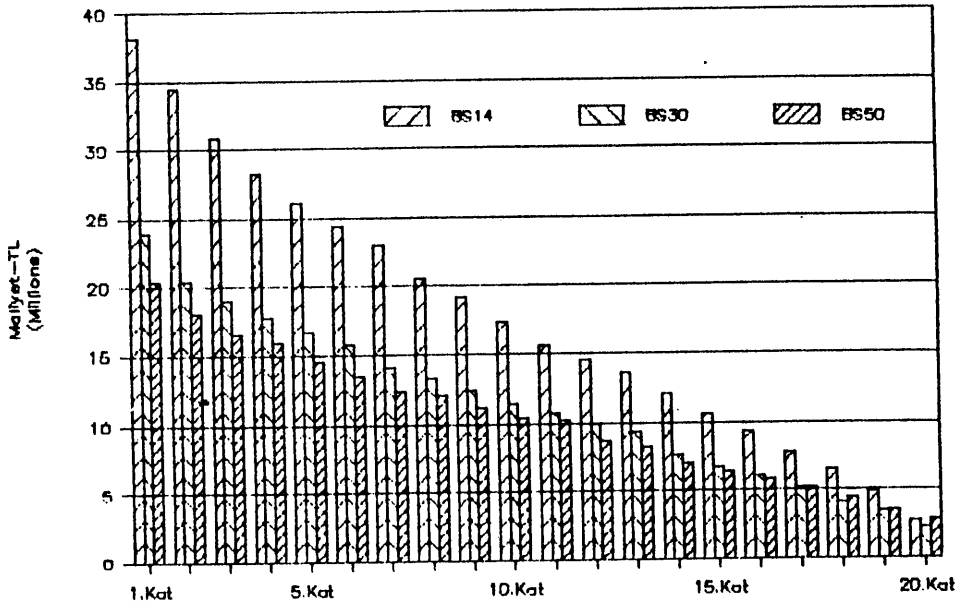
Binaların tasarım ve inşasında, aynı mukavemette betonun kullanılması gibi bir zorunluluk olmadığı gibi, yüksek binalarda değişik mukavemetlerin kullanılması ve tasarımların ona göre yapılması bir zorunluluktur. Örnek olarak, Şikago'da yapılan 79 katlı betonarme bir gökdelen, 82.7MPa beton mukavemeti ile başlamış, gerekli katlarda uygun azaltmalar yapılarak, 79.katta 41.4MPa'a kadar inilmiştir [6]. Daha pek çok benzer uygulama, bu şekilde kademeli bir mukavemet uygulamasının verimli sonuç verdiğini göstermiştir. Burada analiz edilen altı adet model-binada da benzer durumun olup olmadığını görmek için Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de bazı binaların kolon maliyetlerinin kat kat olmak üzere grafik çıktıları verilmiştir. Yer tasarrufu sağlamak amacı ile, Şekil 3'de, 5 katlı iki bina da birlikte verilmiştir. Şekil 4'de, 10 katlı ve 5m açıklıklı bina, Şekil 5'de ise 20 katlı 8m açıklıklı bina yer almaktadır.



Şekil 3 Kat Maliyetleri - 5 katlı 5m ve 8m açıklıklı binalar



Şekil 4 Kat Maliyetleri - 10 katlı 5m açıklıklı bina



Sekil 5 Kat Maliyetleri - 20 katlı 8m açıklıklı bina

Görüldüğü gibi beton mukavemetinin artması, üst katların maliyetlerine fazladan bir yük getirmiştir. Örneğin 20 katlı 8m açıklıklı binada [Şekil 5], en üst dört katta, diğer katlara göre ters bir orantı söz konusudur. Benzer durum diğer binalar için de geçerlidir. Bu ters orantının sebebi, bölüm 3.1'de açıklandığı gibi, yük/moment oranının üst katlarda azalması ve belli bir kesitin altına inilememesi sonucu, daha pahalı olan BS30 ve BS50 betonlarının, pahalı kolonlara yol açmasıdır. Bu nedenle yüksek mukavemet uygulaması (beklenildiği gibi) üst katlar için uygun değildir. Fakat mukavemet azaltımının hangi aralıklarda ve hangi miktarlarda yapılması gerektiği konusu, ardışık hesaplamalar ve tecrübeye dayalı ön kabuller gerektirdiğinden, zorlu bir tasarım problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.3 Kolon Maliyetlerinin Toplam Kaba İnşaat Maliyetine Oranı

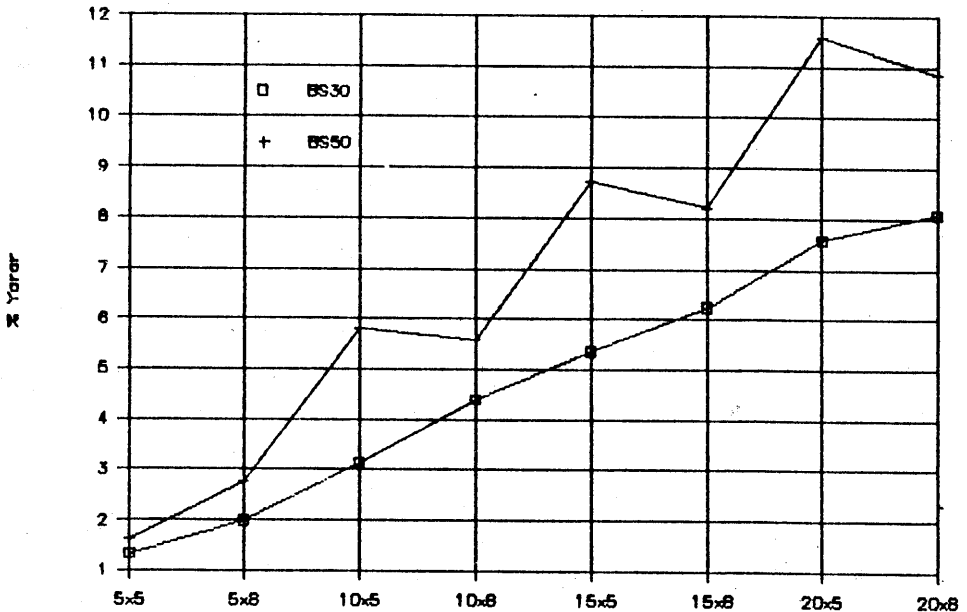
Daha önceki iki bölümde, sadece kolonların maliyetleri gözönüne alınmıştı. Bu bölümde ise, sonuçlara başka bir bakış açısı getirebilmek ve elde edilen değerleri daha elle tutulur

bir hale sokmak için,kolonlarda sağlanan tasarrufun,toplam kaba inşaat maliyetine oranı hesaplanmıştır.Yapılan kaba hesaplamalar sonucunda,BS30 ve BS50'nin,BS14'e göre yüzde olarak ne kadar yarar sağladığı bulunmuştur [Tablo III]. Şekil 6'da ise aynı tablonun grafik gösterimi yer almaktadır. Grafiğin akıcı olabilmesi için,15 katlı binanın değerleri lineer interpolasyon ile bulunmuştur.

Tablo III BS14'e göre Kolon/Kaba İnşaat Maliyet Mukayesesi

	5x5	5x8	10x5	10x8	15x5	15x8	20x5	20x8
BS30	1.33	1.99	3.13	4.40	5.36	6.24	7.58	8.08
BS50	1.61	2.74	5.82	5.57	8.71	8.22	11.60	10.86

Görüldüğü gibi,artan yükseklik ile,sağlanan yarar miktarı çoğalmaktadır. Öte yandan BS50 kullanımı,uzun açıklıklı binalardaki tasarruf etkisini azaltmaktadır.Alçak binalarda yüksek mukavemetli beton kullanımı,kaba inşaat maliyetleri gözönüne alındığında pek fazla bir avantaj sağlamamakla birlikte,son bölümde değinilecek olan diğer faktörler devreye girince,yüksek mukavemet uygulamasının yine de cazibesini koruyacağı söylenebilir.



Şekil 6 Kolon/Kaba İnşaat Maliyeti Mukayesesi (BS14'e göre)

3.4 Kesit Azalmasından Sonra Kazanılan Alanlar

Bilindiği gibi,yüksek mukavemetli kolonlar,aynı yükleri daha küçük kesitlerde taşıyabilmektedirler.Bu durum ise,tüm kat gözönüne alındığında,önemli miktarlarda ek alanların kazanılmasına sebep olmaktadır.Tablo IV'de,analiz edilen altı ayrı binaya ait toplam alan kazanımlarının, m^2 cinsinden dö-kümü verilmiştir.Bu kazanılan ek alanlar,net kullanım alanı üzerinden kiraya verilen yerlerde,kira gelirlerini arttıracaktır.Aynı zamanda bu alanlar,iç bölmesi olmayan:büro,depo, mağaza gibi mekanlarla, kat otoparkı gibi yapılarda, daha verimli olacak ve daha serbest hareket imkanı sağlayacaktır.

Tablo IV Toplam Alan Kazanımları (m^2)

Kat	BS30	BS50	Açıklık
5	2.9	4.9	5m
10	12.3	23.4	
20	56.0	91.0	
5	10.9	17.0	8m
10	47.9	67.6	
20	192.0	276.0	

3.5 Diğer Faktörler

Bu çalışmada hesaba alınmayan,fakat gerçekte maliyetler açısından önemli olabilecek diğer bazı faktörler de vardır. Bunların başında kalıp maliyetleri gelir.Gerçekten de,azalan kolon kesitleriyle beraber kalıp alanları da azaldığından,tasarruf sağlama imkanı doğacaktır.Ayrıca kalıp işçiliğinin de azalması sonucu ek bir tasarruf söz konusu olmaktadır.

Bilindiği gibi yüksek mukavemetli betonun bir diğer özelliği de,erken mukavemet kazanabilmesidir.Bunun sonucu olarak, inşaatlarda çok daha hızlı kat çıkabilme imkanı doğmaktadır. Bu ise,işin daha erken bitirilerek,yüksek ekipman ve personel giderlerinin aşağıya çekilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu faktörlerden başka, temel maliyetlerinde de tasarruf sağlamak mümkündür [7]. Yüksek mukavemet kullanımı ile azalan kolon kesitleri, doğrudan doğruya binanın toplam ağırlığını da azaltmaktadır. Bu da, temel maliyetlerinin azalması demektir. Özellikle zayıf ve ıslah gerektiren zeminlerde bu faktör daha da önem kazanmaktadır.

Son olarak, ebatları küçülen kolonların, çok daha narin ve estetik binaların oluşturulmasına sebep olacaktır. Mimarların, planlamada daha yaratıcı ve serbest çalışmalarını sağlamakla, ortaya çıkan binaların daha güzel olacağı şüphesizdir. Daha geniş açıklıklı, daha rahat mekanlara sahip binaların çok daha değerli olduğu da unutulmamalıdır.

4. SONUÇ

Yukarıda yapılan değerlendirmeler sonucunda, analiz edilen altı adet model-bina için şu sonuçlar çıkmıştır:

- . Kolonlarda kullanılan betonun mukavemeti arttırıldıkça, toplam malzeme maliyetlerinde azalma olmuştur.
- . Yüksek mukavemetli beton kullanımı, yüksek ve kısa açıklıklı binalarda daha verimli olmuştur.
- . Üst katlarda yüksek mukavemet kullanımı, tasarruftan ziyade ek mali külfet getirmektedir. Bu yüzden, özellikle yüksek binalarda, kademeli beton mukavemeti uygulaması daha uygundur.
- . Özellikle yüksek katlı binalarda, yüksek mukavemetli beton kullanımı, önemli miktarlarda alan kazanımları sağlamıştır.

5. KAYNAKLAR

- 1 . "High-Strength Concrete Allows Bigger Loads on Smaller Columns", Architectural Record, V:159, No:7, Haziran 1976, pp:133-135
- 2 . Yapı Merkezi Araştırma Grubu, "Beton 1000", Özel Tanıtım Broşürü, 1990
- 3 . Schmidt W., Hoffman E.S., "9000 psi Concrete - Why? Why Not?", Civil Engineering - ASCE, V:45, No:5, Mayıs 1975, pp:52-55
- 4 . Smith G.J., Rad F.N., "Economic Advantages of High-Strength Concrete in Columns", Concrete International, V:11, No:4, Nisan 1989, pp:37-43
- 5 . Taner M.N., "Beton Kalitesi Standardizasyonu ve Beton Kalitesinin Yapı Ekonomisi Açısından Önemi", 1.Ulusal Beton Kongresi, Tebliğler, İstanbul, Mayıs 1989
- 6 . Page K.M., "Pumping High-Strength Concrete on World's Tallest Building", Concrete International, V:12, No:1, Ocak 1990, pp:26-28
- 7 . Callaire G., "Structural Trends in NYC Buildings", Civil Engineering - ASCE, V:53, No:1, Ocak 1983, pp:30-37