

## FARKLI TAŞIYICI SİSTEME SAHİP AYAKLI DEPOLARIN ZEMİN SINIFLARINA GÖRE DİNAMİK DAVRANIŞLARININ İRDELENMESİ

Ramazan LİVAOĞLU Adem DOĞANGÜN

**Özet** - Bu çalışmanın amacı, farklı taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depoların değişik zemin sınıfları için deprem davranışları incelenmektedir. Bu amaçla, aynı hazne boyutuna sahip biri çerçeve sistem diğeri silindirik kabuk sistem taşıyıcı sisteme sahip iki farklı ayaklı depo seçilmektedir. Seçilen bu iki depo için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te verilen 1. derece deprem bölgesi ve dört farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmaktadır. Yapı-sıvı etkileşimini dikkate alabilmek için Westergaard tarafından barajlar için önerilen kütle ekleme yaklaşımı ve Housner tarafından önerilen toplanmış kütle modelinden yararlanılmaktadır. Yapıları modellemede Sonlu Elemanlar Yöntemi, depreme göre yapısal çözümleme ise Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmadan depo taşıyıcı sistemleri ve farklı zemin sınıfları için elde edilen bulgular grafiklerle desteklenmekte ve sonuçlar sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** - Ayaklı Depo, Taşıyıcı Sistemler, Tepki Spektrumları, Sıvı-Yapı Etkileşimi.

**Abstract** - The aim of this study is to investigate earthquake behavior of elevated tanks that have different supporting systems and founded on different subsoil class. Two different supporting systems have been selected for elevated tanks have same vessel capacity. Four soil classes and first seismic zone characteristics described in Turkish Earthquake Code are considered. For fluid-structure interaction, Westergaard approach that it is improved for Dams and Housner Lumped Mass approach are used. Finite Element Method is used for modeling and Mod Superposition Method is used for seismic analysis of selected two elevated tanks. Some conclusions and discussion related to effects of local site classes on the dynamic behavior of elevated tanks drawn from this study are given at the end of the study.

**Keywords** - Elevated Tanks, Supporting Systems, Response Spectrum, Fluid-Structure Interaction

R. , Livaoglu, KTU, GMF. İnş. Müh. Böl., Gümüşhane  
A. , Doğangün, KTU, MMF. İnş. Müh. Böl., Trabzon

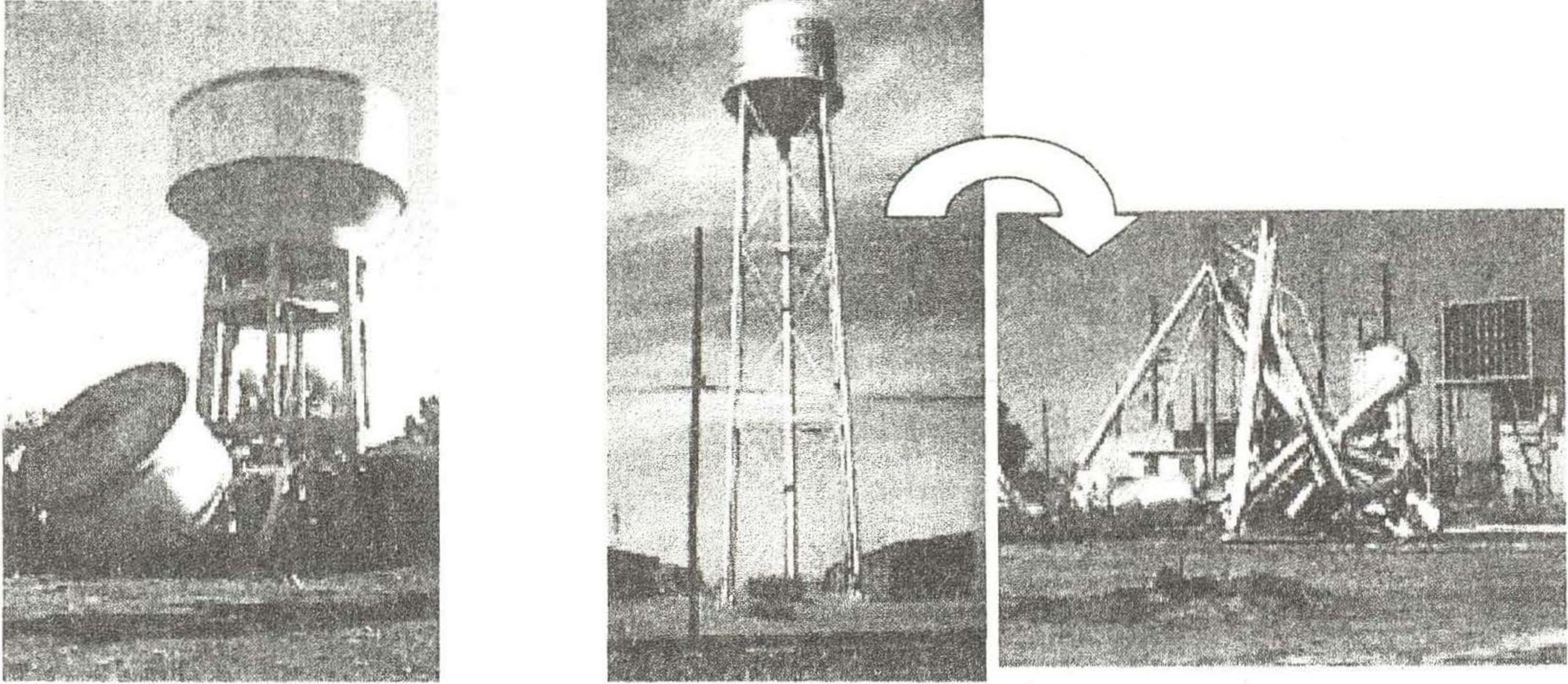
### I. GİRİŞ

Yapının ve fonksiyonları yönünden özellik arz eden ayaklı depoların depremden sonra da görevini güvenli bir şekilde yerine getirebilmesi için depreme dayanıklı olarak yapılmaları gereği açıktır. Zira depremlerden sonra gerek içme suyuna, gerekse de çıkacak yangınları önlemek amacıyla yönelik söndürme suyuna acil ihtiyaç duyulmaktadır. Depreme dayanıklı olarak tasarlanmadığı için yıkılan ayaklı depolara iki örnek Şekil 1'de görülebilir [1]. Şekilde görülen depo görüntülerine benzer görüntülerle, bugüne kadar Dünya'nın değişik yörelerinde gerçekleşen birçok büyük depremden sonra da karşılaşılmıştır. Bütün bu gerekçeler düşünüldüğünde ayaklı depoların deprem davranışlarının bilinmesinin, depremin önemli olduğu ülkeler için ne denli gerekli olduğu açıkça görülmektedir.

Teknik literatürde gömme, yerüstü, ve ayaklı depoların, statik hesaplarıyla ilgili bir eksiklik görülmemektedir. Oysa, depoların depreme göre hesapları için aynı şeyleri söylemek mümkün değildir. Depoların deprem davranışları zemine göre konumlarına (gömme, yerüstü ve ayaklı) ve plandaki şekillerine (dairesel, dikdörtgen vb.) göre değişmektedir. Dolayısıyla depoların dinamik davranışlarını belirlemeye yönelik çalışmalar değerlendirirken bu iki hususu göz önünde tutmak gerekmektedir.

Depoların depreme göre tasarımı için ABD [2-5], Yeni Zelanda [6], Japonya [7] ve Avrupa Topluluğunun [8] yönetmelikleri bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerde, ağırlıklı olarak silindirik yerüstü depolarına ilişkin koşullar bulunmaktadır. Ayaklı depolara ilişkin bilgi ve koşullar silindirik yerüstü depolarına oranla yok denecek kadar azdır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te [9] depolar, bina türü olmayan yapılar olarak dikkate alınmakta olup bu tür yapıların deprem hesaplarına ilişkin ayrıntıya girilmemekte, yalnızca taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ) verilmektedir.

Ayaklı depoların dinamik davranışlarını belirlemeye yönelik olarak yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi beş grupta sınıflandırılabilir:



Şekil 1. Depremlerde yıkılmış betonarme ve çelik ayaklı depo görünümleri

➤ Ayaklı depolar için toplanmış kütle yaklaşımının kullanıldığı çalışmalar [10,11]. Housner'in geliştirdiği bu yaklaşımda ilk olarak sıvı için impuls ( $m_i$ ) ve salınım kütleleri belirlenmektedir. Daha sonra impuls kütesinin etkime yüksekliğinde haznenin boş kütesini ve depo ayağının belirli bir kısmının (genelde ayak kütesinin 2/3 ya da tamamını) kütesini kapsayan  $m_1$  kütesi ve salınım kütesinin oluşturduğu  $m_2$  kütesi belirlenmektedir. Ayak için bir  $k_1$  rijitliği, sıvı salınımlarını temsilen bir  $k_2$  rijitliği belirlenerek sistem iki serbestlik dereceli bir sistem olarak çözülmektedir. Horoun ve Ellaith bu yaklaşımda hazne tabanındaki dönmenin de dikkate alınmasını önermektedir [12]. Bu yaklaşımla yapılan çalışmalarda depo ayağının zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmektedir. Uygulamada yaygın olarak kullanılmış olan bu yaklaşıma ilişkin Housner Modeli Madde II de açıklanmaktadır.

➤ *Ayaklı depo için eklenmiş kütle yaklaşımının kullanıldığı çalışmalar* [13,14]: Bu çalışmalarda amaç yapılar için hazırlanan ve sıvı eleman içermeyen genel amaçlı paket programları kullanarak ayaklı depoların dinamik davranışlarını belirlemektir. Bu yaklaşımda ayaklı deponun sıvı haricindeki kısmı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmekte ve sıvı için belirlenen impuls ve salınım kütleleri yapı kütesine eklenmektedir. Bu yaklaşımla yapılan çalışmalarda da depo ayağının zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmektedir.

➤ *Ayaklı Depo-Zemin etkileşiminin dikkate alındığı çalışmalar* [15]: Rasheidat ve Suna tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada depo ayağının zemine ankastre mesnetlenmediği kabul edilmektedir. Bunun için zemin sonlu elemanlara bölünerek zeminin dikdörtgen bir ayaklı deponun dinamik davranışına etkileri araştırılmaktadır. Ancak deponun tamamen dolu olduğu ve sıvının salınım hareketi yapmadığı kabul edilmiş olup toplam sıvı kütesi doğrudan boş hazne kütesine eklenmiştir.

➤ *Ayaklı depo taban izolasyonunun dikkate alındığı çalışmalar* [16,17]: Bu çalışmalarda daha çok son

zamanlarda gündeme gelen taban izolasyonlarının deponun dinamik davranışına etkileri araştırılmaktadır.

➤ *Ayaklı depoların davranışını deneysel olarak belirlemeye yönelik çalışmalar* [18]: Marashi ve Shakib incelemelerine konu olan depoların titreşim frekanslarını deneysel olarak belirlemişlerdir.

## II. HOUSNER MODELİ

Hidrodinamik basınç dağılımlarının meydana getirdikleri etkileri, eşdeğer kütleler yardımıyla belirlemek amacıyla 1950'lerden itibaren kütle-yay modellemesi kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda önce söz konusu eşdeğer kütleler ile bunların ağırlık merkezlerinin tabandan itibaren yükseklikleri, daha sonra bunların maksimum yer ivmesi ya da spektrum ivmesiyle çarpılması suretiyle hidrodinamik basınç kuvvetleri hesaplanmaktadır. Bu basınç kuvvetlerinin bilinmesi halinde depo taban-duvar ayrıntılarındaki eğilme momentleri ve depo taban-zemin ara yüzündeki devirici moment kolaylıkla belirlenebilmektedir. Housner yöntemine göre ayaklı depo için dikkate alınan model Şekil 2'de görülmektedir.

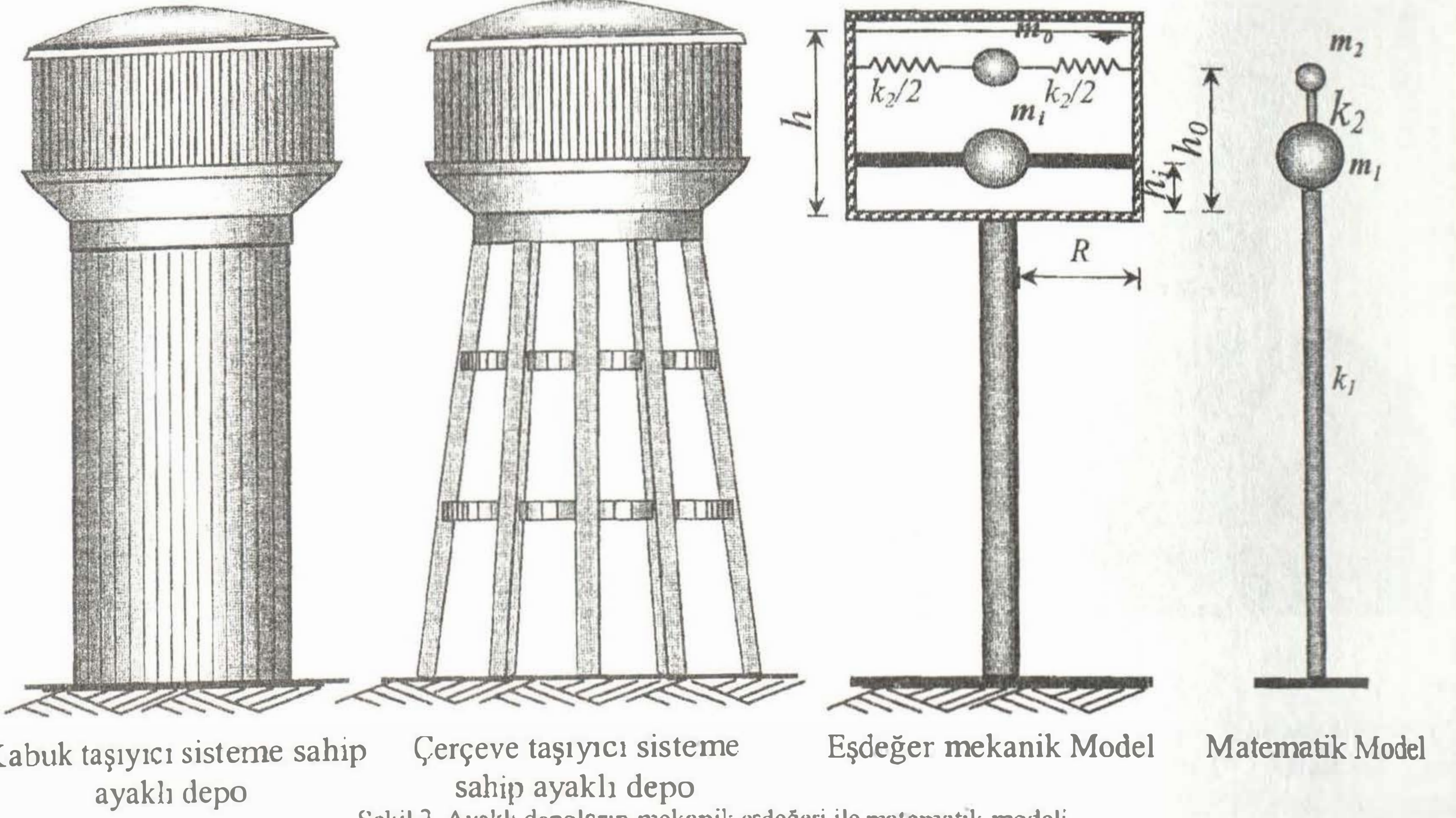
Bu çalışmanın konusu depreme göre hesap yöntemlerinin karşılaştırılması olmadığından, çalışmada Housner Yöntemi sadece impuls ve salınım kütlelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Housner Yöntemine göre impuls ( $m_i$ ) ve salınım kütleleri ( $m_o$ )sırasıyla aşağıdaki bağıntılar yardımıyla belirlenebilir:

$$m_i = m_1 \frac{\text{th} (1,74 R/h)}{(1,74 R/h)} \quad (1)$$

$$m_o = m_1 0,318 \frac{R}{h} \text{th} (1,84 R/h) \quad (2)$$

Burada  $R$  hazne yarı çapını,  $h$  haznedeki sıvı yüksekliğini ve  $m_1$  toplamı sıvı kütesini göstermektedir.



Şekil 2. Ayaklı depoların mekanik eşdeğeri ile matematik modeli

Tablo 1. Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak karakteristik periyotlar [9]

Yerel Zemin Sınıfı		$T_A(s)$	$T_B(s)$
Z1	(A) grubu zeminler ve $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler	0,10	0,30
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler ve $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler	0,15	0,40
Z3	$15 < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler ve $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,15	0,60
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler ve $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,20	0,90

İmpuls kütlelerinin depo tabanından yüksekliği ( $h_i$ ) ve salınım kütlelerinin depo tabanından yüksekliği ( $h_o$ ), sırasıyla aşağıdaki bağıntılarla belirlenebilir:

$$h_i = \frac{3}{8} h \quad (3)$$

$$h_o = \left[ 1 - \frac{ch(1,54h/R)}{1,84h/R \operatorname{sh}(1,54h/R)} \right] h \quad (4)$$

Şekil 2'de görülen matematik modelde  $k_1$  ayak taşıyıcı sisteminin rijitliğini göstermekte olup, salınım kütlelerinin mesnetlendiği sistemin  $k_2$  rijitliği ise aşağıdaki bağıntıyla belirlenebilir.

$$k_2 = m_0 \frac{g}{R} 1,84 \operatorname{th}(1,84h/R) \quad (5)$$

### III. ZEMİN SINIFLARI İÇİN İVME SPEKTRUMLARI

Yapıların depremi hesabında elastik tasarım ivme spektrumları kullanılacaksa, yerel zemin sınıfına bağlı olarak tanımlanan karakteristik periyotların ( $T_A$  ve  $T_B$ ) belirlenmesi gerekmektedir.

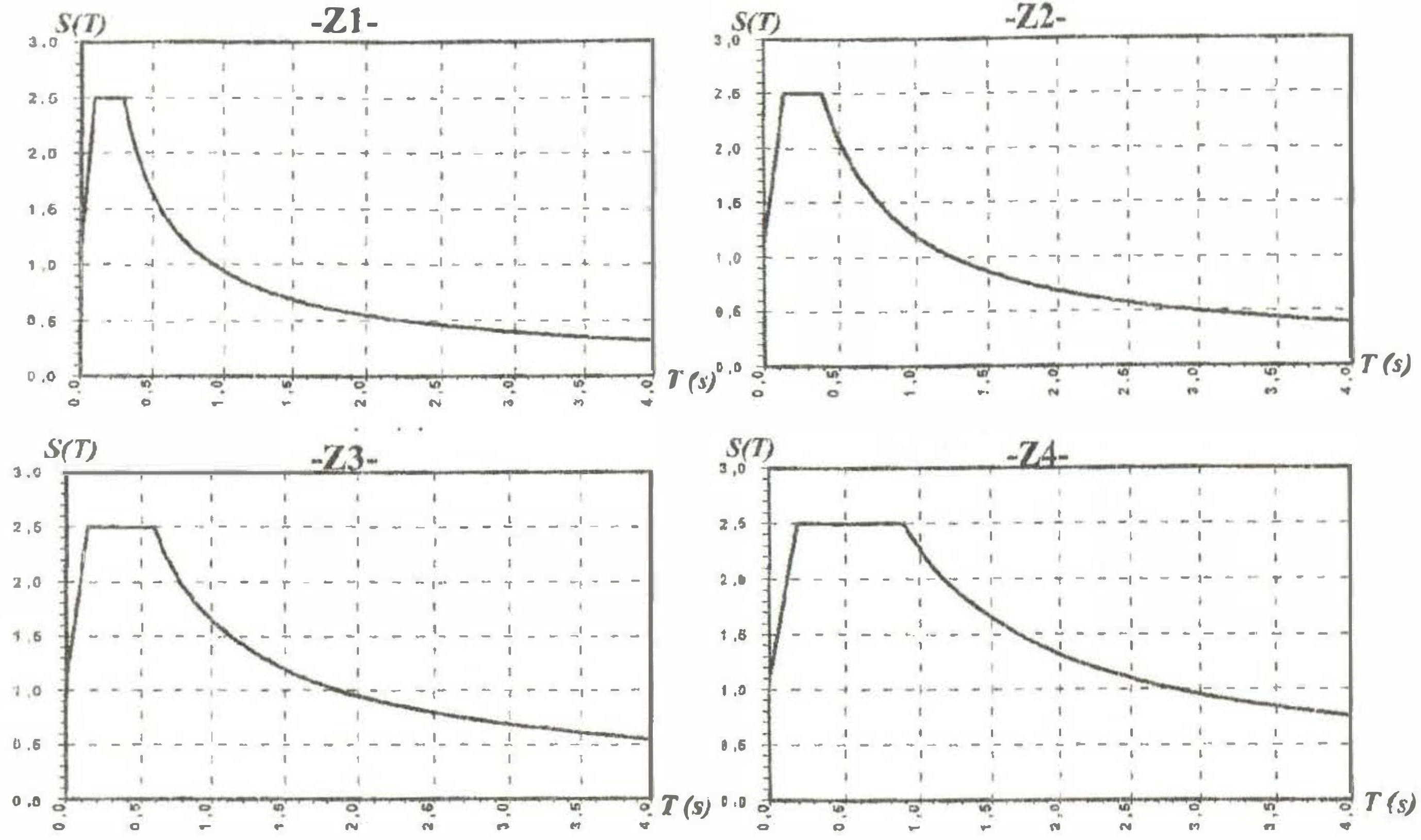
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te yerel zemin sınıfları, zemin gruplarına ve en üst tabaka kalınlığına göre tanımlanmaktadır. Söz konusu karakteristik periyotlar yerel zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 1 yardımıyla belirlenebilir. Bu çizelgede  $h_1$  zeminin en üst tabakasının kalınlığını, (A), (B), (C) ve (D) zemin grupları ise Türk Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te Standard penetrasyon, relatif sıklık, serbest basınç direnci ve kayma dalgası hızına göre tanımlanan zemin guruplarını göstermektedir.

Zemin karakteristik periyotlarına ve yapının birinci titreşim periyoduna ( $T$ ) bağlı olan spektrum katsayısı ( $S(T)$ ) Çizelge 2'deki gibi belirlenebilir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi spektrum katsayısının belirlenmesinde yapıya ve zemine ait periyotlar birlikte kullanılmaktadır.

Tablo 2. Spektrum katsayıları

Periyot Aralığı	$S(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1 + 1,5T/T_A$
$T_A \leq T \leq T_B$	2,5
$T > T_B$	$2,5(T_B/T)^{0,8}$

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te tanımlanan dört zemin sınıfı için spektrum katsayısının periyoda göre değişimi belirlenerek Şekil 3'de verilmektedir.



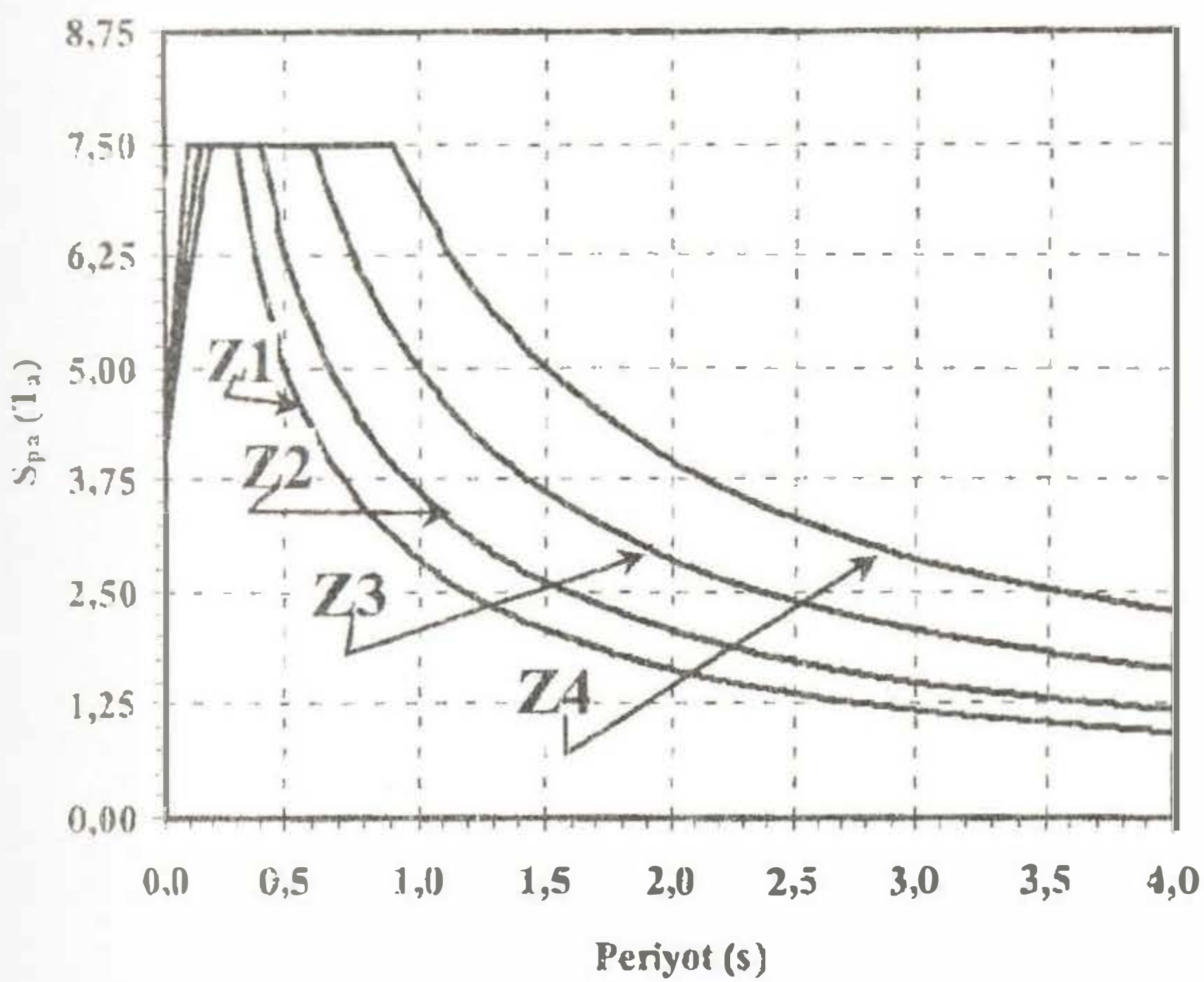
Şekil 3. Zemin sınıflarına göre spektrum katsayısının değişimi

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi spektrum katsayısının maksimum olduğu periyot aralığı Z1 den Z4 sınıfı zemine gidildikçe büyümektedir.

Spektrum katsayısının belirlenmesinden sonra herhangi bir titreşim modunda dikkate alınacak ivme spektrumu ordinatı

$$S_{pa}(T) = \frac{A_o \cdot I \cdot S(T) \cdot g}{R_d(T)} \quad (6)$$

bağıntısıyla belirlenebilir. Bu bağıntının pay kısmı elastik tasarım ivme spektrumu olarak adlandırılmaktadır. Bağıntıdaki  $A_o$  etkin yer ivmesi katsayısını,  $I$  yapı önem katsayısını,  $g$  yerçekimi ivmesini ve  $R_d(T)$  taşıyıcı sistem davranış katsayısına ( $R$ ) bağlı olarak belirlenen deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir. Çalışmaya konu olan ayaklı depolar için  $A_o = 0,40$ ,  $I = 1,5$  ve  $R = 2$  olarak dikkate alınmıştır. Buna göre belirlenen  $S_{pa}(T)$  nin periyoda göre değişimi dört sınıf zemin için belirlenerek Şekil 4'de verilmektedir.

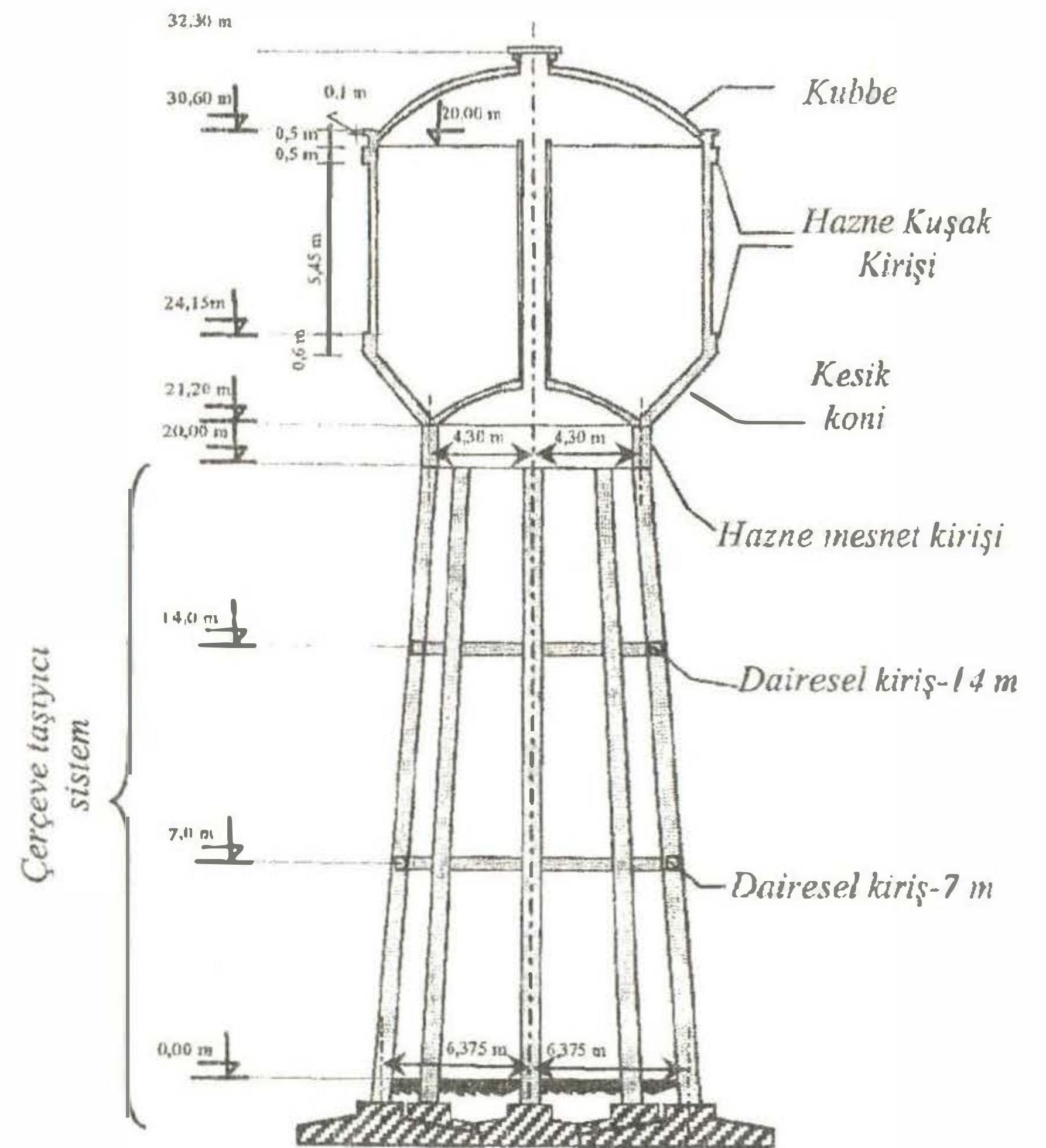


Şekil 4. Çalışmaya konu depolar için alınacak ivme spektrumları

#### IV. ÇALIŞMAYA KONU OLAN AYAKLI DEPOLAR

Çalışmada toplam  $1000 \text{ m}^3$  hazne hacmi bulunan çerçeve ve silindirik kabuk taşıyıcı sisteme sahip iki farklı depo dikkate alınmaktadır.

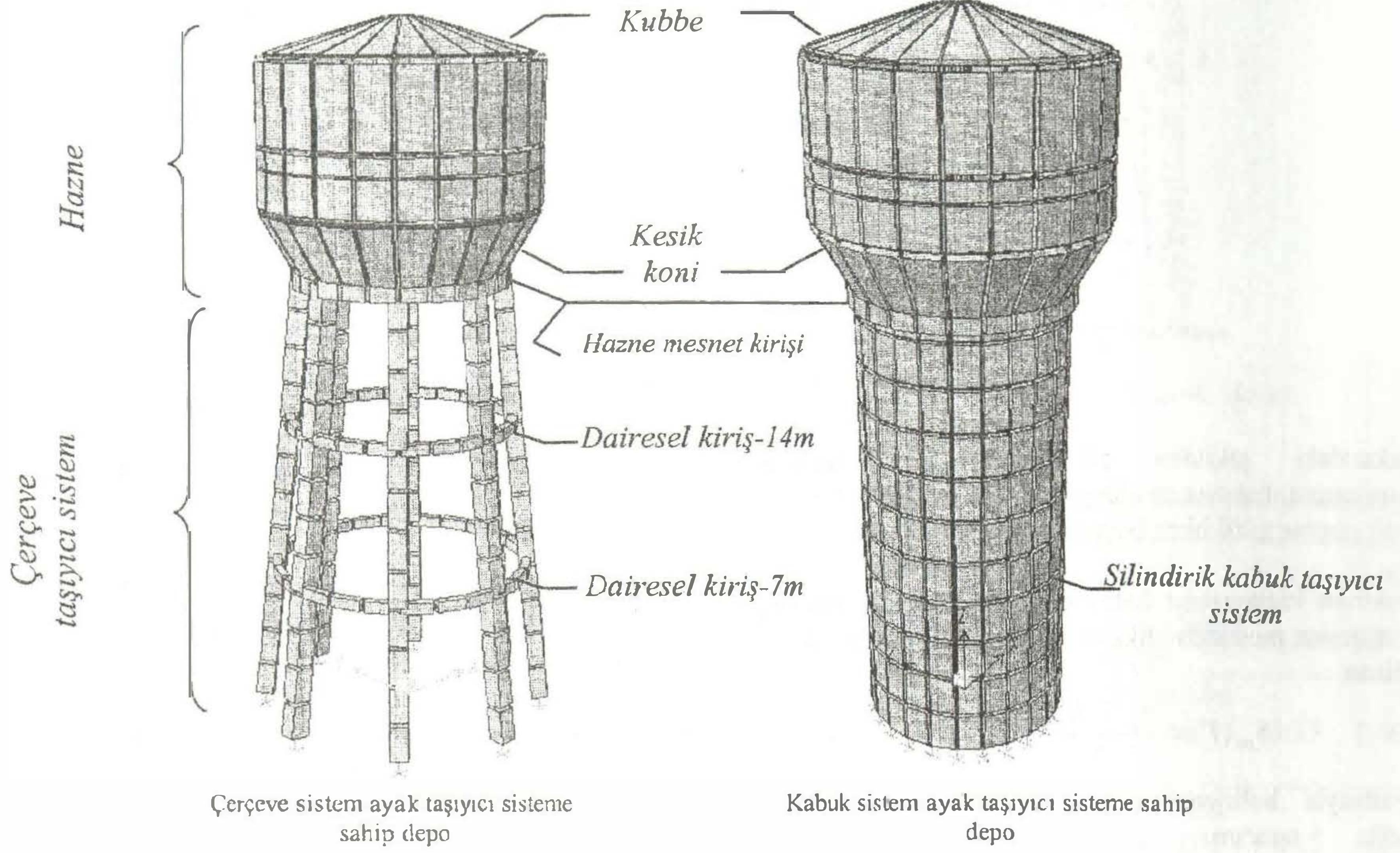
Bunlardan çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olan Türkiye'de İller Bankası tarafından tip proje olarak uygulanmakta olup kesit görünüşü Şekil 5'de verilmektedir. Her iki deponun da hazne kısımları aynıdır. İkinci depodaki silindirik kabuğun kalınlığı  $0,3 \text{ m}$ , çapı ise  $4,3 \text{ m}$  dir. Depolar için dikkate alınan beton sınıfı C20 dir.



Şekil 5. Çerçeve taşıyıcı sisteme sahip deponun düşey kesiti

## V. DEPOLARIN MODELLENMESİ

Çalışmaya konu depoların SAP2000 [19] paket programı kullanılarak hazırlanan sonlu eleman modelleri Şekil 6'da görülmektedir. Depo haznesinin kuşak kirişleri çerçeve (frame) elemanlarla, diğer kısımları ise kabuk (shell) elemanlarla modellenmektedir.



Şekil 6. Seçilen depoların sonlu eleman modelleri

Sonlu Elemanlar Yöntemiyle gerçekleştirilen çözümlerinde yapı-sıvı etkileşimini dikkate alabilmek için eklenmiş kütle, Euler tipi, Lagrange tipi ve Euler-Lagrange tipi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bunlardan eklenmiş kütle yaklaşımı dışındaki çözümlerde sıvı sonlu elemanlara da gerek duyulmaktadır. Dolayısıyla geleneksel yapısal çözümlerinde sadece eklenmiş kütle yaklaşımıyla çözüm mümkün olmaktadır. Bu çalışmada da eklenmiş kütle yaklaşımı kullanılmaktadır. Sıvının eklenecek impuls ve salınım kütleleri Housner Yöntemine göre 1 ve 2 bağıntıları yardımıyla  $m_i=661000$  kg ve  $m_o=235000$  kg olarak hesaplanabilir. Bu kütlelerin hazne tabanından yükseklikleri 3 ve 4 bağıntıları ile  $h_i=3,0$  m ve  $h_o=4,70$  m olarak belirlenmiştir. Hesaplanan impuls kütlelerini kapsayacak şekilde hazne tabanından 3,85 m yüksekliğine kadar olan elemanların birim kütleleri (yoğunlukları) artırılmıştır. Salınım kütlesi için ise etkiye yüksekliğinde bir düğüm noktası tanımlanarak bu kütle 5 bağıntısıyla hesaplanan  $k_z=696,2$  kN/m rijitliği ile birbirine dik her iki doğrultuda mesnetlenmiş ve aynı seviyedeki diğer noktalara ait serbestlikler bu noktanın serbestliklerine eşitlenmiştir.

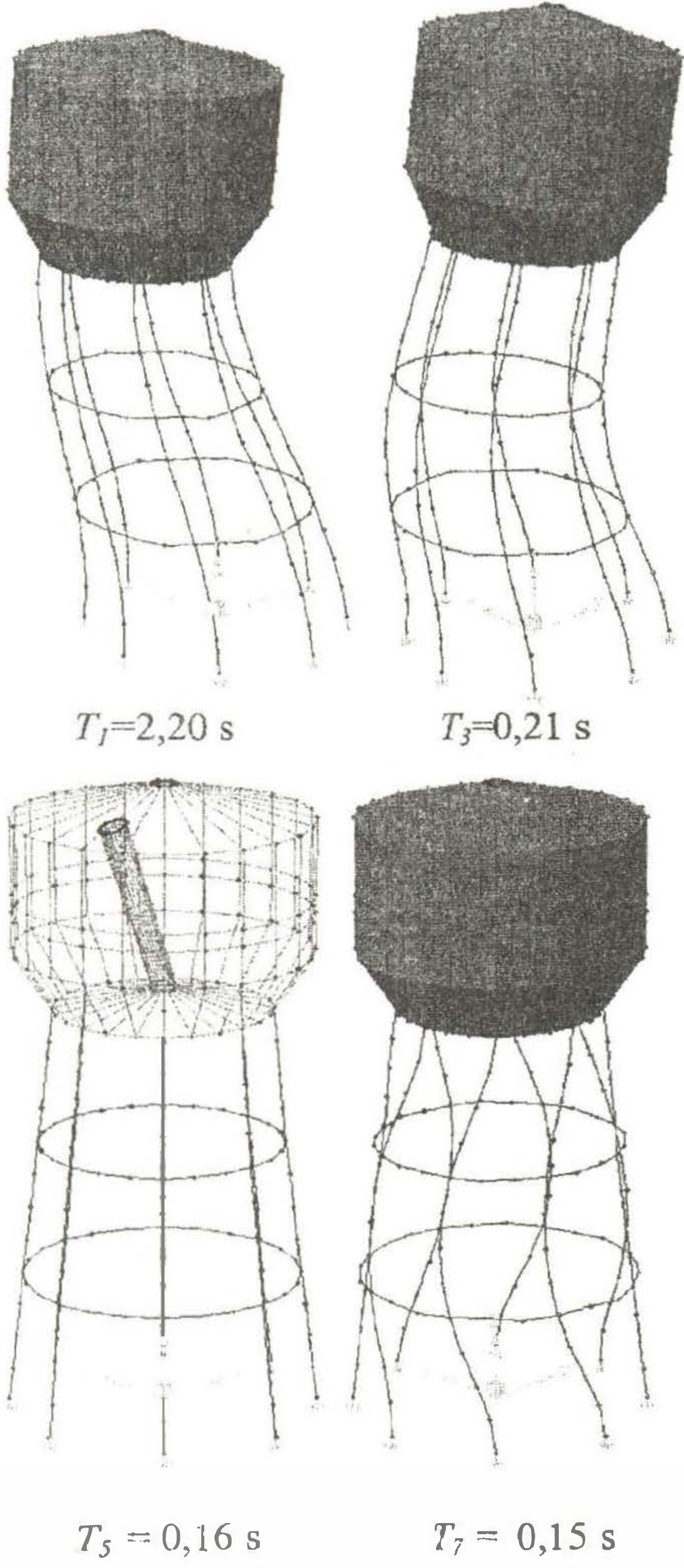
## VI. YAPISAL ÇÖZÜMLEMELER VE İRDELEMELER

Depreme göre yapısal çözümlemede mod birleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Her iki depo için de ilk 10 mod dikkate alınmış olup bunlardan biçim olarak birbirinden farklı dört mod şekli Şekil 7 ve 8'de görülmektedir.

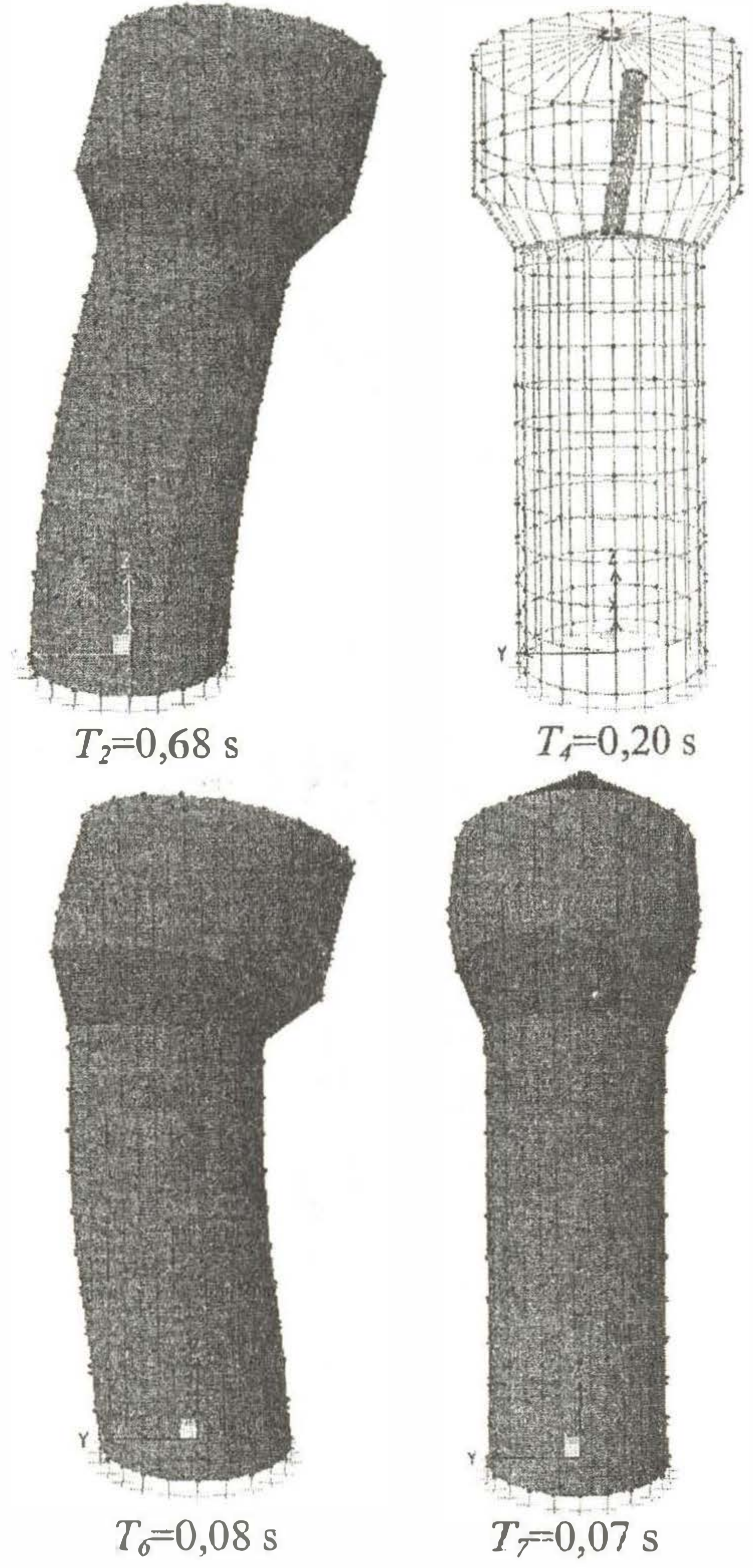
Şekil 7 ve 8 den görüldüğü gibi çerçeve taşıyıcı sisteme sahip depoda ayak çerçeve taşıyıcı kısımda modlara ilişkin biçim şekil değişimi fazla, haznede kısmında ise oldukça az olmaktadır.

Silindirik kabuk taşıyıcı sisteme sahip depoda ise taşıyıcı sistem ve hazne birlikte davranış göstermektedir.

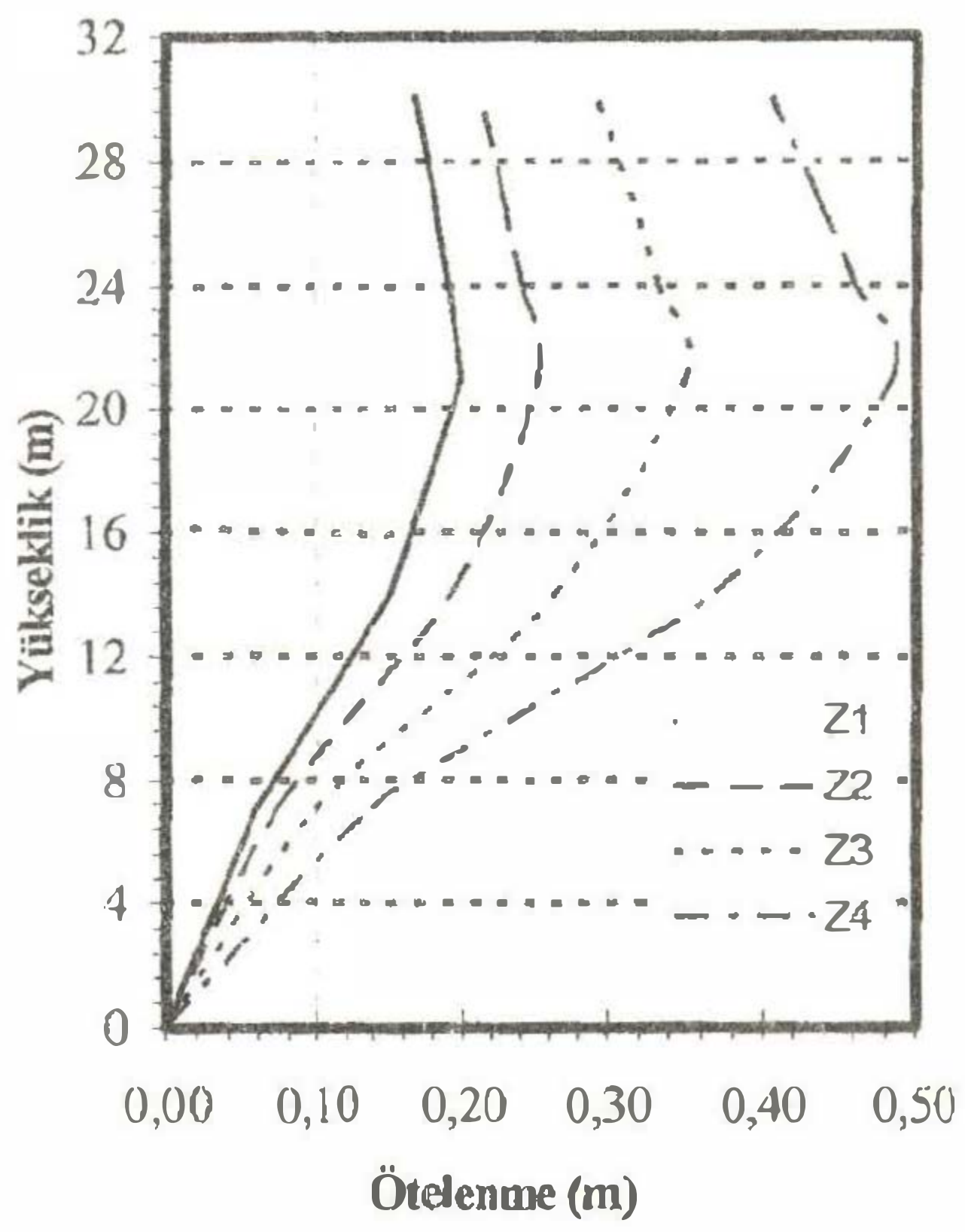
Ayaklı depolar için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te tanımlanan dört farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmaktadır. Depoların bu dört farklı zemin sınıfına göre yüksekliği boyunca yatay ötelenmeleri Şekil 9'da görülmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi maksimum ötelenme her iki depo için de Z4 sınıfı zeminde oluşmuştur. Zemin sınıfına göre ötelenme, Z1 ve Z4 türü zemin sınıfları arasında, çerçeve sistemli depoda % 142, silindirik kabuk sistemli depoda ise % 93 oranında değişmektedir. Maksimum ötelenmenin değeri çerçevesiz sistemli depo için 478 mm olurken, silindirik sistemli depo için sadece 109 mm olmaktadır. Diğer taraftan maksimum ötelenme, çerçeve sistemli depoda hazne alt kısmında meydana gelirken, silindirik kabuk sistemli depoda hazne üst kısmında meydana gelmektedir.



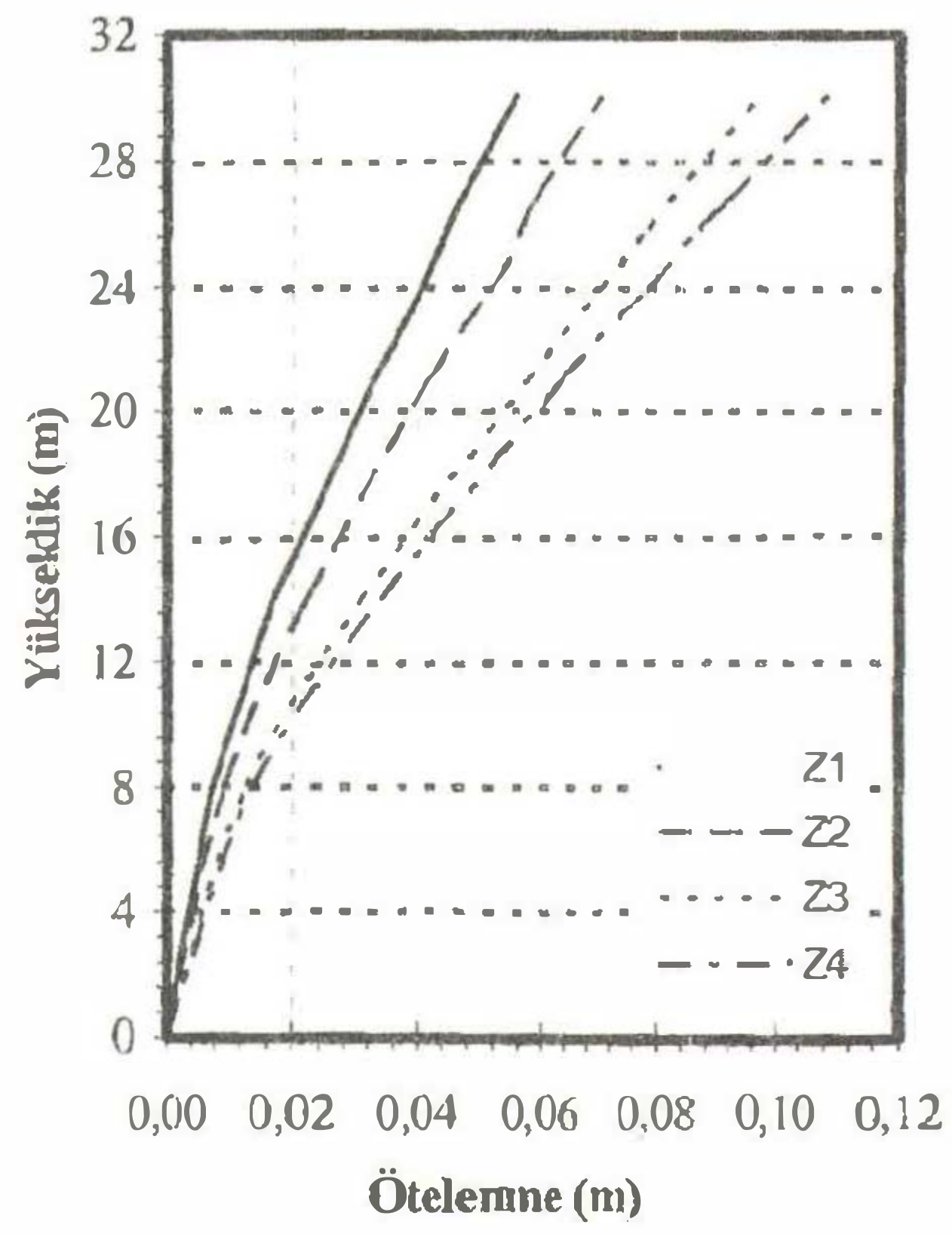
Şekil 7. Çerçeve sistemli ayaklı deponun 4 farklı mod şekli ve periyotları



Şekil 8. Silindirik kabuk sistemli ayaklı deponun 4 farklı mod şekli ve periyotları



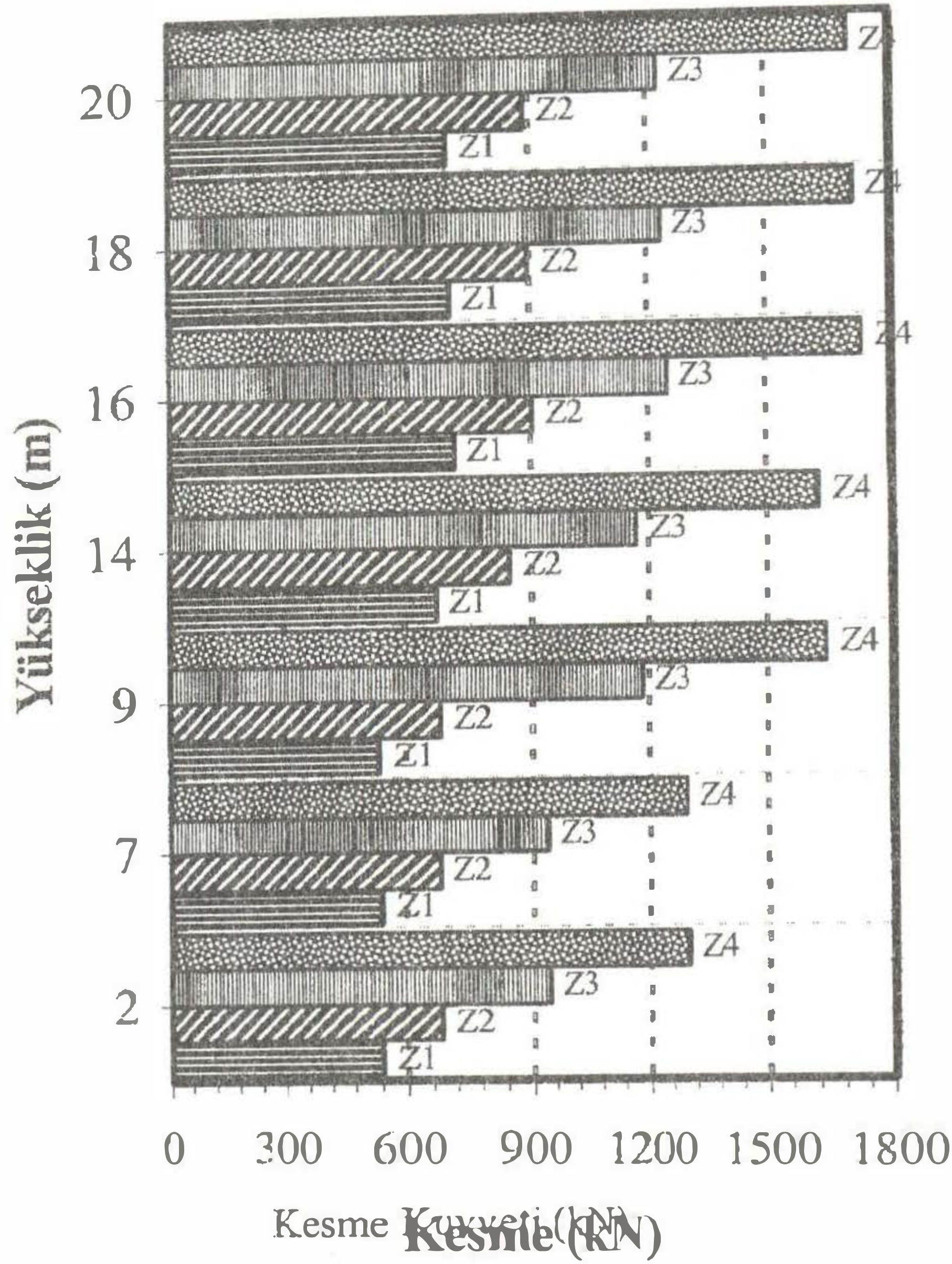
(a)



(b)

Şekil 9. Seçilen depoların farklı zemin gruplarına göre ötelenmeleri

Çalışmaya konu olan çerçeve sisteme sahip deponun belirli yüksekliğindeki elemanlarda hesaplanan kesme kuvvetinin yerel zemin sınıflarına göre değişimi Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Çerçeve sistemli deponun dikey taşıyıcı elemanlarındaki, farklı zemin koşulları için maksimum kesme kuvveti değişimi.

Bu şekilden görüldüğü gibi dikey taşıyıcı elemanlarda kesme kuvvetinin değişimleri incelendiğinde bütün zemin sınıfları için en büyük değerlerin 16-18 metre seviyesinde bulunan elemanlarda olduğu görülmektedir. Z4 sınıfı zemin için hesaplanan değerler en büyük değerler olmaktadır.

Düsey taşıyıcılarda oluşan en büyük kesme kuvvetlerinin değişimleri irdelendiğinde Z1 türü zemin için elde edilen kesme kuvvetlerine göre, Z2 türü zemin sınıfı için % 26, Z3 türü zemin sınıfı için % 119 ve Z4 zemin sınıfı için ise % 204 daha büyük kesme kuvveti değerleri elde edilmektedir.

Her iki deponun hazne mesnet kuşağındaki ve çerçeve sistem deponun 7 m ve 14 m seviyelerindeki dairesel kirişlerdeki kesme kuvvetini zemin sınıflarına göre hesaplanan değerleri Çizelge 3'de verilmektedir. Bu çizelgede verilen bulgularla ilgili olarak aşağıdaki irdelenmeler yapılabilir:

Çerçeve sistem depoda bulunan dairesel kirişlerdeki kesme kuvveti değişimleri incelendiğinde farklı zemin sınıfları için çok farklı değerler alabildikleri görülmektedir. Örneğin Z1 sınıfı zemine göre bir karşılaştırma yapıldığında Z2 sınıfı zeminler için % 26 oranında, Z3 türü zemin için % 74 ve Z4 türü zemin için yapılan çözümlemede ise % 141 daha fazla kesme kuvveti değerleri elde edilmektedir.

Silindirik kabuk sistem depoda bulunan hazne mesnet kirişinde farklı zemin sınıfları için meydana gelen kesme kuvveti değişimleri incelendiğinde Z1 türü zemine göre yapılan karşılaştırmalarda Z2 türü zeminler için % 25, Z3 türü zeminler için % 70 ve Z4 türü zeminler için ise % 92 oranında daha büyük değerler elde edildiği görülmektedir. Hazne mesnet kirişinde hesaplanan kesme kuvvetleri taşıyıcı sistem bakımından karşılaştırıldığında silindirik kabuk sisteme sahip olan depo için hesaplanan değer, çerçeve sistem depo için hesaplanana göre altıda biri oranında küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Hazne mesnet kuşağı ve dairesel kirişlerdeki oluşan deprem kesme kuvvetleri, kN

Yapısal eleman		Yerel Zemin Sınıfları			
		Z1	Z2	Z3	Z4
Kabuk sistemli depo	Hazne mesnet kuşağı	252,9	317,5	430,8	486,2
	Çerçeve sistemli depo				
Dairesel kiriş	14 m de	1040,1	1312,4	1811,8	2509,6
	7 m de	745,1	940,2	1298,0	1797,9

## VII. SONUÇLAR

Yerel zemin sınıfı, çerçeve sistem ve kabuk sisteme sahip her iki deponun da dinamik davranışını önemli oranda değiştirmektedir. Etkileme derecesi Z1 ve Z4 türü zemin sınıfları karşılaştırıldığında, deponun ötelenmesi açısından silindirik kabuk sistem depo için % 92 lere, çerçeve sistem depo için ise % 143 lere ulaşmıştır. Hazne mesnet kuşağındaki kesme kuvvetleri açısından değişim ise ayaklı depolar için sırasıyla % 90 ve % 140 olmuştur. Bu durumda, deponun inşa edileceği zeminin özelliklerini gerçekçi olarak belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Aksi durumda deponun depremi hasarsız atlması beklenemez.

Bu çalışmada örnek olarak seçilen ve aynı zamanda ülkemizde tip proje olarak da uygulanmakta olan çerçeve sisteme sahip ayaklı depo 1. derece deprem bölgelerinde

yerel zemin sınıflarından hiçbiri için uygun olmamaktadır. Diğer taraftan bu taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depoların elemanlarında meydana gelen kesit etkileri oldukça büyük değerler almaktadır. Bu nedenle bu tür çerçeve sistem depoların taşıyıcı sistemleri dayanım, rijitlik ve süneklik ilkeleri birlikte değerlendirilerek yeniden tasarlanmaları gerekmektedir.

Çerçeve sisteme sahip ayaklı depoların yeterli rijitliğe sahip olmalarının kabuk taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depolara göre çok daha zor olduğu öngörülebileceğinden deprem bölgelerinde inşa edilecek depolar için çerçeve sistem yerine silindirik kabuk sistemi seçmek deponun deprem güvenliği açısından daha uygun bir çözüm olarak görülebilir.

Genellikle uygulamada çalışan mühendislerin kullandıkları yapısal çözümleme programları sıvı sonlu eleman içermemektedir. Bu çalışmada, ayaklı depoların depreme göre hesabıyla uğraşan mühendislere, geleneksel yapısal çözümleme programlarını kullanarak bu depoların deprem hesaplarının nasıl yapılabileceği konusunda bir yaklaşım sunulmuştur.

Her iki depo için de hazne elemanlarında hesaplanan kesit etkileri bu elemanların taşıma güçlerini aşmamıştır. Dünyanın değişik bölgelerinde hasar gören ya da yıkılan betonarme ayaklı depoların hazneleri genelde hasar görmemiştir. Bu durum çalışmadan çıkartılan sonucu desteklemektedir. Dolayısıyla tasarımcının deprem bölgelerine inşa edilecek ayaklı depolar için önceliği ayak taşıyıcı sisteme vermesi gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1]. Doğangün, A., "Sıvı Tutucu Yapıların Dinamik Hesapları", IV. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, 11-13 Eylül 2002, Bildiriler, sayfa:297-308.
- [2]. Veletsos, A. S., "Seismic Response and Design of Liquid Storage Tanks, Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems", ASCE, New York, pp 255-461, 1984.
- [3]. ACI 371R-98, American Concrete Institute (ACI), "Guide to the Analysis Design and Construction of Concrete-Pedestal Water Tower", ACI 371R, 1995.
- [4]. FEMA 368, "The 2000 NEHRP Recommended Provisions For New Buildings And Other Structures Part 1: Provision" NEHRP, 2000.
- [5]. FEMA 369 "The 2000 NEHRP Recommended Provisions For New Buildings And Other Structures Part 2: Commentary" NEHRP, 2000.

- [6]. Priestley, M.J.N., Davidson, B.J., Honey, G.D., Hopkins, D.C., Martin, R.J., Ramsey, G., Vessey, J.V., and Wood, J.H. (1986), "Seismic Design of Storage Tanks", Recommendation of a Study Group the New Zealand Society for Earthquake Engineering, New Zealand, 180 pages.
- [7]. Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Draft of Anti-Earthquake Design Code for High Pressure Manufacturing Facilities, 1981.
- [8]. Eurocode-8, "Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 4: Silos, Tanks and Pipelines", European Committee for Standardization, 65 pages, 1998.
- [9]. ABYYHY., "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", İMO İzmir Şubesi Yayını, No:25, 1998.
- [10]. Housner, G. W., "Dynamic Behavior of Water Tanks" Bulletin of the Seismological Society of the America, 53 pp 381-387, 1963.
- [11]. Durmuş, A., Doğangün, A., "Türkiye'de İnşa Edilen Betonarme Ayaklı Su Depolarının Deprem Emniyeti", Prefabrik Birliği Yayın Organı, sayı:22, sayfa:17-24, Nisan 1992.
- [12]. Haroun, M. A., Ellaithy, H. M., "Seismically Induced Fluid Forces on Elevated Tanks", Journal of Technical Topics in Civil Engineering, Vol.111, No:1, pp:1-15.
- [13]. Doğangün, A., Ayvaz, Y., Durmuş, A., "Earthquake Analysis of Water Towers" 4th International Conference on civil Engineering, May 4-6, 1997.
- [14]. Asthana, A., Sridhar, P., "Earthquake Analysis of Elevated Water Tanks Using SESAM" 4th International Conference on civil Engineering, pp 449-457, May 4-6, 1997.
- [15]. Resheidat, R. M., Sunna, H., "Behavior of Elevated Storage Tanks During Earthquakes" Proceedings of the 3th World Conference on Earthquake Engineering Vol II, pp 13,22, Moscow 1990.
- [16]. Shenton, H. W., Hampton, F.P., "Seismic Response of Isolated Elevated Water Tanks", Journal of Structural Engineering, Vol. 125, September 1999, pp:965-975.
- [17]. Shrimali, M. K., Jangid, R.S., "Earthquake Response of Liquid Storage Tanks with Sliding Systems", JSEE, vol:4, No 2&3, 2002, pp:51-61.
- [18]. Marashi, E. S., Shakib, H., "Evaluations of Dynamic Characteristics of Elevated Water Tanks by Ambient Vibration Tests" 4th International Conference on civil Engineering, May 4-6, 1997.
- [19]. SAP2000., "Structural Analysis Programs", Computers and Structures Inc., Nonlinear, Berkeley, California, 1995.