

**T.M.M.O.B.
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ**

ÇOK KATLI YAPILAR SEMPOZYUMU

(21-22-23 Eylül 1989)

**Prof. Dr. Mustafa ERDİK
YÜKSEK YAPILARIN DEPREM
TASARIMINDA YAPI-ZEMİN
ETKİLEŞİMİ İLE İLGİLİ ESASLAR**

YÜKSEK YAPILARIN DEPREM TASARIMINDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ İLE İLGİLİ ESASLAR

Prof.Dr.Mustafa Erdik
Boğaziçi Üniversitesi,
Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

ÖZET

Konvansiyonel deprem hesaplarında yapıların rijit (ankastre) bir temele oturdukları varsayılır. Temelde göz önüne alınacak esneklik, rijit temel varsayımına kıyasla: (1) yapı modal periyotlarını arttıracak, (2) zemine titreşim enerjisinin kaçışını sağlayarak etkin sönüm oranını arttıracak ve (3) yapı temelinde yanıl deplasman ve devrilme dönmeleri yaratacaktır. Bunlardan ilk iki faktör yapıya gelecek deprem yüklerini azaltan, birinci ve üçüncü faktörler ise yapı deplasmanlarını arttıran tesir icra edeceklerdir. Yapılan deneyler (Erdik ve diğlerleri, 1982) esnek zemine oturan rijit yapılarda, rijit zemine oturanlara kıyasla, birinci mod periyotlarının %70'e, etkin sönüm oranlarının 5 katına ve yapı yanıl deplasmanlarının 9 katına kadar varabilen oranlarda arttığını göstermiştir. Bu tip yapılarda temeldeki deplasman ve dönmeler yapı davranışını kontrol etmekte ve yapının deprem hasarı görme kriterlerinin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. 1985 Meksika depreminden sonra yapılan gözlem ve incelemeler bu bulguları doğrulamaktadır. Yüksek yapıların deprem davranışlarının gerçekçi olarak belirlenmesi açısından yapı-zemin etkileşimi tahkikleri önem arz etmektedir. Özellikle yumuşak zeminlere (Kayma Dalgası Yayılma Hızı $\leq 300\text{m/s}$) oturan yüksek (yüksekliği en küçük plan boyutunun 2 katından daha fazla) ve oldukça rijit (perde duvarlı veya ağır panel prefabrike) yapılarda yapı-zemin etkileşiminin özel bir etüdle incelenmesi gerekli olmaktadır. Makalede bu tip bir etüdü gerçekleştirmeye yönelik bir şartname önerisi yer almaktadır.

YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

Yapı temeldinde göz önüne alınacak esneklik, yapı ve temel zeminindeki hareketlerin ve deprem davranışının birbiri ile bağlantılı olarak meydana gelmesini (etkileşimini) temin edecektir. Bu tip esnek zemin-yapı sistemlerinde, rijit temel varsayımına kıyasla: (1) yapı modal titreşim periyotları artacak, (2) zemine titreşim enerjisinin bir kısmı geri kaçacağı için sistemdeki etkin sönüm oranını artacak ve (3) yapı temelinde yanıl deplasman ve devrilme dönmeleri meydana gelecektir. Bunlardan ilk iki faktör yapıya gelecek deprem yüklerini (spektrum şekline bağılı olarak) azaltan, birinci ve üçüncü faktörler ise yapı deplasmanlarını arttıran tesir icra edeceklerdir

Yapı zemin etkileşimi analizleri bugün için bilimsel makaleler düzeyinden çıkarak çeşitli kitaplara konu olmuş (örneğin Wolf, 1985) ve bu analizlerle ilgili olarak bir çok bilgisayar programı yazılmış (örneğin Lysmer et al., 1974) bulunmaktadır. Burada amacımız konunun temel öğelerini belirtmekle kısıtlı olacaktır.

Homojen bir zemin üzerine oturan bina tipi bir yapıda yapı-zemin etkileşimini kontrol eden ana parametreler aşağıdaki şekilde belirlenebilir (Erdik, et al., 1988):

Boyutsuz Yapı Frekans Oranı: $A_1 = \Omega_1 R / V_s$

Ω_1 = Rijit temelli yapı birinci mod titreşim frekansı

R = Temel eşdeğer yarıçapı

V_s = Zeminde kayma dalgası yayılma hızı

Kütle Oranı: M_b / M

M_b = Temel Kütlesi

M = Üst yapı kütlesi

Yükseklik Oranı: H / R

H = Yapı yüksekliği

R = Temel eşdeğer yarıçapı

Temel Derinliği Oranı: E / R

E = Temel Derinliği

R = Temel eşdeğer yarıçapı

Yoğunluk Oranı: σ / δ (Tipik değerler 0.15-0.20)

σ = Yapı global yoğunluğu

δ = Zemin yoğunluğu

Yapı-zemin sisteminin davranışı bu parametrelere bağlı olarak ve genel sonuçlara ulaşmayı oldukça zorlaştıracak şekilde karmaşık bir biçimde değişmektedir. Örnek olarak Şekil 1, 2 ve 3'de sırasıyla yapı genelleştirilmiş birinci mod deplasmanı (u_1), temel bağıl yanıl deplasmanı (x_b) ve temel doğrusallaştırılmış bağıl dönme deplasmanı ($R\phi_b$) ile serbest zemin yüzeyi deprem deplasmanı (x_g) arasındaki transfer fonksiyonunun genlikleri sunulmuştur. Transfer fonksiyonlarının yatay eksenleri boyutsuz frekans oranıdır.

$$A_1 = \Omega_1 R / V_s \quad (1)$$

Bu örnek transfer fonksiyonları için $h/R = 2$, yapı ve zemin sönüm oranı = 0.05, zemin Poisson Oranı = 0.45 ve $\sigma/\delta = 0.15$ alınmıştır. Bu kabuller ve parametrik çözümlerde kullanılan A_1 , m_b/m ve E/R değerleri homojen zeminlere oturan yaklaşık olarak 10-15 katlı bina tipi yapılara tekabül etmektedir.

Yapı-zemin etkileşimi genellikle bina tipi yapıların sadece birinci mod periyot, şekil ve etkin sönüm oranlarını değiştirmektedir. Bu durum yapı-zemin etkileşiminin en büyük sebebi olan toplam temel kesme kuvveti ve devirme momentlerinin birinci mod tarafından kontrol edilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapının birinci mod frekansının zemin etkileşimi göz önüne alınarak nasıl hesaplanacağına ait teoriler (örneğin Erdik, 1987; Veletsos et al., 1988) burada kapsamayacaktır. Deprem heasbında yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alınmasını öngören ATC-3 (1978) ve Meksika (1987) şartnamelerinde birinci mod periyodu T'_1 aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır:

$$T'_1 = (T_1^2 + T_x^2 + T_r^2)^{1/2} \quad (2)$$

Burada T_1 rijit temel kabulü ile hesaplanan yapı birinci mod periyodudur. T_x ve T_r ise esnek zemine oturan rijit yapının yanıl ve dönme titreşimlerinin periyotlarıdır.

$$T_x = 2\pi (M/K_x)^{1/2} \quad (3)$$

$$T_r = 2\pi (J/K_r)^{1/2} \quad (4)$$

Bu denklemlerde M yapı-temel sisteminin toplam kütlesini, J aynı sistemin temelden geçen bir dönme eksenini etrafındaki atalet momentini, K_x temel yanıl rijitlik katsayısını ve K_r ise temel dönme rijitliği katsayısını göstermektedir. Meksika (1987) ve ATC-3 (1978) şartnamelerinde bu rijitliklerin münferit, radye ve kazıklı temeller için nasıl hesaplanacağı ayrıntılı olarak sunulmuştur. Genelde, bu katsayılar:

$$K_x = (11-16) G R \quad \text{ve} \quad K_r = (7-11) G R^2 \quad (5)$$

ifadeleri ile verilebilir. Burada G zemindeki ortalama kayma rijitliği katsayısı ve R temel eşdeğer yarıçapı olmaktadır. Toplam yüksekliği (H), temel plan boyutu (a)'nın iki katını geçen ($H/a \geq 2$) prizmatik binalar için:

$$T_x \approx 0 \quad \text{ve} \quad T_r \approx 1.3 V_x/H [(H/a)/(1+4H/a)]^{1/2} \quad (6)$$

alınabilir (Erdik, 1987). Burada V_x zemindeki ortalama kayma dalgası yayılma hızını göstermektedir.

ATC-3 (1978) şartnamesinde yapı-zemin etkileşiminden kaynaklanan birinci mod eşdeğer sönüm oranı (β') ayrıntılı olarak incelenmiştir. Eşdeğer sönüm oranı T'_1/T_1 oranı ile doğru ve H/a oranı ile ters orantılı olarak yaklaşık 0.05 ve 0.30 değerleri arasında değişmektedir.

YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ İLE İLGİLİ TİTREŞİM DENEYLERİ

Deneysel çalışmalar kuramsal matematik modellemelerin dayandığı savların denetiminde en etkili bir araçtır. Yüksek yapıların dinamik davranışlarının belirlenmesi amacı ile dünyanın çeşitli ülkelerinde birçok yapıda zorlanmış titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde yapıya bir titreşim üretici vasıtası ile değişik frekanslarda harmonik kuvvetler tatbik edilmekte ve yapının gösterdiği davranış değişik konumlarında titreşim genliği ve faz farkları cinsinden ölçülerek yapının modal titreşim şekilleri, frekansları ve sönüm oranları tayin edilmektedir. Bu konuda örnek olarak ülkemizde gerçekleştirilmiş bir deney sonuçlarını inceleyebiliriz (Erdik, et al., 1981). Zorlanmış titreşim deneyine tabi tutulan iki adet çok katlı ağır panel prefabrike yapı ile ilgili deneysel birinci mod şekilleri Şekil 4 ve 5'de sunulmuştur. Bu yapılar, yapı-zemin etkileşimi etkilerinin büyük oranda gözlenebileceği, esnek zeminlere oturan oldukça rijit yapılardır. Bu şekillerden görülebileceği gibi yapılardaki birinci titreşim mod şekilleri büyük ölçüde temel dönmesi ve ötelenmesi tarafından kontrol edilmektedir. Deney bulguları, yapı-zemin etkileşiminin önemli olduğu bu tip yapılarda, rijit zemine oturan aynı tip yapılara kıyasla, birinci mod titreşim frekanslarının %70 kadar azalabildiğini, sönüm oranlarının %500 kadar artabildiğini ve yapı yanılma deplasmanlarının %90'a kadar varabilen oranlarda temel dönme ve ötelenmelerinden kaynaklanabildiğini göstermektedir. Diğer bir deyişle bu tip yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde temel ve zemin özelliklerinin rolü çok önemli olabilmektedir. Benzer sonuçlar değişik tipte yüksek yapılar için Jurokovski (1980) ve Bouwkamp ve Stephen (1980) tarafından da bulunmuştur.

YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ İLE İLGİLİ DEPREM GÖZLEMLERİ

21 Eylül 1985 tarihinde meydana gelen Michoacan-Guerrero, Meksika depremi, özellikle yüksek yapı temellerinde, yapı-zemin etkileşimine bağlı olarak bir çok hasarın meydana gelmesine yol açmıştır (Erdik, 1985).

Özellikle kazıklı temellerde meydana gelen plastik deformasyonlar binalarda büyük kalıcı deformasyonlara yol açmış ve çoğu kez yapıyı kullanılamayacak duruma getirmiştir (Şekil 6 ve 7).

Yapı-zemin etkileşimi neticesinde artan yanıl deplasmanlar nedeni ile birbirine yakın veya dilatasyonla ayrılmış bir çok yapıda çarpışmadan kaynaklanan hasar gözlenmiştir. Meksika depremindeki hasarlı yapıların yaklaşık %40' ında çarpışmadan kaynaklanan hasar gözlenmiştir (Esteve, 1988). Bu gözlemler şartnamelerde öngörülen yapı deplasman limitlerinin yeniden gözden geçirilmesi ve deprem deplasmanlarının hesaplanmasında yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alınması ihtiyacını doğurmaktadır (Bertero, 1986).

Diğer taraftan temel kazıklarında yatay deplasman ve eğilmelerden ve temel istinat duvarlarında aşırı zemin basıncından kaynaklanacak hasarlar çok mümkün olmakla beraber, bu tip hasarların gözlenmesi çok zor olmakta ve genellikle gizli kalmaktadırlar.

Yapı-zemin etkileşiminden kaynaklanan en büyük hasarlar özellikle yüksek binalarda gözlenen çekül dışına çıkmalardır. Bu donme açıları bazı binalarda düşeyle 2°'ye (0.035 radyan) varan açılara ulaşmıştır (Şekil 7 ve 8). Birçok şartnamede müsaade edilen açının en çok 0.002 radyan olabileceği göz önüne alınırsa durum daha iyi takdir edilebilir. Yapı-zemin etkileşiminin limit boyutu bir yapıda, yapının temel kazıklarının da sökerek, tipik bir zemin kesme göçmesi halinde yıkılması ile meydana gelmiştir (Şekil 9 ve 10).

Düşeyden kaçıklıklar, yatay yük taşıyıcı sistemi perde duvarlardan oluşan oldukça rijit ve yüksek binalarda gözlenmektedir. Bu tip binaların üst taşıyıcı sistemlerinde herhangi bir deprem hasarı gözlenmezken temellerde büyük miktarda farklı oturma ve dönmelerin meydana gelmiş olması ilginçtir. Diğer taraftan, yatay yük taşıyıcı sistemi açık moment çerçevelerinden oluşan binaların üst yapılarında yoğun deprem hasarı meydana gelmiş olsa bile temel sistemlerinde herhangi bir hasar gözlenmemektedir. Bu bulgular perde duvarlı binaların üst yapıda herhangi bir hasar göstermediği halde yapı temelini projede öngörülmüş gerilmelerin çok üstünde yükleyebildiğini, fakat taşıyıcı sistemi açık çerçevelerden oluşan üst yapıların mafsallaşma ve diğer akmalar nedeni ile temellere aktarılan yükleri projelerde öngörülen seviyelerde sınırladığını ortaya çıkarmaktadır.

Yapı-zemin etkileşiminin nicesel bir incelemesi Meksika Şehri, Tlatelelco Apartman Sitesi , M-Blokundaki bir bina (Şekil 11) için gerçekleştirilmiştir. Bu binanın tipik boy ve en kesitleri Şekil 12'de sunulmuştur. Bina 22 katlı betonarme perde duvarlı bir yapı olup kısmen kazıklı bir temele oturmaktadır. Binada deprem sonrasında hiçbir üst yapı hasarı gözlenmemiş ancak 0.02 radyan'a (1/50) varan düşey kaçıklık nedeni ile bina boşaltılmıştır. Yapı-zemin etkileşimi hesabı için ATC-3 (1978)'de öngörüldüğü şekilde 3 serbestlik dereceli bir model (Şekil 13) kullanılmıştır (Erdik, 1987). Temel yatak katsayılarının hesabında, yerinde yapılan sondajla belirlenmiş olan zemin profili kullanılmıştır. Zemin üst katmanları genellikle çok yumuşak, satüre killerden oluşmaktadır. Zemin serbest yüzeyinde meydana gelen deprem hareketinin temsili amacı ile 0.17g genliğinde ve 0.5Hz frekansında bir ivme kullanılmıştır. Yapı-zemin sisteminin gösterdiği davranış Şekil 14'de sunulmuştur. Yapıda meydana gelen birinci mod eşdeğer relatif ivme 0.43g, mutlak ivme ise 0.60g civarında olmaktadır. Üst yapıya gelen zati ivmeler sadece 0.054 g civarında kaldığı için üst yapıda herhangi bir hasar söz konusu olmamakta ancak yapı temelini etkileyen 0.60g seviyesindeki mutlak ivmelerden kaynaklanan yanıl kesme kuvveti ve devirme momentleri temel ortamını projede öngörülmüş sınırların çok ötesinde yükleyerek kalıcı plastik temel deformasyonlarına yol açmaktadır.

BİNA TİPİ YAPILARDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ'NİN YAKLAŞIK HESABI

Taşıyıcı sistemi düzenli (yani gerek rijitlik ve gerekse kütle dağılımı açısından hem plan ve hemde yükseklikte süreklilik gösteren), sadece temelinden mesnetlenmiş ve temel üst kotundan ölçülen yüksekliği 75m.'den az olan bina tipi yapıların deprem tasarımı için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kullanılmaktadır. Bu kısıtlamanın dışında kalan bina tipi yapılar için anılan yönetmelikte mod süperpozisyonu yöntemi önerilmekte ancak herhangi bir ayrıntı verilmemektedir. Ancak, yönetmelik kapsamına giren fakat yüksekliği 35 m'den fazla binaların periyot hesapları için yönetmelik: "zemin ve yapıya ait özelliklerin göz önünde tutularak güvenilir bir dinamik yöntem" kullanılmasını istemekte ve zımnen yapı-zemin etkileşimini göz önüne almaktadır.

Anılan yönetmelikte eşdeğer yanıl deprem kuvvetlerinin hesabı için yapı tipine bağlı düktilite değerleri K katsayısına bağlı olarak, dolaylı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durum özellikle yapıdaki deprem deplasmanlarının hesabını zorlaştırmaktadır. Teorik olarak, deprem deplasmanları, yapıda eşdeğer yanıl deprem kuvvetlerine tekabül eden deplasmanların düktilite faktörü ile çarpımına eşit olacaktır. Ancak yapı-zemin etkileşimine bağlı olarak bu deplasmanların ayrıca düzeltilmesi gerekmektedir.

**"Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"
Kapsamındaki Deprem Bölge ve Spektrum Katsayısı Kullanılarak
Yapı-Zemin Etkileşimi Hesabı**

a) Yapının doğru bir fiziksel ve matematiksel modellemeye dayalı olarak mod şekillerini hesaplayalım. m. mod şekli, $\{\phi_m\}$, için $\{\phi_m\} = \{\phi_{1m}, \dots, \phi_{im}, \dots, \phi_{nm}\}^T$ olsun. Yapının periyodu 0.4 s'den büyük bütün modları veya ilk üç modu göz önüne alınmalıdır.

b) Yapının m. modu için toplam temel kesme kuvveti:

$$F_m = C_0 K S_m I \frac{[\sum W_i \phi_{im}]^2}{\sum W_i (\phi_{im})^2} \quad (7)$$

ifadesi ile verilir. Burada S_m S katsayısının T_m (m. mod periyodu) periyoduna tekabül eden değeridir.

Yapı-zemin etkileşiminin etkileri sadece birinci mod periyodu (T'_1) ve sönüm oranında (β') göz önüne alınacaktır. Birinci mod şekli ve diğer modların şekil, periyot ve sönüm oranları için, rijit temelli yapı varsayımı ile bulunanlara nazaran, herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Ancak, birinci mod şeklinde temel devrilme dönmesi nedeni ile meydana gelen değişiklik hesaplanacak kat ötelemelerine yansıtılacaktır.

Birinci moda ait düzeltilmiş kesme kuvveti F'_1 :

$$F'_1 = F_1 - \delta F_1 \quad (8)$$

$$\delta F_1 = [C_0 K S_1 I - C_0 K S'_1 I (0.05/\beta')^{0.4}] \frac{[\sum W_i \phi_{i1}]^2}{\sum W_i (\phi_{i1})^2} \quad (9)$$

Denklem 9'da S_1 değeri T_1 , S'_1 değeri ise T'_1 periyodu kullanılarak hesaplanmalıdır.

c) Yapının m. modunda i. noda (i.kat) ait kuvvetler:

$$F_{im} = F_m \frac{W_i \phi_{im}}{\sum W_i \phi_{im}} \quad (10)$$

denklemleri ile bulunacaktır.

- d) Yapının m. moduna ait kat kesme kuvvetleri ve devirme momentleri (c) şıkında bulunan kat kuvvetlerinden doğrusal statik metodlarla hesaplanacaktır.
- e) Yapının tasarımında kullanılacak kesme kuvvetleri ve devirme momentleri (d) şıkında her bir mod için bulunan değerlerin "kareleri toplamının kare kökü" yöntemi ile süperpozisyonundan elde edilecektir. Temel tasarımı için temele etkiyen devirme momentleri %10 azaltılabilir.

UBC (1988) Tasarım Spektrumu Kullanılarak Yapı-Zemin Etkileşimi Hesabı

Bu kısımda, daha gerçekçi bir yapı-zemin etkileşimi hesabını, inelastik tasarım spektrumunu ile mod süperpozisyonu yöntemini kullanarak sunacağız.

Bir yapının deprem analizi için kullanılacak tasarım spektrumu; deprem kaynağı, deprem dalgası yayılma hattı, yerel topoğrafya, zemin ve yapı özellikleriyle göz önüne alınan deprem hasarı riskinin bir fonksiyonu olup belirlenmesine yönelik çok çeşitli yöntemler vardır. Burada amacımız bu yöntemleri tartışmaktan ziyade, güvenilir çalışmalara dayalı olarak ATC 3-06 (1978) ve UBC (1988) şartnameleri tarafından önerilen ve tarafımızca uygun bulunan elastik davranış şeklini sunmaktır.

$$S_a = (1.25/T^{2/3}) A \quad s \leq 2.75 A \quad (11)$$

Burada S_a yer çekimi ivmesi (g) cinsinden spektral ivmeyi, T saniye olarak periyodu ve A, Tablo 1'de (DMTMK, 1989) verilen maksimum etkin yer ivmesini göstermektedir.

TABLO 1
Maksimum Etkin Yer ivmesi (A)

Deprem Bölgesi	A (g)
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

Denklem ---'de kullanılan (s) zemin tipi katsayısı olup aşağıda gösterildiği şekilde belirlenecektir:

S_1 ($s=1.0$) : Kaya zemin, kayma dalgası yayılma hızının $V_s \geq 700$ m/s olduğu zemin veya kalınlığı 60m.'den daha az sıkı kum, çakıl veya sert kil tabakaları.

S_2 (s=1.2) : 60m'den daha derin sıkı kum, çakıl veya sert kil tabakaları.

S_3 (s=1.5) : Yumuşak veya orta sertlikte zemin tabakaları.

S_4 (s=2.0) : 15m'den daha derin yumuşak killer.

inelastik tasarım spektrumu, yukarıda belirlenen elastik spektrumunun yapıdaki duktilite ve sönüm özelliklerini yansıtan bir "Davranış Düzeltme Faktörü"ne (R) bölünmesiyle elde edilecektir (ATC 3-06, 1978; FEMA, 1985 ve UBC, 1988). Davranış Düzeltme Faktörü (R) çeşitli yapılar için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kapsamında belirlenmiş Yapı Tipi Katsayıları (K) kullanılarak aşağıdaki ifade (DMTMK, 1989) ile belirlenecektir.

$$R = 5 / K \quad (12)$$

a) Yapının doğru bir fiziksel ve matematiksel modellemeye dayalı olarak mod şekillerini hesaplayalım. m. mod şekli, $\{\phi_m\}$, için $\{\phi_m\} = \{\phi_{1m}, \dots, \phi_{nm}, \dots, \phi_{nm}\}^T$ olsun. Yapının periyodu 0.4 s'den büyük bütün modları veya ilk üç modu göz önüne alınmalıdır.

b) Yapının m. modu için toplam temel kesme kuvveti:

$$F_m = (S_{am}/R) \frac{[\sum W_i \phi_{im}]^2}{\sum W_i (\phi_{im})^2} \quad (13)$$

ifadesi ile verilir. Burada S_a elastik tasarım spektrumu genliği, R ise Denklem 5 ile verilmiş olan davranış düzeltme faktörüdür. S_{am} 'nin hesabında $T=T_m$ (m. mod periyodu) olarak alınacaktır.

Birinci moda ait düzeltilmiş kesme kuvveti F'_1 :

$$F'_1 = F_1 - \delta F_1 \quad (14)$$

$$\delta F_1 = [S_{a1}/R - S'_{a1}/R] \frac{[\sum W_i \phi_{i1}]^2}{\sum W_i (\phi_{i1})^2} \quad (15)$$

Denklem 15'de S_{a1} değeri T_1 , S'_{a1} değeri ise T'_1 periyodu kullanılarak hesaplanmalıdır.

c) Yapının m. modunda i. noda (i.kat) ait kuvvetler:

$$F_{4m} = F_m \frac{W_4 \phi_{4m}}{\sum W_4 \phi_{4m}} \quad (16)$$

denklemleri ile bulunacaktır.

d) Yapının m. modunda i. noda (i. kat) ait deplasmanlar:

$$\delta_{4m} = 0.75 R F_{4m} \left(\frac{g}{W_4} \right) \left(\frac{T_m}{2\pi} \right)^2 \quad (17)$$

denklemleri ile bulunacaktır. Burada g yer çekimi ivmesidir.

Ancak, yapı zemin etkileşiminden ötürü birinci moda ait deplasmanlar düzeltilerek (δ'_{41}) kullanılacaktır:

$$\delta'_{41} = (F'_{41}/F_1) [(M_{01}h_1/K_0) + \delta_{41}] \quad (18)$$

e) Yapının m. moduna ait kat kesme kuvvetleri ve devirme momentleri (c) şıkında bulunan kat kuvvetlerinden doğrusal statik metodlarla hesaplanacaktır.

f) Yapının tasarımında kullanılacak kesme kuvvetleri ve devirme momentleri (e) şıkında, deplasmanlar ise (d) şıkında her bir mod için bulunan değerlerin "kareleri toplamının kare kökü" yöntemi ile birleştirilmesinden (süperpozisyonundan) elde edilecektir. Temel tasarımı için temele etkiyen devirme momentleri %10 azaltılabilir.

g) P-δ etkileri, aşağıda tanımlanan stabilite katsayısı Θ_4 'nin 0.1'e eşit veya daha büyük olduğu durumlarda göz önüne alınacaktır.

$$\Theta_4 = (P_4 \delta'_{41}) / (4V_4 h_4) \quad (19)$$

Burada $\delta'_{41} = \delta_4 - \delta_{4-1}$ i. kat ve i-1. kat arasındaki bağıl öteleme, P_4 i. kat üzerindeki toplam yapı ağırlığı, V_4 i. kattaki toplam kesme kuvveti ve h_4 ise i. katın temel seviyesinden yüksekliğidir.

$\Theta_4 \geq 0.1$ olduğu durumlarda P-δ büyütme faktörü a_4

$$a_4 = \Theta_4 / (1 - \Theta_4) \quad (20)$$

hesaplanacak ve kat kesme kuvvetleri (V_4) ile bağıl kat ötelemeleri (δ'_{41}), $(1 + a_4)$ katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

SONUÇ

1. Özellikle yumuşak zeminlere oturan yüksek yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde yapı-zemin etkileşimi hesabı göz önüne alınmalıdır.
2. Bu hususta deprem şartnamelerine konulacak özel hükümlerle: bu hesabın hangi şartlarda yapılmasının gerekli olduğu ve ne şekilde yapılacağı belirtilmelidir.
3. Deprem şartnamelerinde yer alan tasarım spektrumunun, yüksek yapılar için gerekebilecek gerek frekans ve gerekse zaman tanım alanında yapılacak dinamik analizlerin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde belirlenmesi gerekir. Özellikle yüksek yapılar için spektrumun yüksek periyot değerleri gerçekçi olarak tesbit edilmelidir.
4. Her ne kadar makalede içerilmemiş ise de, sivilaşma ihtimali olan yerlerde ve çok yumuşak kil seviyelerini içeren zeminlerde yapılaşmaya müsaade edilmemelidir. Bu hususta, deprem yönetmeliklerinde en azından hangi zemin şartlarında özel etüd gerekeceği belirlenmeli, sivilaşma ve büyük oturma potansiyeli olan yerlerde yapılaşma, özel tedbirler alınmadıkça, yasaklanmalıdır.

REFERANSLAR

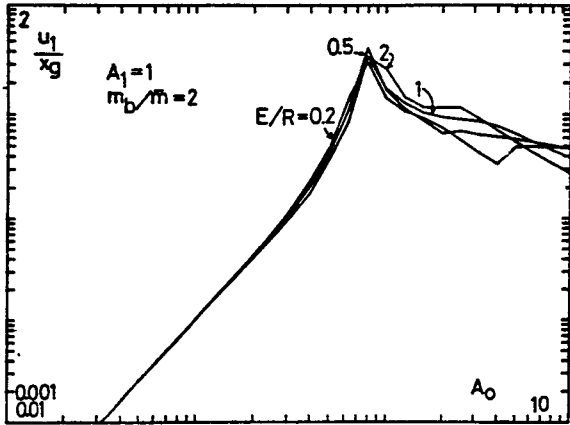
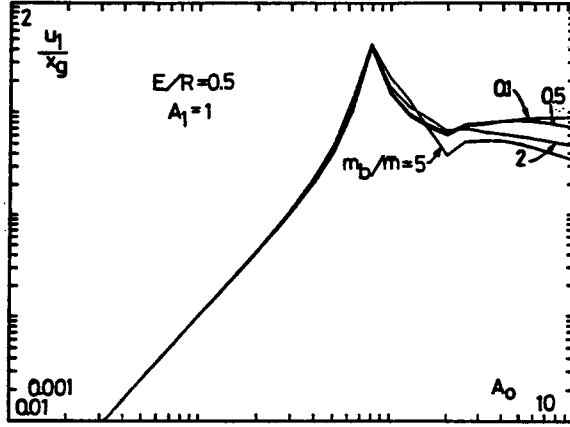
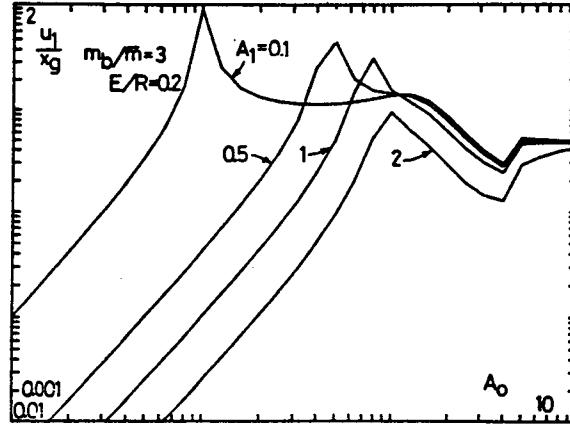
- ATC-3 (1978), Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, Applied Technology Council, ATC 3-06, NSF 78-8, U.S. Bureau of Standards, Washington D.C.
- Bazan, E. ve J. Bielak (1987), Earthquake Response of Nonlinear Building-Foundation Systems, in **Soil-Structure Interaction**, ed. by A. Çakmak, Developments in Geotechnical Engineering v.43, Elsevier-Computational Mechanics Publications, U.K.
- Bertero, V.V. (1986), Implications of Recent Earthquakes and Research on Earthquake-Resistant Design and Construction of Buildings., EERC Report No: UBC/EERC-86-03, University of California, Berkeley, CA., USA.
- Bouwkamp, J.G. ve R.M. Stephen (1980), Dynamic Properties of Prefabricated Appartment Buildings, Proc. 7th.WCEE, Istanbul, Turkey.

- DMTMK (1989), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Tasarısı, Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi Yayınları No.5, İstanbul
- Erdik, M. (Editör), (1981), Yapılarda Zorlanmış Titreşim Deneyleri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Raporu.
- Erdik, M. (1985), Report on Gurrero-Michoacan, Mexico Earthquake of 19 September 1985, Mission Report prepared for UNIDO, Vienna, Austria.
- Erdik, M. (1987), Soil-Structure Interaction Effects on Strong Ground Motion, in **Strong Ground Motion Seismology**, Ed.by M. Erdik and M.N.Toksöz, Reidel Publishing Co.
- Erdik, M., R.Yarar ve M.S.Aşık (1988), A Simplified Parametric Analysis For Soil-Structure Interaction, Proc. 9th WCEE, Tokyo, Japan
- Esteva, L. (1988), The Mexico Earthquake of September 19, 1985- Consequences, Lessons, and Impact on Research and Practice. Earthquake Spectra, v.4 no.3.
- Jurokovski, D. (1980), Full-Scale Forced Vibration Studies, Proc. Research Conference on Earthquake Engineering, June 30 - July 3, Skopje, Yugoslavia.
- Kausel, E., R.V.Whitman, J.P.Murray and F.Elsabee (1978), The Spring Method for Embedded Foundations, Nucl. Engrg. and Des., 48, p.337-392.
- Lysmer, J., T.Ukada, H.B.Seed and R.Hwang (1974) LUSH: A Computer Program for Complex Response Analysis of Soil-Structure Systems, Report No. EERC 74-4, University of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California.
- Meksika (1987), Normas Tecnicas Complementarias para Diseno por Sismo, in Earthquake Resistant Regulations; A World List - 1988, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, Japan.
- UBC (1988), Uniform Building Code, Ch.23, Sc.2312, International Conference of Building Officials, 5360 South Workman Mill Road Whittier, CA., USA.

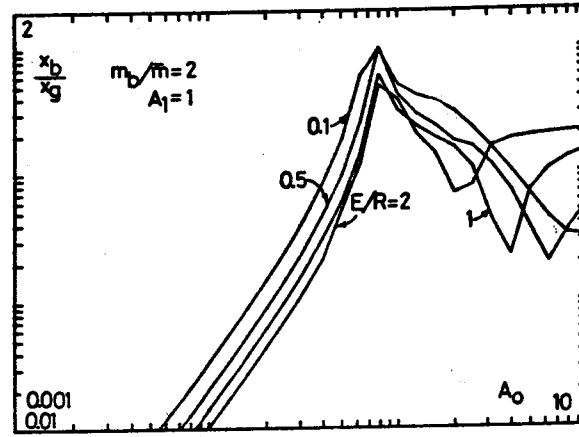
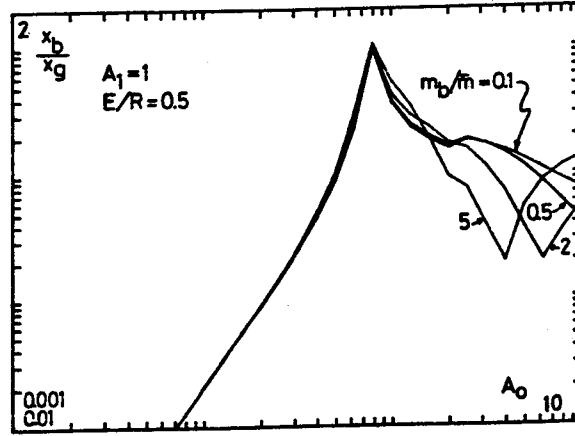
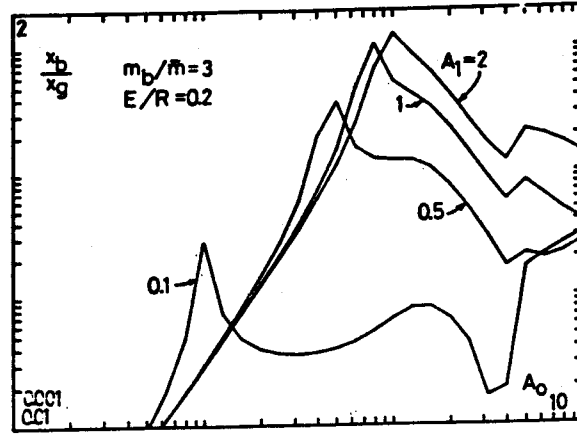
Veletsos, A.S. and Y.T.Wei (1971), Lateral and Rocking Vibration of Footings, Proc. ASCE, SM9, September, 1971.

Veletsos, A.S., A.M.Prasad and Y.Tang (1988), State-of-the-Art Report: Design Approaches for Soil Structure Interaction, Proc. 9th. WCEE, v.VIII, p 341-352, Tokyo, Japan.

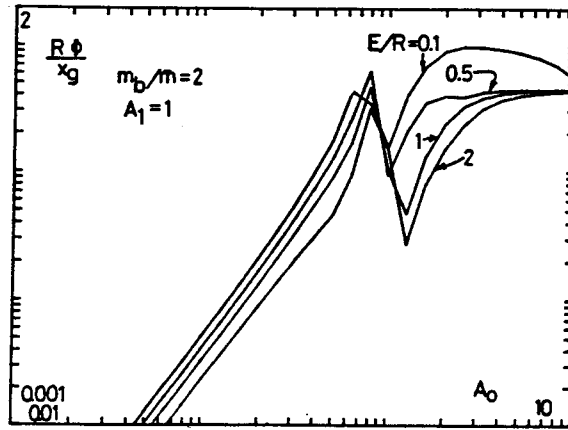
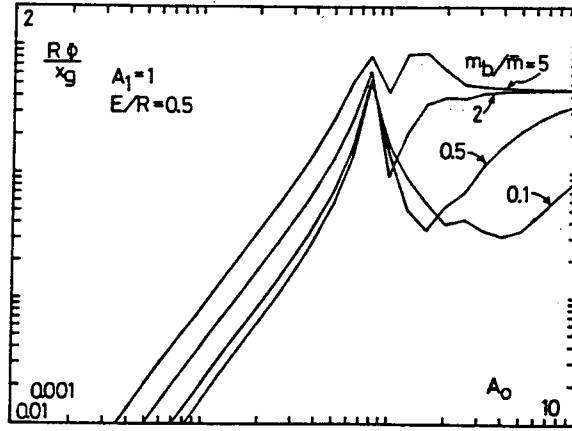
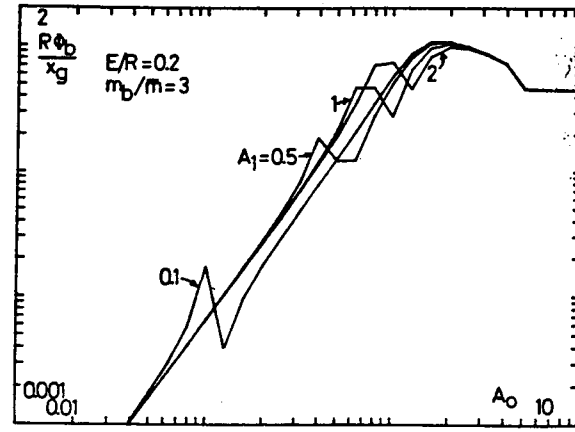
Wolf, J.P.(1985), **Dynamic Soil-Structure Interaction**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.



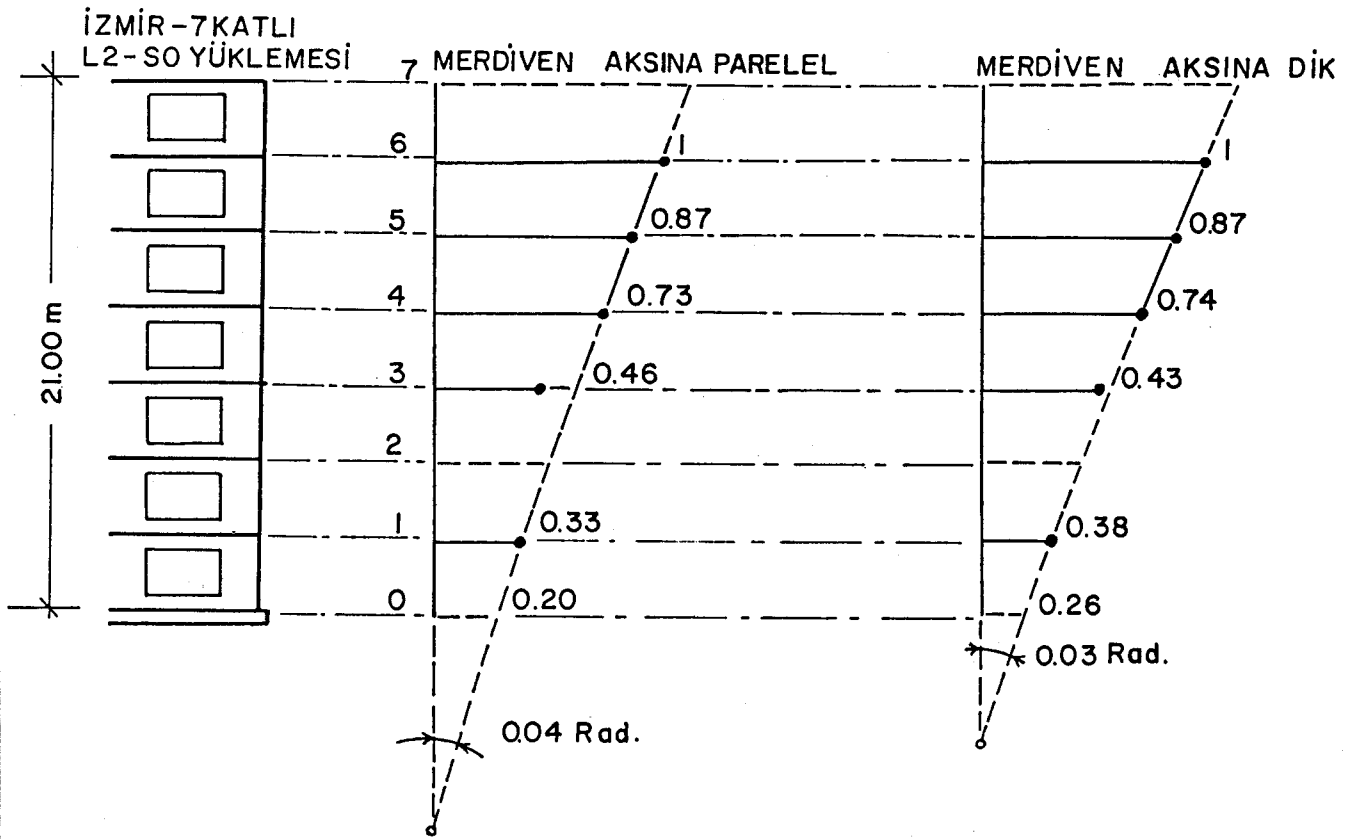
ŞEKİL 1. Genelleştirilmiş birinci mod deplasmanı ve serbest zemin yüzeyi deprem deplasmanı arasındaki transfer fonksiyonu



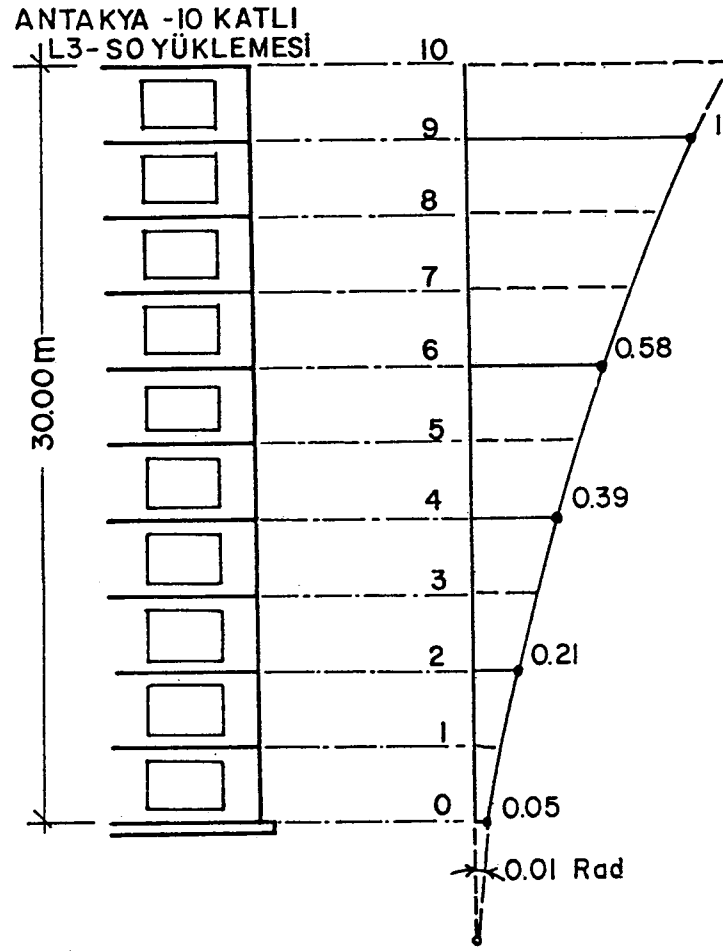
ŞEKİL 2. Temel bağlı yanal deplesmanı ve serbest zemin yüzeyi deprem deplesmanı arasındaki transfer fonksiyonu



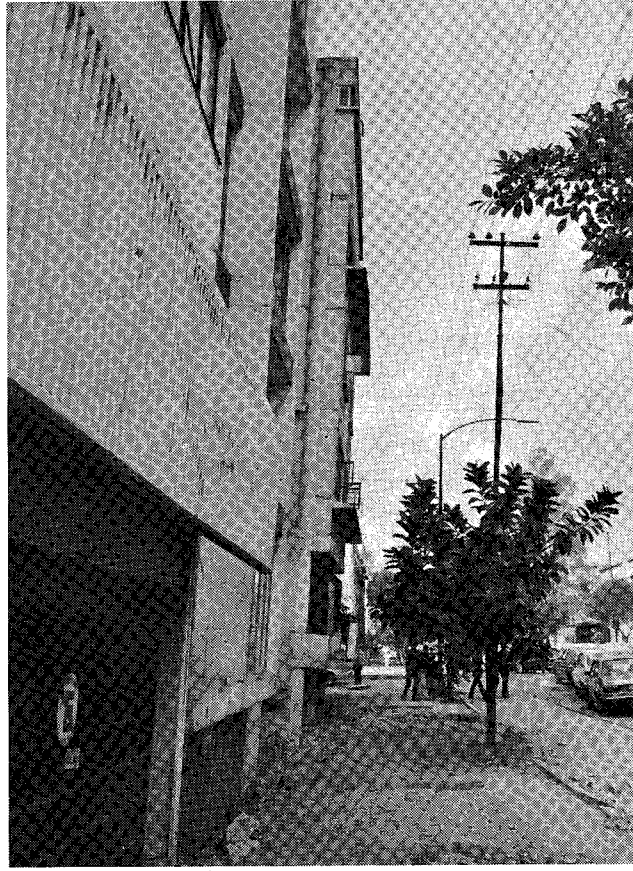
ŞEKİL 3. Temel doğrusallaştırılmış bağıl dönme deplesmanı ve serbest zemin yüzeyi deprem deplesmanı arasındaki transfer fonksiyonu



ŞEKİL 4. Titreşim deneylerinden elde edilen birinci mod şekli

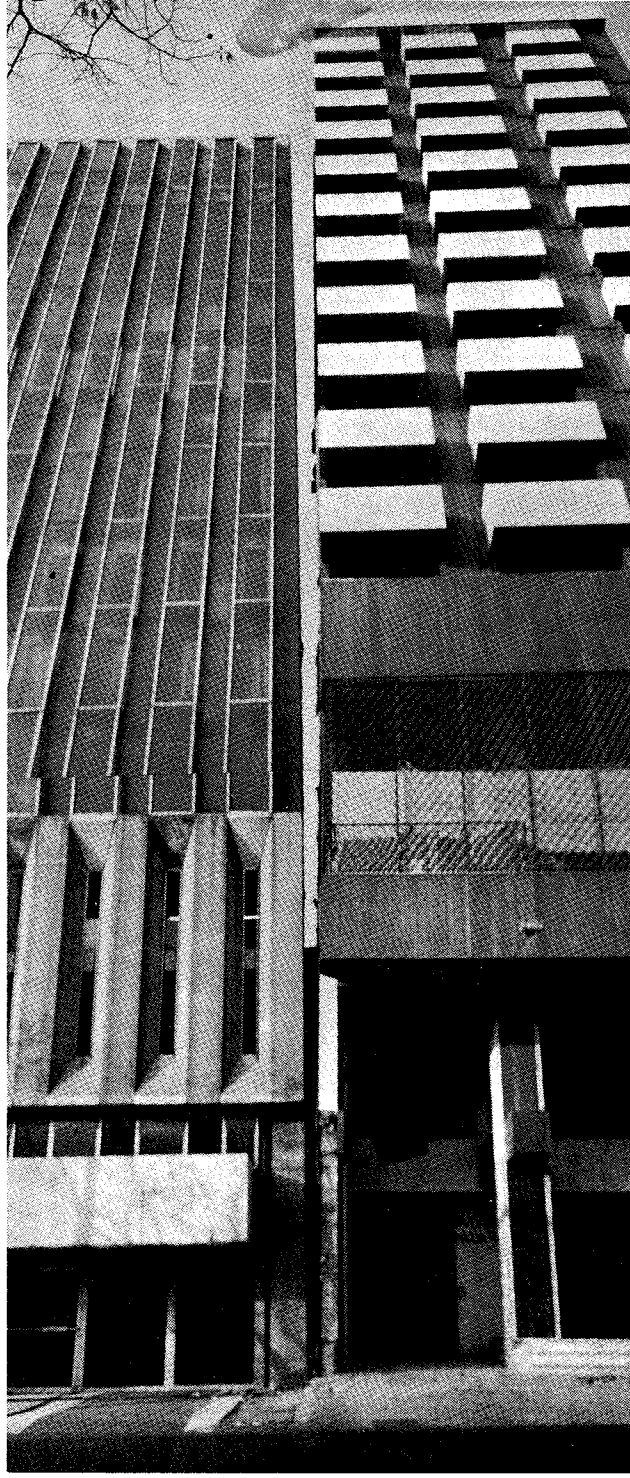


ŞEKİL 5. Titreşim deneylerinden elde edilen birinci mod şekli

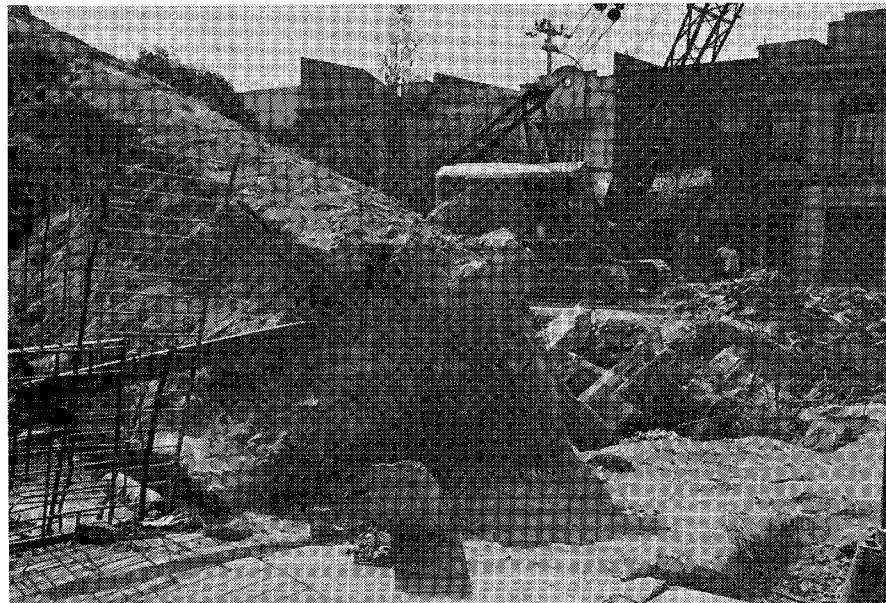


ŞEKİL 6. Bina temellerinde gözlenen kalıcı deformasyonlar

ŞEKİL 7. Bina temellerinde gözlenen kalıcı deformasyonlar



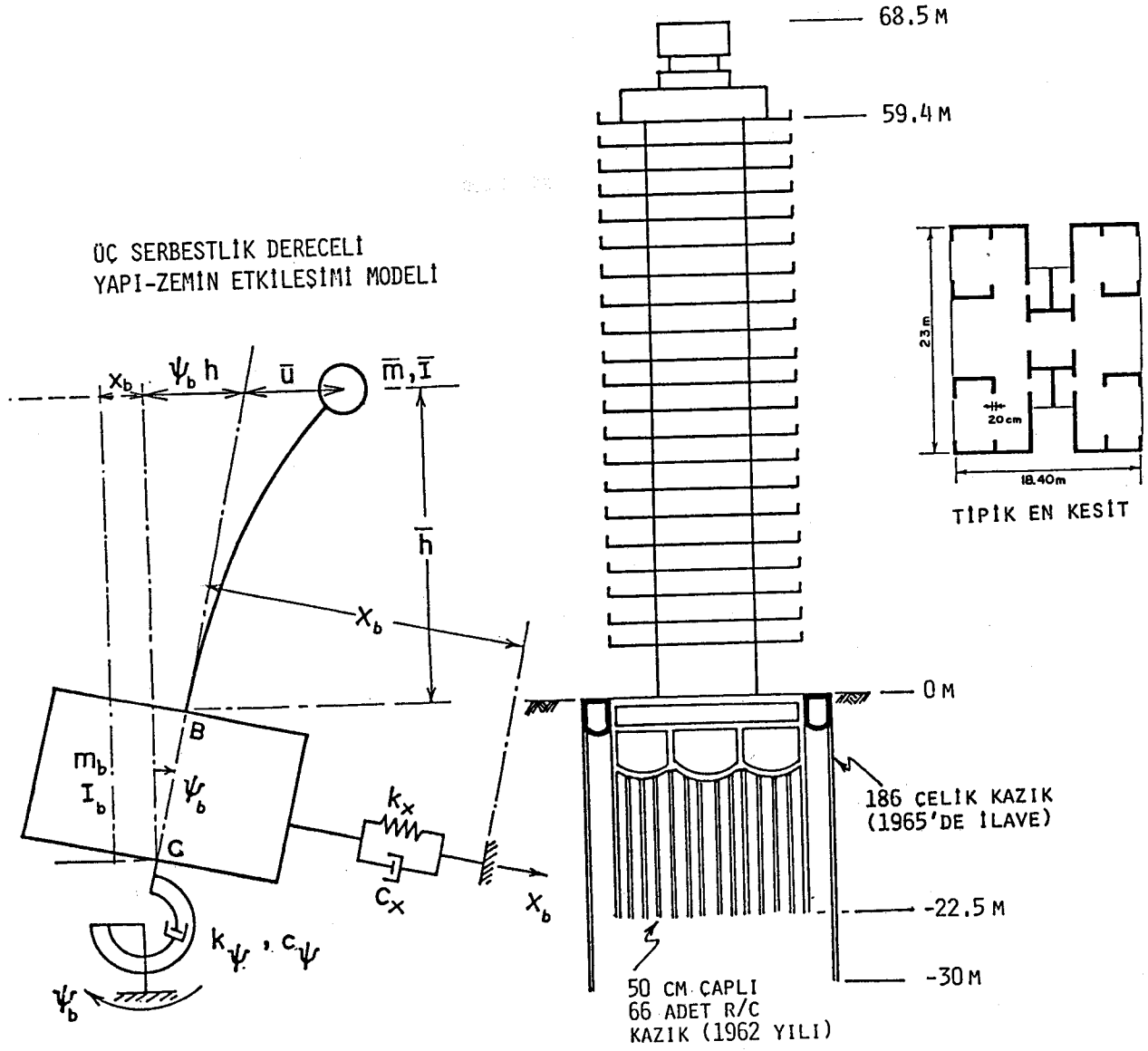
SEKİL 8. Bina temellerinde gözlenen kalıcı deformasyonlar



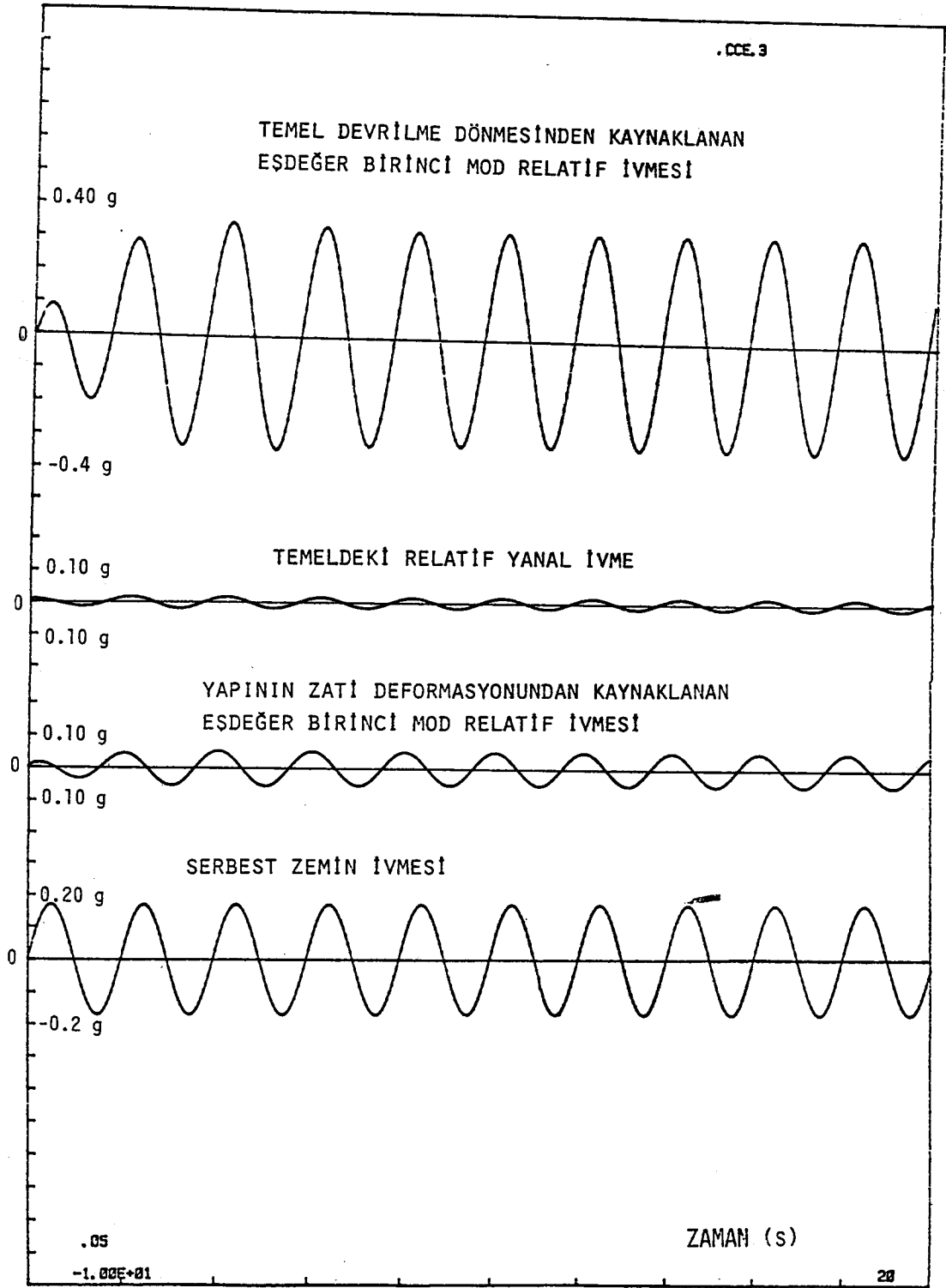
ŞEKİL 9,10. Bir bina temelinde gözlenen toplam göçme



ŞEKİL 11. Meksike şehri Tlatalelco apartman sitesinde incelenen yapı



ŞEKİL 12, 13. Binanın tipik boy ve en kesitleri. Yapının ATC-3 şartnamesine uygun 3 serbestlik dereceli modeli.



ŞEKİL 14. Yapı-zemin etkileşimi analizi sonuçları