

## **BETONARME BİR YAPININ PERFORMANSA DAYALI TASARIMI: DEPLASMANA DAYALI SİSMİK YAKLAŞIM VE YERDEĞİŞTİRME KATSAYILARI YÖNTEMİ**

**Muhammed TEKİN\*, R. Tuğrul ERDEM, Ceyhun GÜNDÜZ**

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

**Özet:** Günümüzde kullanılan performansa dayalı tasarım metodlarından en yaygın olanı kuvvete dayalı tasarım metodudur. Ancak şu bilinmektedir ki deprem sonucunda oluşan yatay kuvvetler, yapıda yatay deplasmanlara, bu deplasmanlar da binada yapısal ve yapısal olmayan hasarlara neden olmaktadır. Bu hasar potansiyelini kuvvete dayalı tasarım ile kontrol altında tutabilmek yerdeğiştirmeye dayalı tasarıma göre daha zordur. Kuvvete dayalı tasarımda, ön boyutlar belirlenir, daha sonra yapısal periyot ve elastik ivme spektrumu kullanılarak elastik spektral ivme katsayısı bulunur ve en sonunda elde edilen yatay deprem kuvvetlerine göre yapı tasarlanır. Yerdeğiştirme kontrolü ise en son yapılır. Yerdeğiştirmeye dayalı tasarımda ise, tasarıma hedef bir yerdeğiştirme seçilerek başlanır. Yapılan çalışmada, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri olan yerdeğiştirme katsayıları yöntemiyle doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi karşılaştırılmıştır. Analizlerde SAP2000 programı ve Nonlin dinamik analiz programı kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Yerdeğiştirmeye dayalı tasarım, Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi, Doğrusal olmayan analiz, Performansa dayalı tasarım*

## **PERFORMANCE – BASED DESIGN OF A REINFORCED CONCRETE STRUCTURE: DISPLACEMENT – BASED SEISMIC APPROACH AND DISPLACEMENT COEFFICIENTS METHOD**

**Abstract.** Nowadays, among the performance based methods, force based one is the most common method. But it must be known that horizontal forces which occur after an earthquake after an earthquake cause horizontal displacements and these displacements cause structural and nonstructural damages in the building. It is more difficult to bring this damage potential under control by force based design than displacement based one. In force based design, dimensions are determined, then structural period and elastic spectral acceleration coefficient is decided by means of elastic acceleration and in the end, the structure is designed due to the horizontal earthquake forces. Displacement control is performed in the end. As for the displacement based design, a target displacement is selected. In this study, displacement coefficients method which is an application of non-linear analysis methods and non-linear dynamic analysis method are compared each other. SAP2000 and Nonlin dynamic analysis programs are used in analyses.

**Keywords:** *Displacement based design, Displacement coefficients method, Non-linear analysis, Performance based design*

\***Muhammed TEKİN**

mdtekin@bayar.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Kuvvet esaslı tasarımda, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve lineer teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini göz önüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Yerdeğiştirme ve şekil değiştirme esaslı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan hesap yöntemlerine dayanan analizde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir [2].

Deplasmana dayalı tasarım kavramı ilk olarak 1994 yılında Kowalsky ve arkadaşları [3] tarafından önerilmiştir. Bu yöntem, tek serbestlik dereceli betonarme yapılar için kuvvetler yerine deplasmanları esas alan bir sismik dizayn metodudur. Yine Krawinkler ve arkadaşları [4] tarafından doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanışı geliştirilmiştir. 1996 yılında Priestley ve arkadaşları [5] deplasmana dayalı tasarımın ana ilkelerini belirlemiştir. *Yapıların deprem etkileri altında performanslarının belirlenmesi için kullanılan ve bu alanda en popüler yöntemlerden birisi olan “Kapasite Spektrumu Yöntemi” Freeman S.A. [6] tarafından 1998’de geliştirilmiş ve daha sonra yöntem üzerinde çeşitli değişiklikler ve geliştirmeler yapılmıştır. Kapasite Spektrumu Yöntemi ATC 40’da (Applied Technology Council, 1996) ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır [7].*

Yöntem ile ilgili olarak yapılan son gelişmelere ise FEMA 440’da yer verilmiştir. FEMA 356’da (Federal Emergency Management Agency, 2000) yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi’nde, Kapasite Spektrumu Yöntemi’nden farklı olarak, grafiksel bir çözüm yerine, yapının

yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi için bir takım katsayılar kullanılmaktadır [8].

Doğrusal olmayan çok serbestlik dereceli sistemin beklenen en büyük elastik ötesi yerdeğiştirme değeri, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin elastik spektral yerdeğiştirmesinin katsayılar ile modifiye edilmesiyle hesaplanmaktadır. Deplasman Katsayıları Yöntemi ile ilgili olarak yapılan son gelişmelere FEMA 440’da (Federal Emergency Management Agency, 2004) yer verilmiştir [9].

## 2. YERDEĞİŞTİRMEYE DAYALI TASARIM YÖNTEMİ

Yerdeğiştirmeye dayalı tasarımda, kuvvete dayalı tasarımdakinin aksine dayanım, doğrusal elastik olmayan yöntemlerle yapılan hesaplarla bilinebilmektedir. Dayanım kapasitesi, malzemelerin gerilme-birim şekildeğiştirme ve kesitlerin “moment-eğrilik” ilişkilerinden yararlanılarak elde edilebilmektedir. Yerdeğiştirmeye dayalı tasarımda amaç; gerek doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri gerekse doğrusal olmayan artımsal statik analiz yöntemi kullanılsın tasarımı basite, hata payını da en aza indirmektedir.

### 2.1. Hesap Adımları

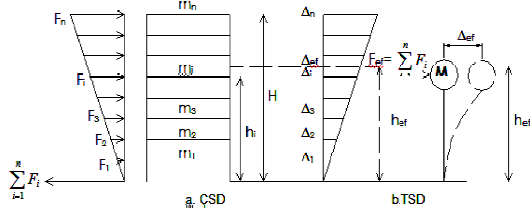
Moment aktaran çerçeve tipi yapılarda deplasmana dayalı tasarımın hesap adımlarına geçebilmek için çok serbestlik dereceli bir yapının tek serbestlik dereceli yapı olarak nasıl gösterileceğinin bilinmesi gerekir.

#### 2.1.1. Etkili Kütlelerin Bulunması

Çok serbestlik dereceli yapı ile tek serbestlik dereceli yapı arasındaki ilişkiler eşit iş prensibinden elde edilebilir. Bu prensip çok serbestlik dereceli sistemdeki kuvvetlerin yaptığı işe eşit olduğunu ifade eder.

$$(F\Delta)_{\zeta SD} = (F\Delta)_{TSD} \quad (1)$$

Burada  $(F\Delta)_{\text{CSD}}$  çok serbestlik dereceli,  $(F\Delta)_{\text{TSD}}$  ise tek serbestlik dereceli sistemin yaptıkları işleri göstermektedir. Bu ilişki Calvi ve Kingsley tarafından öne sürülmüştür [10].



**Şekil 1.** Çok Serbestlik Dereceli Yapının Tek Serbestlik Dereceli Yapı Olarak Temsili

Şekilde,  $(F_i)$  katlara etkiyen yanal kuvveti,  $(m_i)$ , kat kütlelerini temsil etmektedir.  $(F_{ef})$ , etkili kuvveti,  $(h_i)$ , ilgili kat yüksekliğini,  $(h_{ef})$  ise etkili yüksekliği ifade etmektedir. Her kat için yerdeğiştirme sabiti  $(c_i)$  vardır. Kat yerdeğiştirmesi  $(\Delta_i)$ , etkili yerdeğiştirmenin  $(\Delta_{ef})$  bu sabitle çarpılması sonucu bulunur.

$$c_i = \frac{\Delta_i}{\Delta_{ef}} \quad (2)$$

$$\Delta_i = c_i \Delta_{ef} \quad (3)$$

Her kata ait ivme  $a_i$ , tek serbestlik dereceli sistemin ivmesi ise  $a_{ef}$  olarak gösterilir. Sistemin yerdeğiştirmesi ile ivmesi doğru orantılı olarak değiştiğine göre:

$$a_i = c_i a_{ef} \quad (4)$$

$F_{ef}$  etkili kuvvet,  $M_{ef}$  ise etkili kütle olduğuna göre; Newton'un ikinci yasası uygulanarak:

$$F = ma \quad (5)$$

$$F_{ef} = M_{ef} a_{ef} \quad (6)$$

$F_{ef}$  etkili kuvvet, çok serbestlik dereceli bir sistemde yapıya etkiyen tüm kuvvetlerin toplamına eşittir (Şekil.1).

$$F_{ef} = \sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n m_i a_i \quad (7)$$

Denklem (3) ile denklem (6) birlikte kullanılırsa:

$$F_{ef} = a_{ef} \sum_{i=1}^n m_i c_i \quad (8)$$

elde edilir.

Etkili kuvvet de bulunduğu göre tek bilinmeyen denklem (5) deki etkili kütle ( $M_{ef}$ ) dir. Denklem (2) yardımı ile etkili kütle şöyle bulunur:

$$M_{ef} = \sum_{i=1}^n m_i c_i = \sum_{i=1}^n m_i \left[ \frac{\Delta_i}{\Delta_{ef}} \right] \quad (9)$$

Etkili kütle toplam bina kütlelerinin %90'ı kadardır.

### 2.1.2.Etkili Yerdeğiştirmenin Bulunması

Tek serbestlik dereceli sisteme ait yerdeğiştirme  $(\Delta_{ef})$ 'nin hesaplanabilmesi için kat kuvvetlerinin bilinmesi gerekir. Denklem (5) de yerine koyarsak:

$$F_i = m_i a_i = m_i c_i a_{ef} \quad (10)$$

Her katın kütlesiyle yerdeğiştirmesinin çarpımı bilindiği üzere o katın yaptığı işi gösterir. Etkili kuvveti, her kata dağıtırsak  $F_i$  bulunur. Her kata yaptığı işin, tüm yapının yaptığı işe oranı dağıtılır.

$$F_i = F_{ef} \frac{m_i \Delta_i}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i} \quad (11)$$

Bu denklemi eşit iş denkleminde yerine koyarsak:

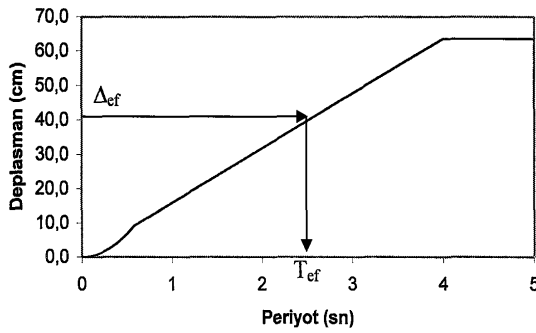
$$F_{ef} \Delta_{ef} = \sum_{i=1}^n F_i \Delta_i = F_{ef} \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i^2}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i} \quad (12)$$

Denklem (12)'de etkili kuvvetler ( $F_{ef}$ ) sadeleştirilirse:

$$\Delta_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i^2}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i} \quad (13)$$

### 2.1.3. Etkili Periyot ve Etkili Rijitliğin Bulunması

Sistem sönümü, çok serbestlik dereceli çerçeve içindeki elemanların eşdeğer viskoz sönümlerinin fonksiyonu olarak tek serbestlik dereceli yapının eşdeğer viskoz sönümü olarak tanımlanır. Her bir elemanın çevrimsel enerji dağılımı, eleman sünekliğinin fonksiyonu olarak eşdeğer viskoz sönüme çevrilir. Etkili periyot hesaplanan sistem yerdeğiştirme ve seçilen sistem sönümüne göre belirlenen yerdeğiştirme, tepki spektrumundan elde edilir [11].



Şekil 2. Yerdeğiştirme Davranış Spektrumu  $T_{ef}$ , tek serbestlik dereceli sisteme ait periyot,  $K_{ef}$  ise yine tek serbestlik dereceli sisteme ait rijitliktir.

$$T_{ef} = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta_{ef}}{a_{ef}}} \quad (14)$$

$$K_{ef} = \frac{F_{ef}}{\Delta_{ef}} \quad (15)$$

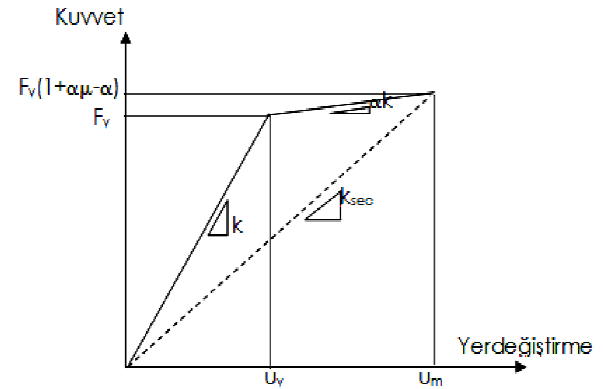
Denklem (6) ile denklem (14) ve denklem (15) birbirleri arasında ilişkilendirilirse:

$$T_{ef} = 2\pi \sqrt{\frac{F_{ef}/K_{ef}}{F_{ef}/M_{ef}}} = 2\pi \sqrt{\frac{M_{ef}}{K_{ef}}} \quad (16)$$

Temsili yapıya ait etkili rijitlik, çok serbestlik dereceli sistemin maksimum davranışındaki sekant rijitliğidir.

Çok serbestlik dereceli sistemde yutulan enerji temsili yapının eşdeğer viskoz sönümüne dönüştürülür. Tek serbestlik dereceli sistemin eşdeğer viskoz sönümü histeresis enerji azalması ile ifade edilen çok serbestlik dereceli sistemin her bir elemanının viskoz sönümünün ağırlıklı ortalamasıdır. Etkili rijitlik kavramı, temsili yapıyı doğrusal dinamik davranışla modellemektir.

$$K_{ef} = \frac{4\pi^2}{T_{ef}^2} M_{ef} \quad (17)$$



Şekil 3. Elastik Olmayan Tek Serbestlik Dereceli Sisteme Ait Kuvvet Yerdeğiştirme İlişkisi Etkili rijitlik, etkili kuvvetin sistem yerdeğiştirmeye bölünmesi ile hesaplanır. En büyük deplasman profilini bilinmesi için

ise; oluşabilecek en fazla ötelenme seviyesini ve tepe noktasının yerdeğiştirmesinin bilinmesi gerekir. Yapının ötelenmesi, katın yerdeğiştirmesinin o katın yüksekliğine bölünmesi ile bulunur. Moment aktaran çerçeve tipi yapılar için farklı deplasman profilleri önerilmiştir.

Priestley ve Calvi tarafından 1997 yılında [12]:

$$\Delta_i = \theta_d h_i \quad (n \leq 4) \quad (18)$$

$$\Delta_i = \theta_d h_i \left( 1 - \frac{(n-4)h_i}{32h_a} \right) \quad (4 < n < 20) \quad (19)$$

$$\Delta_i = \theta_d h_i \left( 1 - \frac{h_i}{2h_a} \right) \quad (n \geq 20) \quad (20)$$

$\theta_d$ : Seçilen maksimum tasarım ötelenme oranı  
n: Çerçevdeki toplam kat sayısı

Buna göre şu sonuçlar çıkar:

- Yapı dört kattan az kat sayısına sahipse çerçevenin doğrusal bir deplasman profili olduğu anlamına gelir.
- Orta yükseklikteki çerçeve tipi yapılar için deplasman profili parabolikleşmeye başlar.
- Eğer yapı 20 katın üzerinde ise profil paraboliktir.

Bu yöntem, çoğu bina için geçerlidir ve her katın yerdeğiştirmesi bulunabilir. Jonsson tarafından 2002 yılında [13]: Yine moment aktaran çerçeve tipi yapılar için doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları kullanılarak iki farklı davranışın kombinasyonu olarak elde edilen bir deplasman profili önermiştir.

- Az katlı yapılar için doğrusal davranış
- Çok katlı yapılar için parabolik bir fonksiyon olan doğrusal olmayan bir davranış

Betonarme yapılar için deplasman profili şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta_i = \theta_d h_n \left[ \frac{h_i}{h_n} - \left( \frac{1-\chi}{\gamma} \right) \left( \frac{h_i}{h_n} \right)^\gamma \right] \quad (21)$$

$\chi$ : Çatı katındaki ötelenme oranı

$\gamma$ : Çerçeve tipi yapılar için fonksiyonun eğriliğini belirleyen değişken

N: Kat adedi

**Tablo 1.** Çerçeve Yapılar için  $\chi$  ve  $\gamma$  Değerleri

| N  | $\gamma$ | $\chi$ |
|----|----------|--------|
| 3  | 5.70     | 0.180  |
| 5  | 2.67     | 0.180  |
| 8  | 1.84     | 0.180  |
| 15 | 1.44     | 0.180  |

## 2.2. Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

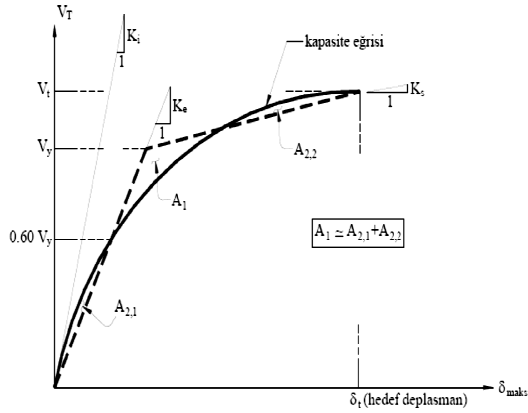
Deplasman profili, lineer olmayan dinamik analiz ile zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Zaman tanım alanında dinamik analizleri için Nonlin programı kullanılmıştır [14].

Zaman tanım alanında artımsal hesap yöntemi ile taşıyıcı sistemdeki nonlineer davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Zaman tanım alanında artımsal hesap yöntemi tüm binalara uygulanabilir.

## 3. YERDEĞİŞTİRME KATSAYILARI YÖNTEMİ

Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi doğrusal olmayan statik itme analiz yöntemlerinde biri

olup yapının kapasite eğrisini elde etmeye yarar. Yapının tasarım depremi altında yapacağı en büyük yerdeğiştirmeyi diğer bir deyimle performans noktası hesaplayabilmek için sistemin etkili yatay rijitliğini hesaplamak gerekir ki bunun için kapasite eğrisi iki adet doğru ile idealize edilir. İki adet doğru ile idealize edilmiş, nonlineer hale getirilmiş kapasite eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Buradaki  $K_i$  başlangıçta yapı yatay rijitliğini,  $K_e$  ise idealize edilmiş kapasite eğrisinin ilk doğrusunun eğimi olan etkili yatay rijitliği temsil etmektedir. Bu doğrunun kapasite eğrisinin kestiği nokta akma dayanımının %60'ı kadar bir yük esas alınarak hesaplanır.



**Şekil 4.** Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi için Kapasite Eğrisinin İki Adet Doğru ile İdealize Edilmiş Hali

Etkili periyodun hesabı için (22) denklemini kullanılır.

$$T_{ef} = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (22)$$

Bu denklemde:

$T_i$ : Doğrusal dinamik analizden elde edilen serbest titreşim periyodu

$T_{ef}$ : Etkili periyot

$K_i$ : Yapının başlangıç yatay rijitliği

$K_e$ : Etkili rijitlik

Kat döşemesi rijit diyafram olarak çalışan binalarda hedef yerdeğiştirme (23) denklemi ile bulunabilir.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_{ef}}{4\pi^2} g \quad (23)$$

$C_0$ : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısıdır. FEMA 356'da  $C_0$  katsayısı için üç bağıntı önerilmiştir.

$C_0$  katsayısı yapının kontrol noktası seviyesinde genellikle tepe noktası seviyesinde 1. moda ait modal katılım çarpanı olarak alınabilir.

$$C_0 = \Phi_1^{tepe} P F_1 \quad (24)$$

Kontrol noktası seviyesinde, yapının hedef yerdeğiştirmeyi yaptığı adımdaki deplasman profili kullanılarak hesaplanmış modal katılım çarpanı kullanılabilir. Aşağıdaki tablodan  $C_0$  katsayısı için yaklaşık değerler alınabilir.

**Tablo 2.**  $C_0$  Katsayısı için Yaklaşık Değerler (FEMA356)

| Kat sayısı                                   | $C_0$ |
|--|-------|
| 1  | 1.0   |
| 2  | 1.2   |
| 3  | 1.3   |
| 5  | 1.4   |
| 10+  | 1.5   |
| Ara değerler için interpolasyon yapılmıştır. |       |

$C_1$ : Doğrusal elastik yerdeğiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yerdeğiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısıdır.

$$T_e \geq T_B \text{ ise } C_1 = 1 \quad (25)$$

$$T_e < T_B \text{ ise } C_1 = \left[ 1 + (R-1) \frac{T_B}{T_e} \right] / R \quad (26)$$

$C_2$ : Çevrimsel enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısıdır.  $C_2$  katsayısının alacağı değerler, taşıyıcı sistemin türüne ve beklenen performans seviyesine göre Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.**  $C_2$  Katsayıları Değerleri

| Performans Seviyesi | $T \leq 0,1$ | $T \leq T_B$ |
|---------------------|--------------|--------------|
| Hemen Kullanım      | 1            | 1            |
| Can Güvenliği       | 1.3          | 1.1          |
| Yapısal Stabilite   | 1.5          | 1.2          |

$C_3$ : İkinci mertbe etkileri nedeniyle artan yerdeğiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısıdır.

İki doğru ile idealize edilmiş kapasite eğrisinin ikinci eğimi pozitif olan yapılarda;

$$C_3 = 1$$

İki doğru ile idealize edilmiş kapasite eğrisinin ikinci eğimi pozitif olan yapılarda;

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (27)$$

$\alpha$ : Doğrusal olmayan hale gelmiş kapasite eğrisinin ikinci eğiminin birinci eğime oranı

$g$ : Yerçekimi ivmesi

$R$ :Dayanım azaltma katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W C_0} \quad (28)$$

$V_y$ : İki doğru ile idealize edilmiş kapasite eğrisinin akma noktasındaki taban kesme kuvveti

$W$ : Toplam bina ağırlığı

$S_a$ : Göz önüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sonum oranına bağlı olarak belirlenen ve  $g$  yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivmedir.

Yukarıdaki açıklamalardan görüldüğü gibi, yerdeğiştirme katsayısı yönteminde de, hedef yerdeğiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve  $T_{ef}$  etkili doğal periyodunun hesabına esas olan  $\delta_t$  tepe noktası yerdeğiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerlerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde hedef yerdeğiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir.

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yerdeğiştirme bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin (yerdeğiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler vb) değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır [15].

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri olan yerdeğiştirme katsayıları yöntemi, sonlu elemanlar programı SAP2000 kullanılarak yapıya uygulanmıştır [16].

#### 4. SAYISAL UYGULAMA

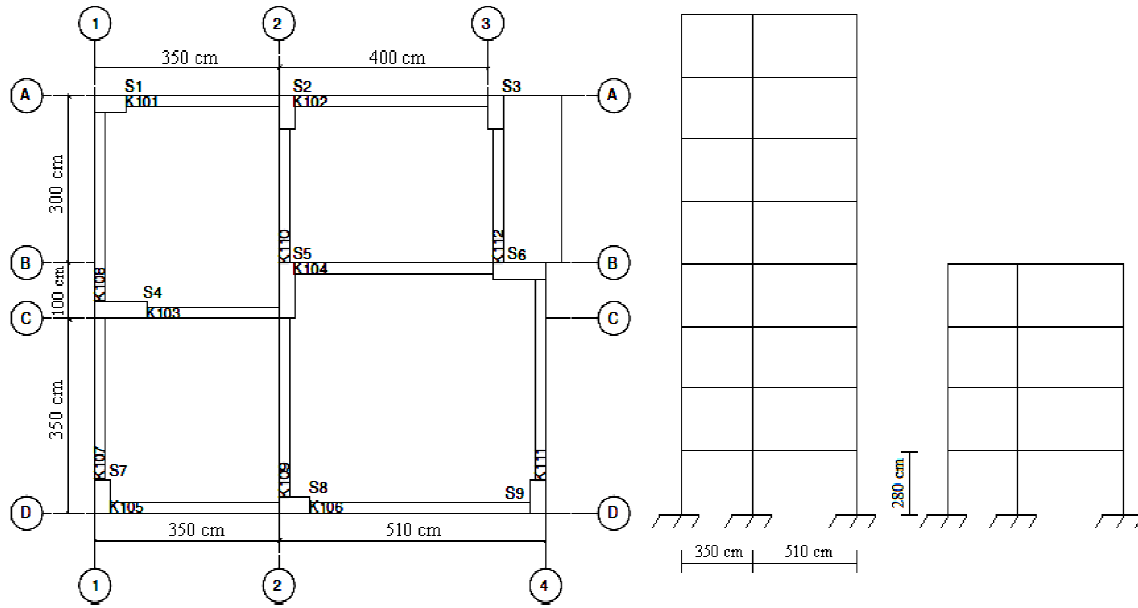
Ele alınan yapı, 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Her kat aynı mimari özelliklere sahip olup 4 ve 8 katlı olmak üzere 2 örnek üzerinde çalışılmıştır.

Seçilen beton sınıfı C25, donatı sınıfı ise S420’dir. Zemin sınıfı Z4’dür. Şekil 5’de söz konusu yapıya ait kalıp planı verilmiştir.

Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarını belirlemede statik itme analizi yaygın olarak kullanılmaktadır. Statik itme analizi ile yapıların süneklilik kapasitesi ve taşıyıcı sistemlerde oluşan hasar durumları belirlenebilir. Kapasite eğrisi, taban kesme kuvvetinin, en üst kat yer değiştirmesiyle değişiminden oluşmaktadır. Analizde uygulamada sıkça kullanılan Bunlar içinde en yaygın olarak kullanılan birinci mod

şekline göre belirlenen üçgen yük dağılımı seçilmiştir. Analizde yanal yükler etkisi altında yapının kapasite eğrileri elde edilmiştir. Kolon

boyutları  $b_x$  ve  $b_y$ , kiriş boyutları ise  $b_w$  ve  $h$  olmak Tablo 4'te verilmiştir.

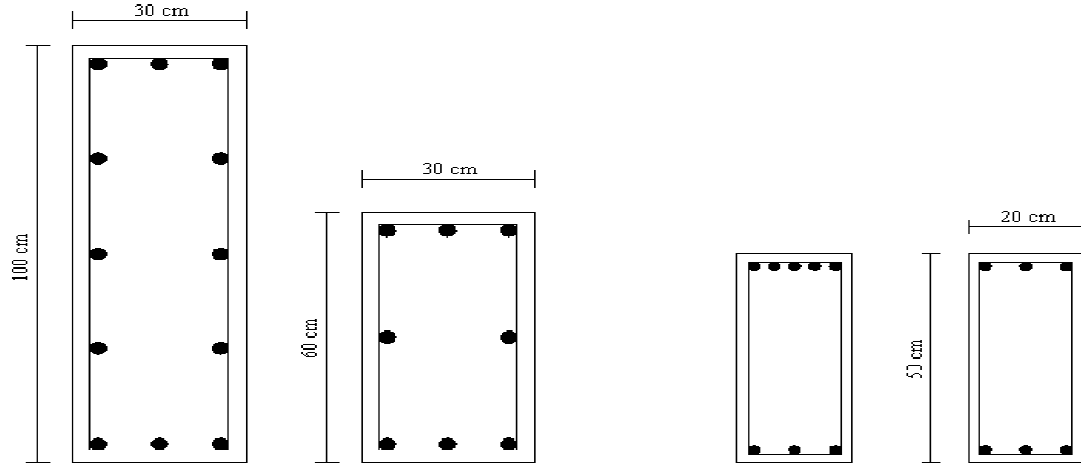


Şekil 5. Kalıp Planı ve Kesit Görünüşleri

Tablo 4. Yapının Kolon ve Kiriş Kesitleri

| Kolon | $b_x$ | $b_y$ | Kiriş | $b_w$ | $h$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| S1    | 60    | 30    | K101  | 20    | 50  |
| S2    | 30    | 60    | K102  | 20    | 50  |
| S3    | 30    | 60    | K103  | 20    | 50  |
| S4    | 100   | 30    | K104  | 20    | 50  |
| S5    | 30    | 100   | K105  | 20    | 50  |
| S6    | 100   | 30    | K106  | 20    | 50  |
| S7    | 30    | 60    | K107  | 20    | 50  |
| S8    | 60    | 30    | K108  | 20    | 50  |
| S9    | 30    | 60    | K109  | 20    | 50  |
|       |       |       | K110  | 20    | 50  |
|       |       |       | K111  | 20    | 50  |
|       |       |       | K112  | 20    | 50  |





Şekil 6. Kolon ve Kiriş Kesitleri

Zaman tanım alanında dinamik analizde 7 farklı deprem verisi kullanılmıştır. Seçilmiş olan depremlerin meydana geldiği tarihler, depremlerin büyüklükleri, hız ve ivme değerleri ile odak uzaklıkları Tablo 5'te

verilmiştir. Kullanılan deprem kayıtları; “Chi-Chi, Big Bear, Kocaeli, Imperial Valley, San Fernando, Loma Prieta ve Chalfent Valley” depremlerine aittir.

Tablo 5. Analizlerde Kullanılan Deprem Verileri

| Deprem          | Tarih      | Büyükük | Hız (cm/s) | İvme (g) | Odak uzaklığı (km) |
|-----------------|------------|---------|------------|----------|--------------------|
| Chi – Chi       | 20/09/2009 | 7.6     | 24.3       | 0.229    | 41.49              |
| Big Bear        | 28/06/1992 | 6.4     | 11.9       | 0.101    | –                  |
| Kocaeli         | 17/08/1999 | 7.4     | 17.7       | 0.218    | 17.00              |
| Imperial Valley | 15/10/1979 | 6.5     | 21.2       | 0.275    | 10.60              |
| San Fernando    | 09/02/1971 | 6.6     | 14.9       | 0.174    | 21.20              |
| Loma Prieta     | 18/10/1989 | 6.9     | 14.9       | 0.216    | 28.20              |
| Chalfent Valley | 20/07/1986 | 5.9     | 11.0       | 0.285    | 17.30              |

## 5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, uygulamada sıkça kullanılan doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinden, yerdeğiştirme katsayıları yöntemiyle, daha gerçekçi sonuçlar veren zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılarak doğrudan deplasmana dayalı sismik tasarım yöntemi değerlendirilmiştir. Örnek betonarme yapının çözümünde Tablo 6'daki sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada yedi adet deprem yer hareket kaydı kullanıldığından

dolayı, sonuçların ortalama değerleri esas alınmıştır.

Sönüm oranı %5 olan depremler etkisi altında, yapılarda meydana gelen akma dayanımı, akma deplasmanı, maksimum deplasman ve maksimum kuvvet irdelenmiştir. 4 katlı yapı ve 8 katlı yapı yerdeğiştirme katsayıları yöntemi ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemleri için değerler elde edilmiştir. Sonuçlar 8 katlı yapıda, beklenildiği üzere daha yüksektir. Bu çalışmada kullanılan doğrusal olmayan statik ve daha kesin sonuç

veren dinamik analiz yöntemleri yapılaraya uygulanmıştır. Bu çalışma, düzensiz binalarda

ve daha farklı deprem kayıtları kullanılarak geliştirilebilir.

**Tablo 6.** Yapılara Ait Analiz Sonuçları

| Genel Bilgiler  |                               |   |
|---|-------------------------------|---|
| Sönüm oranı:%5  |                               |   |
| Deprem verileri: San Fernando, Loma Prieta, Northridge, Mexico City, Imperial Valley, Big Bear, Kocaeli |                               |   |
| Analiz sonuçları  | 4 Katlı                       |   |
|   | Deplasman katsayıları yöntemi | Zaman tanım alanında dinamik analiz (7 depremin ortalaması) |
| Yapının başlangıç yatay rijitliği ( $K_i$ ):  | 436958 kN/m                   | 437000 kN/m   |
| Etkili rijitlik ( $K_e$ )   | 30225 kN/m                    | 30000 kN/m  |
| Akma dayanımı   | 5328 kN                       | 5300 kN   |
| Akma deplasmanı   | 0.0121 m                      | 0.0117 m  |
| Maksimum deplasman  | 0.041 m                       | 0.034 m   |
| Maksimum kuvvet   | 6187 kN                       | 4150 kN   |
| Analiz Sonuçları  | 8 Katlı                       |   |
|   | Deplasman katsayıları yöntemi | Zaman tanım alanında dinamik analiz (7 depremin ortalaması) |
| Yapının başlangıç yatay rijitliği ( $K_i$ ):  | 216842 kN/m                   | 223000 kN/m   |
| Etkili rijitlik ( $K_e$ )   | 14640 kN/m                    | 15100 kN/m  |
| Akma dayanımı   | 6012 kN                       | 5928 kN   |
| Akma deplasmanı   | 0.0280 m                      | 0.0274 m  |
| Maksimum deplasman  | 0.116 m                       | 0.088 m   |
| Maksimum kuvvet   | 7240 kN                       | 5043 kN   |

### Kaynaklar

[1] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” (2007).

[2] ÖZER, E., “Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım”, [http://www.ins.itu.edu.tr/eozer/PDF/YSLOA2005\\_6-2.pdf](http://www.ins.itu.edu.tr/eozer/PDF/YSLOA2005_6-2.pdf) (2005).

[3] Kowalsky, M.J., MacRae, G.A., Priestley, M.J.N., “Displacement-Based, a Methodology for Seismic Design Applied to Single Degree of Freedom Reinforced Concrete Structures”, Report No. SSRP-94/16, Structural Systems Research, University of California, San Diego, La Jolla, California (1994).

[4] Krawinkler, H., “Advancing Performance-Based Earthquake Engineering”. <http://peer.berkeley.edu/news/1999jan/advance.html> (1999).

[5] Benzoni, G., Kowalsky, M.J., Priestley, M.J.N., Ranzo, G., “Preliminary Development of Direct Displacement-Based Design for Multi-Degree of Freedom Systems. In: Proceedings of the 65th Annual Convention, SEAOC, Maui, Hawaii (1996).

[6] Freeman, S.A., “Development and Use of Capacity Spectrum Method”, In: Proceedings of the 6th US National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, EERI, Oakland, California (1998).

[7] ATC-40, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, Vol.1, Applied Technology Council, Redwood City, CA, ABD (1996).

[8] FEMA 356, “Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings”, NEHRP Guidelines, Washington, ABD (2000).

- [9] FEMA 440, “Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”, “NEHRP Guidelines”, Washington, ABD (2005).
- [10] Calvi, G.M., Kingsley, G.R., “Displacement-Based Seismic Design of multy-degree of freedom bridge structures”, *Earthquake Eng Struct Dynamics*, 24(9): 1247-66 (1995).
- [11] Yavas, A., “Betonarme Yapıların Deplasman Esaslı Sismik Dizaynı”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir (2004).
- [12] Calvi, G.M. and Priestly, M.N.J., “Concepts and Procedures for Direct Displacement Based Design And Assesment”, *Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes*, eds. Fajfar, P. And Krawinkler, H., Rotterdam, Balkema (1997).
- [13] Jonsson, R., “Direct Displacement Based Design of Seismic Moment Resisting Concrete Frames, M.Sc. Thesis, University of Washington (2002).
- [14] Advanced Structural Concepts, “Nonlin 7.05 Computer Program for Nonlinear Dynamic Time History Analysis of Single- and Multi-Degree-of-Freedom Systems.”, Blacksburg, VA 24063 (2003).
- [15] Afacan, K., “Betonarme Yapılarda Performansa Dayalı Tasarım”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2004).
- [16] Computers and Structures Inc., SAP2000, Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structure (2000).

**Geliş Tarihi: 27/05/2008**

**Kabul Tarihi: 10/08/2011**