



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0255

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: May 2011  
Accepted: October 2011  
Series : 1A  
ISSN : 1308-7231  
© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Musa Hakan Arslan**  
**İbrahim Hakkı Erkan**  
Selcuk University  
mharslan@selcuk.edu.tr  
Selcuk-Turkey

**BETONARME BİNALARIN DEPREM YÜKÜ AZALTMA KATSAYISI ÜZERİNE YENİ BİR  
BAKIŞ**

**ÖZET**

Bu çalışmada betonarme yapıların deprem yükü azaltma katsayılarının tespiti, deprem yükü azaltma katsayılarının bağlı bulunduğu parametreler ve etki değerleri için analitik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada konut türü 48 adet betonarme bina TDY-2007 normlarına göre modellenerek statik itme analizine tabi tutulmuştur. Statik itme analizi neticesinde yapıların her biri için yük deplasman eğrileri elde edilmiştir. Yük deplasman eğrilerinden, her bir yapı için deprem yükü azaltma katsayısının bir parametresi olan dayanım fazlalılığı katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen verilerle TDY-2007'de yer alan ilgili yapı türü için tanımlanan deprem yükü azaltma katsayıları karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır. Mevcut verilere göre deprem yükü azaltma katsayısının tanımlanmasına yönelik yeni bir bakış açısı geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme Binalar,  
Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, Deprem, Hasar,  
Statik İtme Analizi

**An OVERVIEW on EARTHQUAKE LOAD REDUCTION FACTOR of REINFORCED CONCRETE  
BUILDINGS**

**ABSTRACT**

In this paper, analytical study has been performed to determine earthquake load reduction factor of reinforced concrete (RC) buildings, to investigate parameters affected to earthquake load reduction factor and their influence values. 48 RC residence buildings have been modelled according to the TEC-2007 criteria and then static pushover analyses have applied to these buildings. After analyses, lateral load- lateral displacement curves have been obtained for each building. Using load-displacement curves, overstrength factor which is a parameter of load reduction factor has been calculated. The obtained values have been compared with TEC-2007 values for related building types and the results have been interpreted. According to the obtained values from the study, a new point of view has been developed for TEC-2007.

**Anahtar Kelimeler:** Reinforced Concrete Buildings,  
Load Reduction Factor, Earthquake,  
Static Pushover Analysis

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yönetmeliklerde tasarım depremi adı altında, binanın kullanım amacına, binanın taşıyıcı sistem özelliğine ve taşıyıcı sistemin statik-dinamik parametrelerine bağlı olarak bir deprem etkisi tanımlanır. Tasarımda amaçlanan, yapıların şiddetli depremleri hasarsız atlatmasını sağlamak değil, binaların elastik ötesi davranış göstererek ortaya çıkan deprem enerjisini sönmümesidir. Başka bir ifade ile depreme dayanıklı yapı tasarımında hedeflenen, yapıların deprem etkisi altında sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanmasıdır (Kapasite tasarımı). Bundan dolayı da tasarım deprem yükü olarak yapıların doğrusal elastik kapasiteleri değil, doğrusal olmayan yük taşıma kapasiteleri kullanılır.

Tasarım depremi etkisi altında, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı öngörülerek hesaplanan elastik deprem etkisi deprem yükü azaltma katsayısı olarak açıklanan belirli bir katsayı ile azaltılır. Böylece binanın yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışı sayısal olarak basit bir şekilde hesaba dâhil edilmiş olur. Deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a$ ; yapı davranış katsayısı  $R$ , yapı periyodu ( $T$ ) ve zemin ilk köşe periyodu ( $T_A$ )'nın bir fonksiyonu olarak deprem yönetmeliklerinde yer almaktadır. Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY-2007) [1]  $R$ 'nin değeri yapı türü ve süneklik mertebesine göre belirlenmiş olup çeşitli tam sayılarla ifade edilmektedir.

Modellenmiş ya da yeni modellenecek bir binada gerçek  $R$  değerinin tespiti, özellikle deprem gibi karmaşık bir dinamik etki altında bulunan ve doğrusal olmayan davranışı oldukça farklı kabullerle ifade edilebilen betonarme bir yapıda son derece iddialı bir yaklaşım olacaktır.

$R$  katsayısının çeşitli yapı türleri için belirlenip formüleştirmesine yönelik değişik çalışmalar mevcuttur [2 ve 3]. Türkiye'de 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Marmara depreminden sonra yıkılan betonarme ve prefabrike betonarme yapılarda oluşan hasar nedenleri ile ilgili birçok yazı kaleme alınmıştır. Bu yayınlardan sınırlı bir kısmında özellikle prefabrike betonarme yapılarda Türk Deprem Yönetmeliği-1998'de (TDY-1998) yer alan yüksek  $R$  katsayısının düşürülmesi gerekliliği üzerinde durarak savlarını bir takım analitik çıkarımlarla desteklemişlerdir [4 ve 6]. TDY-2007'de bu çalışmalara binaen prefabrike yapıların yapı davranış katsayıları azaltılarak 5'den 3'e düşürülmüştür. Özellikle hiperstatiklik dereleri düşük olan bu tür yapılarda 3'den daha düşük  $R$  katsayısı bulgusu ise yine bazı kaynaklarda yayımlanmıştır [7]. Benzer bir tartışmayı betonarme binalar için yapmak,  $R$  katsayısının yapısal özelliklere göre nasıl değiştiğini incelemek bu bakış açısıyla son derece ilginç olacaktır.

Bu düşünceden hareketle, bu çalışmada betonarme konut tarzı çok katlı yapıların deprem yükü azaltma katsayılarının bağlı bulunduğu dayanım fazlalığı değerlerinin tespiti, dayanım fazlalığına etki eden parametreler ve etki değerleri için analitik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada konut türü 48 adet betonarme bina TDY-2007 [1] ilkelerine göre tasarlanmış ve ardından statik itme analizine tabi tutulmuştur. Statik itme analizi neticesinde yapıların her biri için dayanım fazlalıklılığı katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen katsayılar ile ilişkili olan deprem yükü azaltma katsayıları, seçilen binalardaki parametrelere bağlı olarak irdelenmiştir. Elde edilen verilerle TDY-2007'de yer alan deprem yükü azaltma katsayıları karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Deprem yükü azaltma katsayısının doğru olarak belirlenmesi betonarme binalar için oldukça zahmetli bir süreçtir. Deprem yönetmeliklerinde betonarme binaların deprem yükü azaltma katsayıları

için verilen sayısal değerlerin doğruluğu sürekli araştırılan ve tartışılan bir konudur. Bu çalışmada ele alınan örnek binalar için kat sayısı, zemin sınıfı, deprem bölgesi gibi parametreler değiştirilerek deprem yükü azaltma katsayısının bir bileşeni olan dayanım fazlalığı katsayı üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerle TDY-2007'de yer alan değerler karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

### 3. SÜNEKLİK VE DEPREM YÜKÜ AZALTMA KATSAYISINA ETKİSİ (DUCTILITY AND ITS EFFECT ON EARTHQUAKE LOAD REDUCTION FACTOR)

#### 3.1. Süneklik Kavramı (Ductility Concept)

Süneklik; bir yapının, yapı elemanının veya bir yapı eleman kesitinin yük taşıma kapasitesinde ve stabilitesinde önemli bir azalma olmadan büyük şekil değiştirmeler yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Betonarme yapılarda sistem sünekliği deplasman sünekliği cinsinden ifade edilir. Yapının, belirli bir noktada limit durumdaki maksimum yanal ötelemesinin taşıyıcı sistem akmaya başladığı andaki yanal ötelemesine oranı sistem sünekliği olarak tanımlanır (Şekil 1), (Denklem 1).

$$\Omega = (\Omega_{max} / \Omega_y) \quad [1]$$

Betonarme binalarda kapasite eğrisinin elastik bölgeden plastik bölgeye geçişi, tekil olarak elemanların moment-eğrilik değişiminde olduğu gibi doğrusal olmadığından, sistemin akma yer değiştirmesi ( $\Omega_y$ ) bu eğri üzerinde açık olarak görülmez. Literatürde akma noktası için farklı yaklaşımlar söz konusudur. Elastik-plastik bir sistemin nominal mukavemetinin belirli bir oranına ulaşıldığında sistemin elastik bölgeden plastik bölgeye geçtiği kabul edilebilir. Bu oran için kesin bir sayısal değer verilmemekte, sadece nominal mukavemetin %70-80'i arasında olduğu kabul edilmektedir [8]. Yapının kapasite eğrisi çizilebilmesi için göçme oluncaya kadar veya göçme kabulü kriterleri sağlanıncaya kadar yüklenmiş ve bir "yük-yer değiştirme" eğrisi elde edilmiş olmalıdır. Bu kapasite eğrisinde ulaşılan maksimum yük değeri sistemin ideal dayanımını verir. İdeal dayanımının ortalama olarak %75'ine ulaşıldığında sistem davranışının artık elastik özelliğini yitirdiği, bundan sonra plastik deformasyonlar meydana geldiği kabul edilir. İdeal dayanımın %75'ine karşılık gelen yer değiştirme ise sistemin akma yer değiştirmesi olarak alınır [9]. Bir çerçeve sisteminin akmaya başladığının belirli göstergeleri vardır. Bunlar, sistem rijitliğinin düşmesi, esas periyodun sıçrama yaparak büyümesi, potansiyel plastik mafsallarda plastik mafsalların oluşması ve deformasyonların aşırı büyümesi sayılabilir [10].

#### 3.2. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı (Earthquake Load Reduction Factor)

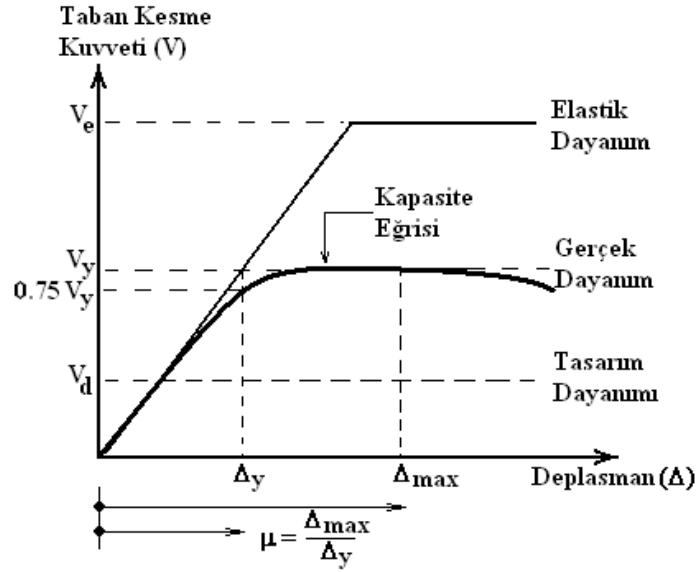
Betonarme taşıyıcı sistem kuvvetli tasarım depremi altında doğrusal elastik kalmaz. Adım adım şiddeti artan deprem yükü altında, betonarme taşıyıcı elemanlarda önce beton çatlar, daha sonra donatı akar. Elastik sistem doğrusal elastik olmaktan ayrılır ve yer yer elasto-plastik olarak davranmaya başlar. Yapıya yüklenen deprem enerjisinin tüketilebilmesi için, taşıyıcı sistemin sünek olması zorunludur (Şekil 1). Ancak sünek bir yapıda deprem yükü belli bir katsayı ile azaltılabilir. Yapı Davranış Katsayısı adı verilen bu katsayı (R) genellikle aşağıda verildiği şekliyle formüle edilebilir.

$$R = R_{\Omega} \times \Omega \quad [2]$$

Burada  $R_p$  sünekliğe bağlı bir katsayı ya da dayanım azaltma katsayısı,  $\Omega$  yüksek mukavemet faktörü ya da dayanım fazlalığı adını alır.

$$R_p \approx V_e/V_y, \quad \Omega = V_y/V_d \quad [3]$$
$$R_p \approx \mu_\Delta \quad [4]$$

Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar, periyodu 0.5sn'den büyük olan sistemler için dayanım azaltma katsayısı  $R_p$  yapısal süneklik ( $\mu_\Delta$ ) katsayısına eşit kabul edilebileceğini göstermiştir [11].



Şekil 1. Örnek bir yük deplasman eğrisi  
(Figure 1. An example for load-displacement curve)

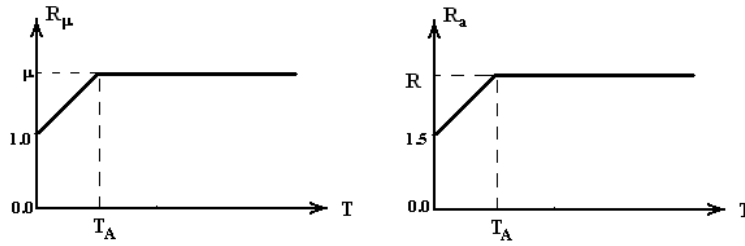
### 3.3. TDY-2007'de $R_a$ Katsayısı ( $R_a$ Coefficient in TEC-2007)

TDY-2007'de [1]  $V_e$  elastik deprem yükü, taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışı ve dayanım fazlalığı göz önüne alınarak "Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı"  $R_a$  ile bir azaltma yapılarak azaltılmış deprem yükü  $V_d$  hesap edilir.

$$R_a = \Omega + (\Omega R_p - \Omega) (T/T_A) \quad , \quad T \leq T_A \quad [5]$$

$$R_a = \Omega R_p \quad , \quad T \geq T_A \quad [6]$$

Deprem yönetmeliğinde  $\Omega=1.5$  olarak kabul edilmiştir. Örneğin TDY-2007'de [1] deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı yüksek süneklikte binalarda  $R_a$  8 olarak öngörüldüğüne göre bu binalarda deplasman sünekliğinin ( $R_p = \mu_\Delta$ ) 5.33 olması gerekmektedir. TDY-2007'de [1] dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. TDY-2007'de verilen deplasman sünekliği ve deprem yükü azaltma katsayısı  
(Figure 2. Displacement ductility and earthquake load reduction factor in TEC-2007)

### 3.4. Dayanım fazlalığı katsayısı ( $\Omega$ ) (Overstrength Factor ( $\Omega$ ))

Taşıyıcı sistemin güç tükenmesi yükü tasarım yükünden aşağıda bahsedilen nedenlerden dolayı daha fazladır; a) Yönetmeliklerde yer alan minimum koşullar, b) Yüklerin önemli ölçüde artırılması, c) Malzeme dayanımlarının da benzer şekilde azaltılarak tasarım yapılması, d) Beton ve çelik üreticilerinin üretim aşamasında olması gereken değerler üzerinde dayanım değerleri hedefleyerek malzeme üretmeleri, e) Kesitlerde kullanılan sargı donatısının beton basınç dayanımına olan pozitif etkisi, f) Deprem anında öngörülen hareketli yükün yapı üzerinde bulunmaması vs.. Dayanım fazlalığı Şekil 1'de "Gerçek Dayanım" ile "Tasarım Dayanımı" arasındaki ilişki olarak gösterilmiştir.

TDY-2007'de [1] söz konusu katsayısı 1.5 olarak öngörülmüşken bu katsayısının her yapı için sabit olmayacağı aşikardır. Dolayısıyla taşıyıcı sistem davranış katsayısının bir parametresi olarak düşünülen  $\Omega$ , tasarlanan binanın malzeme, boyut vs. gibi özelliklerine bağlı olarak değişecektir.

Dayanım fazlalığı katsayısının önemi mevcut binalar ve yeni yapılan binalar için yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır. Blume [12] 22 farklı örnek üzerinde bu katsayıyı irdelemiştir. Bertero ve arkadaşları [13] yine dayanım fazlalığı katsayısı üzerinde analitik çalışmalarda bulunmuştur. Bertero ve arkadaşları [13] az katlı betonarme bir binanın statik ve zaman tanım alanı yönteminde analizlerini yapmış ve dayanım fazlalığı katsayısını 2 ve 5 aralığında tespit etmiştir. Cassis ve Boneli [14] ile Shahrooz ve Moehle [15]  $\frac{1}{4}$  ölçekli deneysel çalışmalarda dayanım fazlalığı katsayısını 7.65 olarak tespit etmişlerdir. Uang [16] 4 katlı bir binanın dayanım fazlalığı katsayısını 12 katlı bir binaya göre %40 daha fazla olduğunu belirlemiştir. Benzer sonuçları Jain ve Navin [17]'de bularak kat yüksekliğin azalması ile söz konusu katsayının arttığını ve bu oranının 2.84 ile 12.7 arasında değiştiğini vurgulamışlardır. Barakat ve arkadaşları [3], dört, altı ve sekiz katlı binalarda yaptıkları çalışmalarda katsayının kat yüksekliği arttıkça azaldığını ve değerinin de 2.24-7.87 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca deprem bölgesi değişimi ile  $\Omega$ 'nin nasıl değişeceğini de tespit etmişlerdir. Elneashai ve Mwafy [2], elastik olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında yöntem ile 12 farklı betonarme binanın deprem ivmesi, deprem yükü azaltma katsayısı ve süneklik seviyesini ve ayrıca kat yüksekliklerini değiştirerek bir dizi analiz gerçekleştirmişlerdir. Hesaplamalar neticesinde  $\Omega$ 'nin minimum değeri 2 olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmaların yanında, TDY-2007 [1] çerçevesinde tasarlanacak bir bina için  $\Omega$ 'nin değişiminin irdelendiği bir detaylı bir çalışma henüz yapılmamıştır. Türk yapı stoğuna yönelik yapılacak olan böylesi bir çalışma ile  $R_a$  katsayısının hesaplanmasında önemli bir parametre

olan  $\Omega$ 'nın tespiti ve tartışması yapılarak, yönetmelikte yer alan ve denklem 5-6'da verilen formüller daha net bir şekilde irdelenecektir.

#### 4. SAYISAL UYGULAMA (NUMERICAL APPLICATION)

$\Omega$  katsayısının tasarlanan binaya göre değişeceği hipotezinden motive olarak bu çalışmada 48 farklı betonarme binanın TDY-2007'ye [1] uygun olarak modellenmesi yapılmıştır. Seçilen ve yapısal analizleri gerçekleştirilen binaların hepsi konut türü olmakla beraber göz önüne alınan parametreler şu şekildedir; a) Kat sayısı b) Zemin Sınıfı c) Deprem Bölgesi.

Söz konusu parametrelerin değişim aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Seçilen parametreler ve değişim aralığı  
(Table 1. Selected parameters and data ranges)

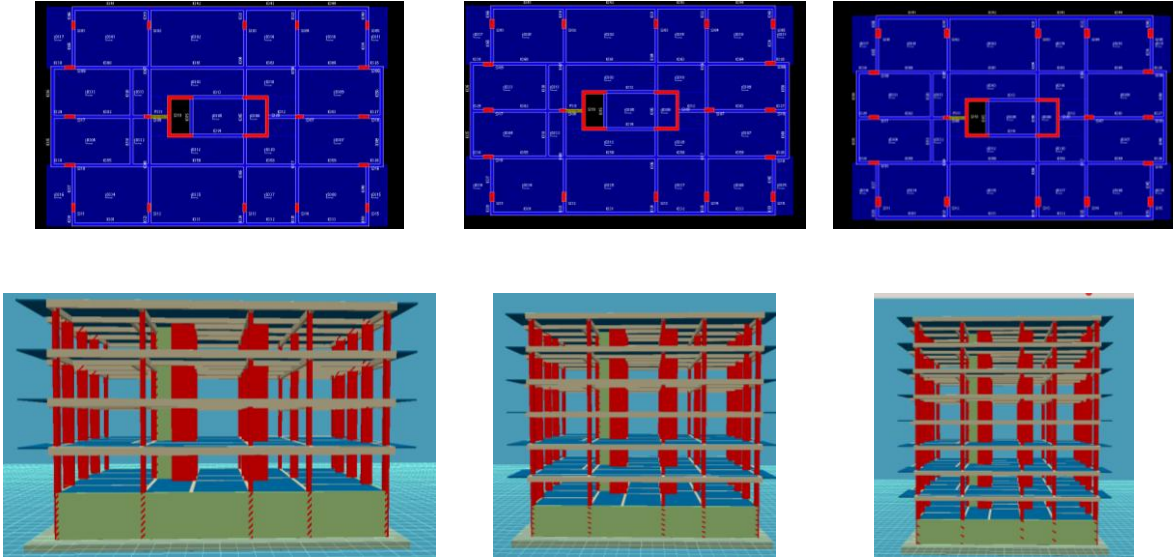
Parametre	Kısaltma	Değişim Aralığı			
Kat Sayısı	KS	4	6	8	
Zemin Sınıfı	ZS	1	2	3	4
Deprem Bölgesi	DB	1	2	3	4
		Toplam Bina Sayısı 3x4x4=48			

Çalışmada yer alan yapıların TDY-2007 [1] ve TS-500-2000 [18] ilkelerine göre modellemeleri ve betonarme hesapları STA4-CAD programı [19] kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalarda bina yükseklikleri 25 metreden daha düşük ve yapısal düzensizliklerin yönetmelik sınırları içerisinde kalmasından dolayı eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Binalarda süneklik düzeyi yüksek düşünülmüş ve yapı davranış katsayısı 7 alınmıştır. Binalar Tablo 1'de verildiği gibi üç farklı parametre için toplam 48 alternatif olacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Betonarme hesapları yapılan söz konusu 48 bina daha sonra FEMA-356 [20], FEMA-440 [21] ve ATC-40'a [22] paralel olarak hazırlanmış olan TDY-2007 [1] 7. Bölüm prosedürüne göre lineer olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizine tabi tutulmuş ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bu işlemlerde, kolon, giriş ve perde uçlarına tanımlanan plastik mafsalların boyları 0.5H olarak kabul edilmiş, yine giriş etkin eğilme rijitlikleri 0.4EI, kolon ve perdelerin ise üzerlerindeki normal kuvvet seviyelerine göre 0.4EI ile 0.8EI aralığında seçilmiştir.

#### 5. KARŞILAŞTIRMALAR (COMPARISONS)

Çalışmada gerçekleştirilen analizlerden elde edilen veriler aşağıda üç farklı grup olarak verilmiştir. 1. Grupta 4 Katlı, 2. Grupta 6 Katlı ve 3. Grupta ise 8 Katlı binalar için elde edilen sonuçlara değinilmiştir. Analizler sonucu elde edilen yatay yük - tepe deplasman eğrileri her bir parametre için ayrı ayrı verilmiştir. Grafiklerin daha rahat yorumlanabilmesi için düşey eksen (yatay yük) bina ağırlığına bölünerek, yatay eksen (tepe deplasman) ise bina toplam yüksekliğine bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Grafiklerde ayrıca TDY-2007 [1] normlarına göre hesaplanan tasarım deprem kuvveti de yatay bir kesikli çizgi olarak gösterilmiştir.

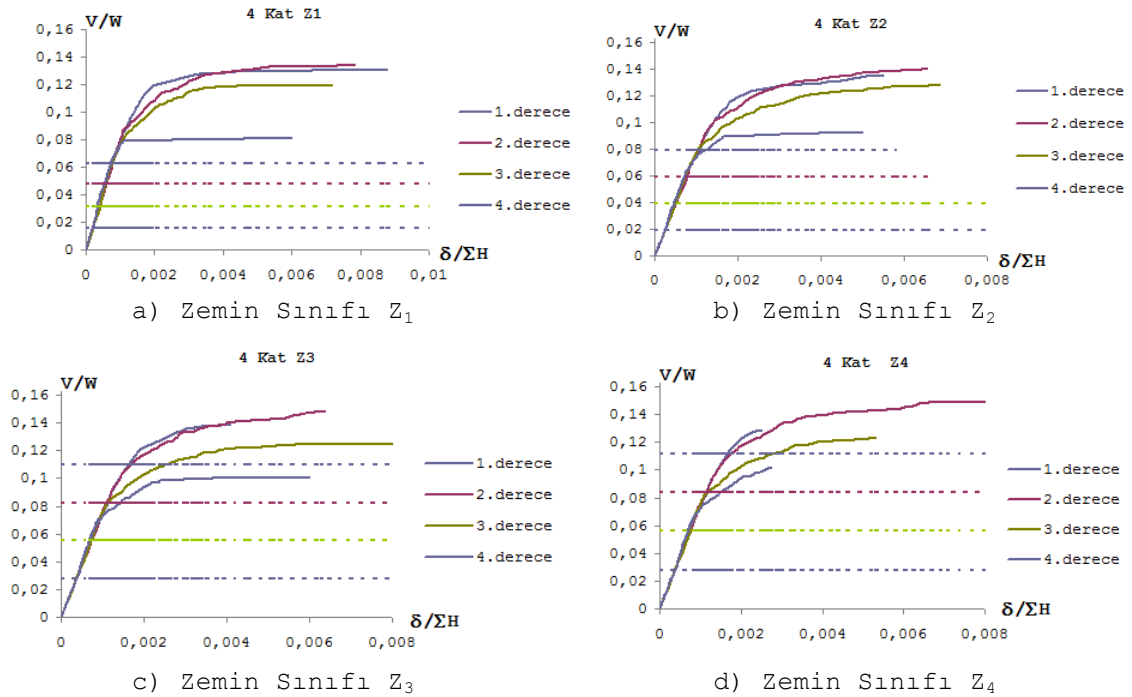


a) 4 Katlı

b) 6 Katlı

c) 8 Katlı

Şekil 3. 4,6 ve 8 katlı bina modelleri-kat planları  
(Figure 3. 4,6 and 8 story RC structure models and floor plans)



Şekil 4. 4 Katlı binalar için yük-deplasman eğrileri  
(Figure 4. Load-displacement curves for 4 story buildings)

4 Katlı BA binalardan elde edilen yatay yük - tepe deplasman eğrileri zemin ve deprem parametrelerine bağlı olarak Şekil 4'de verilmiştir. Grafiklere bağlı olarak hesaplanan  $\Omega$  değerleri ise toplu olarak Tablo 2'de gösterilmiştir.

4 Katlı BA binalardan elde edilen sonuçlara bakıldığında zaman zemin grubu ne olursa olsun deprem riskinin azalması ise  $\Omega$  değerinin önemli miktarda arttığı görülmektedir. Bu artış Z4 türü zeminlerde



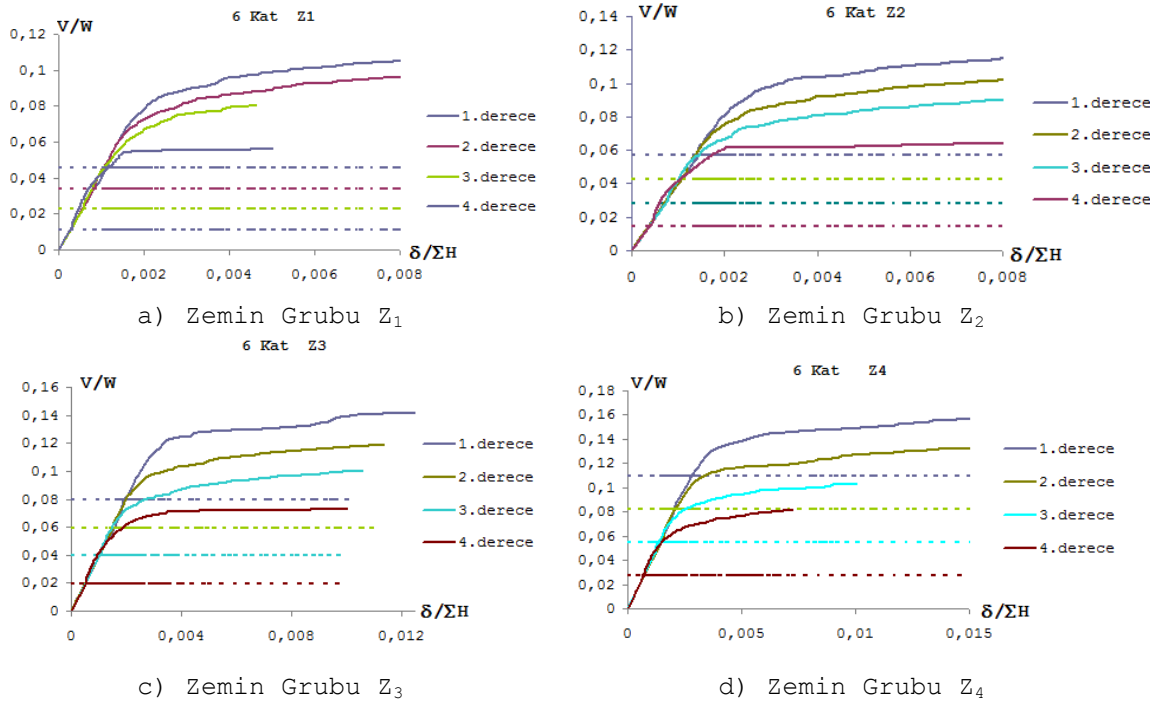
maksimum  $Z_1$ 'de ise minimum değerdedir. Ayrıca zemin sınıfının iyileşmesi ile deprem bölgesinden bağımsız olarak  $\Omega$  değerinin arttığı görülmüştür.  $\Omega$  değerinin 4 katlı binalar için 1.16 ile 5.29 arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Tablo 2. Dayanım fazlalığı katsayısı ( $\Omega$ )'nın 4 katlı BA binada parametrelere göre değişimi  
(Table 2. Changing overstrength ( $\Omega$ ) values according to the selected parameters in 4 story buildings)

	1. Derece Deprem Bölgesi	2. Derece Deprem Bölgesi	3. Derece Deprem Bölgesi	4. Derece Deprem Bölgesi
$Z_1$	2.16	2.85	3.79	5.29
$Z_2$	1.71	2.35	3.22	4.76
$Z_3$	1.25	1.79	2.23	3.63
$Z_4$	1.16	1.75	2.19	3.62
Ortalama	1.57	2.19	2.86	4.33
Genel Ortalama	2.74			

6 Katlı BA binalardan elde edilen yatay yük - tepe deplasman eğrileri zemin ve deprem parametrelerine bağlı olarak Şekil 5'de verilmiştir. Grafiklere bağlı olarak hesaplanan  $\Omega$  değerleri ise toplu olarak Tablo 3'de gösterilmiştir.

6 Katlı BA binalardan elde edilen sonuçlara bakıldığında zaman zemin grubu ne olursa olsun deprem riskinin azalması ise  $\Omega$  değerinin önemli miktarda arttığı görülmektedir. Fakat bu artış 4 katlı binalarda olduğu kadar fazla değildir. Bu artış  $Z_4$  türü zeminlerde maksimum  $Z_1$ 'de ise minimum değerdedir. Ayrıca zemin sınıfının iyileşmesi ile deprem bölgesinden bağımsız olarak  $\Omega$  değerinin arttığı görülmüştür.  $\Omega$  değerinin 6 katlı binalar için 1.47 ile 4.91 arasında değiştiği hesaplanmıştır.



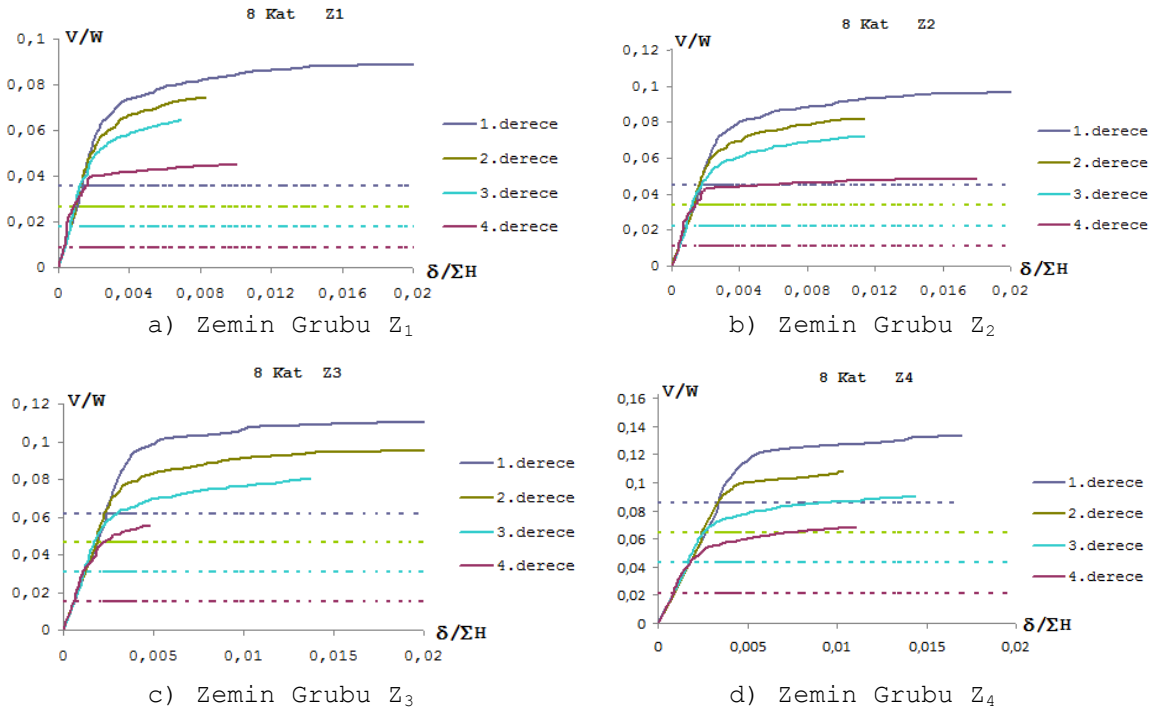
Şekil 5. 6 Katlı binalar için yük-deplasman eğrileri  
(Figure 5. Load-displacement curves for 6 story buildings)



Tablo 3. Dayanım fazlalığı katsayısı ( $\Omega$ )'nın 6 katlı BA binada parametrelere göre değişimi  
(Table 3. Changing overstrength ( $\Omega$ ) values according to the selected Parameters in 6 story buildings)

	1. Derece Deprem Bölgesi	2. Derece Deprem Bölgesi	3. Derece Deprem Bölgesi	4. Derece Deprem Bölgesi
$Z_1$	2.31	2.81	3.56	4.91
$Z_2$	1.96	2.33	3.13	4.64
$Z_3$	1.79	2.02	2.53	3.74
$Z_4$	1.47	1.59	1.89	2.98
Ortalama	1.88	2.19	2.78	4.07
Genel Ortalama	2.73			

8 Katlı BA binalardan elde edilen yatay yük - tepe deplasman eğrileri zemin ve deprem parametrelerine bağlı olarak Şekil 6'da verilmiştir. Grafiklere bağlı olarak hesaplanan  $\Omega$  değerleri ise toplu olarak Tablo 4'de gösterilmiştir. 8 Katlı BA binalardan elde edilen verilerde 4 ve 6 katlılarla örtüşmektedir. Zemin grubu ne olursa olsun deprem riskinin azalması ise  $\Omega$  değerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca zemin sınıfının iyileşmesi ile deprem bölgesinden bağımsız olarak  $\Omega$  değerinin arttığı görülmüştür.  $\Omega$  değerinin 6 katlı binalar için 1.54 ile 5.16 arasında değiştiği hesaplanmıştır.



Şekil 6. 8 Katlı binalar için yük-deplasman eğrileri  
(Figure 6. Load-displacement curves for 8 story buildings)

Tablo 4. Dayanım fazlalığı katsayısı ( $\Omega$ )'nın 8 katlı BA binada parametrelere göre değişimi  
(Table 4. Changing overstrength ( $\Omega$ ) values according to the selected parameters in 8 story buildings)

	1. Derece Deprem Bölgesi	2. Derece Deprem Bölgesi	3. Derece Deprem Bölgesi	4. Derece Deprem Bölgesi
Z <sub>1</sub>	2.47	2.80	3.64	5.16
Z <sub>2</sub>	2.14	2.44	3.22	4.31
Z <sub>3</sub>	1.76	2.04	2.58	3.65
Z <sub>4</sub>	1.54	1.68	2.14	3.23
Ortalama	1.98	2.24	2.89	4.09
Genel Ortalama	2.80			

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Çok katlı betonarme binaların deprem yükü azaltma katsayısının değerlendirilmesine yönelik yapılan bu çalışmada, çalışma kapsamında analiz edilen farklı yapısal özellikte betonarme binaların lineer olmayan itme analizleri yapılmıştır. İtme analizlerinden deprem yükü azaltma katsayısının bir bileşeni olan dayanım fazlalığı üzerine çeşitli yorumlarda bulunulmuştur. Özellikle depremin çok etkili olmadığı 3. ve 4. derece bölgelerde taşıyıcı sistemler düşey yüklere göre analiz edilirler. Bundan dolayı 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde dayanım fazlalılığı katsayısı, yönetmeliğin öngörüsüne göre oldukça fazla bulunmuştur. Bu bölgeler için hesap edilen katsayı 1.89 ile 5.29 arasında değişmektedir. 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde dayanım fazlalılığı katsayısı 1.16 ile 2.81 arasında değişmektedir. Dayanım fazlalığı katsayısı, özellikle deprem bölgesinden önemli ölçüde etkilenmektedir.

Kat yüksekliklerinin fazla olmadığı binalarda 3. ve 4. derece deprem bölgesi için dayanım fazlalığı katsayısı çok katlı binalara göre daha fazla bulunmuştur. Bununla beraber ortalama değerlere bakıldığı zaman dayanım fazlalılığı katsayısının tüm binalar için 2.73~2.80 arasında alınabileceği görülmektedir. Deprem yönetmeliğinde yer alan deprem yükü azaltma katsayısında  $R_a \cdot f(\Omega)$ , 1.5 olan dayanım fazlalığı değerinin ( $\Omega$ ) bu bağlamda tekrar incelenmesi ve sayısal değerlerde değişiklik yapılması tasarım açısından ekonomi sağlayacaktır.

## NOT (NOTICE)

Bu makale, 28-30 Eylül 2011 tarihleri arasında Elazığ Fırat Üniversitesinde "International Participated Construction Congress" IPCC11'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Türk Deprem Yönetmeliği, (2007), (TDY-2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
2. Elnashai, A.S. and Mwafy, A.M., (2002). Overstrength and force reduction factors of multistorey reinforced concrete buildings. Struct. Design Tall Build. **11**, 329-351.
3. Barakat, S., Abdallah, I.H., Malkawi, H., and Shatnawi A., (1997). A step towards evaluation of the seismic response reduction factor in multistorey reinforced concrete frames, Natural Hazards, 16, 65-80.

4. Arslan, M.H., Korkmaz, H.H., and Gulay, F.G., (2006). Damage and failure pattern of prefabricated structures after major earthquakes in Turkey and shortfalls of the Turkish Earthquake code. *Engineering Failure Analysis*, 13 (4), 537-557.
5. Arslan, M.H., Ceylan M., Kaltakçı M.Y., Ozbay Y., and Gulay F.G., (2007). Prediction of force reduction factor (R) of prefabricated industrial buildings using neural networks. *Structural Engineering and Mechanics*, 27 (2), 117-134.
6. Tezcan, S.S. and Colakoglu, H.K., (2003). Weak points of the TEC'98 precast buildings code provisions. In: Fifth national conference on earthquake engineering, Istanbul.
7. Ceylan, M., Arslan, M.H., Ceylan, R., Kaltakçı, M.Y., and Ozbay, Y., (2010). A new application area of ANN and ANFIS: determination of earthquake load reduction factor of prefabricated industrial buildings", *Civil Engineering & Environmental Systems*, 27 (1), 53-69.
8. Fajfar, P. and Fischinger, M., (1988). N2 - a method for non-linear seismic analysis of regular buildings. *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo 5*: 111-116.
9. Makarios, T., (2005). Optimum definition of equivalent non-linear SDF system in pushover procedure of multistory R/C frames. *Journal Engineering Structures* 27(5): 814-825.
10. Yuksel, I., and Polat, Z., (2005). Yield state investigation of reinforced concrete frames from a new point of view, *Engineering Structures* 27(1): 119-127.
11. Newmark, N.M. and Hall, W.J., (1982). *Earthquake Spectra and Design*, Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito, California, 103 pp.
12. Blume, J.A., (1977). Allowable stresses and earthquake performance, *Proceedings of the 6th World Conference on Earthquake Engineering*, Sarita Prakashan, Meerut, India, pp. 165-174.
13. Bertero, V.V., Anderson, J.C., Krawinkler, H., and Miranda, E., (1991). Design guidelines for ductility and drift limits: review of the state-of-the-practice and state-of-the-art in ductility and drift-based earthquake-resistant design of buildings, Report No. UCB/EERC-91/15, Earthquake Engineering Research Ctr., University of California, Berkeley, CA.
14. Cassis, J.H. and Bonelli, P., (1992). Lessons learned from the March 3, 1985 Chile earthquake and related research, *Proc. 10th World Conference on Earthquake Engineering*, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, Vol. X, pp. 5675-5680.
15. Shahrooz, B.M. and Moehle, J.P., (1990). Evaluation of seismic performance of R.C. frames, *J. Struct. Engineering*, ASCE 116(5), 1403-1422.
16. Uang, C.M., (1991). Establishing R (or  $R_w$ ) and  $C_d$  factors for building seismic provisions, *J. Struct. Engrg.*, ASCE 117(1), 19-28.
17. Jain, S.K. and Navin, R., (1995). Seismic overstrength in reinforced concrete frames, *J. Struct. Engrg.*, ASCE 121(3), 580-585.
18. TBC-500-2000, (2000). Requirements for design and construction of reinforced concrete structures. TSE, Ankara.
19. STA4-CAD V12, Yapı Analiz Programı, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti, İstanbul.
20. FEMA-356, (2000). Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings. FEMA.
21. FEMA-440, (2005). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. FEMA.



- 22.** Applied Technology Council, ATC-40, (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Vols 1 and 2. California: Seismic Safety Commission.