

# Beton Sınıfının Yapı Performans Seviyesine Etkisi

## Taner Uçar

DEÜ, Mimarlık Fak., Mimarlık Böl.,  
Tınaztepe Kampüsü 35160, Buca – İzmir  
Tel: (232) 412 83 92  
E-Posta: taner.ucar@deu.edu.tr

## Mutlu Seçer

DEÜ, Mühendislik Fak., İnşaat Müh. Böl.,  
Tınaztepe Kampüsü 35160, Buca – İzmir  
Tel: (232) 412 70 01  
E-Posta: mutlu.secer@deu.edu.tr

## Öz

Bu çalışmada, beton sınıflarının yapının deprem performansı üzerine olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Artımsal itme analizi yöntemi ve performans noktası belirlenmesi için kullanılan Deplasman Katsayıları Yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın sayısal örnek kısmında, beş katlı betonarme çerçeve sistemli bir binanın farklı beton sınıfları dikkate alınarak artımsal itme analizleri yapılmış ve performans seviyeleri belirlenmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen plastik kesit sayıları, bu kesitlere ait maksimum plastik dönme değerleri, maksimum görelî kat ötelemeleri hesaplanmış ve incelenen yapı için farklı beton sınıfları seçilmesi durumunda bu değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Beton sınıfı, Artımsal itme analizi, Deplasman katsayıları yöntemi, Deprem performans düzeyi.

## Giriş

Yapı sistemlerinin yatay yükler altındaki analizlerinde, genellikle hesapları büyük ölçüde kolaylaştıran fakat yapının gerçek göçme mekanizmasının belirlenmesi konusunda yetersiz olduğu bilinen ve malzemenin doğrusal – elastik davranışını esas alan hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Malzemenin ve taşıyıcı sistemin elastik sınır ötesindeki kapasitesinin daha etkin bir şekilde modellenemediği, malzemenin doğrusal olmayan davranışının ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin dikkate alındığı hesap yöntemleri son yıllarda oldukça önem kazanmıştır.

Bu yöntemler arasından en çok ön plana çıkan doğrusal olmayan artımsal itme analizi yapı sisteminin yatay yükler altında dayanımını temsil eden kapasite eğrisinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Kapasite eğrileri ile yapı elemanlarında oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmektedir. Yapıda plastik mafsallık oluşma yerleri, yapının göçme durumuna ait limit yük değeri ve göçme anındaki yerdeğiştirme miktarı, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca, dikkate alınan deprem etki seviyesi için, yapıdan istenen performans düzeyinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilebilmektedir.

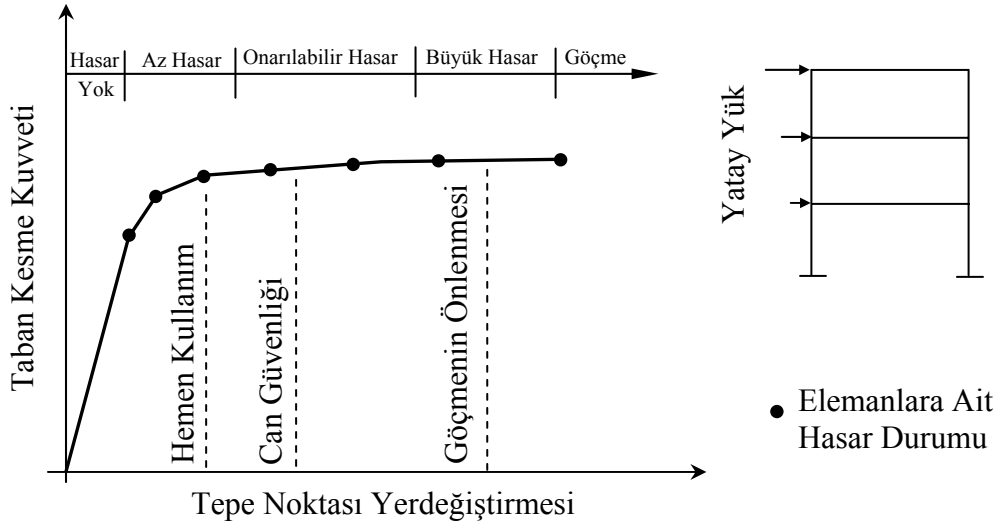
Bu çalışmada, beton kalitesinin yapının performansına olan etkisinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla uygulamada sık karşılaşılan yapı tiplerini temsil edecek

şekilde beş katlı betonarme çerçeve sistemli bir bina, yüksek süneklilik düzeyi koşullarını sağlayacak şekilde TS 500 ve DBYBHY 2007 kuralları çerçevesinde geometri ve malzeme bakımından uygun bir şekilde boyutlandırılmıştır. C16 – C30 beton sınıfları için yapının artımsal itme analizleri yapılmış ve FEMA 440 yönetmeliğinde yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanılarak her bir yapı için performans noktası belirlenerek elde edilen performans düzeyleri karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen plastik kesit sayıları, bu kesitlere ait maksimum plastik dönme değerleri ve maksimum görelî kat ötelemeleri hesaplanmış ve incelenen yapı için farklı beton sınıfları seçilmesi durumunda bu değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

### **Artımsal İtme Analizi Yöntemi**

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremlerde oluşan hasarın ve ekonomik kayıpların çok büyük miktarda olması, depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün, dolayısıyla performans dayalı tasarım ve değerlendirmenin önemini ortaya çıkarmıştır. Yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performans dayalı tasarımı ve değerlendirilmesinde, yapının doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla kullanılan yöntemler ATC 40, FEMA 356 ve FEMA 440 yönetmeliklerinde sunulmuş ve 2007 yılında yürürlüğe giren DBYBHY 2007 ile ülkemizde de yapıların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Doğrusal olmayan artımsal itme analizlerinde, yapı sistemleri iki veya üç boyutlu analitik modellerle temsil edilmektedir. Doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemi, doğrusal elastik analiz yöntemlerindeki yetersizlikler ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin karmaşıklıkları ve uygulamadaki zorlukları arasında bir ara kesit oluşturmaktadır. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemleri, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Yatay yükler, her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmakta ve belirli bir yerdeğiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar yapıya ait taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi belirlenmektedir. Pushover analizi olarak da bilinen doğrusal olmayan artımsal itme analizi, yapının elastik ötesi deformasyon yeteneği ve hasar durumunu belirlemek üzere, doğrusal olmayan artımsal itme analizlerden ibarettir. Yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaya devam ederken, kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsallık oluşmaktadır. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme veya limit yük değerine ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan artımsal itme analizinden elde edilen tipik bir taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi Şekil 1.'de verilmektedir. Kapasite eğrisi yardımıyla belirli bir deprem tehlike seviyesi için, yapının talep edilen performans düzeyini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilmektedir.



Şekil 1 Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizden Elde Edilen Kapasite Eğrisi.

Yatay yük dağılımındaki belirsizlikler nedeniyle, doğrusal olmayan artımsal itme analizi yönteminde uygulanacak yatay yük dağılımının seçimi önem kazanmaktadır. Genel olarak birinci mod etkilerinin hakim olduğu düzgün yapılarda, yatay yük dağılımı bu mod şekline benzer bir dağılım olarak seçilebilmektedir. Yüksek mod etkilerinin önemli olabileceği yapılarda ise, doğrusal olmayan artımsal itme analizlerinde kullanılacak yatay yük dağılımlarında, yüksek modların katkıları dikkate alınmalıdır. Bu yöntemler literatürde doğrusal olmayan modal artımsal itme analizi yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinden elde edilecek sonuçların hassasiyeti, yapının modellenmesindeki başarıya ve bu modelin değişik elemanların elastik ötesi özelliklerini yansıttığındaki hassasiyete bağlıdır.

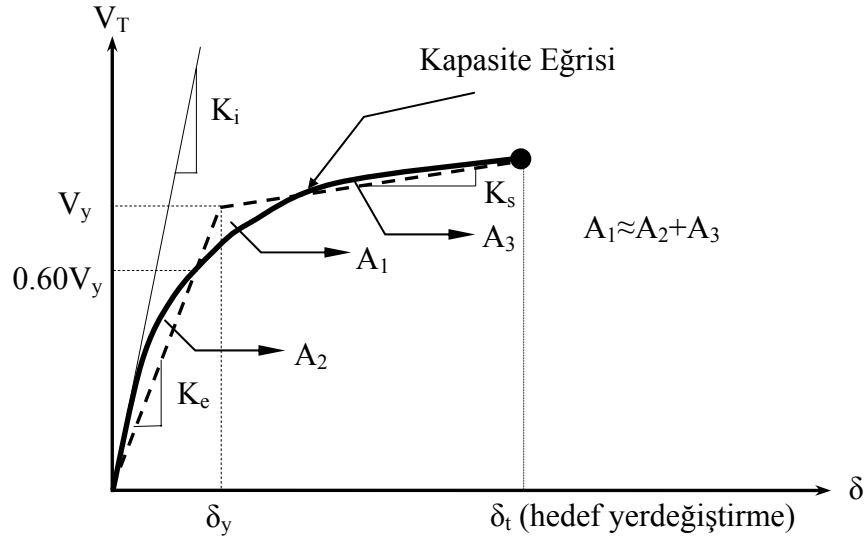
### Deplasman Katsayıları Yöntemi

Deplasman Katsayıları Yöntemi, belirli bir deprem hareketi için yapıya yüklenen yerdeğiştirme talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntem ile yerdeğiştirme talebi yapı sisteminin özelliklerine bağılı olarak belirlenen katsayılar kullanılarak hesaplanmaktadır. Deplasman Katsayıları Yöntemi, kapasite eğrisinin belirlenmesi, maksimum yerdeğiştirmenin hesaplanması ve yapının performans seviyesinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Deplasman Katsayıları Yöntemi'nde ilk olarak, taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ile yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ( $\delta$ ) arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesinde, yapının birinci doğal titreşim periyoduna ve etkin olan modlara bağılı olarak, uygun bir yatay yük dağılımı seçilmektedir. Sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapılarak yapıya ait kapasite eğrisi elde edilmektedir.

Yapıya ait kapasite eğrisinin elde edilmesinden sonra, kapasite eğrisi birincisinin eğimi elastik rijitliği ( $K_e$ ), ikincisinin eğimi ise elastik sonrası rijitliği ( $K_s$ ) ifade eden iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir. İdealleştirme işlemi yapılırken, gerçek kapasite eğrisi ile idealleştirilmiş kapasite eğrisi altında kalan alanların eşit olmasına ve  $K_e$  eğimli

doğru parçasının kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  eğimli doğru parçalarının kesim noktasının ordinatının  $0.60V_y$  olmasına dikkat edilmelidir Şekil 2.



Şekil 2 Kapasite Eğrisinin İdealleştirilmesi.

Kapasite eğrisi bu şekilde idealleştirildikten sonra, yapının efektif periyodu ( $T_e$ ) denklem (1) ile hesaplanmaktadır (FEMA 440, 2004).

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1)$$

Burada;  $T_1$  çatlamış kesit rijitlikleri kullanılarak hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu,  $T_e$  efektif periyot değeri,  $K_i$  elastik yanal rijitliği,  $K_e$  elastik efektif rijitliği göstermektedir.

Yapının performans düzeyinin kontrolünün yapılacağı hedef yerdeğiştirme ( $\delta_T$ ) denklem (2) ile hesaplanmaktadır (FEMA 440, 2004).

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2)$$

Burada;  $C_0$  eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktası yerdeğiştirme ile ilişkilendiren modal katılım katsayısıdır. Bu çalışmada,  $C_0$  katsayısı yerdeğiştirme kontrolünün yapıldığı noktaya ait birinci modal katılım çarpanı  $PF_1 \phi_{tepe,1}$  olarak alınmıştır.  $C_1$  doğrusal elastik yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır ve denklem (3) ile belirlenmektedir.

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (3)$$

Denklem (3)'de verilen  $a$  katsayısı FEMA 440 ile tanımlanan B, C ve D zemin sınıfları için sırasıyla 130, 90 ve 60 olarak alınmaktadır.  $R$  değeri ise elastik olmayan dayanım

talebinin akma dayanımına oranı olarak tanımlanmakta ve denklem (4) ile elde edilmektedir (FEMA 440, 2004).

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (4)$$

Denklem (4)'de  $S_a$  yapının birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivmeyi,  $V_y$  iki doğru parçası ile idealleştirilmiş kapasite eğrisinin akma dayanımını ifade etmektedir.  $C_m$  ise efektif kütle çarpanı olup taşıyıcı sistem ile kat adedine bağlı olarak FEMA 356'dan alınmıştır.

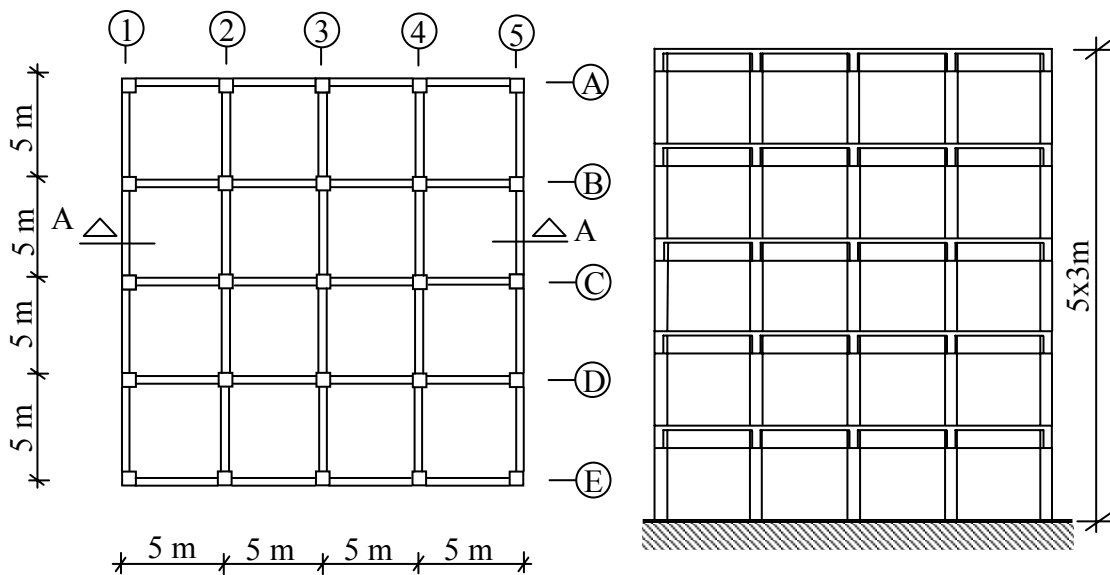
Histeretik şeklin maksimum yerdeğiştirme davranışı üzerindeki etkisini temsil eden  $C_2$  katsayısı denklem (5) ile belirlenmektedir:

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R - 1}{T} \right)^2 \quad (5)$$

Dikkate alınan deprem hareketi için hedef yerdeğiştirme değeri hesaplandıktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmektedir. Bunun için sisteme ait büyüklükler kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılmaktadır.

### Sayısal Uygulama

Çalışmada incelenen beş katlı çerçeve sistemli betonarme bina, yüksek süneklik koşullarını sağlayacak şekilde TS 500 ve DBYBHY 2007 kuralları çerçevesinde geometri ve malzeme bakımından uygun bir şekilde boyutlandırılmıştır. Seçilen yapının beton sınıfı C16 – C30 arasında değiştirilmiş ve beton çeliği sınıfı S420 olarak öngörülmüştür. Yapı önem katsayısı  $I = 1.0$  olan bina türü yapının birinci derece deprem bölgesinde bulunduğu, zemin sınıfının ise Z2 olduğu varsayılmıştır.



Şekil 3 Beş katlı betonarme çerçeve sistem plan ve kesiti.

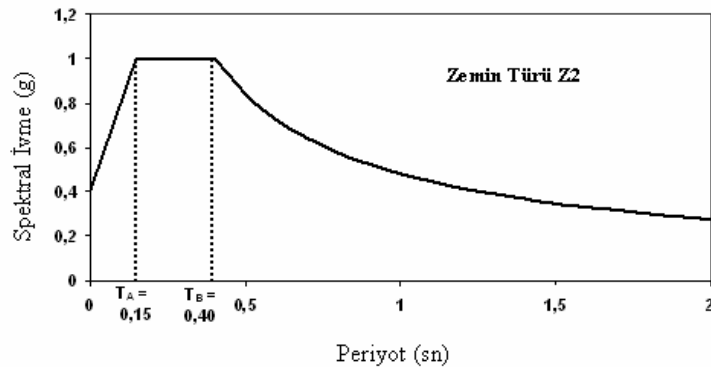
Beş katlı çerçeve sistemli betonarme yapının plan ve kesiti Şekil 3, yapıya ait karakteristik özellikler ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Beş Katlı Betonarme Yapının Karakteristik Özellikleri

Deprem Bölgesi	1
Etkin Yer İvmesi Katsayısı, $A_0$	0.40
Zemin Sınıfı	Z2
Yapı Önem Katsayısı, I	1
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R	8
Beton Sınıfı	C16, C18, C20, C25, C30
Beton Çeliği Sınıfı	S420
Döşeme Kalınlığı	12 cm
Kiriş Boyutları	25x50 cm
Kolon Boyutları	50x50 cm
Kat Kütleleri	345.812 kNsn <sup>2</sup> /m

Çalışmada malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere plastik mafsal hipotezi kullanılmıştır. Buna göre plastik şekildeştirmelerin plastik mafsal adı verilen belirli bölgelerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde malzemenin doğrusal elastik davrandığı kabul edilmiştir. Kiriş ve kolon elemanlara ait moment – plastik dönme bağıntısı pekleşen rijit plastik olarak kabul edilmiştir. Kiriş ve kolon elemanların çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA 356’da önerilen değerler kullanılmıştır (FEMA 356, 2000). Ülkemizde meydana gelen depremler sonucu hasar gören binaların incelenmesi ile eski yapıların birçoğunda etriye sıklaştırması bulunmadığı, açık etriye kullanıldığı görülmüştür. Sayısal uygulamada bu tür yapıların davranışını temsil etmek amacıyla sargı etkisi dikkate alınmamıştır.

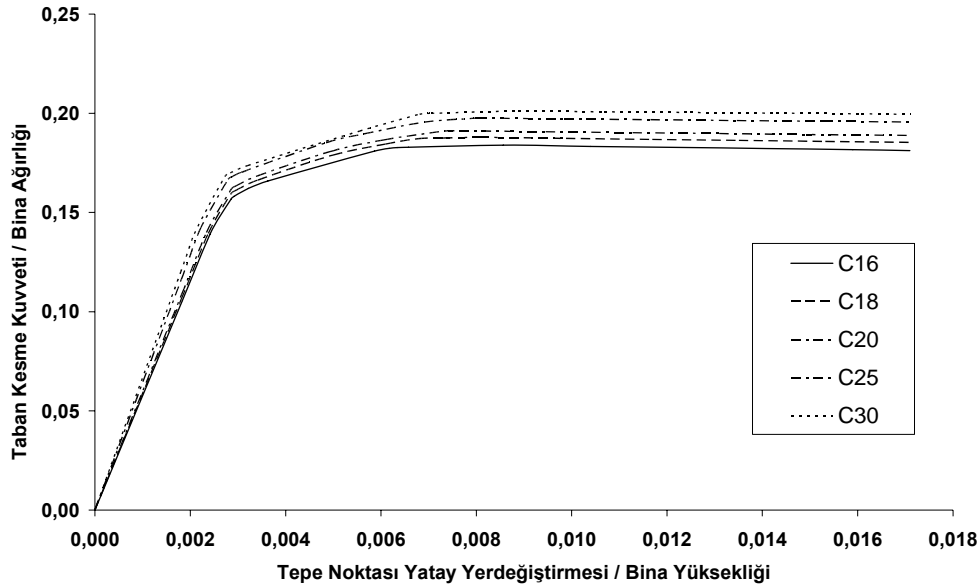
Çalışmada ele alınan yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi için DBYBHY 2007’de tanımlanan tasarım depremi etki seviyesi dikkate alınmıştır. Tasarım depremi, Yapı Önem Katsayısı  $I=1$  olan binalar için, 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem etki seviyesini ifade etmektedir. Birinci derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için tasarım depremine ait talep spektrumu Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4 Z2 Zemin Sınıfı Tasarım Depremi Talep Spektrumu.

Yapıların performans değerlendirmesinde FEMA 356’da verilen kiriş ve kolonların farklı performans düzeylerine ait sınır plastik dönme değerleri ve ATC 40’da tanımlanan maksimum görelî kat ötelemeleri dikkate alınmıştır.

Beş katlı çerçeve sistemli betonarme binanın beş farklı beton sınıfına göre artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiş ve analizlerden elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5 Çeşitli Beton Sınıfları için Kapasite Eğrileri.

Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanılarak beş farklı beton sınıfı için yöntemde kullanılan katsayılar, talep yerdeğiştirmeler ve bu değere karşılık gelen taban kesme kuvveti değeri Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2 Deplasman Katsayıları Yöntemi Hesap Değerleri.

Beton Sınıfı	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	S <sub>a</sub> (g)	T <sub>e</sub> (sn)	δ <sub>T</sub> (cm)	V <sub>T</sub> (kN)
C16	1.275	1.023	1.008	0.568	0.811	12.2	3117
C18	1.280	1.024	1.008	0.572	0.804	12.1	3186
C20	1.286	1.023	1.007	0.576	0.797	12.0	3241
C25	1.297	1.008	1.008	0.592	0.770	11.7	3344
C30	1.294	1.026	1.008	0.602	0.755	11.4	3372

Deplasman Katsayıları Yöntemi ile belirlenen performans noktası dikkate alınarak uygulanan artımsal itme analizi sonucu elde edilen plastik kesitlerin dağılımı Tablo 3’de verilmiştir. Kullanılan beton sınıfı yükseldikçe kolonlarda oluşan plastik kesitlerin sayısı azalmakta ve hasar düzeylerine göre plastik kesitlerin dağılımları değışmektedir.

Tablo 3 Performans Seviyelerine Göre Plastik Kesitlerin Dağılımları.

Beton Sınıfı	Kiriş				Kolon			
	< HK	HK-CG	CG-GÖ	>GÖ	< HK	HK-CG	CG-GÖ	>GÖ
C16	71	120	-	-	3	22	-	-
C18	80	120	-	-	25	-	-	-
C20	74	126	-	-	25	-	-	-
C25	66	134	-	-	16	-	-	-
C30	78	122	-	-	13	-	-	-

Beş farklı beton sınıfı için kiriş ve kolon elemanlarda meydana gelen plastik kesitlerdeki maksimum dönme değerleri Tablo 4’de sunulmuştur. Kullanılan beton sınıfı yükseldikçe kolonlarda maksimum plastik kesit dönme değerleri azalmaktadır, ancak kirişlerde önemli bir değişikliğe rastlanmamıştır.

Tablo 4 Maksimum Plastik Kesit Dönmeleri.

Beton Sınıfı	Kiriş	Kolon
C16	0.0088	0.0030
C18	0.0088	0.0024
C20	0.0088	0.0019
C25	0.0085	0.0011
C30	0.0085	0.0009

Beş katlı çerçeve sistemli betonarme binanın beş farklı beton sınıfına göre maksimum görelî kat ötelemeleri ve buna bağılı olarak elde edilen performans düzeyleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5 Maksimum Görelî Kat Ötelemeleri ve Performans Düzeyleri.

Beton Sınıfı	Maksimum Görelî Kat Ötelemesi (%)	Performans Düzeyleri
C16	1.088	HK-CG
C18	1.070	HK-CG
C20	1.065	HK-CG
C25	1.041	HK-CG
C30	1.021	HK-CG

## Sonuçlar

Çalışmada beş katlı betonarme çerçevesi sistemli bina, yüksek süneklikli yapı koşullarını sağlayacak şekilde TS 500 ve DBYBHY 2007 kurallarına göre tasarlanmıştır. Çeşitli beton sınıfları C16 – C30 kullanılarak binaların artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiş ve deprem performansı düzeyleri Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre elde edilmiş sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Kapasite eğrileri değerlendirildiğinde, beton kalitesinin artmasına bağılı olarak binanın aynı yerdeğiştirme değeri için daha fazla yatay yük talep ettiği görülmektedir. Çalışmada incelenen binaların performans noktalarındaki talep taban kesme kuvvetleri dikkate alındığında beton sınıfının C16 yerine C30 alınması durumunda talep taban kesme kuvvetinin %8 civarında arttığı gözlenmiştir.
2. İncelenen tüm beton sınıfları için performans düzeyleri Hemen Kullanım (HK) ile Can Güvenliği (CG) arasındadır. Bu çalışmada, sargı etkisinin dikkate alınmadığı binalar için performans düzeyinin beton sınıfının değışmesinden önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür.
3. İncelenen betonarme binada, beton sınıfının artması görelî kat ötelemelerini oldukça düşük bir miktarda azaltmaktadır. Beton sınıfının C16 yerine C30 alınması durumunda



görelî kat ötelemelerinin %6 civarında azaldığı ve görelî kat ötelemelerine bağı olarak yapının performans düzeyinin değıştirmedığı gözlenmiştir.

4. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre; beton sınıfının yükselmesi ile kolonlarda oluşan plastik mafsal sayısı ve maksimum plastik kesit dönmesi değerleri azalmaktadır. Kolonlarda oluşan plastik mafsal dağılımı düşünöldüğünde C16 beton kullanılması durumunda 22 adet plastik mafsal HK – CG performans aralığındadır ve 3 adet plastik mafsal HK performans düzeyine ulaşmamaktadır. C18 ve C20 betonu kullanılması durumunda ise oluşan 25 plastik mafsalın tamamı HK performans düzeyinin altındadır. Beton sınıfının C25 ve C30 olarak dikkate alınması durumunda ise kolonlarda oluşan plastik mafsal sayıları sırası ile 16 ve 13'dür.

5. Boyutlandırma aşamasında kabul edilen beton sınıfının şantiye şartlarında farklı olarak uygulanması gibi özel durumlar için bu çalışmanın bir fikir verebileceğı düşünölmektedir.

## Kaynaklar

Applied Technology Council. (1996). ATC 40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Washington DC.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.

Chopra A.K. and Goel R.K. (2001). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 561-582.

CSI SAP 2000 V-8.2.3. (2002). Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual. Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

Çakıroğlu A. ve Özer E. (1980). Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemler. Ankara: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.

Fajfar P. (2000). A nonlinear analysis method for performance based seismic design. Earthquake Spectra, Vol.16., No.3, 573-592.

Federal Emergency Management Agency. (2000). FEMA 356, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington DC.

Federal Emergency Management Agency. (2004). FEMA 440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Washington DC.

Özer E. (2004). Yapı sistemlerinin lineer olmayan analizi ders notları. 19 Aralık 2004, <http://www.ins.itu.edu.tr/eozer>

Türk Standartları Enstitüsü. (2000). TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.

