

BETONARME BİNALARIN ÇOK YÖNLÜ DEPREM ETKİSİNDE DAVRANIŞI VE YÖNETMELİK İLKELERİ

BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS SUBJECTED TO MULTI-DIRECTIONAL EARTHQUAKES AND RELATED CODES

Feridun Çılı¹, Oğuz Cem Çelik², Haluk Sesigür²

SUMMARY

Reinforced concrete (RC) buildings are investigated under the effect of multi-directional earthquake excitations. Although, behaviour of RC buildings during earthquakes is generally analysed in two orthogonal directions separately, as well known, an unfavorable internal force distribution in the structural elements may exist due to the random characteristics of the motion. Therefore, greater column moments caused by the simultaneous yielding of beams can be expected when the building is subjected to a skew earthquake loading. On the other hand, if any column is elastic under uniaxial bending moment and axial force, it may be inelastic in the case of biaxial bending moment and axial force. Recent earthquakes have again shown that this effect should be taken into consideration during the structural analysis.

There are several methods of analysis to investigate the multi-directional effects of the earthquake excitation. This study proposes that the problem can be reduced to the evaluation of intensity of the velocity spectrum curves for an earthquake. Thus, velocity response spectra are obtained for well known five earthquakes (The 1992 Erzincan EQ, 1978 Miyagi-Ken Oki EQ, 1966 Parkfield EQ, 1954 Eureka EQ and 1952 Kern Country EQ). Intensity of a velocity spectrum can be stated as follows:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} S_v(\xi, T, t) dT$$

Here, T_1 and T_2 are the periods which can be selected as 0.1~0.5 and 2.5~3.0 seconds depending on the earthquake, ξ is the damping ratio and t is the duration of the earthquake.

¹ Prof. Dr. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, 80191, İstanbul.

² Araş.Gör. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim, 80191, İstanbul.

Since this formula contains both the characteristics of an earthquake and covers a wide range of buildings, it is mostly appropriate to use in comparing the intensities of different earthquakes. Velocity response spectra of the above mentioned earthquakes have been obtained and plotted on diagrams seperately. This process has been carried out for damping ratios of $\xi=0.00$ and 0.20 . For each damping ratio, velocity response spectrum curves have been obtained for two orthogonal and resultant diagonal directions. Finally, some results of the numerical analysis are discussed with the aid of principles given in the existing building codes.

ÖZET

Çok yönlü deprem etkisindeki betonarme binaların davranışı incelenmiştir. Böylesi yapılar genelde birbirine dik iki doğrultuda ayrı ayrı hesaplanmasına karşın, depremin rastgele bir olay olması nedeniyle, bileşke bir doğrultuda taşıyıcı yapı elemanlarında daha elverişsiz bir iç kuvvet dağılımının ortaya çıkabileceği açıktır. Böylece, bileşke doğrultudaki bir deprem etkisinde ayrı ayrı incelemeye göre elde edilen eğilme momentlerinden daha büyük değerler elde edilebilir. Diğer taraftan, tek yönlü eğilme momenti ve eksenel kuvvet etkisindeki bir kolon lineer elastik davranmasına karşın, iç kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olarak, iki eksenli eğilme ve normal kuvvet etkisinde elastik olmayan bir davranış gösterebilir. Son depremler bu etkinin taşıyıcı sistem hesaplarında dikkate alınması gereğini bir kez daha ortaya koymuştur.

Deprem hareketinin çok yönlü etkisini inceleyen birçok yöntem vardır. Bu çalışmada problem, bir depreme ilişkin hız spektrumu eğrisini kullanarak elde edilen spektrum şiddeti değerinin hesabına indirgenmiş, daha sonra bunun yardımıyla depremin diğer dik bileşenin katkı payı hesaplanmıştır. Bu amaçla bilinen beş adet deprem (1992 Erzincan, 1978 Miyagi-Ken Oki, 1966 Parkfield, 1954 Eureka ve 1952 Kern Country depremleri) incelenmiştir. Bu depremlere ilişkin spektrum şiddetleri sönüm oranlarının $\xi=0.00$ ve 0.20 değerleri için, birbirine dik iki doğrultu ve bileşke doğrultu için hesaplanmış ve elde edilen değerler yardımıyla depremin diğer dik bileşenin katkısı elde edilmiştir. Varılan sonuçlar mevcut yönetmeliklerde verilen değerler ile karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

GİRİŞ VE PROBLEMİN TANIMI

Deprem etkisindeki betonarme binaların davranışı, genelde birbirine dik iki yatay doğrultuda ayrı ayrı incelenmektedir. Ancak son zamanlarda oluşan depremlerden elde edilen deneyimler, iki dik doğrultudaki etkilerin ayrı ayrı alınmasının çoğu zaman yeterli olmayacağını, bileşke bir doğrultuda daha elverişsiz durumların ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Diğer taraftan, yer hareketinin rastgele bir etki olduğu da düşünülürse iki ya

da üç doğrultudaki deprem etkilerine karşı binaların davranışının incelenmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Çerçeve türü betonarme binalarda, bu tür etkilerden en çok zorlanan elemanlar köşe kolonlardır. Dolayısıyla, ayrı ayrı iki doğrultuda güvenli bir kolonda, bileşke kesit zorları altında çoğu zaman taşıma gücü aşılabilmektedir.

Konu mevcut literatürde değişik yönleriyle ve farklı yöntemlerle ele alınmış, tasarımda yararlanılabilecek ilkeler geliştirilmiştir. Lineer elastik ve lineer olmayan koşullardaki betonarme bir kolonda, herbir sismik doğrultuya karşı gelen bileşik kesit zorlarının bir elipsoid üzerinde olduğunu, ancak en elverişsiz durumun bu elipsoidi hesaplamadan belirlenebileceğini gösteren bir yöntem önerilmiştir, [5]. Simetrik olmayan betonarme binaların iki yönlü deprem etkisinde lineer olmayan burulmalı davranışı incelenmiştir, [4]. Benzer şekilde çerçeve+tüp sistemlerin iki yönlü deprem etkisinde elastik olmayan davranışı, boyutları belirli bir bina üzerinde sayısal olarak incelenmiş, gerek katların yatay yerdeğiştirmelerin gerekse köşe kolonlardaki eksenel kuvvetlerin değişimi, yatay yükün yatay eksenle yaptığı açığa bağlı olarak eğrilerle verilmiştir, [8]. Diğer taraftan depremin özelliklerini hesaba katan çalışmalar sınırlı kalmıştır.

Bu çalışmada, mevcut depremkayıtları yardımıyla böylesi durumlarda yararlanılabilecek bir yol önerilecektir.

HESAP YÖNTEMİ

Deprem yükleri altında betonarme binaların davranışının yapı, zemin ve deprem özelliklerine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu davranışın incelenmesinde geçmişte olan depremlerin ya da yapay olarak üretilmiş depremlerin kayıtları kullanılmaktadır. Bu bağlamda, depremin en önemli özellikleri olarak belirli periyot aralığındaki yapılarla ilişkin hız spektrumu ile depremin süresi ve şiddeti düşünülebilir. Deprem mühendisliğinde kullanılan deprem şiddeti ölçüleri denildiğinde, ilk olarak yer hareketi ivmesinin mutlak en büyük değeri $|\ddot{x}_g|_{\max}$ alınmaktadır. Ancak, bu tanımlama yapı ile ilgili hiçbir özelliği içermemektedir. Depremin hız spektrum eğrileri değişik periyot ve sönüm oranlarındaki yapıları kapsadığından, deprem etkisindeki binaların elastik davranışını daha iyi yansıttığı söylenebilir. Başka bir deyişle, depremlerin hız spektrumlarındaki tepelerin bulunduğu bölgeye bağlı olarak, depremlerin değişik yapılardaki etkilerini açıklamak olanaklıdır. Belirli bir deprem kaydı için hız spektrumu eğrisinin ordinatları

$$|\dot{x}(t)|_{\max} = S_v = \left| \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos\omega_D(t-\tau) d\tau + \xi\omega x(t) \right|_{\max} \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Diğer taraftan, ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları arasında $S_a \cong \omega S_v \cong \omega^2 S_d$ eşitliğinin olduğu bilinmektedir.

Deprem hız spektrum şiddeti (SI) ise, belirli bir sönüm oranına (ξ) karşı gelen hız spektrum eğrisi altında kalan alandır [3]:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} S_v(\xi, T, t) dT \quad (2)$$

Burada T_1 ve T_2 hız spektrum eğrisinde hesaplarda dikkate alınan tek serbestlik dereceli sistemin periyot aralığıdır. Bu değerler çoğu zaman T_1 için 0.1~0.5 sn ve T_2 için ise 2.5~3.0 sn seçilmektedir. Bu periyot aralıkları normal yükseklikte pekçok yapının pekçok periyodunu ve deprem sırasındaki değişimini dikkate almaktadır. Diğer taraftan spektrum şiddetinin hesabında sönüm oranlarının genellikle $\xi=0.00$ ve 0.20 değerleri kullanılmaktadır [6].

Çok yönlü deprem etkisindeki binaların davranışı, depremin bileşenlerinin özelliklerine doğrudan bağlıdır (Şekil 1.). Tek darbe tipi depremlerde ($L \leq 15$ km, $T_0 \approx 0.20$ sn, episantra yakın, sert zeminli bölgelerde ve ocak derinliği az $H(30$ km), bir doğrultudaki şiddet diğer doğrultuya göre oldukça büyük olduğundan, bu tip depremlerin yapılar etkisi incelenirken tek doğrultudaki bileşeninin gözönüne alınması yeterlidir (Örneğin, 18.03.1957 Port Hucnme Depremi). Oldukça uzun ve çok karışık depremlerde ($L=40$ ~50 km, episantra orta uzaklıkta ve sağlam zeminli bölgelerde, $T_0 \approx 0.05$ ~0.50 ile 2.50~6.00 sn) ise titreşimin şiddeti heriki yönde de birbirine yakın olduğundan, incelemede heriki doğrultudaki bileşen birlikte düşünülmelidir (Örneğin, 18.05.1940 El-Centro Depremi). Benzer şekilde uzun ve belirli hakim periyotlu depremlerin de heriki bileşeninin şiddetleri birbirine yakın olduğundan, bileşke bir doğrultudaki yüklemeye, taşıyıcı sistem elemanlarında daha elverişsiz etkiler oluşturabilmektedir (Örneğin, 06.07.1964 Mexico-City Depremi), [9].

Bu çalışmada çok yönlü deprem etkisi yukarıda tanımlanan spektrum şiddeti kavramından yararlanılarak incelenecektir. Bu amaçla, herhangi bir deprem için her iki doğrultudaki hız spektrum eğrileri ve şiddetleri (SI^x, SI^y) elde edilirken, bileşke bir doğrultuya ilişkin hız spektrum eğrisinin ordinatları, herhangi bir t zamanında

$$\dot{x}_r(t) = \sqrt{|\dot{x}_1(t)|^2 + |\dot{x}_2(t)|^2} \quad (3)$$

bağıntısı ile bulunmuş ve hesaplanan bu değerlerin maksimumu, belirli bir sönüm oranı ve yapı periyodu için bileşke hız spektrumunun ordinatı

$$(S_v)_r = |\dot{x}_r(t)|_{\max} \quad (4)$$

olarak hesaplanmıştır. Bileşke spektrum şiddeti (SI^{xy}) ise benzer şekilde (2) bağıntısı

yardımıyla hesaplanabilmektedir. Çok yönlü deprem etkisi, bu biçimde hesaplanan spektrum şiddetleri kullanılarak gözönüne alınabilir. Böylece, bileşke/en elverişsiz doğrultudaki bir depremin ortaya çıkardığı maksimum iç kuvvetler (E_{xy}), herhangi bir doğrultudaki deprem etkisi sonucu yapıda oluşan iç kuvvetlere (E_x) diğer dik doğrultunun (E_y) katkısı/yüzdesi (λ) eklenerek dikkate alınabilir:

$$E_{xy} = E_x + \lambda_1 E_y \quad (5.a)$$

$$E_{xy} = \lambda_2 E_x + E_y \quad (5.b)$$

Burada belirtilen E_x ve E_y her iki doğrultudaki depremlerden oluşan iç kuvvetleri göstermektedir. Diğer taraftan, uygulamada çoğunlukla depremin iki dik doğrultudaki bileşenlerinden en elverişsiz olanı alındığından, bileşke bir doğrultudaki en büyük kesit tesiri için

$$E_{xy} = E_x + \alpha E_x \quad (5.c)$$

yazılabilir. Burada α , büyük iç kuvvet oluşturan deprem doğrultusunu göstermektedir. Böylece problem α ve λ' ların belirlenmesine indirgenmiştir. E değerleri yerine spektrum şiddetleri alınırsa bu katsayılar elde edilir. Spektrum şiddetleri de deprem, zemin ve yapı özelliklerine bağlı olduğundan λ ve α için tek bir değer vermek olanaklı değildir. Ancak, yine de ortalama bir değer önerebilmek için burada, geçmişte olan beş adet önemli depremin ivme kayıtları kullanılarak, sayısal hesaplar sonucu hız spektrumu eğrileri (Şekil 2.) elde edilmiş; α ve λ değerleri bir tabloda özetlenmiştir (Tablo 1).

YÖNETMELİK İLKELERİ

Deprem kuşağı üstündeki ülkelerin yönetmeliklerine bakıldığında, konuyla ilgili detaylı bilgi görülememektedir. Yurdumuzda halen yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte [1], yatay yüklerin binanın öncelikle birbirine dik iki doğrultuda ayrı ayrı etkidiği varsayılmakta, asal eksenleri hesap yapılan doğrultulara paralel olmayan elemanlarda, farklı bir doğrultu için daha elverişsiz iç kuvvetlerin doğabileceği uyarısı yapılmaktadır. Eurocode No. 8 [7], bileşke deprem etkisini aşağıda verilen iç kuvvet kombinasyonları ile dikkate almaktadır:

$$\begin{aligned} & E_x, \lambda E_y, \mu E_z \\ & \lambda E_x, E_y, \mu E_z \\ & \lambda E_x, \lambda E_y, E_z \end{aligned}$$

Daha detaylı hesapların yapılmadığı durumlarda, bu katsayılar için $\lambda=0.30$ ve $\mu=0.20$ değerleri önerilmektedir. Diğer taraftan, olağan betonarme binalarda E_z ' in etkisinin terkedilebileceği ve taşıyıcı sistemi düzgün olan yapılarda yatay doğrultuda tek bir deprem bileşeninin alınmasının yeterli olabileceği belirtilmektedir.

Tablo 1.

| Deprem | Bileşen | Max. ivme [cm/sn ²] | $\xi=0.00$ | | | | $\xi=0.20$ | | | |
|---------------------------------|---------|------------------------------------|--------------|----------|-------------|-------------|--------------|----------|-------------|-------------|
| | | | SI [cm] | α | λ_1 | λ_2 | SI [cm] | α | λ_1 | λ_2 |
| Kern Country 21.07.1952 | S69E | 175.90 | 139.70 | 0.19 | 0.23 | 0.35 | 56.29 | 0.24 | 0.25 | 0.31 |
| | N21E | 152.70 | 116.74 | | | | 52.21 | | | |
| | Bileşke | 215.10 | 166.89 | | | | 69.73 | | | |
| Eureka 21.12.1954 | N44E | 155.70 | 249.01 | 0.16 | 0.24 | 0.50 | 125.65 | 0.12 | 0.17 | 0.41 |
| | N46W | 197.30 | 164.10 | | | | 89.27 | | | |
| | Bileşke | 213.90 | 289.10 | | | | 140.99 | | | |
| Parkfield 27.06.1966 | N05W | 347.80 | 106.78 | | 0.40 | 0.12 | 70.34 | 0.16 | 0.16 | 0.18 |
| | N85E | 425.70 | 157.34 | 0.08 | | | 69.07 | | | |
| | Bileşke | 427.00 | 170.63 | | | | 81.79 | | | |
| Miyagi-Ken Oki 12.06.1978 | NS | 277.50 | 279.98 | 0.15 | 0.18 | 0.34 | 109.73 | 0.05 | 0.05 | 0.20 |
| | EW | 251.70 | 224.93 | | | | 92.25 | | | |
| | Bileşke | 325.90 | 320.73 | | | | 115.22 | | | |
| Erzincan 13.03.1992 | NS | 389.60 | 564.95 | 0.15 | 0.18 | 0.33 | 262.62 | 0.18 | 0.21 | 0.36 |
| | EW | 491.90 | 460.57 | | | | 213.32 | | | |
| | Bileşke | 492.20 | 652.27 | | | | 309.53 | | | |

Buna benzer şekilde, ATC-78' de [2], böylesi durumlarda aşağıdaki iç kuvvet kombinezonları önerilmektedir:

Düşey Yükler $\pm \%100$ x doğrultusu $\pm \%30$ y doğrultusu

Düşey Yükler $\pm \%30$ x doğrultusu $\pm \%100$ y doğrultusu

Çok yönlü deprem etkisinin kirişlerde, döşemelerde ve diğer yatay elemanlarda önemsiz olduğu, buna karşılık kolon ve diğer düşey taşıyıcı sistem elemanlarında önemli olduğu vurgulanmaktadır.

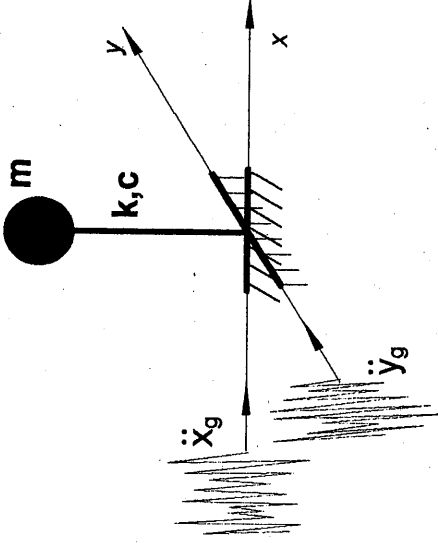
SONUÇ VE ÖNERİLER

Betonarme binaların çok yönlü deprem etkisinde davranışı incelenmiştir. Bu inceleme, tanımlanan hız spektrumu şiddeti (SI) yardımıyla yapılmıştır. Bilinen beş adet depreme ilişkin hız spektrum eğrileri ve şiddetleri ayrı ayrı iki dik ve bileşke doğrultularda, sönüm oranlarının $\xi=0.00$ ve $\xi=0.20$ değerleri için elde edilmiştir. Üç yatay doğrultuda

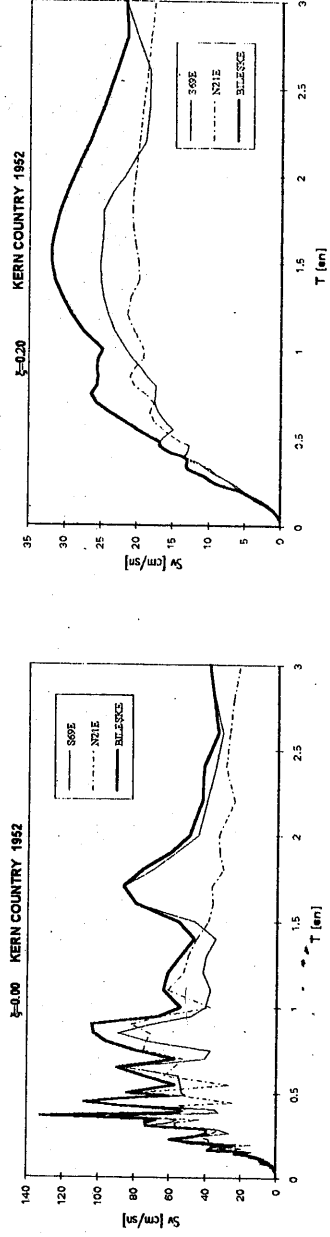
hesaplanan spektrum şiddetleri yardımıyla, yukarıda tanımlanan α , λ_1 ve λ_2 katsayıları belirlenmiştir. Bu katsayıların herbir deprem, doğrultu ve sönüm oranı için farklı olduğu görülmüştür. Sayısal sonuçlar birlikte düşünüldüğünde, bu katsayılar sönüm oranının $\xi=0.00$ değeri için $\alpha=0.08\sim 0.19$, $\lambda_1=0.18\sim 0.40$ ve $\lambda_2=0.12\sim 0.50$, $\xi=0.20$ için ise $\alpha=0.05\sim 0.24$, $\lambda_1=0.05\sim 0.25$ ve $\lambda_2=0.18\sim 0.41$ arasında değişmektedir. Uygulamada çoğu zaman her iki doğrultuda da aynı deprem bileşeni ile hesap yapıldığından, bu katsayılardan α daha sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapılan hesaplar sonucu α katsayısı için $0.20\sim 0.25$ değerinin yeterli olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

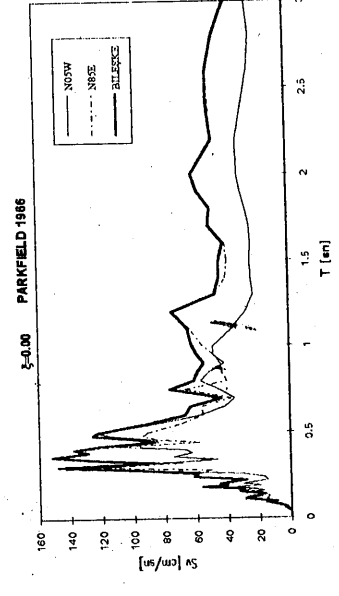
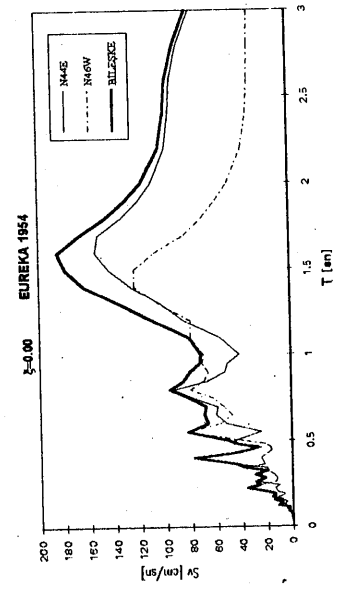
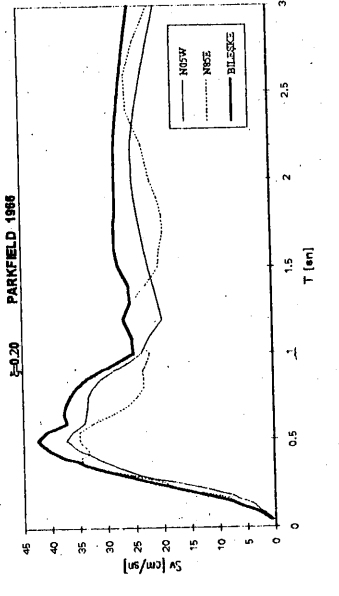
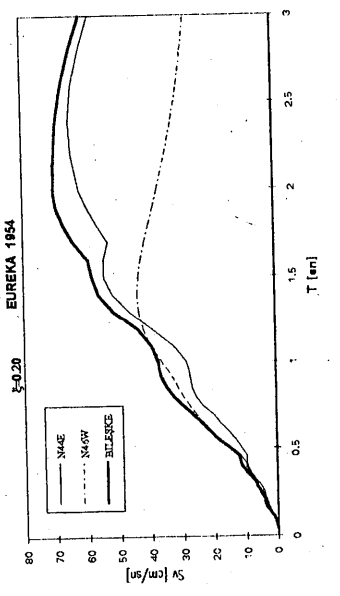
1. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (1975).
2. ATC-78, (1978), Binalarda Sismik Kuralların Geliştirilmesi İçin Öneriler, (İngilizce).
3. Celep, Z., Kumbasar, N. (1993), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Deprem Dayanıklı Yapı Tasarımı , Sema Matbaacılık, İstanbul.
4. Costa, A.C. (1990) " Betonarme Binaların İki Yönlü Sismik Etkiler Altında Lineer Olmayan Burulmalı Tasarımı " , Proceedings of the Ninth European Conference on Earthquake Engineering , Vol. 8, pp. 246-254, Moscow, (İngilizce).
5. Çakıroğlu, A. (1987) " Bileşik İç Kuvvetler Altında En Elverişsiz Sismik Doğrultuya Göre Deprem Dayanıklı Tasarım " , Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 15, pp. 853-864, (İngilizce).
6. Çılı, F. (1976) , Yüksek Olmayan Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Elastik Olmayan Davranışı , Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
7. Eurocode No. 8, (1988), Sismik Bölgelerdeki Yapıların Tasarımı, Commission of the European Communities, (İngilizce).
8. Halabieh, A.B., Tso, W.K. (1990) "İki Yönlü Yer Hareketi Etkisindeki Çerçeve Tüp Sistemlerin Elastik Olmayan Davranışı" , Tall Buildings : 2000 and Beyond, Fourth World Congress, November 5-9, pp. 629-644, Hong Kong, (İngilizce).
9. Newmark, N.M., Rosenbluth, E. (1971), Deprem Mühendisliğinin Esasları, Prentice-Hall, Inc., N.J., (İngilizce).



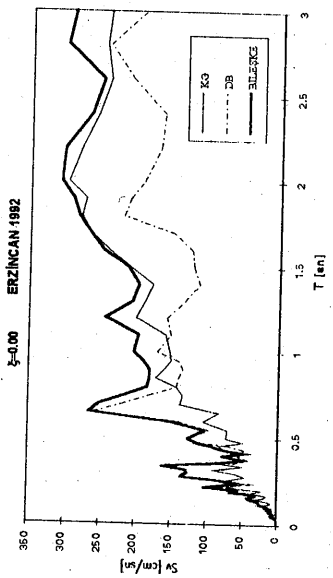
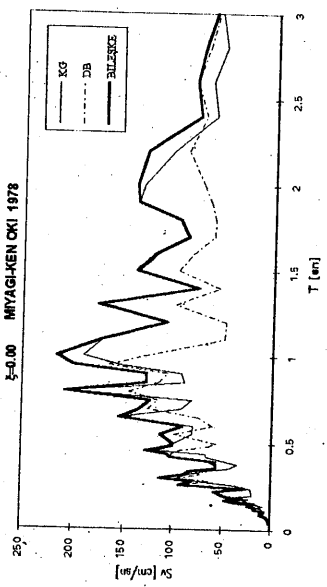
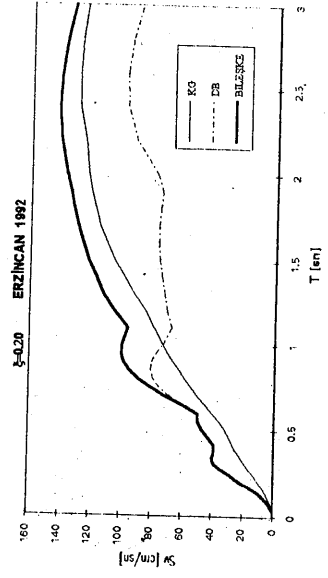
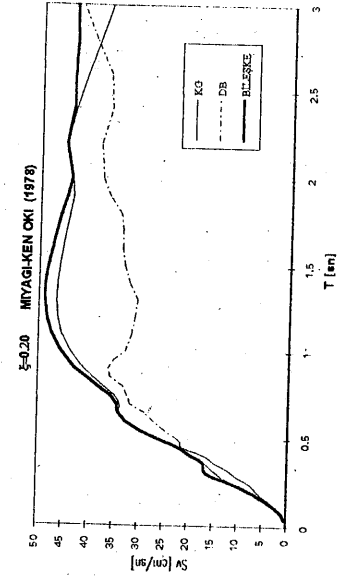
Şekil 1. İki yönlü deprem etkisindeki tek serbestlik dereceli sistem.



Şekil 2. Seçilen depremlere ilişkin hız spektrumları.



Şekil 2. (devam)



Şekil 2. (devam)