



**DEPREM ETKİSİ ALTINDA YAPILARDA OLUŞAN  
TABAN KESME KUVVETLERİNİN KIYASLANMASI**

**(COMPARISON OF BASE SHEAR FORCES  
AT BUILDINGS UNDER EARTHQUAKE EFFECT)**

**Nuriye Y. KIVILCIM\***

**ÖZET / ABSTRACT**

Ülkemizde özellikle son 10 yılda oluşan ve büyük can ve mal kaybına neden olan depremler, depreme dayanıklı yapı tasarımına yeterli önemin verilmediğini göstermektedir.

Bu çalışmada, 1992 yılında Erzincan'da, 1995 yılında Dinar'da, 1998 yılında Adana-Ceyhan'da ve 1999 yılında İzmit'te meydana gelen depremlerin ivme kayıtları esas alınmıştır.

Sayısal örnek olarak seçilen betonarme bir yapıda, 1975 ve 1998 yıllarında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik Hükümleri dikkate alınarak yapıda oluşan taban kesme kuvvetleri ile ülkemizde son yıllarda oluşan depremlerin güçlü yer ivme kayıtları kullanılarak modların birleştirilmesi yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvvetleri kıyaslanmıştır.

*Earthquakes in last ten years in Turkey which cause catastrophes and life loses show us there is no enough precaution and no enough designing for construction of earthquake resistant buildings.*

*In this study, earthquakes' acceleration records which belong to Erzincan in 1992, Dinar in 1992, Adana-Ceyhan in 1998 and İzmit in 1999 are used.*

*Also as an example the base shear forces of a reinforced building, which are calculated by using the procedures presented in 1975 and 1998 Turkish Earthquake Resistant Design Code for Buildings and the base shear forces of the same building which are determined by applying the modes superposition method to the strong ground acceleration records of the earthquakes that are observed in recent years, are compared.*

**ANAHTAR KELİMELER / KEYWORDS**

Mukabele spektrumları, tasarım spektrumu, deprem yönetmeliği  
*Response spectrum, design spectrum, earthquake design code*

---

\* DEÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe, Buca/İZMİR

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz, dünyanın önemli deprem kuşaklarından birisi olan Alp-Himalaya Deprem kuşağının en aktif bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle ülkemiz için depreme dayanıklı yapı tasarımı büyük önem kazanmaktadır.

Deprem, yer kabuğunun hareketi olduğu için, yapılarda zamana bağlı titreşim oluşturur. Depreme dayanıklı bir yapıdan, sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içinde kalarak; orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde fakat taşıyıcı sistemde onarılabılır önemsiz hasarlarla; çok seyrek ve şiddetli depremleri ise büyük hasarlarla fakat taşıyıcı sistemi tamamen göçmeden ve can kaybı olmaksızın karşılaması beklenmektedir. Ülkemizde oluşan son büyük depremlerde görülen büyük miktardaki can ve mal kayıpları, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve üretimi kurallarına dikkat edilmediğini göstermektedir.

Bu çalışmada ülkemizde son yıllarda meydana gelen büyük depremlerin güçlü yer ivme kayıtlarından hareketle elde edilen yapılarda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin, 1998 ve 1975 yıllarında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik hükümlerindeki hesap esaslarına göre bulunacak taban kesme kuvvetlerinin kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak örnek bir betonarme yapıya deprem yönetmelik hükümleri ve ülkemizde son yıllarda oluşan büyük depremlere göre etkiyecek toplam taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

## 2. YAPILAN KABULLER

Bu çalışmada hesapları kolaylaştırıcı aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- 1) Yapı lineer-elastik davranmaktadır.
- 2) Yapının kütleleri kat seviyelerinde toplanmıştır.
- 3) Yapının sönüm çarpanı % 5 alınmıştır.

## 3. YAPILARIN DİNAMİK YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI

Taşıyıcı sistemin tüm yer değiştirmesi seçilen bazı noktaların yer değiştirmesiyle veya belirli fonksiyonların toplamı şeklinde ortaya çıkar. Bu noktaların veya koordinat fonksiyonlarının sayısı sistemin serbestlik derecesi olarak adlandırılır. (Celep vd, 1993).

Doğrusal-elastik dinamik bir sistemin temel bileşenleri olan kütle, rijitlik ve sönümün bir tek fiziksel elemanda toplandığı varsayılan sistemlere tek serbestlik dereceli (TSD) sistemler denir. (Erdik vd., 1980).

Kütle, rijitlik ve sönüm bileşenlerinin birden fazla fiziksel elemanda toplandığı varsayılan sistemlere çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemler denir.

Çok serbestlik dereceli bir sistemin dinamik hesap modeli olarak, kütlelerinin kat seviyelerinde toplandığı varsayımına dayanan ayrık kütleli ya da yayılı kütle kabulüne dayanan sürekli sistem hesap yöntemleri söylenebilir.

Çok serbestlik dereceli bir sistemin dinamik davranışını belirleyen hareket denklem sistemi, tek serbestlik dereceli sistemin hareket denkleminin genelleştirilmiş bir biçimi olarak matris formda aşağıdaki gibi yazılır.

$$[M]_{n \times n} \{\ddot{x}(t)\}_{n \times 1} + [c]_{n \times n} \{\dot{x}(t)\}_{n \times 1} + [K]_{n \times n} \{x(t)\}_{n \times 1} = -[M]_{n \times n} [I]_{n \times 1} \ddot{g}(t)_{1 \times 1} \quad (1)$$

Burada n, sistemin serbestlik derecesini,

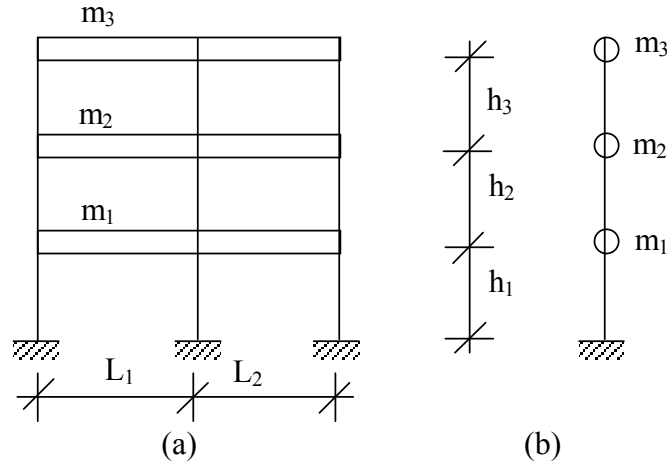
$[M]_{n \times n}$ , kütle matrisini

$[c]_{n \times n}$ , sönüm matrisini

- $[K]_{n \times n}$  , rijitlik matrisini  
 $[I]_{n \times 1}$  , birim vektörü  
 $\{g\}(t)$  , güçlü yer ivmesini  
 $\{x(t)\}$  , yapının yer değiştirme vektörünü  
 $\{\dot{x}(t)\}$  , yapının hız vektörünü  
 $\{\ddot{x}(t)\}$  , yapının ivme vektörünü

göstermektedir.

şekil 1'de çok serbestlik dereceli sistem ve kat hizalarında kütleleri toplanmış matematik hesap modeli görölmektedir.



şekil 1. a) Çok Serbestlik Dereceli Sistem  
 b) Çok Serbestlik Dereceli Sistemin matematik hesap modeli

Ayrık kütleli modelde kütlelerin serbestlik dereceleri doğrultusundaki deplasmanlar  $\{z\}$  genlik vektörüne bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir. (Çatal, 2002)

$$\{x\} = [a] \{z\} \quad (2)$$

Burada  $\{z\}$ , genlik vektörünü

$[a]$ , mod vektörlerinden oluşmuş modal matrisi göstermektedir.

(2) nolu ifadeyi (1) nolu bağıntıda yerine yazarsak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$[M][a]\{\ddot{x}\} + [c][a]\{\dot{x}\} + [K][a]\{z\} = -[M][I]\{g\} \quad (3)$$

(3) nolu bağıntının her iki tarafı (i)inci mod vektörü  $a_i$ 'nin evriği ile çarpılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\{a_i\}^T [M] \{a_i\} \ddot{z}_i + \{a_i\}^T [c] \{a_i\} \dot{z}_i + \{a_i\}^T [K] \{a_i\} z_i = -\{a_i\}^T [M] [I] \{g\} \quad (4)$$

Burada  $[M_r] = \{a_i\}^T [M] \{a_i\}$  değeri genelleştirilmiş kütle matrisini

$[C_r] = \{a_i\}^T [c] \{a_i\}$  değeri genelleştirilmiş sönüm matrisini

$[K_r] = \{a_i\}^T [K] \{a_i\}$  değeri genelleştirilmiş rijitlik matrisini

$\{M_q\} = \{a_i\}^T [M] [I]$  değeri genelleştirilmiş kuvvetler vektörünü göstermektedir.

(4) nolu denklemin her iki tarafı genelleştirilmiş kütleyle bölünür ise aşağıdaki bağıntıya ulaşılır.

$$\{\ddot{x}\}_i + 2\xi\omega_n\{\dot{x}\}_i + \omega_n^2\{x\}_i = -\eta_i\{I\}_i \quad (5)$$

Burada  $\eta_i$ , modal katılım faktörü olup aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\eta_i = \frac{M_{qi}}{M_{ri}} \quad (6)$$

(5) nolu denklemin,  $\eta_i$  terimi hariç tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemine tamamen benzer olduğu görülmektedir. Dinamik özellikleri (i)inci modun dinamik özellikleri ile aynı olan tek serbestlik dereceli bir sistemin çözümünün ( $\eta_i$ ) büyüklüğü ile çarpımı (i)inci mod davranışını vermektedir. En büyük mukabele deplasmanının  $z_i(t)$  normal koordinatların çözümü değeri aşağıdaki gibidir.

$$z_i = \eta_i * S_{di} \quad (7)$$

Burada  $S_{di}$ , spektral deplasman değerini göstermektedir.

Bulunan  $z_i$  genlik değerleri (2) nolu ifadede yerine yazılır ise sistemin topaklanmış kütlelerine etkiyen elastik kuvvetler aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\{F_i\} = k_i \cdot \{x_i\} \quad (8)$$

#### 4. 1975 AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDAKİ YÖNETMELİK

1975 yılı yönetmeliğine göre yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılacak statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı aşağıdaki ifade ile bulunmaktadır.

$$F = C \times W \quad (9)$$

Burada C deprem katsayısıdır ve

$$C = C_0 \times K \times S \times I \quad (10)$$

ifadesi ile saptanır.

Burada  $C_0$ , deprem bölge katsayısını

$K$ , yapı tipi katsayısını

$S$ , yapı dinamik katsayısını göstermektedir.

Yapı dinamik katsayısı (spektrum katsayısı) aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$S = \frac{1}{0.8 + T - T_0} \quad (11)$$

Burada  $T$ , yapının 1. moduna ait doğal periyodu (sn)

$T_0$ , zeminin hakim periyodunu (sn) göstermektedir.

$S$  değeri 1'den büyük ise maksimum 1 alınır. Spektrum katsayısının hesabında kullanılacak bina doğal periyodu aşağıdaki gibi bulunur.

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}} \quad (12)$$

$$\text{ya da } T = (0.07 \sim 0.1)N \quad (13)$$

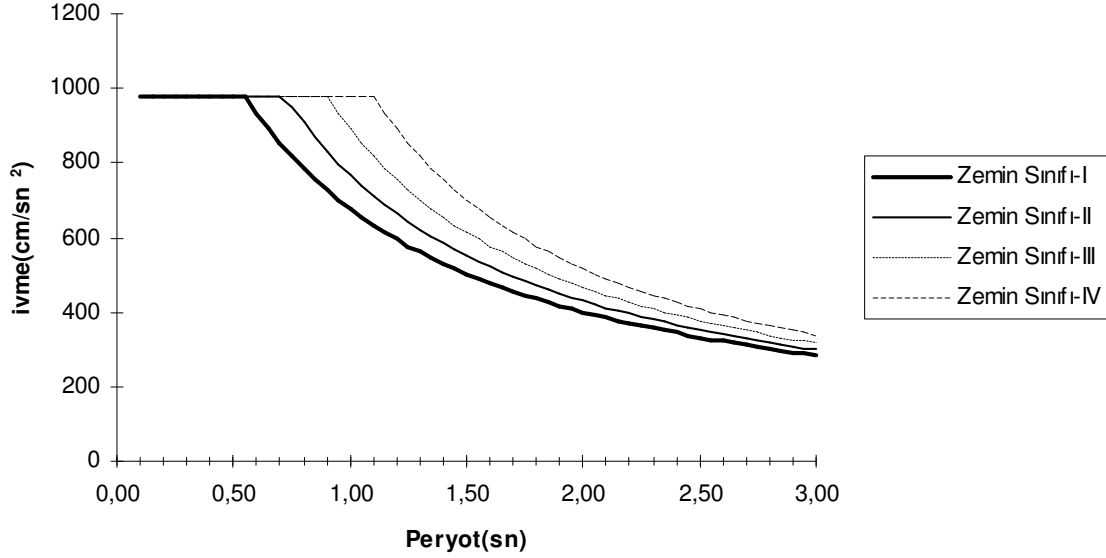
Bu iki denklemden T değerinin elverişsiz olanı alınır. Burada,

H, binanın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği (m)

D, yatay yükler doğrultusuna paralel doğrultudaki bina genişliği (m)

N, bina temel düzeyi üstündeki kat adedidir.

Şekil 2’de 1975 yönetmeliğine ait spektral ivmenin zemin sınıflarına göre grafiği verilmiştir.



Şekil 2. 1975 ABUUHU spektral ivme grafiği

## 5. 1998 AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDAKİ YÖNETMELİK

1997 yılında yayımlanmış olan ABUUHU revize edilerek 1998 yılında son haliyle yürürlüğe girmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre binanın tümüne etkiyen ‘Toplam Eşdeğer Deprem Üküsü (taban kesme kuvveti)’ aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır.

$$V_t = W \times A(T) / R_a(T) \quad (14)$$

Burada  $V_t$ , taban kesme kuvvetini

W, toplam bina ağırlığını

A(T), spektral ivme katsayısını

$R_a(T)$ , deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir.

1998 ABUUHU hükümlerine göre elastik deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak spektral ivme katsayısı A(T) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad (15)$$

Burada  $A_0$ , etkin yer ivmesi katsayısını

I, bina önem katsayısını

S(T), spektrum katsayısını göstermektedir.

(15) nolu bağıntıda yer alan spektrum katsayısı S(T), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T’ye bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

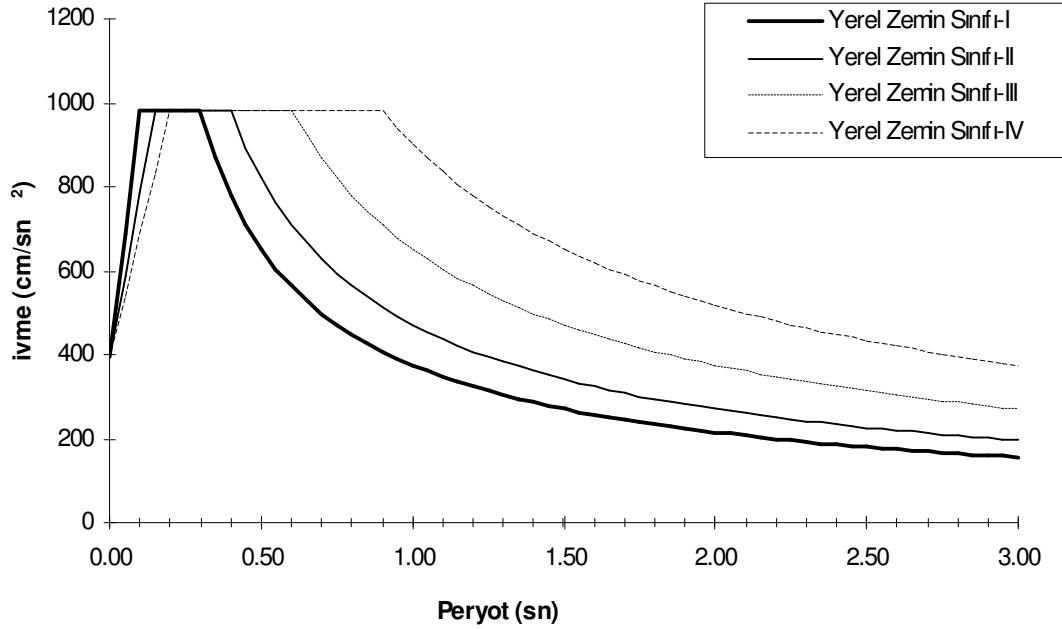
$$S(T) = 1 + 1.5T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (16)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (17)$$

$$S(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (18)$$

Burada  $T_A$  ve  $T_B$ , yerel zemin koşullarına bağlı spektrum karakteristik periyotlarını göstermektedir.

Şekil 3'de 1998 yönetmeliğine ait spektral ivmenin zemin sınıflarına göre grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 1998 ABUUHU spektral ivme grafiği

## 6. SAYISAL UYGULAMA

Şekil 4'de kalıp planı verilen sekiz katlı betonarme bir yapı üzerinde 1992 Erzincan depremi, 1995 Dinar depremi, 1998 Adana-Ceyhan depremi ve 1999 İzmit depremine ait kuzey-güney bileşeni ve doğu-batı bileşeni güçlü yer ivmeleri etkisi altında ve y-y yönünden 1975 ABUUHU ile 1998 ABUUHU hesap esaslarına göre binaya etkiyen toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti) değeri hesaplanmıştır.

### 6.1. Sekiz Katlı Betonarme Bina Özellikleri:

Uapının kullanım amacı : konut

Elastisite modülü :  $2 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$

Döşeme kalınlığı : 12 cm.

Kirişler : 30/60 cm.

Kolonlar : 40/70 cm.

Kat yüksekliği : 2.7 m

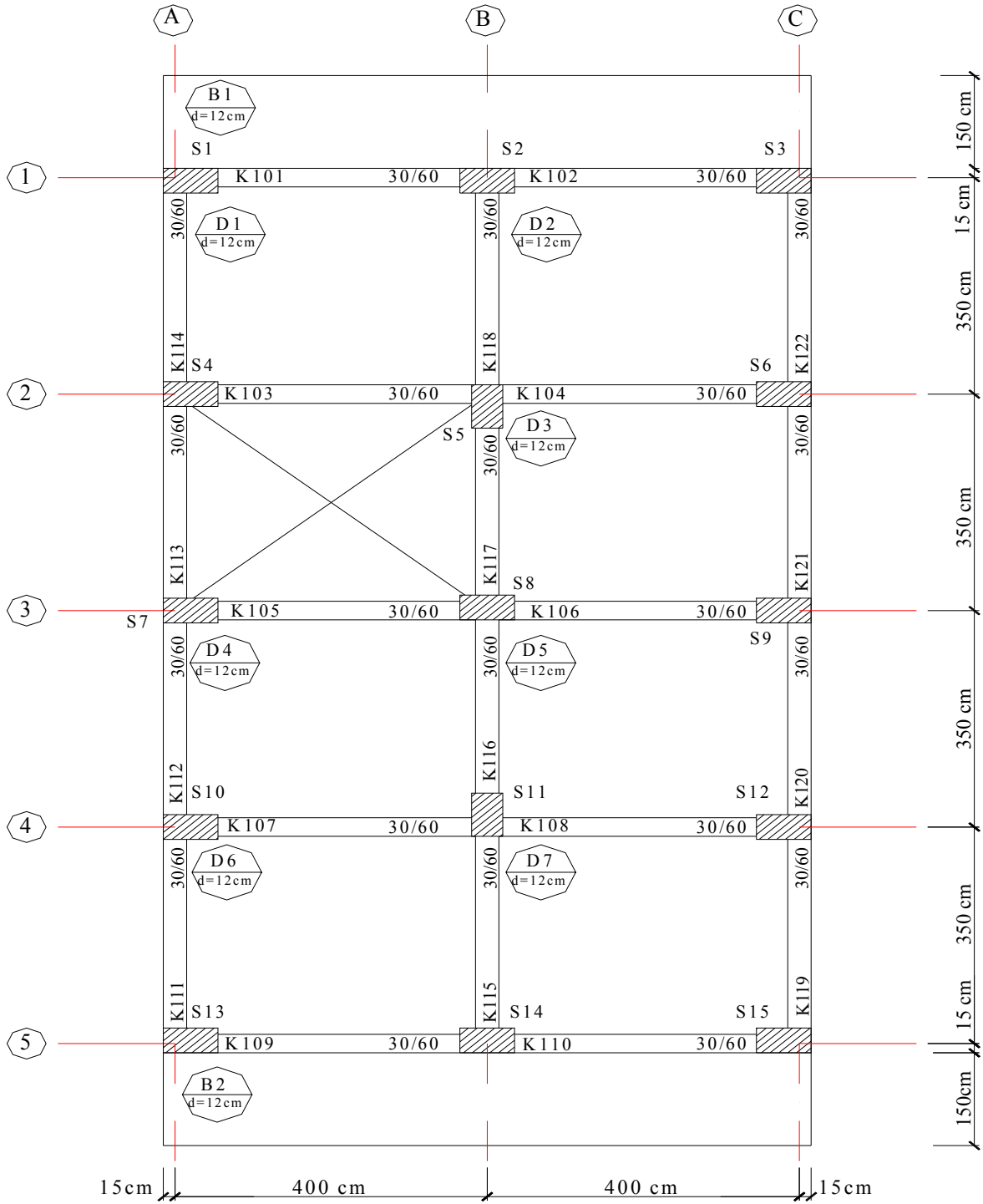
Bina yüksekliği :  $8 \times 2.7 = 21.6 \text{ m}$ .

Kat ağırlıkları :  $W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = W_5 = W_6 = W_7 = 143.188 \text{ ton}$ ,  $W_8 = 69.47 \text{ ton}$

Toplam bina ağırlığı :  $W_{\text{bina}} = 7 \cdot 143.188 + 69.47 = 1071.786 \text{ ton}$

Deprem bölgesi : I

Zemin sınıfı : IV



Şekil 4. Örnek Kalıp Planı

## 6.2. 1975 ABYYHY Hükümlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Hesabı

Uapının I. derece deprem bölgesinde, konut tipi ve yerel zemin sınıfı-IV olduğu kabul edilmiştir. Buna göre yapının maksimum doğal periyodu aşağıdaki gibidir.

$$T = 0.1 \times 8 = 0.80 \text{ sn}$$

$T_0=0$  (zemin hakim periyodu) olmak üzere yapı dinamik spektrum katsayısı aşağıdaki gibidir.

$$S = \frac{1}{0.8 + 0.8 - 0.8} = 1.25 > 1, \quad S_{\max}=1$$

$$C = 0.10 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.10 \quad (\text{deprem katsayısı})$$

Buna göre yapıya etkiyen toplam yatay yük (F) değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$F = C \times W = 0.10 \times 1071.786 = 107.179 \text{ ton}$$

### 6.3. 1998 ABYYHY Hükümlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Hesabı

Uapının I. Derece deprem bölgesinde, konut tipi ve yerel zemin sınıfı Z-IV olduğu kabul edilmiştir. Buna göre yapının maksimum doğal periyodu aşağıdaki gibidir.

$$T = 0.07 \times (21.6)^{3/4} = 0.701 \text{ sn} > T_A = 0.20 \text{ sn}$$

Uapının süneklik düzeyi normal düzeyde alınarak deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T)=4$  alınmıştır. Tasarım ivme spektrumu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A(T) = 0.40 \times 1.0 \times 2.5 = 1$$

Uapıya etkiyen toplam yatay yük ( $V_t$ ) değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$V_t = W \times A(T) / R_a(T) = 1071.786 \times 1 / 4 = 267.947 \text{ ton}$$

### 6.4. Güçlü Yer İvmelerine Göre Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı

1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 İzmit depremlerinin doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularındaki güçlü yer ivmeleri kullanılarak modların süperpozisyonu yöntemi ile yapıya gelen taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

Kat kütlelerinin hesabı:

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m_6 = m_7 = \frac{143.188}{9.81} = 14.596 \text{ ts}^2/\text{m}$$

$$m_8 = \frac{69.47}{9.81} = 7.082 \text{ ts}^2/\text{m}$$

Uapının döşemelerinin rijit diyafram davranışı gösterdiği kabul edilmiş ve katların yatay rijitlik değerleri aşağıda sunulmuştur.

$$40/70 \text{ kolonlar} \quad I_1 = (0.4 * 0.7^3) / 12 = 0.0114 \text{ m}^4$$

$$70/40 \text{ kolonlar} \quad I_2 = (0.7 * 0.4^3) / 12 = 3.73 * 10^{-3} \text{ m}^4$$

Her kattaki toplam atalet momenti  $\Sigma I = 2 * I_1 + 13 * I_2 = 0.07129 \text{ m}^4$

Katların yatay rijitliği:

$$k_i = \frac{12EI}{h^3} = \frac{12 * 2 * 10^6 * 0.07129}{2.7^3} = 86925.77 \text{ t/m}$$



Ayrık olarak modellenen yapının kütle matrisi aşağıda sunulmuştur.

$$[M] = \begin{bmatrix} 14.596 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 14.596 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 14.596 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 14.596 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 14.596 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 14.596 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 14.596 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7.082 \end{bmatrix}$$

Uatay rijitlik matrisi

$$[K] = \begin{bmatrix} 173851.54 & -86925.77 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -86925.77 & 173851.54 & -86925.77 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -86925.77 & 173851.54 & -86925.77 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -86925.77 & 173851.54 & -86925.77 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -86925.77 & 173851.54 & -86925.77 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -86925.77 & 173851.54 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -86925.77 & 173851.54 & -86925.77 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -86925.77 & 86925.77 \end{bmatrix}$$

[M] kütle ve [K] yatay rijitlik matrislerinden elde edilen dinamik matrisin öz değer ve öz vektörleri MATLAB ver.4.0 paket programı ile hesaplanmış ve aşağıda sunulmuştur.

Özdeğerler:  $\lambda$

$$\langle \lambda \rangle^T = 10^{-3} \times \langle 4.3532 \ 0.49633 \ 0.18821 \ 0.10392 \ 0.06999 \ 0.05377 \ 0.04567 \ 0.04221 \rangle$$

Açısal Frekanslar:  $(\omega_i) = 1/\sqrt{\lambda}$  (rad/sn)

$$\langle \omega \rangle^T = \langle 15.156 \ 44.886 \ 72.892 \ 98.096 \ 119.531 \ 136.371 \ 147.972 \ 153.914 \rangle$$

Periyotlar:  $T=2\pi/\omega$  (sn)

$$\langle T \rangle^T = \langle 0.415 \ 0.140 \ 0.086 \ 0.064 \ 0.053 \ 0.046 \ 0.042 \ 0.041 \rangle$$

Modlar:

$$\langle a_1 \rangle^T = \langle 1.00 \ 1.9614 \ 2.8472 \ 3.6232 \ 4.2594 \ 4.7313 \ 5.0206 \ 5.1164 \rangle$$

$$\langle a_2 \rangle^T = \langle 1.00 \ 1.6617 \ 1.7612 \ 1.2629 \ 0.3407 \ -0.6989 \ -1.5019 \ -1.7969 \rangle$$

$$\langle a_3 \rangle^T = \langle 1.00 \ 1.1078 \ 0.2273 \ -0.8560 \ -1.1757 \ -0.4464 \ 0.6811 \ 1.2010 \rangle$$

$$\langle a_4 \rangle^T = \langle 1.00 \ 0.3842 \ -0.8524 \ -0.7117 \ 0.5789 \ 0.9341 \ -0.2201 \ -1.1087 \rangle$$

$$\langle a_5 \rangle^T = \langle 1.00 \ -0.3990 \ -0.8407 \ 0.7346 \ 0.5476 \ -0.9531 \ -0.1673 \ 1.1098 \rangle$$

$$\langle a_6 \rangle^T = \langle 1.00 \ -1.1227 \ 0.2605 \ 0.8303 \ -1.1934 \ 0.5087 \ 0.6215 \ -1.2065 \rangle$$

$$\langle a_7 \rangle^T = \langle 1.00 \ -1.6706 \ 1.8111 \ -1.3599 \ 0.4689 \ 0.5737 \ -1.4307 \ 1.8251 \rangle$$

$$\langle a_8 \rangle^T = \langle 1.00 \ -1.9778 \ 2.9116 \ -3.7807 \ 4.5658 \ -5.2494 \ 5.8163 \ -6.2540 \rangle$$

Genelleştirilmiş kütle matrisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$[M_r] = \begin{bmatrix} 1525.5264 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 188.1442 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 84.0277 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 60.4322 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 60.5233 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 84.5576 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 191.9731 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1881.3118 \end{bmatrix}$$

Genelleştirilmiş rijitlik matrisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$[K_r] = 10^3 \times \begin{bmatrix} 350434 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 379072 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 446456 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 581526 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 864725 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1572529 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4203436 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 44567217 \end{bmatrix}$$

Genelleştirilmiş kuvvetler vektörü aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\{M_q\} = \begin{Bmatrix} 378.4099 \\ 43.1432 \\ 16.3603 \\ 9.0331 \\ 6.0843 \\ 4.6635 \\ 3.9699 \\ 3.6701 \end{Bmatrix}$$

Modal katılım faktörü (6) nolu denklem kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\{\eta_i\} = \begin{Bmatrix} 0.2481 \\ 0.2293 \\ 0.1947 \\ 0.1495 \\ 0.1005 \\ 0.0552 \\ 0.0207 \\ 0.0020 \end{Bmatrix}$$

Sistemin titreşim hareketine ait ayrık hareket denklemleri (5) nolu bağıntı kullanılarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 + 1.5156x_1 + 229.704z_1 &= -0.2481\ddot{x}_g(t) \\ \ddot{x}_2 + 4.4886x_2 + 2014.753z_2 &= -0.22293\ddot{x}_g(t) \\ \ddot{x}_3 + 7.2892x_3 + 5313.244z_3 &= -0.1947\ddot{x}_g(t) \\ \ddot{x}_4 + 9.8096x_4 + 9622.825z_4 &= -0.1495\ddot{x}_g(t) \\ \ddot{x}_5 + 11.9531x_5 + 14287.660z_5 &= -0.1005\ddot{x}_g(t) \\ \ddot{x}_6 + 13.6371x_6 + 18597.050z_6 &= -0.0552\ddot{x}_g(t) \\ \ddot{x}_7 + 14.7972x_7 + 21895.713z_7 &= -0.0207\ddot{x}_g(t) \\ \ddot{x}_8 + 15.3914x_8 + 23689.519z_8 &= -0.0020\ddot{x}_g(t) \end{aligned}$$

Örnek yapının noktalara göre hesaplanan periyotlarına bağlı olarak deplasman tepki spektrumu değerleri hesaplanmış ve Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Deplasman tepki spektrumları (cm)

Periyot (sn)	Erzincan		Dinar		Adana-Ceyhan		İzmit	
	D-B	K-G	D-B	K-G	D-B	K-G	D-B	K-G
0.415	2.9057	3.1604	3.9453	3.2434	2.6393	2.3529	3.8668	2.5693
0.140	0.367	0.2898	0.2600	0.2607	0.2237	0.1562	0.2052	0.1158
0.086	0.0938	0.083	0.0617	0.0733	0.0602	0.0492	0.0633	0.0529
0.064	0.0515	0.0442	0.0296	0.034	0.0305	0.0243	0.0238	0.0212
0.053	0.0351	0.0295	0.0206	0.0241	0.0196	0.0158	0.0164	0.0138
0.046	0.0259	0.0226	0.016	0.0189	0.0153	0.012	0.0123	0.0098
0.042	0.0219	0.0187	0.0139	0.0163	0.013	0.010	0.010	0.008
0.041	0.0209	0.0177	0.0135	0.0157	0.0126	0.0096	0.0095	0.0076

Katlarda modlara göre oluşan yatay deplasman değerleri (2) numaralı bağıntıya göre her bir depremin kuzey-güney ve doğu-batı bileşeni için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Her kata modlara göre etkiyen elastik kuvvetler (8) numaralı denklem ile hesaplanmış ve tabanda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin değerleri Çizelge 2~9'da sunulmuştur.

Çizelge 2. Erzincan Depremi D-B bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

Erzincan Depremi(D-B)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	24,1702	24,7472	14,1632	10,8140	7,3564	3,8808	1,4488	0,1445
2	47,4084	41,1226	15,6906	4,1547	-2,9356	-4,3570	-2,4291	-0,2859
3	68,8166	43,5856	3,2195	-9,2175	-6,1849	1,0109	2,6239	0,4208
4	87,5731	31,3026	-12,1239	-7,6962	5,4038	3,2221	-1,9702	-0,5464
5	102,9505	8,4302	-16,6511	6,2606	4,0285	-4,6313	0,6793	0,6599
6	114,3556	-17,2949	-6,3228	10,1016	-7,0113	1,9742	0,8311	-0,7587
7	121,3499	-37,1689	9,6465	-2,3797	-1,2306	2,4120	-2,0728	0,8406
8	60,0027	-21,5761	8,2531	-5,3450	3,6402	-2,2717	1,2830	-0,4386
V(t)	626,6271	73,1483	15,8752	6,6925	3,0665	1,2399	0,3941	0,0363

Çizelge 3. Erzincan Depremi K-G bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

Erzincan Depremi(K-G)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	26,2889	19,5415	12,5325	9,2811	6,1828	3,3863	1,2371	0,1224
2	51,5640	32,4723	13,8840	3,5658	-2,4672	-3,8018	-2,0741	-0,2421
3	74,8487	34,4172	2,8488	-7,9110	-5,1981	0,8821	2,2405	0,3564
4	95,2493	24,7180	-10,7279	-6,6053	4,5417	2,8116	-1,6823	-0,4628
5	111,9747	6,6569	-14,7339	5,3732	3,3858	-4,0412	0,5801	0,5589
6	124,3795	-13,6568	-5,5948	8,6697	-5,8927	1,7226	0,7097	-0,6425
7	131,9869	-29,3503	8,5358	-2,0424	-1,0343	2,1046	-1,7700	0,7119
8	65,2623	-17,0375	7,3028	-4,5873	3,0594	-1,9823	1,0955	-0,3714
V(t)	681,5543	57,7613	14,0474	5,7439	2,5773	1,0820	0,3365	0,0308

Çizelge 4. Dinar Depremi D-B bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

Dinar Depremi(D-B)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	32,8178	17,5321	9,3163	6,2154	4,3175	2,3974	0,9196	0,0934
2	64,3701	29,1332	10,3210	2,3880	-1,7229	-2,6916	-1,5417	-0,1846
3	93,4378	30,8781	2,1178	-5,2978	-3,6299	0,6245	1,6654	0,2718
4	118,9049	22,1762	-7,9749	-4,4234	3,1715	1,9905	-1,2505	-0,3530
5	139,7841	5,9724	-10,9528	3,5983	2,3643	-2,8610	0,4312	0,4263
6	155,2698	-12,2525	-4,1590	5,8059	-4,1149	1,2196	0,5275	-0,4901
7	164,7665	-26,3322	6,3453	-1,3677	-0,7222	1,4900	-1,3156	0,5430
8	81,4705	-15,2855	5,4287	-3,0721	2,1364	-1,4034	0,8143	-0,2833
V(t)	850,8215	51,8217	10,4424	3,8466	1,7997	0,7660	0,2501	0,0235

Çizelge 5. Dinar Depremi K-G bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

Dinar Depremi(K-G)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	26,9793	17,5793	11,0679	7,1393	5,0510	2,8319	1,0783	0,1086
2	52,9182	29,2116	12,2614	2,7429	-2,0156	-3,1794	-1,8079	-0,2147
3	76,8145	30,9612	2,5159	-6,0854	-4,2466	0,7377	1,9529	0,3161
4	97,7508	22,2360	-9,4742	-5,0810	3,7103	2,3513	-1,4664	-0,4105
5	114,9154	5,9884	-13,0120	4,1332	2,7660	-3,3796	0,5056	0,4957
6	127,6460	-12,2855	-4,9410	6,6690	-4,8141	1,4406	0,6186	-0,5699
7	135,4532	-26,4031	7,5383	-1,5710	-0,8449	1,7601	-1,5428	0,6315
8	66,9762	-15,3267	6,4494	-3,5287	2,4994	-1,6577	0,9549	-0,3295
V(t)	699,4536	51,9612	12,4057	4,4184	2,1055	0,9048	0,2933	0,0273

Çizelge 6. Adana-Ceyhan Depremi D-B bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

Adana Depremi(D-B)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	21,9542	15,0843	9,0898	6,4044	4,1079	2,2925	0,8600	0,0871
2	43,0619	25,0657	10,0701	2,4606	-1,6392	-2,5738	-1,4419	-0,1723
3	62,5074	26,5670	2,0663	-5,4589	-3,4537	0,5971	1,5575	0,2537
4	79,5442	19,0801	-7,7810	-4,5579	3,0175	1,9034	-1,1695	-0,3294
5	93,5118	5,1385	-10,6865	3,7077	2,2495	-2,7359	0,4033	0,3978
6	103,8713	-10,5419	-4,0579	5,9825	-3,9152	1,1662	0,4934	-0,4574
7	110,2243	-22,6558	6,1911	-1,4093	-0,6872	1,4248	-1,2305	0,5068
8	54,5016	-13,1514	5,2968	-3,1655	2,0327	-1,3420	0,7616	-0,2644
V(t)	569,1768	44,5866	10,1886	3,9635	1,7124	0,7325	0,2339	0,0219

Çizelge 7. Adana-Ceyhan Depremi K-G bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

Adana Depremi(K-G)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	19,5719	10,5327	7,4289	5,1025	3,3114	1,7980	0,6616	0,0664
2	38,3891	17,5023	8,2300	1,9604	-1,3214	-2,0187	-1,1092	-0,1313
3	55,7245	18,5506	1,6887	-4,3492	-2,7841	0,4684	1,1981	0,1933
4	70,9126	13,3228	-6,3592	-3,6314	2,4325	1,4929	-0,8996	-0,2510
5	83,3645	3,5880	-8,7338	2,9540	1,8134	-2,1458	0,3102	0,3031
6	92,5999	-7,3609	-3,3164	4,7664	-3,1561	0,9147	0,3795	-0,3485
7	98,2635	-15,8196	5,0598	-1,1228	-0,5539	1,1175	-0,9465	0,3861
8	48,5874	-9,1831	4,3289	-2,5220	1,6386	-1,0525	0,5858	-0,2015
V(t)	507,4133	31,1329	8,3269	3,1578	1,3804	0,5745	0,1799	0,0167

Çizelge 8. İzmit Depremi D-B bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

İzmit Depremi(D-B)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	32,1648	13,8368	9,5579	4,9975	3,4372	1,8430	0,6616	0,0657
2	63,0894	22,9928	10,5886	1,9200	-1,3716	-2,0691	-1,1092	-0,1299
3	91,5786	24,3699	2,1727	-4,2598	-2,8898	0,4801	1,1981	0,1913
4	116,5391	17,5022	-8,1817	-3,5567	2,5249	1,5302	-0,8996	-0,2484
5	137,0028	4,7136	-11,2368	2,8933	1,8823	-2,1994	0,3102	0,3000
6	152,1803	-9,6701	-4,2669	4,6683	-3,2760	0,9375	0,3795	-0,3449
7	161,4881	-20,7822	6,5099	-1,0997	-0,5750	1,1455	-0,9465	0,3821
8	79,8495	-12,0638	5,5695	-2,4701	1,7008	-1,0788	0,5858	-0,1994
V(t)	833,8926	40,8993	10,7132	3,0928	1,4328	0,5889	0,1799	0,0165

Çizelge 9. İzmit Depremi K-G bileşeni etkisinde, katlara gelen kuvvetler (ton)

İzmit Depremi(K-G)								
Kat	1.mod $F_i$	2.mod $F_i$	3.mod $F_i$	4.mod $F_i$	5.mod $F_i$	6.mod $F_i$	7.mod $F_i$	8.mod $F_i$
1	21,3720	7,8085	7,9876	4,4516	2,8923	1,4684	0,5292	0,0526
2	41,9198	12,9755	8,8490	1,7103	-1,1542	-1,6486	-0,8873	-0,1039
3	60,8495	13,7526	1,8157	-3,7944	-2,4317	0,3825	0,9585	0,1530
4	77,4345	9,8770	-6,8374	-3,1681	2,1246	1,2192	-0,7197	-0,1987
5	91,0317	2,6600	-9,3906	2,5772	1,5839	-1,7524	0,2482	0,2400
6	101,1164	-5,4571	-3,5659	4,1583	-2,7566	0,7470	0,3036	-0,2759
7	107,3010	-11,7280	5,4403	-0,9796	-0,4838	0,9126	-0,7572	0,3057
8	53,0561	-6,8079	4,6545	-2,2003	1,4312	-0,8596	0,4687	-0,1595
V(t)	554,0810	23,0806	8,9532	2,7550	1,2056	0,4691	0,1440	0,0133

Çizelge2~9'da hesap sonucu bulunan modal maksimum taban kesme kuvvetlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak maksimum taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi bulunur.

$$F_{\max} = [V_1(t)^2 + V_2(t)^2 + V_3(t)^2 + V_4(t)^2 + V_5(t)^2 + V_6(t)^2 + V_7(t)^2 + V_8(t)^2]^{0.5} \quad (19)$$

1992 Erzincan depremi, 1995 Dinar depremi, 1998 Adana-Ceyhan depremi ve 1999 İzmit depreminin doğu-batı ve kuzey güney bileşeni etkisinde örnek yapıda oluşacak maksimum taban kesme kuvvetleri (19) nolu bağıntı ile hesaplanmış ve Çizelge10'da gösterilmiştir.

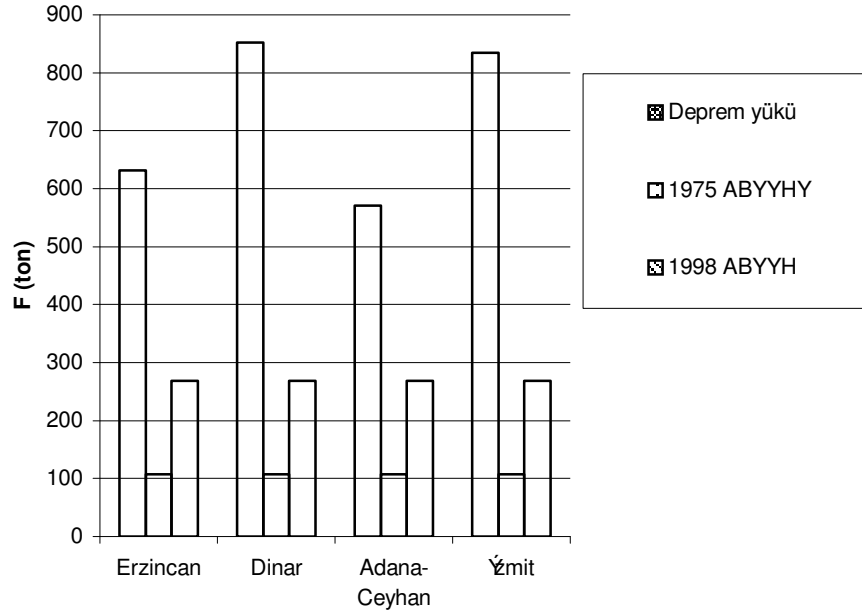
Çizelge 10. Maksimum taban kesme kuvvetleri

$F_{\max}$ Maksimum Taban Kesme Kuvveti (ton)							
Erzincan		Dinar		Adana-Ceyhan		İzmit	
D-B	K-G	D-B	K-G	D-B	K-G	D-B	K-G
631.13	684.17	852.47	701.51	571.03	508.45	834.97	554.64

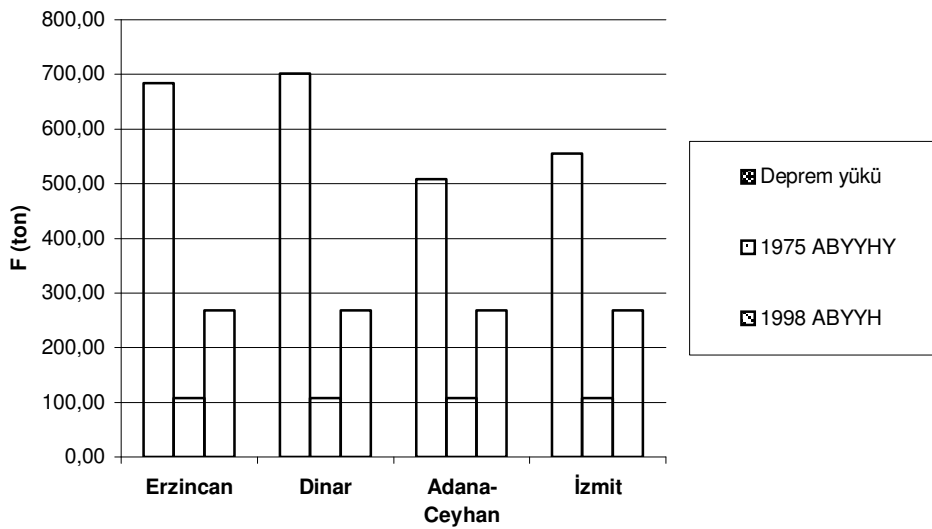
## 7. SONUÇLAR

Ülkemiz yüzölçümünün % 90'ının deprem bölgesi üzerinde olması depreme dayanıklı yapı tasarımının zorunlu bir hale getirmektedir. Özellikle son 10 yılda oluşan ve büyük can ve mal kaybına neden olan depremler projelendirme ve yapım aşamasındaki hataların en az düzeye indirilemediğini göstermektedir.

Sekiz katlı betonarme yapının, 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 İzmit depremlerine göre ve 1975 ABYYHY ve 1998 ABYYH esaslarına göre hesap edilmiş olan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 5. Doğu-Batı yönü taban kesme kuvvetlerinin kıyaslanması



Şekil 6. Kuzey-Güney yönü taban kesme kuvvetlerinin kıyaslanması

1975 ABYYHY hesap esaslarına göre yapıya gelecek deprem yükünün hesabında kullanılan C deprem katsayısı ile 1998 ABYYHY hesap esaslarında deprem yükünün hesabı için kullanılan  $R_a(T)$  deprem yükü azaltma katsayısının etkisi ile taşıyıcı sistemlerin doğrusal elastik bir davranış gösterdiği kabul edilmektedir. Deprem yönetmeliklerinde genellikle oluşma olasılığı az olan büyük deprem kuvvetlerinin, yapının nonlineer davranış göstererek taşınmasını esas almaktadır. Ancak bu durum, yapıların gerek projelendirme gerekse yapım aşamasında sünek davranış göstermesini sağlayacak önlemler ve imalat detayları ile gerçekleştirilebilir. Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi 1998 ABYYHY hükümlerine göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri, güçlü yer ivmeleri dikkate alınarak hesaplanan taban kesme kuvvetlerinden küçük çıkmaktadır. Bu durum yapının sünek davranışına bağlı olan deprem yükü azaltma katsayısının projelendirme aşamasında, yapı davranışına uyan değerler seçilmesini gerekli kılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Celep Z., Kumbasar N. (1993): "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", İstanbul, Sema Matbaacılık, 342 s.
- Chopra A.K. (1995): "Dynamics of Structures", New Jersey, USA: Prentice Hall., 730 p.
- Clough R.W., Penzien J. (1993).: "Dynamics of Structures", Singapour:McGraw-Hill Int., 740 p.
- Çatal H.H. (2002): "Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler", İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:294, 434s.
- Erdik M., Yüzügülü Ö. (1980): "Deprem Mühendisliği Açısından Yapı Dinamiğine Giriş", Ankara, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü.
- Kıvılcım N.Y. (2002): "1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Körfez Depremlerinin Mukabele Spektrumları Yönünden Kıyaslanması", İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95 s.
- Newmark N.M. (1959): "A Method of Computation for Structural Dynamics", Journal of The Engineering Mechanics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, p.67-94.
- Ohsaki Y. (1991): "Deprem Dalgasının Spektral Analizine Giriş", (Çev: İpek, M.). İstanbul. (Orijinal Baskı 1976), 332 s.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1975): "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Ankara.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1998): "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Ankara.



**SEMBOLLER LİSTESİ**

Semboller bölümlerdeki kullanım sırası ile aşağıda belirtilmiştir.

*Bölüm-3:*

- $m_i$ , kat kütleleri
- $h_i$ , kat yüksekliği
- $n$ , sistemin serbestlik derecesi,
- $[M]_{n \times n}$ , kütle matrisi
- $[c]_{n \times n}$ , sönüm matrisi
- $[K]_{n \times n}$ , rijitlik matrisi
- $[I]_{n \times 1}$ , birim vektör
- $\ddot{x}_g(t)$ , güçlü yer ivmesi
- $\{x(t)\}$ , yapının yer değiştirme vektörü
- $\{\dot{x}(t)\}$ , yapının hız vektörü
- $\{\ddot{x}(t)\}$ , yapının ivme vektörü
- $\{z\}$ , genlik vektörü
- $[a]$ , mod vektörleri
- $[M_r] = \{a\}_i^T [M] \{a\}_i$  değerine genelleştirilmiş kütle matrisi
- $[C_r] = \{a\}_i^T [c] \{a\}_i$  değerine genelleştirilmiş sönüm matrisi
- $[K_r] = \{a\}_i^T [K] \{a\}_i$  değerine genelleştirilmiş rijitlik matrisi
- $\{M_q\} = \{a\}_i^T [M] [I]$  değerine genelleştirilmiş kuvvetler vektörü
- $\eta_i$ , modal katılım faktörü
- $S_{di}$ , spektral deplasman değeri
- $z_i$ , genlik değerleri

*Bölüm-4:*

- $F$ , statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı
- $C$ , deprem katsayısı
- $C_0$ , deprem bölge katsayısı
- $K$ , yapı tipi katsayısı
- $S$ , yapı dinamik katsayısı
- $T$ , yapının 1. moduna ait doğal periyodu(sn)
- $T_0$ , zeminin hakim periyodu (sn)
- $H$ , binanın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği(m)
- $D$ , yatay yükler doğrultusuna paralel doğrultudaki bina genişliği(m)
- $N$ , bina temel düzeyi üstündeki kat adedi

*Bölüm-5:*

- $V_t$ , taban kesme kuvveti
- $W$ , toplam bina ağırlığı
- $A(T)$ , spektral ivme katsayısı
- $R_a(T)$ , deprem yükü azaltma katsayısı
- $A_0$ , etkin yer ivmesi katsayısı
- $I$ , bina önem katsayısı
- $S(T)$ , spektrum katsayısı
- $T_A$  ve  $T_B$ , yerel zemin koşullarına bağlı spektrum karakteristik periyotları