

**T.C.**  
**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DEPREMDE DEVRİLMEMEYE KARŞI BİNA YÜKSEKLİK/GENİŞLİK**  
**ORANININ ZEMİN YATAK KATSAYISINA BAĞLI OLARAK**  
**BİLGİSAYAR DESTEKLİ OPTİMUM TASARIMI**

**MEHMET ALİ KALAYLI**

**HAZİRAN 2017**

**İnşaat Anabilim Dalında** Mehmet Ali KALAYLI tarafından hazırlanan  
DEPREMDE DEVRİLMEMEYE KARŞI BİNA YÜKSEKLİK/GENİŞLİK ORANININ  
ZEMİN YATAK KATSAYISINA BAĞLI OLARAK BİLGİSAYAR DESTEKLİ  
OPTİMUM TASARIMI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarında  
uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. ORHAN DOĞAN

Anabilim Dalı Başkanı

....

Doç. Dr. ORHAN DOĞAN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK \_\_\_\_\_

Üye (Danışman) : Doç. Dr. ORHAN DOĞAN \_\_\_\_\_

Üye : Doç. Dr. İlker KALKAN \_\_\_\_\_

.../.../2017

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek  
Lisans derecesi onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### DEPREMDE DEVRİLMEYE KARŞI BİNA YÜKSEKLİK/GENİŞLİK ORANININ ZEMİN YATAK KATSAYISINA BAĞLI OLARAK BİLGİSAYAR DESTEKLİ OPTİMUM TASARIMI

KALAYLI, Mehmet Ali

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Haziran 2017, 101 sayfa

Nüfusunun %98'i deprem bölgesinde yaşayan Ülkemizde betonarme karkas binaların analizlerinde, depreme karşı toptan kayma ve devrilme tahkiki yapılmamakta ve zemin-yapı etkileşimi (ZYE) de dikkate alınmamaktadır.

Ancak 1999 Kocaeli depreminde, dar cepheli ve yüksek bazı binaların temelleri radye olmasına rağmen, üst yapısında hiçbir hasar olmaksızın, temeliyle birlikte toptan devrildiği görülmüştür.

Betonarme karkas binaların devrilme tahkikinde, bina yüksekliğinin cephe genişliğine oranının (H/B) en önemli parametre olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, zemin yatak katsayısının (K) bu oranı ne oranda etkilediği de incelenmiştir. Bu nedenle 1. derece deprem bölgesinde, K'ya bağlı olarak H ve B arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için bilgisayar destekli tasarım yapılmıştır.

Bu çalışmada, binanın optimum H/B oranını belirlemek amaçlanmış olup, zeminin çekme dayanımı ihmal edilerek, 4 farklı H/B oranının her biri için 5'er farklı K katsayısı ile 20 adet farklı bina modeli tasarlanmıştır. STA4CAD V13.1 programı ile

20 lineer analiz ve ayrıca ETABS 13.0.0 programı ile P- $\delta$  etkileri de dikkate alınarak 20 lineer ve 20 nonlinear analiz olmak üzere toplam 60 farklı analiz yapılmıştır.

Analizler sonucunda bina genişliğine ve zemin yatak katsayısına bağlı olarak, bina yüksekliğinin belirlenmesi hususunda gerçek bina davranışıyla uyumlu veriler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Depremde Devrilen Narin Binalar, Toptan Devrilme, Radye Temelde Dönme, Bina Devrilme Tahkiki, Nonlinear Analiz, P- $\delta$  Analizi, Çekme Almayan Temel, Optimum Yükseklik/Genişlik Oranı, Zemin-Yapı Etkileşimi, Zemin Yatak Katsayısı, Depremde Bina Performans Analizi

## ABSTRACT

### COMPUTER AIDED DESIGN OF OPTIMUM HEIGHT/WIDTH RATIO OF A BUILDING AGAINST OVERTURNING DURING EARTHQUAKE DEPENDING ON SOIL SPRING COEFFICIENT

KALAYLI, Mehmet Ali

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Eng., M.Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

June 2017, 101 pages

In our country where %98 of population living in, during earthquake totally slide or overturning of reinforced concrete building and soil-structure interaction (SSI) is not taken care in structural analysis.

However, it observed that in 1999 Kocaeli Earthquake, as though they have raft foundation some of the buildings with narrow width and height were totally overturned with its raft foundation without any demolish or structural failure in other parts of the building.

The ratio of height-width (H/B) of a building is known as one of the most important parameter in the overturn-analysis of reinforced concrete buildings. Herein, it is inspected that how much soil spring ratio (K) effects the ratio of H/B. That is why depending on the K a computer aided design has been conducted to put out the correlation between H and B.

In this study, it is aimed that to put out optimum H/B ratio of a building, neglecting soil tension strength, with 4 different H/B ratio and also for each different H/B ratio using 5 different K coefficient totally 20 different building modals are designed. Using STA4CAD V13.1 program 20 linear analysis and also using ETABS 13.0.0

program and taking care P-  $\delta$  effects 20 linear and 20 nonlinear analysis totally 60 analysis were carried out.

As a result of these analysis, depending on the width of the building and soil spring coefficient, a good corelation is found out to determined height of the building.

**Key Words:** Sensitive Buildings Against Overturning In Earthquake, Totally Overturn, Rotation Of Raft Foundation, Overturning Control Of Building, Nonlinear Analysis, P- $\delta$  Analysis, Foundation With Zero Tensile Strength, Optimum Height/Width Ratio, Soil-Structure Interaction, Soil Coefficient, Earthquake Performance Analysis Of Buildings

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca yardım, katkı, bilgi ve tecrübelerini bir an olsun esirgemeyerek, mühendislik düşünce yetimi ileri düzeye taşıyan değerli Bilim İnsanı Hocam Sayın Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Anneme, Babama ve Eőime teşekkürlerimi bir borç bilirim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Konu İle İlgili Önceki Yapılan Çalışmalar.....	3
<b>2. DEPREM HAREKETİ</b> .....	<b>10</b>
2.1. Deprem Oluşumu ve Özellikleri.....	10
2.2. Deprem Şiddet ve Büyüklüğü .....	12
2.3. Azalım İlişkileri.....	13
2.4. Yurdumuzda Faylar ve Tektonik Bölgeler .....	13
2.5. Dalga Hareketi Olarak Deprem .....	14
2.6. Yapının Sismik Özellikleri .....	15
2.7. Zemin Durumunun Etkisi .....	16
2.8. ZYE Etkisinde Kalan Yurdumuzdaki Önemli Depremler.....	18
2.9. Çeşitli Etkiler Altında Temel Hasar Çeşitleri.....	19
2.10. P- $\delta$ Etkisi .....	20
2.11. Nonlinear Analiz .....	21
<b>3. TEMELLER</b> .....	<b>23</b>
3.1. Taşıma Gücü Parametreleri .....	23
3.1.1. Zeminin İçsel Sürtünme Açısı .....	24
3.1.2. Zeminin Görünen Kohezyonu .....	25
3.2. Sığ Temeller İçin Taşıma Gücü.....	26
3.2.1. Sığ Temellerde Taşıma Gücü Hesap Yöntemi (Terzaghi 1943) .....	28
3.3. Eurocode 8'e Göre Temeller .....	30
3.4. Zemin Yatak Yay Katsayısı.....	30



<b>4. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ (ZYE).....</b>	<b>37</b>
4.1. Deprem Hareketinde Zemin-Yapı Etkileşimi.....	37
4.2. Temellerin ZYE Etkisi İle İlişkisi .....	38
4.3. Zemin Modelleri.....	39
4.3.1. Winkler Zemin Modeli .....	40
4.3.2. Filonenko –Brodich Zemin Modeli .....	41
4.3.3. Hetenyi Zemin Modeli.....	42
4.3.4. Pasternak Zemin Modeli.....	42
4.3.5. Vlasov Zemin Modeli .....	43
<b>5. BİNALARDA DEVRİLME .....</b>	<b>44</b>
5.1. Binaların Devrilme Koşulları .....	45
5.2. Devrilmeye Karşı Alınabilecek Önlemler .....	55
<b>6. SAYISAL ÖRNEKLER .....</b>	<b>57</b>
6.1. Düşey Yük Analizi ve Ön Boyutlandırma.....	57
6.1.1. Düşey Yük Analizi .....	57
6.1.2. Ön Boyutlandırma .....	59
6.1.2.1. Döşemeler .....	61
6.1.2.2. Kirişler .....	61
6.1.2.3. Kolonlar .....	62
6.1.2.4. Temeller .....	63
6.2. Malzeme Seçimi .....	66
6.4. Sayısal Modellerin Veri Girişinde Kullanılan Bilgiler.....	67
6.4.1. Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması : Spektral İvme Katsayısı.....	67
6.4.2. Etkin Yer İvme Katsayısı.....	68
6.4.3. Bina Önem Katsayısı .....	68
6.4.4. Spektrum Katsayısı .....	69
6.4.5. Özel Tasarım İvme Spektrumları .....	70
6.4.6. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı .....	70
6.5. Hesap Yöntemi Seçimi .....	72
6.5.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi .....	72
6.5.2 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi.....	73
6.5. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi .....	75
6.6. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler .....	75

6.7. Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması .....	76
6.8. İkinci Mertebe Etkileri .....	77
6.9. Sayısal Örneklere Ait Genel Açıklama ve Bulgular.....	78
6.10. Sayısal Örneklere Ait Analiz Sonuçları .....	79
6.11. Sayısal Örneklere Ait Analiz Sonuçları Tabloları.....	88
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>97</b>
7.1. Konu İle İlgili Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar.....	100
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>102</b>



## SİMGELER DİZİNİ

- $A(T)$  : Spektral İvme Katsayısı
- $A_o$  : Etkin Yer İvmesi Katsayısı
- $B_a$  : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
- $B_{ax}$  : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- $B_{ay}$  : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- $B_b$  : Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
- $B_{bx}$  : Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- $B_{by}$  : Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- $D_i$  : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde burulma düzensizliğı olan binalar için i'inci katta  $\pm$  %5 ek dışmerkezliğı uygulanan büyütme katsayısı
- $d_{fi}$  : Binanın i'inci katında  $F_{fi}$  fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğıştirme
- $d_i$  : Binanın i'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğıştirme
- $F_{fi}$  : Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkiyen fiktif yük
- $F_i$  : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yüğü
- $g$  : Yerçekimi ivmesi (  $9.81 \text{ m/s}^2$  )
- $g_i$  : Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
- $H_i$  : Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliğı ( Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliğı )
- $h_i$  : Binanın i'inci katının kat yüksekliğı
- $I$  : Bina Önem Katsayısı

- $M_{xn}$  : Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- $M_{yn}$  : Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- $m_i$  : Binanın i'inci katının kütlesi (  $m_i = w_i / g$  )
- $m_{0i}$  : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
- $N$  : Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
- $n$  : Hareketli Yük Katılım Katsayısı
- $q_i$  : Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
- $R$  : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
- $R_a(T)$  : Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
- $S(T)$  : Spektrum Katsayısı
- $S_{ae}(T)$  : Elastik spektral ivme [ $m / s^2$ ]
- $S_{aR}(T_r)$  : r'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme [ $m / s^2$ ]
- $T$  : Bina doğal titreşim periyodu [s]
- $T_1$  : Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
- $T_A, T_B$  : Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
- $T_m, T_n$  : Binanın m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotları [s]
- $V_i$  : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
- $V_t$  : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti)
- $W$  : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
- $w_i$  : Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
- $\Delta_i$  : Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
- $(\Delta_i)_{ort}$  : Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
- $\Delta F_N$  : Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yüğü

- $\delta_i$  : Binanın  $i$ 'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
- $(\delta_i)_{\max}$  : Binanın  $i$ 'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
- $\Phi_{xin}$  : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda,  $n$ 'inci mod şeklinin  $i$ 'inci katta  $x$  eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
- $\Phi_{yin}$  : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda,  $n$ 'inci mod şeklinin  $i$ 'inci katta  $y$  eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
- $\Phi_{\theta in}$  : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda,  $n$ 'inci mod şeklinin  $i$ 'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni
- $\theta_i$  :  $i$ 'inci katta tanımlanan İkinci Mertebe Gösterge Değeri
- $q_u$  : Zeminin kayma göçmesine karşı ulaşabileceği en büyük mukavemet (Nihai taşıma gücü)
- $q_a$  : Emniyetli taşıma gücü
- $q_{a1}$  : Kayma göçmesine göre emniyetli taşıma gücü
- $q_{a2}$  : Oturma kriterinin izin verdiği emniyetli taşıma gücü
- $G_s$  : Güvenlik Katsayısı
- $\Phi$  : İçsel Sürtünme Açısı
- $Q_u$  : Altındaki zeminde kayma göçmesine sebebiyet veren düşey yük ( $kN, ton$ )
- $B$  : Sürekli temelin genişliği ( $m$ )
- $L$  : Sürekli temelin uzunluğu ( $m$ )
- $\gamma$  : Zeminin birim hacim ağırlığı ( $kN/m^3, t/m^3$ )
- $D_f$  : Temel çevresindeki zemin yüzeyinden temelin alt taban kotuna düşey uzaklık
- $c$  : Temel altındaki zeminin kohezyonu ( $kN/m^2, t/m^2$ )
- $k$  : Yatak katsayısı ( $kN/m$ )
- $p$  : Zemin noktasında uygulanan gerilme
- $\Delta l$  :  $O$  noktada meydana gelen yer değıştirme
- $H$  : Bina Yüksekliği ( $m$ )
- $D_0$  : Binanın Tepe Deplasmanı ( $cm$ )
- $B/2-D_0/2$ : Devrilmeye Karşı Koyan Düşey Yükün Topuğa Olan Uzaklığı ( $cm$ )
- $G+nQ$  : Bina Öz Ağırlığı Değeri İle Hareketli Yükün İdealleştirilmiş Hali
- $M_{direnen}$  : Binanın Devrilmesine Karşı Koyan Moment ( $tm$ )
- $M_{deviren1}$  : EXP Deprem Yükünden Kaynaklı Devirmeye Çalışan Moment ( $tm$ )

- $M_{deviren2}$  : Deprem Yüğü İle Düşey Yüğülerin Kombinasyonundan Kaynaklı Binayı Deviren Çalışan Moment (tm)
- $G_s$  : Güvenlik Katsayısı
- $N$  : Kat Sayısı
- $\delta_i$  : Göreli Kat Ötelenmesi ( $D_0 / N$ )
- $h_k$  : Kat Yüksekliğı (m)
- $\alpha$  : Göreli Kat Ötelenmesinden Kaynaklanan Açı Değeri ( $\delta_i / h_k$ )
- $B$  : Binanın Dar Kenar Genişliğı (m)
- $V$  : Temelin Genişliğı Boyunca Düşey Doğrultuda Yaptığı Deplasman Farkının Mutlak Değeri (cm)
- G.K.Ö. : Göreli kat Ötelenmesi
- $D$  : Temelin Dar Kenar Genişliğı (cm)
- $\gamma$  : ( $V/D$ ) Temelin Dönme Açısı
- $D_1$  : Temel Dönmesinden Kaynaklanan Tepe Deplasmanı (cm)
- $\delta$  : ( $D_0 - D_1$ ) Tepe deplasmanı ile Temel Dönmesinden Kaynaklı Deplasman Farkı (cm)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

1.1. ETABS 13.0.0 programında modellenen bina modellerinden biri.....	2
2.1. Fay hareketi ile deprem oluşumu [32] .....	11
2.2. Yurdumuzdaki Ana Faylar, Ana Plakalar Ve Hareket Doğrultuları.....	14
2.3. Elastik Ortamda Dalga Türleri ve Yayılma Özellikleri.....	15
2.4. Değişik Zemin Durumları İçin Ortalama İvme Spektrumları ve İdealleştirilmeleri (Seed and Idriss) .....	17
2.5. Düşey Yük Altındaki Bir Kolona Etkiyen 2.Mertebe Etkisi .....	20
2.6. Yük Parametresi-Yer değiştirme (P- $\delta$ ) bağıntıları .....	21
3.1. Daneler Arası Eksenel ve Kayma Gerilmesi Transferi.....	25
3.2. Lineer Göçme Zarfı .....	25
3.3. Taşıma Gücü Göçmesi (Coduto,1999) .....	26
3.4. Genel Kayma Göçmesi .....	27
3.5. Zımbalamadan Kaynaklanan Göçme Şekli.....	27
3.6. Kısmi Kaymadan Kaynaklı Göçme Şekli.....	28
3.7. Oturma Kriterinin Taşıma Gücüne Etkisi.....	28
3.8. Sığ Temel Altındaki Göçme Mekanizmalamaşması.....	29
3.9. Radye Temelde Yay Modeli [18] .....	32
3.10. Sürekli Temelde Yay Modeli.....	32
3.11. Tekil Temelde Yay Modeli [18].....	32
3.12. Zemin-Yapı Etkileşiminin İncelenmesi İçin Değişik Hassaslıkta Modeller .....	35
4.1. Winkler Zemin Modeli .....	40
4.2. Filonenko-Brodich zemin modeli.....	41
4.3. Hetenyi zemin modeli .....	42
4.4. Pasternak zemin modeli .....	43
4.5. Vlasov zemin modeli.....	43
5.1. Balıkesir İli Merkezindeki dar cepheli binalar .....	44
5.2. Giresun İli Merkezinde Dere Yatağındaki Bina (B=6,00 m, H=24,00 m).....	45
5.3. Zemin Yaylarıyla Tanımlanmış Bina Modeli (Veletsos And Meek, 1974) .....	46
5.4. Oturma Formunda Temel Deplasmanları-Tığcılar Mahallesi Adapazarı.....	47

5.5. B=4,00 Metre, H=16,00 Metre Olan Binanın Devrilmiş Hali-1 .....	48
5.6. B=4,00 Metre, H=16,00 Metre Olan Binanın Devrilmiş Hali-2 .....	48
5.7. B=4,00 Metre, H=16,00 Metre Olan Binanın Devrilmiş Hali-3 .....	49
5.8. Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali .....	49
5.9. Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali .....	50
5.10. Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali .....	50
5.11. Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali .....	51
5.12. Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali .....	51
5.13. Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali .....	52
5.14. Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmeye Yakın Davranışı.....	52
5.15. Depremde Sıvılaştan Zeminden Yukarı Çıkan Su Ve Oturan Bina.....	53
5.16. Depremde Sıvılaştan Zeminden Yukarı Çıkan Su.....	54
5.17. Depremde Sıvılaştan Zeminden Yukarı Çıkan Su Ve Ayrışan Zemin .....	54
5.18. Depremde Sıvılaşma Sebebiyle Devrildiği İddia Edilen Bina .....	55
6.1. ETABS 15.0.0 Programında Döşeme Kalınlığı Ve Yükleri Seçimi .....	58
6.2. ETABS 15.0.0 Programında Düşey Yüklerin 3 Boyutta Gösterimi .....	59
6.3. ETABS 13.0.0 Programında Bina Modelinin Planı .....	60
6.4. ETABS 13.0.0 Programında Bina Modelinin Kesit Görünüşü.....	60
6.5. ETABS 15.0.0 Programında Döşeme Seçimi .....	61
6.6. ETABS 15.0.0 programında 40x60 kiriş için veri girişi.....	62
6.7. ETABS 15.0.0 Programında Kolon İçin Veri Girişi .....	63
6.8. Temel malzeme tanımı ve boyutlandırması .....	64
6.9. Temel yay katsayısı ve özellikleri tanımlamaları .....	64
6.10. ETABS 15.0.0 Programında Temelin Mesnet Şartları Tanımı .....	65
6.11. ETABS 15.0.0 Programında Temelin Mesnet Şartları Tanımı .....	65
6.12. Beton Malzemesi Tanımlaması .....	66
6.13. Donatı Malzemesi Tanımlaması.....	67
6.14. Spektrum Katsayısı Grafiği.....	70
6.15. ETABS 15.0.0' Göre Veri Girişi Tablosu.....	71
6.16. 2007 DBYBHY'ye göre Kat Durumlarına Göre Toplam Eşdeğer Yükünün Belirlenmesi.....	75
6.17. 2007 DBYBHY'ye göre Deprem Doğrultuları .....	76
6.18. Zemin-yapı Etkileşimi Sonucu Oluşan 2.Mertebe Etkileri.....	78



<b>6.19.</b> H/B=3.00, K=500 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	80
<b>6.20.</b> H/B=3.00, K=10000 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	81
<b>6.21.</b> H/B=4.00, K=500 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	82
<b>6.22.</b> H/B=4.00, K=10000 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	83
<b>6.23.</b> H/B=5.00, K=500 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	84
<b>6.24.</b> H/B=5.00, K=10000 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	85
<b>6.25.</b> H/B=6.00, K=500 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	86
<b>6.26.</b> H/B=6.00, K=500 t/m <sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları.....	87

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

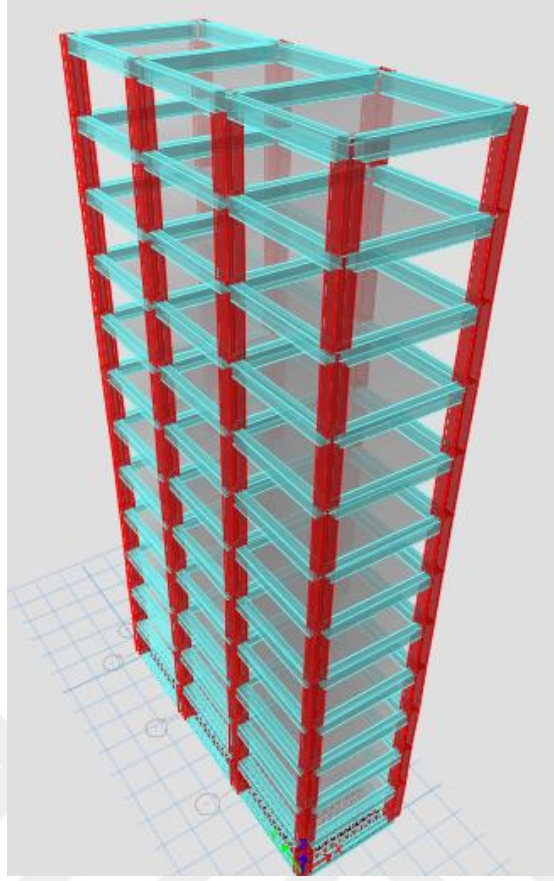
<b>3.1.</b> Terzaghi'ye (1955) göre yatak katsayısı çizelgesi [28] .....	33
<b>3.2.</b> Ersoy'a (1995) göre yatak katsayısı çizelgesi [29] .....	33
<b>3.3.</b> Keskinel'e (1970) göre yatak katsayısı çizelgesi [30] .....	34
<b>6.1.</b> DBYBHY'ye göre Etkin Yer İvme Katsayısı Tablosu .....	68
<b>6.2.</b> 2007 DBYBHY'ye Göre Bina Önem Katsayısı Tablosu.....	68
<b>6.3.</b> 2007 DBYBHY'ye göre Yerel Zemin Sınıfı Tablosu.....	69
<b>6.4.</b> 2007 DBYBHY'ye göre Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı Tablosu.....	71
<b>6.5.</b> 2007 DBYBHY'e göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Sınırlama Tablosu.....	72
<b>6.6.</b> 2007 DBYBHY'ye göre Hareketli Yüğü Katılım Katsayısı Tablosu.....	73
<b>6.7.</b> Bina Modellerine Ait Maksimum ve Minimum Tepe Deplasmanları-Linear Analiz (STA4CAD V13.1) .....	88
<b>6.8.</b> Modellere Ait Maksimum ve Minimum Tepe Deplasmanları - Linear Analizi (ETABS 13.0.0).....	89
<b>6.9.</b> Bina Modellerine Ait Maksimum ve Minimum Tepe Deplasmanları - Nonlinear+ P- $\delta$ Analizi (ETABS 13.0.0).....	90
<b>6.10.</b> Bina Modellerine Ait Temel Deplasmanları-Linear Analiz (STA4CAD).....	91
<b>6.11.</b> Temel Deplasmanları-Nonlinear+P- $\delta$ Analizi (ETABS 13.0.0).....	91
<b>6.12.</b> 1. Derece Deprem Bölgesinde Binayı Deviren ve Devrilmeye Karşı Direnen Moment Tablosu .....	92
<b>6.13.</b> Görelî Kat Ötelemesi Sınır Değerin Aşılma Durumu Kontrolü .....	94
<b>6.14.</b> Temel Dönmesinden Oluşan Deplasmanın Toplam Deplasman İçindeki Payı .....	95

## 1. GİRİŞ

Ülkemizin aktif deprem kuşağı üzerinde ve büyük depremlerle karşı karşıya kalma riskinin yüksek olduğu yaygın olarak bilinmektedir. 1999 Gölcük depremi yurdumuzu maddi ve manevi derinden sarsan ve mühendislere büyük dersler çıkaran adeta bir deney niteliğindedir. Depremden çıkarılması gereken ders, deprem öncesinde yapılan hataların bir daha hesaplama ve uygulamada yapılmaması gerektiği şeklinde olmalıdır.

1999 Gölcük depreminin, Adapazarı ilinin bir bölümünde göstermiş olduğu hasarın zeminden kaynaklandığını göstermektedir. Alüvyon zeminlerin 200 metre derinliklere ulaştığı kent merkezini oluşturan mahallelerde çöken ve ağır hasar gören bina oranları %22'ye seviyesine ulaştığı barizdir. Hasar dağılımındaki bu keskin farklılaşmalar, hareket büyütmesi ve yüksek frekansların filtrelenmesi gibi, uzun periyotlu yapıları olumsuz etkilediği bilinen ve genel olarak kalın alüvyon tabakalarının varlığından kaynaklanan yerel geoteknik faktörlerin etkisini açıkça göstermektedir. [1] Adapazarı'nda depremde, sıvılaşma sebebiyle zemin taşıma gücünü kaybederek bazı binaların oturma yaptığı malumdur. Bazı binaların da üst yapılarında herhangi bir deformasyon olmadan yan yatarak devrilme davranışı sergilediği bilinmektedir. Literatürde her ne kadar devrilen binaların sıvılaşma sebebiyle olduğu ifade edilse de bu binalara komşu binalarda aynı etki gözlemlenmemiştir. Plan geometrileri sebebiyle devrilme davranışı gösteren binaların salt sıvılaşma sebebiyle oturma yaptığını ifade etmenin düşünülmesi gerekmektedir.

Gerek yumuşak zemin üzerindeki bazı yapıların deformasyon olmadan bütün halinde dönme, çökme ve yer değiştirme yapması, gerekse alüvyon tabakalara göre daha sert zeminlerde görelî kat ötelemelerinin artarak deprem hasarlarının gerçekleşmesi, sadece üst yapının projelendirme ve/veya uygulama aşamasındaki hatalardan dolayı değil, zemin ile yapının etkileşiminden doğan, zemin-temel-yapı etkileşimi ilişkilerinden dolayı olabileceği de malûm deprem sonrasındaki gözlemler ile şimdiye kadar yapılan çalışmalardan da belli olmaktadır.



**Şekil 1.1.** ETABS 13.0.0 programında modellenen bina modellerinden biri

Bu çalışmada devrilen binalar için yumuşak ve sert zeminler üzerinde, çeşitli yükseklik/genişlik oranları ve yatak katsayılarındaki yapılar, ETABS 13.0.0 ve STA4CAD V13.1 programında analiz edilerek devirici moment ile devrilmeye karşı direnen momentler ve oranları karşılaştırılmış, Adapazarı Depremi örneğindeki devrilen yapıların sınıvlaşma ile mi yoksa zemin-yapı etkileşiminden doğan etkiler ile yapıların geometrilerinden mi kaynaklı oldukları hakkında kanaate varılmaya çalışılmıştır.

Çalışmada her ne kadar devrilme davranışı incelenilse de, bu davranışı sadece üst yapı, temel ve zemin ile veya bunların ikiyeşerli kombinasyonlarıyla ilişkilendirmek çok zor olacağından konu, zemin-yapı etkileşimi, temeller ve üst yapı davranışları ve geçmişte yapılan çalışmalar ile anlaşılmaya çalışılmıştır.

## 1.1. Konu İle İlgili Önceki Yapılan Çalışmalar

Doğan (1993), elastik zemin üzerine oturan kirişler üzerine yaptığı çalışma neticesinde, homojen olmayan zeminler üzerine oturan sonlu kirişlerin alttan ve üstten etkiyen tekil yükler in düşey doğrultudaki deplasmanları tespit edilmiştir. Matrisler yardımıyla elde hesap yapılarak bulunan bu deplasmanların çoğu kirişte pozitif yönde olması kirişlerin zemin etkisiyle havaya kalktığıının bir göstergesidir. Elde hesaplanması sebebiyle lineer hesap metodu kullanılan ve yay katsayıları için hem basınç hem de çekme almasına rağmen kirişlerin bir kısmının havaya kalkması, yapı temellerinin devrilerek havaya kalkmasıyla doğrudan ilişkili olduğu gibi bu çalışmanın temelini oluşturmakta ve çalışmaya yol göstermektedir. [2]

Jennings ve Bielak (1973), rijit olmayan bir temel üzerinde tek katlı bir bina için yaptığı çalışmada sistemin parametrelerine bağlı olarak yapının periyodunda oluşan artış ve azalışları incelemişlerdir. Bu artış ya da azalışların, temel derinliğine bağlı olarak zemin özelliklerinin kesme dalga hızı,  $V_s$  ve Poission oranına bağlı olduğunu, zemin-yapı etkileşiminin, çok katlı yapılarda deprem tesiri sonucunda binanın birinci titreşim periyodunda daha belirgin olarak ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. [3]

Erdik (1989), yüksek yapıların deprem tasarımındaki zemin-yapı etkileşimi ile ilgili esasları belirleyebilmek için yapmış olduğu çalışmada, yumuşak zeminlere oturan yüksek yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde zemin-yapı etkileşimi hesabının göz önüne alınması gerektiğini, deprem yönetmeliğinde yer alan tasarım spektrumunun, yüksek yapılar için gerekebilecek frekans ve zaman tanım alanında yapılacak dinamik analizlerin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde belirlenmesi gerektiğini, sıvılaşma ihtimali olan yerlerde ve çok yumuşak kil seviyelerini içeren zeminlerde yapılaşmaya müsaade edilmemesi gerektiğini, bu yerlerde yapılaşma olacaksa da özel tedbirler alınmadıkça yapılaşmanın yasaklanması gerektiği kanaatlerine ulaşmıştır. [4]

Gupta ve Trifunac (1990), zemin-yapı etkileşiminin, zemin ortamının malzeme özelliklerine, temelin karakteristik ve şekline, sismik uyarımın doğasına ve yapının özelliklerine bağlı olarak yapıların dinamik tepkileri üzerinde önemli bir etkiye sahip

olabileceğini vurgulayarak, temelin zeminle uyum ilişkisi sebebiyle, dönmesi ve çökmesi ve üst yapının ek bir hareket yapmasına sebep olabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle, zemin-yapı etkileşiminin bu tür etkilere karşı dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir. Bu etkileşimden dolayı yapının çeşitli seviyelerindeki ek deformasyonlar, temel zemininin farklı özellikleri, binanın kat yükseklikleri ve temel en-boy oranı bakımından değerlendirilmiştir. [5]

Stewart, Seed ve Fenves (1998), zemin-yapı etkileşimini etkileyen, yapıdan zemine rijitlik oranının belirgin bir etkisinin yanı sıra, yapının en-boy ve temel yerleşim oranı, temel tipi ve boyutlarıyla ilişkilendirerek oluşabilecek ikincil etkileri ortaya koyarak; zemine gömülü ve uzun periyotlu yapılar için daha kabul makul sonuçların bulunduğunu vurgulamıştır. [6]

Stewart, Seed ve Fenves (1999), bina rijitliğinin, zemin-yapı etkileşimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere 1994 Northridge depremini yaşayan bir bina için analiz yöntemleri ve sistem tanımlama teknikleriyle anlatılarak ampirik olarak değerlendirmiş ve zemin-yapı etkileşimi etkilerini doğru bir şekilde tahmin etmeye çalışmışlardır. Gömülü ve zemin üzerinde gömülü olmayan temele sahip iki ayrı yapı için sistem tanımlama parametreleri farklı temel mesnetlenme koşullarını alarak, periyotların uzama oranları ve temel sönümleme faktörlerini tahmin etmişlerdir. [7]

Stewart, Seed ve Fenves (1999), 57 yapının sahasındaki verilerle yaptıkları incelemelerdeki öngörülerini, ampirik sonuçlara göre makul derecede doğru olduğunu, yapıdan zemine rijitlik oranının belirgin bir etkisinin yanı sıra, yapının en-boy oranından ve temel yerleşiminden, türünden, şekli ve esnekliğinden etkilendiğini, ve bu etkileri ortaya koyarak, zemin-yapı etkileşiminin yapının 1.moduna etki ettiğini belirtmişlerdir. [8]

Chouw (2002), üst katlarından köprü kirişleriyle bağlanan bina için çarpma tepkilerini değerlendirmek için, zemin-yapı sisteminin doğrusal olmayan hesabını, Laplace ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri ile değerlendirerek, Kobe, Northridge ve Chi-Chi kaynaklı deprem kayıtlarını kullanarak yaptığı araştırma neticesinde, yer altı hareketlerinde zemin etkisi ve uzun periyodun, binaların

birbirine vurma potansiyelini artırabileceği, binaların birbirine darbesi sebebiyle zemindeki titreşimlerin artabileceği, buna karşılık zemin-yapı etkileşiminin indüklenen titreşimler üzerinde azaltıcı etkiye sahip olabileceği ve binaların birbirine vurma etkisini aza indirmek için zemin-yapı etkileşiminin etkisinin de hesaplara dahil edilmesi gerektiği sonuçlarına ulaşmıştır. [9]

Gündüz ve Arman (2005), zemin bakımından sorunlu yerlerde depreme dayanıklı yapı şekillerini araştırmış ve sonuçların pratikte uygulanabilirliğini irdeleyerek; narin yapı yapılmasının, tekil temellerin, düzensiz yapıların olumsuz sonuçlar doğuracağını, temelin gömülme derinliğinin fazla olmasının, üst yapı planının rijit planlanmasının, yapının ağırlık merkezinin zemine yakın olmasının ise olumlu etkiler doğuracağını belirtmişlerdir. [10]

İnal (2006), yaptığı araştırmada zeminin yüzey parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklüklerin yükleme durumu sıkışabilir tabaka kalınlığı ve zeminin elastik özelliklerine bağlı olduğunu, zeminin sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça zemine ait mod şekil parametresinin arttığını, zeminin yatak katsayısının azaldığı ve zeminin kayma parametresinin arttığını çözülen örnekler ile tespit etmiştir. [11]

François, Masoumi, Degrande (2006) dinamik zemin-yapı etkileşiminin etkisini hesaba katarak trafik kaynaklı titreşimler nedeniyle binaların dinamik tepkileri üzerine yaptıkları çalışmada, trafiğe bağlı titreşimlere bağlı olarak iki katlı tek bir yapının tepkisi üç farklı temel türü için değerlendirilmiş, yumuşak bir zemine dayanan bir bina için duvarlarda deformasyonun meydana gelmediğini, yapı bütün bir kütle olarak hareket ettiğini, eğer zemin yapıya nazaran daha rijitse, zemin hareketi sonrasında duvarların yarı statik bir şekilde deforme olduğunu tespit ederek, rijit bir temelin varlığının duvar deformasyonlarını önleyeceği hakkında fikir öne sürmüşlerdir. [12]

Aluç (2007),  $\gamma$  geliş açılı düzlem SH dalgalarına maruz yüzeyde bulunan dairesel temele oturan iki istinat duvarının analizini yaparak dinamik zemin-yapı etkileşimi problemini ele alan çalışmasında, yapıların ve zeminin değişik özelliklerine göre elde ettiği sonuçlarda, yapılar arasındaki mesafenin artırıldığında, yapıların ikiz yapı

olması durumunda, genliklerin dalganın geliş açısından etkilenmediğini, eğer yapılar arasındaki mesafenin küçülürse, genliklerin birbirlerinden etkilenmeye başladığını ortaya koymuştur. Rezonans durumunda genliklerden birinin sıfıra yaklaşırken diğerinin arttığını görülen çalışmada gelme açısının sıfır olması durumunda ikiz yapılar için genliklerin eşit olduğunu vurgulamıştır. [13]

Gökçe (2008), güçlendirilmiş üç boyutlu mevcut bir binada temel tiplerinin sismik performans üzerindeki etkilerini irdelemiştir. Zemin-yapı etkileşimi çekme gerilmesi almayan çubuk elemanlar aracılığıyla statik itme analizlerine dahil etmiş; temel tasarımı ve inşasının sismik performans açısından çok önemli olduğunu; Temel sistemi ihmal edilerek ankastre temel varsayımı ile yapılan performans değerlendirmeleri sonucunda ise güvenli çıkan yapıların yapısal sisteminde beklenmeyen hasarların, hatta göçmelerin olabildiğini gözlemlemiştir. [14]

Soysal (2008), yaptığı çalışmada deprem etkisi altında yapı davranışlarının yüksek oranda zemin ve yeraltı su seviyesinin bulunduğu yere bağlı olduğunu; zayıf zeminde yapının oturma ve ötelenmelerinin sınır değerlerin ötesine ulaştığını vurgulayarak, bu olumsuzluğu kaldırabilmek adına zemin iyileştirme önleminin alınması gerektiği kanaatine varmıştır. [15]

Girgin, Mısır, Özden ve Kahraman (2008), zemin-yapı etkileşiminin yapısal tasarımdaki rolünü araştırarak, sabit ve değişken yatak katsayılı yapı zemin modelleriyle yapılan hesaplarda, rijit zemin-yapı modellerine göre yapının birinci modunun arttığını, temelle zeminin birleştiği noktanın rijit kabulünün olmadığı durumda ise kolon ve perdeler gelen deprem yükünün dağılımının değiştiğini, yatak katsayısının değişmesiyle bazı kolonlarda boyuna donatı oranının, rijit zemin-yapı modelindeki donatı orana göre üç katına ulaştığını, temel tasarımının yapıdan bağımsız olarak hesaplanması halinde ise üstyapı taşıyıcı sistemi hesaplarında da yanılabilineceğini, zemin-yapı etkileşiminin yapı tasarımında ihmal edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır. [16]

Karabörk (2009), yaptığı çalışmada, yumuşak ve sert zemindeki aynı plan ve rijitliğe sahip yapıların deprem etkisiyle farklı yer değiştirme ve kesit tesirleri oluşturduğunu,



yumuşak zemine oturan yapıların sert zemine oturan yapılara göre taban eğilme momenti ve kesmek kuvveti değerlerinde azalma görüldüğünü, buna karşılık temelin x ve y yönündeki yer değiştirmesinde artış görüldüğünü, sert zemine oturan yapıların yumuşak zemine oturan yapılara nazaran görece yer değiştirmelerinin büyüdüğünü, yani yumuşak zemindeki yapıların bütün halinde yatay ve düşeyde hareket ederek binanın çerçeve içine daha zarar verdiğini, sert zemine oturan yapıların ise taşıyıcı sisteminin daha çok zarar göreceğini tespit etmiştir. [17]

Mamuk (2010), üç boyutlu dinamik zemin-yapı etkileşimi üzerine yaptığı bu çalışmada, dinamik zemin-yapı etkileşimi modelinin, zemini tamamen rijit kabul eden yaklaşımdan farklı sonuçlar verdiğini, bu farklılığın da zeminin; rijitlik, sönüm, kütle ve atalet gibi temel özelliklerinin ihmal edilmesinden kaynaklandığını, özellikle yumuşak zeminlerde bu farklılaşmanın daha fazla olduğunu ve bu sistemlerde zemin iyileştirme yöntemlerine gidilmesi gerektiğini; yine bu sistemde periyotların, gerilmelerin, kolon ve kirişlerin kesme kuvvetleri gibi sistemin dinamik özelliklerinin zemin niteliğine bağlı olduğunu; zemin yapı etkileşimi sisteminde, zeminin elastisite modülü veya yatak katsayısının arttıkça üst yapı elemanlarında daha büyük gerilmelerin belirli bir sınıra kadar etkili olarak oluştuğunu; zemine mesnetlenmenin olduğu noktalarda çökme, yükselme veya dönmelerin oluştuğunu, ayrıca zeminin, deprem hareketini değiştirerek yapılara ilettiği depremin etkilerini arttırdığını; yapıyla zemin periyotlarının çakıştığında ise yapıda oluşacak rezonanstan dolayı üstyapının daha çok zorlanacağını belirtmiştir. Ayrıca sert zemine oturan yapıların yumuşak zemine olan yapılara kıyasla üst yapıda daha fazla hasar meydana geldiğini vurgulamıştır. [18] Bu tespit aslında yumuşak zeminlerde zemin-yapı etkileşiminin daha fazla olacağı ve üst yapıların birlikte hareket ederek dönme, çökme ve yer değiştirmelere daha fazla maruz kalabileceğinin bir göstergesidir.

Raychowdhury (2011), doğrusal olmayan zemin-yapı etkileşim davranışını bir doğrusal olmayan-Winkler-temel yaklaşımı üzerinden modellemeye çalışmıştır. Temel doğrusallığı hesaba katıldığında, kuvvet ve yer değiştirme gereksinimini önemli ölçüde azalttığını, temel uygunluğunun yapısal tepki üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bulmuştur. Raychowdhury, zemin-temel arasındaki doğrusal olmayanlık dahil edildiğinde süneklik talebinin azaldığı gözlenmiş; zemin-temel ara

yüzünün modellenmesi, zemin-yapı etkileşiminin, kuvvet ve yer değiştirmesini değiştirmede önemli bir rol oynayabileceğini, bunun da, elastik olmayan temel davranışının modern ortamda değerlendirilmesinin gerekliliği kanaatine ulaşmıştır. [19]

Demir ve Korkmaz (2012), zemin-yapı etkileşiminin deprem davranışına etkilerini, zemin etkisini belirlemek için farklı rijitlikte doğrusal olmayan yay modeli kullanarak ve bu modelleri birbiriyle karşılaştırarak, zemin türü ve özelliklerinin yapı davranışını nasıl etkilediğini gözlemleyerek doğrusal olmayan çözümlere gerçekleştirmişlerdir. Yapı-zemin etkileşimi sonucunda zeminin kötü olması halinde yapı periyodunun değiştiğini, bu durumun kesit tesirlerini etkileyeceğini, buna bağlı olarak ikinci mertbe etkilerinin artacağını, yine kötü zeminlerde birinci kat kolonlarının dönme hareketlerinden dolayı yumuşak kat davranışına benzer bir davranışın sergilenebileceğini, zemin-yapı etkileşiminin genellikle yapılarda yaşanabileceğini ve deprem hesaplamalarının birçok parametreye de bağlı olduğundan elemanların doğru davranışı gösterebilmesi adına doğrusal olmayan çözümlenin yapılmasının yanı sıra zemin-yapı etkileşimi etkilerinin de göz önüne alınması gerektiğini vurgulamışlardır. [20]

Derdiman (2013), zemin-yapı etkileşimi açısından farklı özelliklere sahip zeminlerin yüksek yapılara etkisini araştırmıştır. Derdiman bu çalışmada, zeminin düşük elastisite modüllerine bağlı olarak, zemin-yapı etkileşiminin yüksek yapıların salınım periyodunu önemli derecede değiştirebileceğini gözlemlemiştir; yumuşak zeminlerin yapının periyodunu değiştirme oranının sert zeminlerden fazla olduğunu, yapının yüksekliği arttıkça yapı periyodu üzerine zeminin etkisinin daha da arttığını, dolayısıyla yapı periyodunun zemin periyoduna yaklaşabileceği sebebiyle rezonans ihtimalini doğurabileceği kanaatlerine ulaşmıştır. [21]

Çağlar, Garip ve Atasoy (2014), yumuşak zeminler üzerine inşa edilen betonarme binalarda, bodrum kat olması halinde göstereceği deprem davranışını incelenmiş, sert ve yumuşak zemindeki yapılar karşılaştırdıklarında yumuşak zeminde bodrum katı olan yapıların bodrum katı olmayan yapılara göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir, fakat sert zemindeki yapıların yer değiştirme oranına yaklaşmadığını

belirlemişlerdir. Bunlara ilaveten yumuşak zemindeki çift bodrumlu yapının bodrumsuz yapıya göre hemen hemen %70 oranında daha iyi deprem davranışı sergilediklerini vurgulamışlardır. [22]

Siyahi, Çetin ve Bilge (2015), yumuşak zeminlerde oluşan zemin-temel-yapı etkileşimlerinin, bu üçlünün oluşturduğu sistemin periyodu ile serbest saha hareketinin periyodu arasındaki oranın rezonansla karşılaşmaması gerekliliğini vurgulayarak, yumuşak zeminlerde uygulanan güçlendirme amaçlı uygulamalarının, çoğu zaman sistemi daha rijit hale getireceği dikkate alındığında, spektral ivmelerin kısa periyot bölgesinde büyürken yüksek periyot bölgesinde azalacağını, üst yapının nasıl etkileneceğini görmek adına mutlaka zaman tanım alanında analiz yapılması gerektiğini, zemin-temel-yapı üçlüsünün zemin-yapı etkileşiminden doğacak etkileri muhakkak göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir. [23]

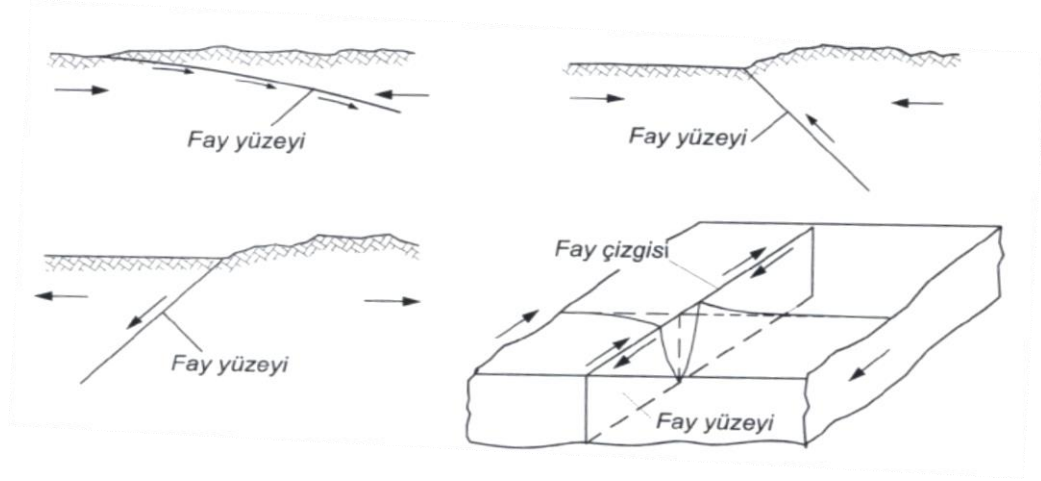
Çetinkaya, Çelebi ve Kırtel (2015), temel empedans fonksiyonları kullanılarak yapı-temel-zemin dinamik etkileşimini dikkate alarak yapmış oldukları çalışmada, yumuşak zemin koşullarında yapılan bir yapının periyod ve sönüm değerlerinin yapı-temel-zemin etkileşiminden dolayı, üst yapının dinamik davranışını önemli derecede etkileyecek şekilde arttırdığını, periyodu ve sönüm değerleri değişen yapı sisteminde dikkate alınacak tasarım kuvvetinin, yapının zemine rijit bağlı olması durumuna göre (zemin-yapı etkileşimsiz durum) % 40 a kadar artırdığını, özellikle bu değişimlerin zayıf zemin üzerine konumlanmış düşük periyoda sahip yapılarda ciddi boyutlara ulaştığını, bu yüzden binaların tasarım hesaplarında kullanılan davranış spektrum eğrilerinin bu etkileri göz önünde bulundurulması ve bu şekilde kullanılması gerektiği sonuçlarına ulaşmışlardır. [24]

## 2. DEPREM HAREKETİ

Deprem, doğal afetlerin başında gelen büyük felaketlerden birisidir. Deprem yerkabuğunun bir titreşimi olması sebebiyle, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı yer değiştirmeler oluşturarak yapılar üzerinde dinamik bir etki yaratır. Bu titreşim hareketinin incelenmesi yapı dinamiği disiplininin sorunlarının başlıcalarındandır. Deprem, hiçbir şekilde yatay yük altında kalmamış yapıların süregelenin üzerinde yatay yüklerle zorlayarak yapının tasarım ve uygulama aşamasındaki yapılan yanlışlıkların ortaya çıkarılmasında adeta bir deney niteliğindedir.

### 2.1. Deprem Oluşumu ve Özellikleri

Depremlerin çoğunluğu, ekseriyette yerkabuğundaki soğuma veya çeşitli etkilerin sebep olduğu şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından dolayı meydana gelir. Yerkabuğunu meydana getiren plakalar kendilerini sınırlayan fay çizgilerinden yani yer kabuğu kırıklarından oluşur. Ani bir şekil değiştirme enerjisinin açığa çıktığı anda bu plakalar fay boyunca ani olarak kırılarak fay çizgisinde atım, yani göreceli bir hareket meydana getirir. Bu tür tektonik depremde açığa çıkan yer değiştirme dalgaları uzaktaki tabakalara dağılarak sönümlenir. Deprem hareketinin konumu ve şiddetine göre yer kabuğunda yeni fayları oluşturma ihtimalinin yanı sıra, aktif olmayan fayları da harekete geçirebilir. Deprem hareketinin bu türden açıklanması literatürde ‘*Elastik Geri Sekme Teorisi*’ olarak isimlendirilir. [32]



**Şekil 1.1.** Fay hareketi ile deprem oluşumu [32]

Plak Tektoniği olarak adlandırılan bilim dalı, yer kabuğunun değişik türde plakalardan oluştuğunu ve bu plakaların da birinin diğerinin üzerine çıkarak veya diğerinin altına girerek, birbirlerine göre sınırlarda göreceli hareket ettiklerini kabul etmektedir. Bir çok tektonik olay da aslında bu esasa göre açıklanmaktadır. Yer kabuğunun merkezinde sıvı olarak bulunan magmanın soğuması veya benzer şekillerde meydana gelen değişimler ve deprem hareketleri yer kabuğunda yeni gerilmeler meydana getirmektedirler. Yer kabuğunda artarak oluşan bu gerilmeler, zayıf olan bu kırıklar üzerinde veya bazı zayıf bölgelerde yer kabuğunun taşıma gücünü aşarak ani kırılmalara yani yırtılmalara sebebiyet vermektedir. Bu durumda plakalar arasındaki göreceli hareketin depremin merkezinden başlayarak fay doğrultusu boyunca dışarı doğru yayıldığı bilinmektedir. Böylece uzun periyotlarda toplanan bu şekil değiştirme enerjisi, kırılma ile hareket ve ısı enerjisi olarak ortaya çıkarak boşalır ve tekrar bu bölgedeki fayın taşıyabileceği aşamaya düşer. İşte yer kabuğunda meydana gelen bu kırılma etkilerinin bir dalga hareketi olarak yayılmasının sonucunda oluşan yüzey titreşimleri deprem olarak bilinmektedir. Söz konusu bu şekil değiştirme enerji boşalması ilgili bölgede yer kabuğunu gevşetir. Bu tür bölgelerde depremin meydana gelme sıklığı azaldıkça yani gevşeme periyotları azaldıkça, kabukta zamanla yeniden enerji toplanmaya başlar. Bu da meydana gelecek yer hareketinin daha şiddetli oluşmasına sebep olacaktır. Geçmişte şekil değiştiren ve sonrasında da enerji toplayarak deprem yaratma olasılığı taşıyan

faaliyette olan aktif faylar sahanın jeolojik ve topoğrafik incelenmesi ve hava fotoğraflarının değerlendirilmesi sonucu tespit edilebilir. Depremler ekseriyette aktif faylar boyunca olduğu için, yapıların projelendirilmesinde aktif faya uzaklık ve yapının narinlik yönüne göre faya dik veya faya yatay olarak dikkate alınması, yapının depreme karşı göstereceği tepkiyi de etkilemektedir. Faydaki bir etki nedeniyle oluşan deprem genelde şu safhalardan geçerek meydana gelir:

- a) Fayda uzun zaman enerji boşalması olmayarak artık fayın şekil değiştirme enerjisinde yığılma olur.
- b) Bu yığılma, sahayla ilgili olan bir kritik değere ulaşarak kayma veya yırtılma etkisiyle bir gevşeme oluşur.
- c) Gevşeme sonucunda meydana gelen enerji titreşim oluşturur ve sönümlenerek tabakalar boyunca uzaklara yayılır. [32]

## **2.2. Depremin Şiddet ve Büyüklüğü**

Bir depremin büyüklüğü yer kabuğunun titreşimi sırasında ortaya çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Fakat, bunun ölçülmesi çok zor olduğundan dolayı depremin büyüklüğü ile ilgili birçok ölçü tarifleri oluşturulmuştur. Aslında depremin büyüklüğü yer kabuğu kırığında yırtılmanın meydana geldiği alan ile doğru orantılıdır ancak; alüvyon zemin gibi bazı her zeminde yer kabuğu kırığının tam olarak görülememesinden dolayı bu yaklaşım da biraz teoride kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, Mercalli Ölçeği, Richter Ölçeği, Cisim Dalgası Büyüklüğü, Yüzey Dalgası Büyüklüğü, Sismik Moment, Moment Büyüklüğü, Sismik Enerji gibi depremin büyüklüğü ile ilgili ölçü tarifleri ortaya konmuştur.

Depremin şiddeti ise, yeryüzünde herhangi bir alanda oluşarak hissedilen depremin bu alandaki etkisinin ölçüsü; yani depremin yapı, doğa ve insanlar üzerindeki etkisinin bir ölçüsüdür. Depremin büyüklüğü ile şiddeti kavramları genelde birbirleriyle karşılaştığından dolayı, şöyle bir örnekle de anlatılabilir:

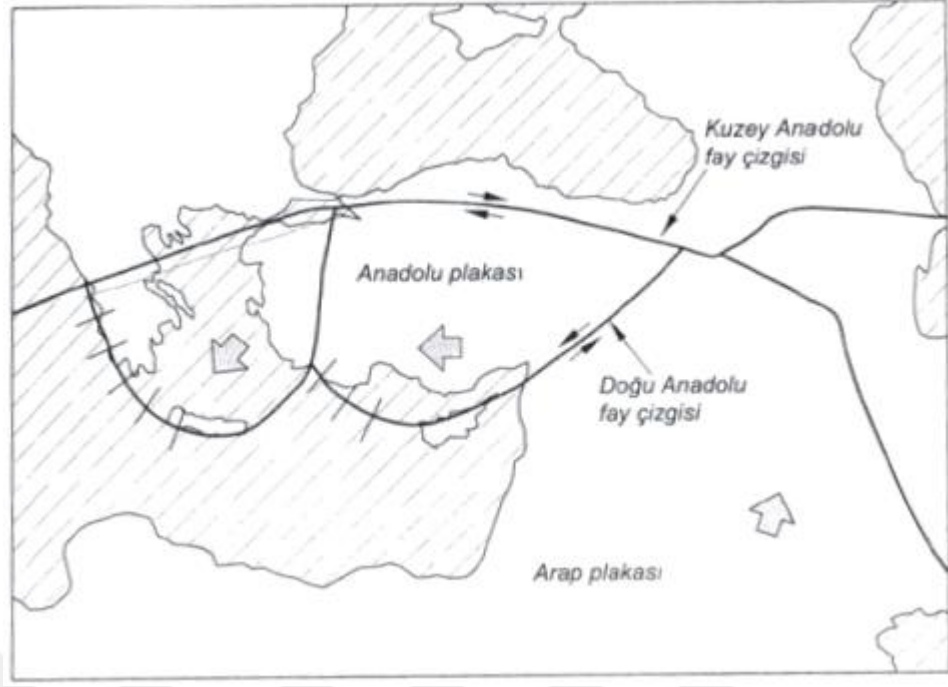
7,4 büyüklüğünde Japonya’da oluşan depremde 15 adet binanın ağır hasar gördüğünü, Türkiye’de de 100 adet binanın ağır hasar gördüğünü düşünürsek aynı büyüklüğe sahip olan bu iki depremin şiddet karşılaştırması yapılırken Türkiye’de daha şiddetli gerçekleştiğinden bahsedilir. [32]

### **2.3. Azalım İlişkileri**

Belli alanda oluşan deprem hareketinin özellikleri, depremin büyüklüğü ve fayın kırılma mekanizmasına, bölgenin fayın doğrultusu ile olan açısına, fayın kırılma yönünün bölgeye doğru ve ters yönde bulunmasına, yırtılma alanı ve derinliğine, fayın bölgeye olan mesafesine, deprem dalgasının ilerlediği ortamın jeolojik özelliklerine, bölgenin yerel zemin özellikleri ve topoğrafyasına bağlıdır. Deprem enerjisinin zaman içerisinde daha geniş alana yayılarak sönmelenmesinden dolayı, depremin yer değiştirme, hız ve ivmesi faydan uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu özellik Azalım İlişkisi olarak bilinmektedir ve depremin büyüklüğüne, odak derinliğine, yerel zemin şartlarına, faylanmanın türü ve fayın doğrultusuna da bağlıdır. Azalım ilişkileri bir depremde değişik alanlardan alınan kayıtlarının değerlendirilmesi ile ortaya çıkar. Yapılan gözlemler depremin sayısal parametrelerinin en yüksek değerinin mesafenin logaritması ile azaldığını göstermiştir. Zemin durumunun maksimum yer ivmesinin azalmasına olan etkisi, aynı büyüklükteki depremde kayada ölçülen ivmenin, derin dolguya sahip zeminde ölçülenden daha büyük olmasına rağmen daha çabuk azalması örneğiyle açıklanabilir. Bunun haricinde, maksimum ivmenin 0,1g’den küçük olma durumunda ise, durum tersine dönmekte ve maksimum ivme derin dolguda kayadakinden daha büyük olarak meydana gelmektedir. Dolgu zeminde oluşan hızın yaklaşık kayadaki hızının iki katı görülmektedir. [32]

### **2.4. Yurdumuzda Faylar ve Tektonik Bölgeler**

Deprem hakkındaki en eski tarihsel bilgi Çin ve Akdeniz’e komşu olan ülkelere ve özellikle de Türkiye’ye aittir.



**Şekil 2.2.** Yurdumuzdaki Ana Faylar, Ana Plakalar ve Hareket Doğrultuları

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, ülkemizde meydana gelen depremlerin çoğu, Suudi Arabistan, Irak ve Suriye'nin bulunduğu Arap Plakası'nın hareketinden dolayı oluşmaktadır. Avrasya Plakası tarafından hareketi engellenen Arap Plakası'nın hızı azalarak, Kuzey Anadolu Fayı (sağ atımlı) ve Doğu Anadolu Fayı (sol atımlı) oluşmuş ve Anadolu Plakası batıya doğru harekete zorlanmıştır.

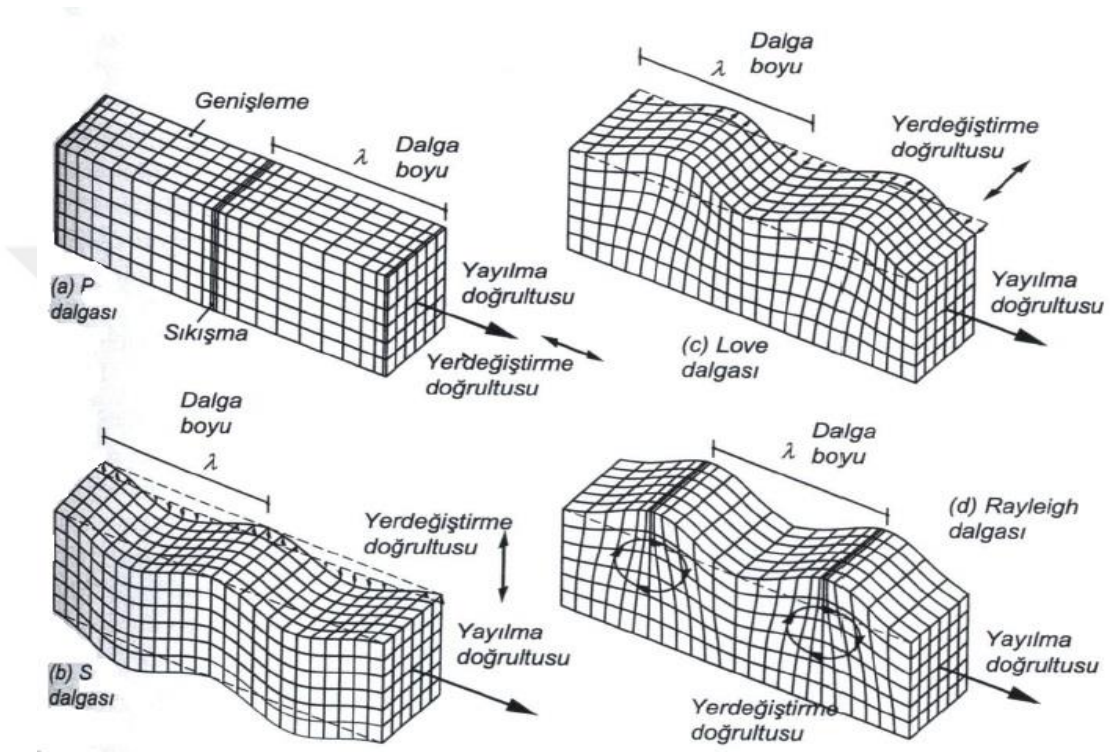
Ülkemizin doğusundan batısına doğru geçen Kuzey Anadolu Fayı, deprem açısından dünyanın en aktif faylarından biridir. Kuzey Anadolu Fayının, pek çok özelliği bakımından California (ABD)'de bulunan San Andreas fayına benzetildiği bilinmektedir. Her iki fayın da sağ yanal atımına sahip olduğu, benzer boylarının ve uzun devrede benzer hareketlerinin de tespit edildiği malumdur. [32]

## **2.5. Dalga Hareketi Olarak Deprem**

Elastik bir ortamda dinamik bir etkinin yayılması dalga hareketi şeklinde oluşur. Dalga hareketi P ve S dalgası olmak üzere iki türdür. Ortam zamana bağlı olarak



titreşim biçiminde hacimsel değişikliğe uğrarken yayılan dalga P dalgasıdır. Ana dalga veya basınç-çekme dalgası olarak da bilinen bu dalga hareketinde yayılma sırasında bu doğrultuda yer değiştirmeler ve ortamda normal gerilmeler oluşur. Hızı daha az olan S-Dalgasında yer değiştirmeler yayılma doğrultusuna diktir ve ortamda hacim değişikliği olmadan biçim değişikliği meydana gelmektedir. [32]



**Şekil 2.3.** Elastik Ortamda Dalga Türleri ve Yayılma Özellikleri

## 2.6. Yapının Sismik Özellikleri

Depremde yapı hasarı iki temel parametreye bağlıdır: bunlar yapıya etkiyen deprem yükü ve bu yüklere karşı yapının dayanımıdır. Yapıya gelen deprem yükü ise yapının bulunduğu sahadaki depremin kuvvetli yer hareketiyle ilişkilidir. Kuvvetli yer hareketinin özellikleri de depremin büyüklüğüne, depremin meydana geldiği faydaki yırtılma mekanizmasına, deprem merkezinin yapının bulunduğu yere göre yönüne, deprem dalgalarının odakta gelirken geçtikleri ortama ve yapının bulunduğu yerdeki zemin koşullarına bağlıdır.

Periyot ve sönüm olmak üzere yapıların dinamik özelliğini belirleyen iki parametre vardır. Yapının periyodu ve sönümü yapıya gelen yatay yük seviyesine bağlıdır. Yapının periyodu arttıkça yapıya gelen deprem yükü azalabilir. Bu nedenle periyot ve sönüm parametreleri deprem yer hareketinin spektrumuna bağlı olarak yapıya deprem süresi içinde etki eden yatay yük düzeyini de tespit eder. Yapının tasarımı aşamasında hesaplanan periyot ve sönüm düzeyleri tasarım yüklerini belirlerken bir deprem sırasındaki yatay yük düzeyi ve yapının hasarına ya da plastik davranışına ve ötelenmelerine bağlı olan yapı periyodu ve sönüm oranındaki değişimler yapıya deprem sırasında yatay yük düzeyini ve yapının hasarını belirleyici olarak bir karşılıklı etkileşim içindedir: Deprem yükü yapıya daha çok zarar vererek yapı hasarını artırır, yapının periyodunu uzatır ve böylece yapının sönüm oranı artar. Yapı periyodu ve sönümünde deprem esnasında olan değişimler yapının deprem davranışı ve deprem hasarına ışık tutabilir. [39]

## **2.7. Zemin Durumunun Etkisi**

Deprem yer altındaki bir kaynaktan yayılan titreşim hareketi olduğundan dolayı depremin yeryüzündeki bir bölgede meydana getirdiği etkinin bağlı olduğu temel parametreler depremin büyüklüğü, göz önüne alınan bölgenin enerjinin açığa çıktığı kaynağa olan uzaklığı, kaynaktan yayılan deprem dalgasının göz önüne alınan yere gelinceye kadar geçtiği ara bölgenin jeolojik durumu, deprem enerjisinin kaynakta açığa çıkma türü, ara bölgede bulunan faylarda veya serbest yüzeylerde deprem dalgasının kırılması ve yansımaları, göz önüne alınan bölgedeki zemin durumu olarak sıralanabilir. Şekil 2.4'te 4 tür yerel zemin durumunda alınan kayıtların spektrum eğrileri verilmiştir. Bu 4 tür yerel zemin durumu; kaya, 70 metreden daha az kalınlıkta sert zemin, 80 metreden daha fazla kohezyonsuz zemin ve yumuşak ve orta sertlikte kil ve kum dolgusunun bulunduğu yerel zemin şeklindedir.

Bu eğriler incelendiğinde özellikle 0,5 saniyelik periyodun üzerinde, sert zemin ve kayaya göre daha büyük olduğu görülmekte; bunun ise, söz konusu zeminlerin uzun periyoda ait titreşim birleşenlerinin daha büyük oranlarda yer hareketi ile etkileşime

girdiğini göstermektedir. Buna göre maksimum spektral ivmenin, sıfır periyoduna karşılık gelen değerinin yaklaşık 2,7 katı olduğu görülmektedir. [32]

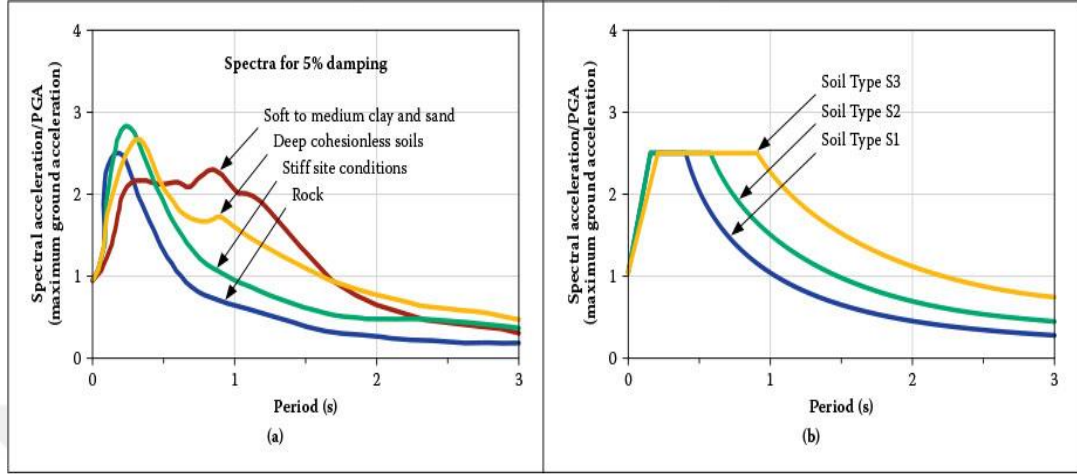
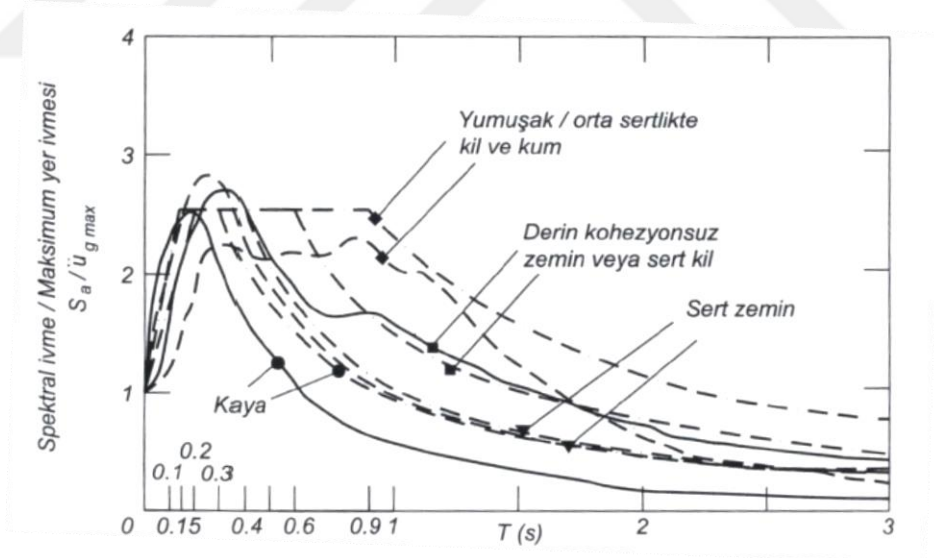


Figure 11 (a) Site-dependent average spectra by Seed *et al* (1976); (b) Site-dependent design spectra modified from Seed *et al* (1976) and specified by ATC-3 (Dobry *et al* 2000)

(Seed and Idriss)



Şekil 2.4. Değişik Zemin Durumları İçin Ortalama İvme Spektrumları ve İdealleştirilmeleri (Seed and Idriss)

## 2.8. ZYE Etkisinde Kalan Yurdumuzdaki Önemli Depremler

Dünyanın deprem kuşaklarından birinde bulunan ve aktif fayların olması sebebiyle deprem riskinin yüksek olduğu bilinen ülkemizde, en önemli deprem etkinliği Kuzey Anadolu fayındaki kırılmadan dolayı oluşmaktadır. Türkiye'nin kuzeyinde bulunan ve uzunluğu 1500 km'ye varan bu fay çizgisi boy, deprensellik ve fay türü olarak ABD'de bulunan San Andreas (California) fayına benzemektedir. 1939 Erzincan depreminden (M=8,0) sonra fay boyunca depremler yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda, Niksar, Erbaa (1942, M=7,0), Tosya-Ladik (1943, M=7,2), Bolu-Gerede (1944, M=7,4), Bolu-Abant (1957, M=7,1) Varto (1966, M=6,9) ve Adapazarı (1967, M=7,2) depremleri sayılabilir. Bunun yanında, küçük ve orta büyüklükteki depremler Ege Denizi kıyıları boyunca ve yurdumuzun güney-batısında oluşmuştur. Kuzey Anadolu Fayı'nın yanında, Doğu Anadolu Fayı olarak bilinen diğer bir fay çizgisi, Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu ucunda başlar ve Akdeniz'e kadar uzanır. Bu fay boyunca kırılma, diğer bölgelere göre daha azdır. Ülkemizde merkez üsleri Akdeniz'de olanların dışındaki depremler odak derinlikleri açısından sığ deprem olarak nitelendirilebilir. Depremlerin gerçekleşmesi tarihsel olarak incelendiğinde, hemen hemen her 3 veya 4 yılda bir büyüklüğü 7,0 olan ve önemli hasar oluşturan bir deprem olduğu görülür. 1900'den zamanımıza kadar meydana gelen depremlerde 100.000'e ulaşan can kaybı olmuş ve 1.000.000'a ulaşan bina ağır hasar görmüştür. Deprem haritasına işlenen bu eğriler geçtiğimiz 70 yıldaki deprenselliğin benzer şekilde tekrarlanacağı kabulünden elde edilmiştir. Söz konusu haritadaki bu deprem eğrilerinin Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları üzerinde büyük değerler aldığı ve Ege Bölgesi'nin deprensellik durumunun açık bir şekilde belirlediği anlaşılır.

Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmadan alüvyon gibi yumuşak zeminler üzerine yapılan binaların ülkemizde depremle karşı karşıya geldiklerindeki durumunun tarihsel analizi ise şu şekildedir:

1995 Dinar depreminde 4340 binada ağır hasar olmak üzere, 14156 binada hasar oluşan Dinar Depremi'nde yapısal hasar özellikle Dinar'ın yumuşak alüvyon tabakalarının bulunduğu veya dolgu zemin olan güneyinde toplanmıştır. Zeminin çok yumuşak olduğu bu bölgede binalarda büyük hasar meydana gelmiştir.

1998 Adana-Ceyhan depreminde Ceyhan ve çevresinde, Ceyhan Nehri'nin oluşturduğu suya doymun alüvyon zeminlerde gevşek kumlu siltli zemin tabakalarının sıvılaşması sonucu kum konileri ve derin çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.

1999 Kocaeli depreminde 15.851 can kaybının, 77.297 ağır hasarlı, 76.768 orta hasarlı binanın olduğu bildirilen, 7,4 büyüklüğünde yaşanan ülkemizin yaşadığı bu talihsiz depremde, bina hasarları İzmit Körfezi kıyısındaki Gölcük Adapazarı'nda yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması sebebiyle pek çok binada temel zemini göçmesi meydana gelmiştir. Adapazarı'nda bazı binaların hiç hasar görmeden döndüğü, temellerinin açığa çıktığı ve bazı binaların deprem hareketi ile sıvılaşmış zemin içine 1,5 m düşey oturduğu ve bu sırada kaldırımların da alt zemin tarafından kaldırıldığı görülmüştür.

1999 Düzce Depreminde 7,3 ve 7,1 büyüklüğünde oluşan bu depremde Kocaeli ve Sakarya illerindeki otoyolların alüvyon türünden dolgular üzerindeki kısımlarında 0,20 m civarında oturmalar meydana gelmiştir. Özellikle köprülerin yaklaşım plaklarında bu oturmalar açık şekilde ortaya çıkmış ve trafiğin hızını sınırlamıştır.[32]

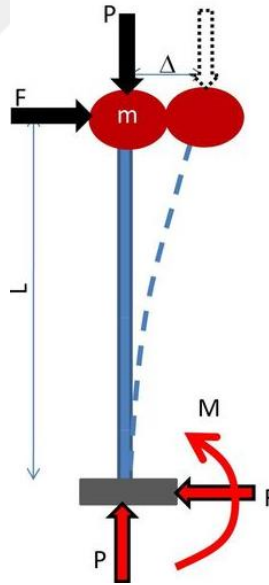
## **2.9. Çeşitli Etkiler Altında Temel Hasar Çeşitleri**

Zemin sıvılaşması veya benzeri sebeple zemin taşıma kapasitesinin azalması, binanın bir bütün olarak rijit düşey oturmasına veya otururken rijit dönmesine sebep olabilir. Bu durum, hasar temel zeminde yeterli tedbirlerin alınmadığına veya zemin emniyet gerilmesinin yüksek seçildiğine işaret eder. Böyle hareketler sonucunda kolonun tekil temelini veya plak temelini zımbalamaya zorlandığına işaret eden çatlakların görülmesinin yanı sıra temelin bir kısmının dolguda ve bir kısmının da sert yerel bir zeminde bulunması da deprem sırasında binaya dönmeye sebep olabilir. Yamaçta bulunan binalar da bu şekilde oluşacak hasar potansiyeline sahiptir. Depremde meydana gelen diğer bir hasar çeşidi de, faya yakın bölgelerdeki yeryüzü kabuğunun kırılması veya açılmasından meydana gelen temel göçmesidir. Bu tür hasarın önlenmesi oldukça zordur. Fay haritalarının yeterli hassaslıkta yapılması ve

buralardan uzak durulması, bu tür hasarların önlenmesi için alınabilecek önlemlerdir. [32]

## 2.10. P- $\delta$ Etkisi

Yapıların deprem ve projelendirme safhasındaki boyutlandırmadan dolayı yatay rijitliklerinin azalması ve düşey yüklerin artmasıyla, ikinci mertbe etkileri artar. Birinci mertbe çözümlemesinde, denge denklemleri şekil değiştirmemiş sistem üzerinde yazılır. Fakat meydana gelen şekil değiştirmelerle düşey yükler ek eğilme momenti oluşturur. Şekil 2.5'te basit bir kolon üzerinde ikinci mertbe etkisi de gösterilmiştir. Bazı durumlarda bu etki çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Ancak, özellikle, yüksek yapılarda, düşey yükü ve kat yer değiştirmeleri büyük olan ve burulma etkisinin önemli olduğu sistemlerde kat yer değiştirmeleri daha da çoğalacağı için, ikinci mertbe etkilerinin göz önüne alınması gerekebilir.



Şekil 2.5. Düşey Yük Altındaki Bir Kolona Etkiyen 2.Mertebe Etkisi

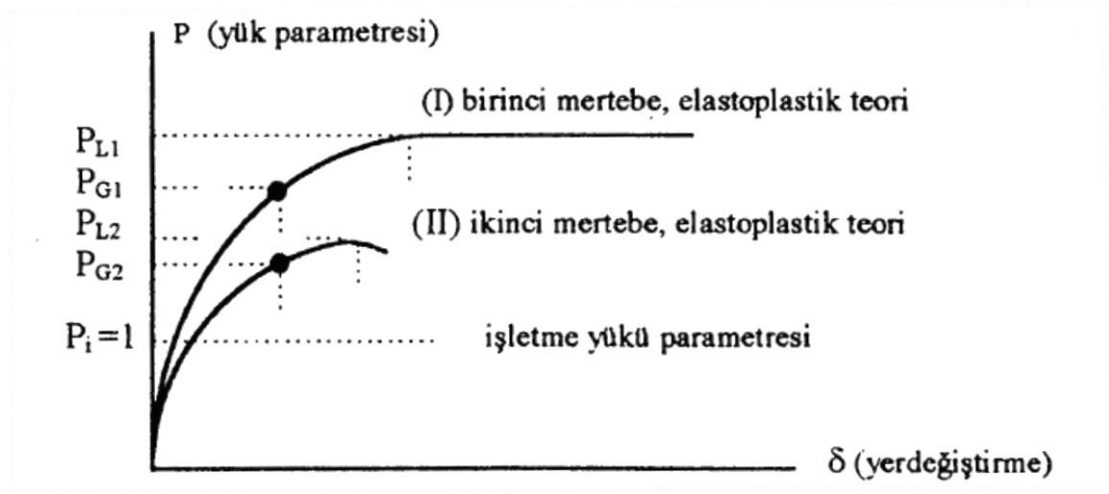
Rijitliğin azalması bir taraftan yapı periyodunu büyütüp, deprem kuvvetini azaltırken, diğer taraftan yer değiştirmeleri büyütürken ikinci mertbe etkilerini artırır.

Zemin-yapı etkileşiminden doğacak etkilerin zeminden üst yapıya aktarılması veya üst yapıdan oluşan etkilerin altyapıya aktarılmasının ne şekilde olacağını ve bu önemli rolü üstlenen elemanın da yapıların temellerinin olduğu düşünülmekte olduğundan temeller hakkında da bilgi verilmesi düşünülmüştür: [32]

## 2.11. Nonlinear Analiz

Betonarmenin lineer olmayan davranışı ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini dikkate alan ileri hesap yöntemlerinden faydalanarak, betonarme yapı sistemlerinin dış yükler altındaki davranışlarının daha detaylı gözlemlenebilmesi ve göçme güvenliklerinin daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesi mümkün olmaktadır [32]. Bu sebeple, bu çalışmada nonlinear analiz yönteminin kullanılması gereklidir.

Yatay ve düşey yükler altındaki betonarme bir yapı sisteminin nonlinear teoriye göre hesabıyla elde edilen yük parametresi-yer değiştirme ( $P-\delta$ ) bağıntıları Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Yük Parametresi-Yer değiştirme ( $P-\delta$ ) bağıntıları

Lineer olmayan malzemeye yapılmış yapılarda, artan yükler altında iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde lineer-elastik sınır aşılarak bu kesitler dolayında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yeterince sünek olan betonarme yapılarda plastik şekil değiştirmeler plastik kesit olarak adlandırılan belirli kesitlerde toplanır. Bunların dışındaki bölgelerde ise yapının lineer-elastik davrandığı varsayılabılır. Bu varsayımla plastik kesit kavramı geleneksel plastik mafsal hipotezi genelleştirilebilmektedir.

Plastik kesit kavramının uygulandığı bir betonarme yapının birinci ve ikinci merteye elastoplastik teori ile elde edilen  $(P-\delta)$  bağıntıları Şekil 2.6'da eğrilerle gösterilmektedir. Birinci merteye etkisinde, oluşan plastik kesitler nedeniyle sistemin bir kısmı ya da tamamının mekanizma durumuna gelerek taşıma gücünün bitmesine karşı gelen yük  $P_{L1}$  olarak tanımlanır.

Lineerliği bozan her iki etkinin dikkate alındığı,  $(P-\delta)$  bağıntılarında II eğrisi ile gösterilen ikinci merteye elastoplastik teoriye göre elde edilen yükler artarak  $P_{L2}$  sınır değerine eşit olunca, sistem stabilite yetersizliği nedeniyle göçer. Bu  $P_{L2}$  yük parametresine ikinci merteye limit yük adı verilmektedir. Genellikle hesaplarda ihmal edilen  $P_{L2}$  yüklerinin sebebiyle bu çalışmanın konusu olan geometrisi narin binalarda oturma ve devrilmeye sebebiyet verdiği görülmektedir. Yumuşak zemine oturan narin binaların zemin-yapı etkileşimi sebebiyle periyotları artarken deprem yükü azalmasına rağmen  $(P-\delta)$  etkisi sebebiyle devrilme davranışına itilmesi, sert zemindeki narin binaların da deprem karşısında yine  $(P-\delta)$  etkisi nedeniyle taşıyıcı elemanlarındaki iç kuvvetlerin artışının göçme davranışına doğru yaklaştırması, ikinci merteye etkilerinin aslında ne derece önemli olduğunu ve hesaplamalarda göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.



### 3. TEMELLER

Bir yapı sistemi ekseriyette üst yapı ve altyapı olarak iki kısımda tanımlanır. Zeminle üst yapı arasındaki ara bölge de temel olarak tanımlanır. Yapı sistemleri, üst yapı, temel ve zemin birleşiminden meydana gelmektedir. Zeminle direkt temas halinde olan temel, üst yapı yüklerini ve yük dağılımının ve bu yüke karşı koyarak zeminin taşıyabileceği şekle dönüştüren sistemdir. Temeller, üst yapı ile zemin arasında bir ara eleman olduğu için, yapı ve zeminin her ikisinden de etkilenmektedir. Dolayısı ile temel tasarımı bir üst zemin-yapı etkileşimi hesabıdır. [25]

Temeller genel olarak iki grupta ele alınır:

- (1) Sığ temel (Münferit, birleşik, tek ve çift yönlü sürekli, şerit ve radye temel)
- (2) Derin temel (Kazık, ayak ve keson temel).

#### 3.1. Taşıma Gücü Parametreleri

Temeller oturacakları zemin parametreleriyle yüksek oranda ilişkilidir. Zemin tabakaları heterojen yapıdadır; bazı zeminler sert bazıları ise yumuşaktır. Bazı sert zeminlerin ıslandığı zaman yumuşayabildiği, bazılarının şişerek sığ temelleri kaldırabildiği, bazılarının da göçerek temel içine battığı bilinmektedir. Doğru tasarlanmış temel, üzerine gelecek tüm olumsuz koşul ve değişimlere karşı kendinden beklenen fonksiyonu yerine getirendir.

Temel, üst yapıdan gelen yükleri zemine iletirken zeminde aşırı gerilme oluşmaması gerekir. Bundan dolayı, emniyetli temel tasarımına uygun bir güvenlik sayısı seçilmelidir. Seçilen güvenlik sayısının, temel zemininin kayma göçmesine ve aşırı oturmalara karşı güvenli olmalıdır.

Zeminin kayma göçmesine karşı maksimum dayanımı  $q_u$  olup, emniyetli taşıma gücü olan  $q_a$ , aşağıdaki iki değer küçük olanı olarak alınır:

(1) Kayma göçmesini dikkate alan güvenlik katsayısına bölünerek elde edilen emniyetli taşıma gücü, ( $q_u / GS = q_{a1}$ )

(2) Oturma kriteri dikkate alınarak hesaplanan emniyetli taşıma gücü, ( $q_{a2}$ )

Nihai taşıma gücü  $q_u$  değeri, taşıma gücü göçme mekanizması ve bu göçme durumuna ulaştıran statik denge hesabı ile elde edilir. Göçme mekanizması, göçüren etki kuvvetlerinin direnen kuvvetlere oranı olarak tanımlanır. Bu kuvvetlerin birbirine eşit olması, tam dengeli göçme olduğunu gösterir. Bu durumda göçme mekanizması oranı (güvenlik katsayısı) 1.0'dir. Göçmeye karşı koyan kuvvetler, zeminin kayma mukavemeti parametreleridir. Bir zemine uygulanabilen en büyük kayma gerilmesi, o zeminin kayma mukavemeti olup, kayma mukavemeti bir sınır değerdir. Kayma mukavemeti, plastik denge durumuna geçişe denk gelen değer olduğundan kalıcı deformasyon oluşması ve göçmenin gerçekleşmesi demektir. [25]

Zeminin kayma mukavemeti hesabında iki özelliği dikkate alınır:

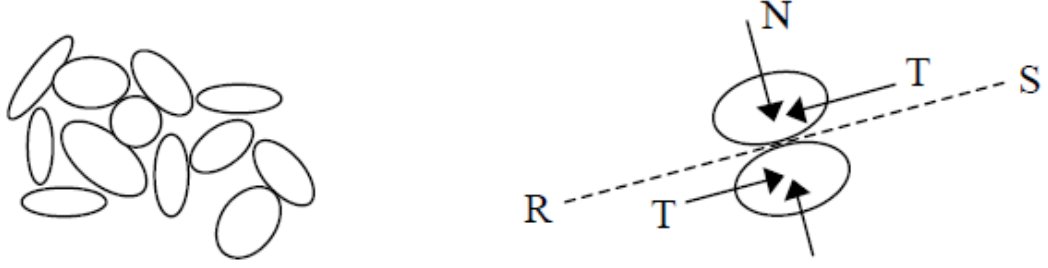
(1) Zeminin İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )

(2) Zeminin Kohezyonu ( $c$ )

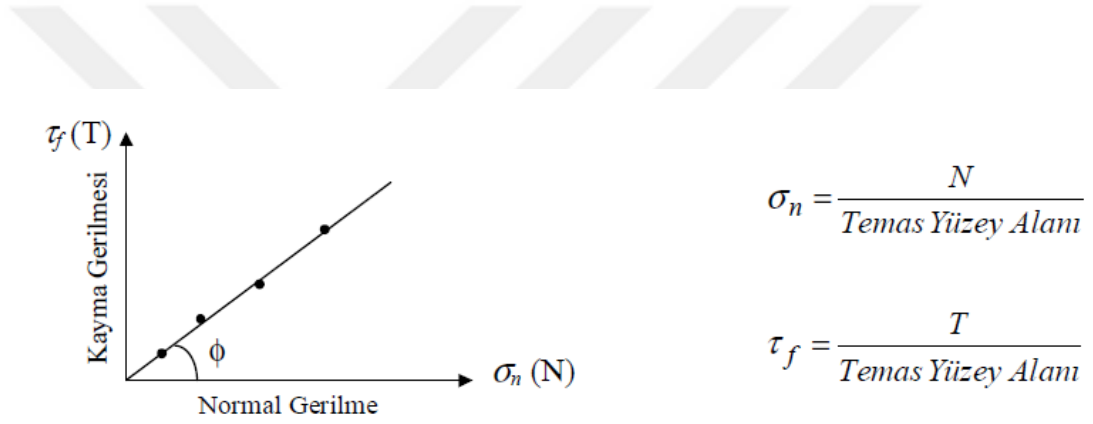
### 3.1.1. Zeminin İçsel Sürtünme Açısı

Zeminin taşıma kapasitesini belirlemede en önemli parametre kayma mukavemeti parametresi olan içsel sürtünme açısıdır. Çünkü zeminin kohezyonuna ( $c$ ) kıyasla tüm zeminleri kapsayan bir parametredir. Sürtünme, birbirine temas eden zemin tanelerinin birbirilerine yük aktarmasından kaynaklanmaktadır. Katı tanecikler, su ve hava zeminin üç bileşeni olup, zemin üç fazlı bir ortamdır. Bu üç bileşenin birbirilerine göre oranları, taşıma gücü hesabında etkili ve belirleyicidir. Göçme anında, içsel sürtünme katsayısından ( $n$ ) dolayı oluşan kayma mukavemeti, temas yüzeyine dik etki eden normal kuvvet olan  $N$ 'ye, sürtünme kuvveti olan  $T$ 'nin de  $N$ 'ye bağlı olduğu denklem (3.1)'de görülmektedir. [25]

$$\tau = \sigma n \cdot \tan\phi \text{ Denk (3.1)}$$



**Şekil 3.1.** Daneler Arası Eksenel ve Kayma Gerilmesi Transferi



**Şekil 3.2.** Lineer Göçme Zarfı

### 3.1.2. Zeminin Görünen Kohezyonu

Siltli ve killi zeminlerde danelerin yapısını ve etrafını çevreleyen elektriksel negatif yüke su moleküllerinin tutunması ve daneler arasında bir ara yüzey oluşturması ve danelerin birbirine yapışması sonucunda ek bir kayma direnci meydana gelir. Bu olay, klasik zemin mekaniğinde kohezyon, güncel terminolojide ise görünen kohezyon olarak bilinmektedir. Normal gerilme etkisi sıfır olan siltli ve killi zeminlerde kohezyon nedeniyle bir miktar kayma mukavemeti oluşur. Temiz kum ve çakıllarda kohezyon değerinin sıfır olmasına rağmen, siltli ve killi zeminlerde su

muhtevası ve plastisite indisine bağlı olarak kayma mukavemeti değişkenlik gösterir. [25]

$$\text{Su muhtevası, } w(\%) = \frac{W_w}{W_s}$$

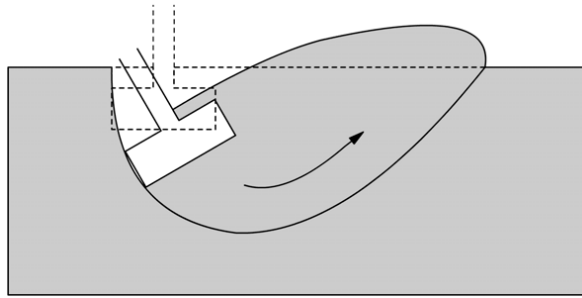
$$\text{Plastisite indisi, } I_p = w_L - w_p \quad \text{Denk.(3.2)}$$

Her iki kayma mukavemeti parametresini de dikkate alan Coulomb kayma mukavemeti denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad \text{Denk.(3.3)}$$

### 3.2. Sığ Temeller İçin Taşıma Gücü

Temelden zemine aktarılan bina üst yapı yükleri kaynaklı temelde meydana gelen kayma gerilmelerinin, zeminin kayma mukavemetini geçmesi durumunda taşıma gücü göçmesi meydana gelir. Radye temellerde rastlanan taşıma gücü kaynaklı göçmelerin az olmasına sebep olarak, hesaplarda seçilen güvenlik katsayılarının daha yeterli olduğu gösterilse de, geçmişte yaşanan depremlerde devrilen ve çöken binaların çok olması, mühendislerce alınan güvenlik katsayılarının yetersiz göstermektedir. Şekil 3.3'te temele gerilmelerinin zeminin emniyetli taşıma gücü sınır değerini geçmesi nedeniyle oluşan zemin göçmesi davranışı gösterilmiştir.

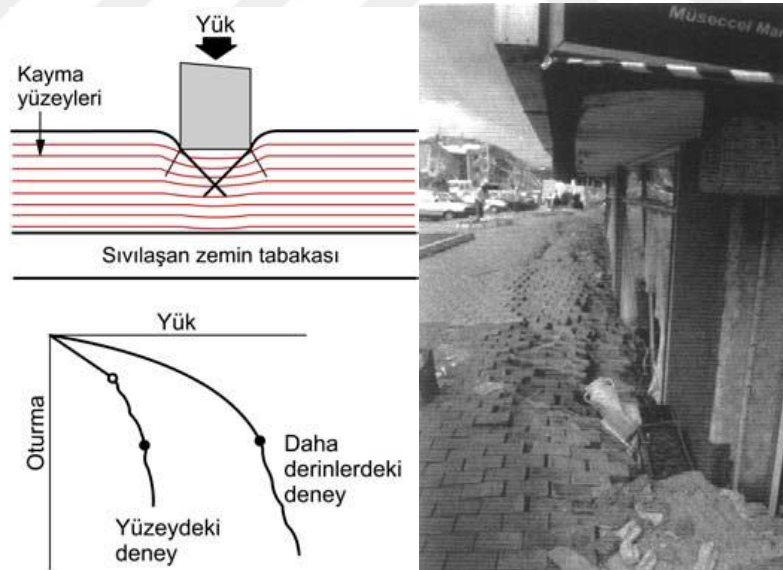


Şekil 3.3. Taşıma Gücü Göçmesi (Coduto,1999)

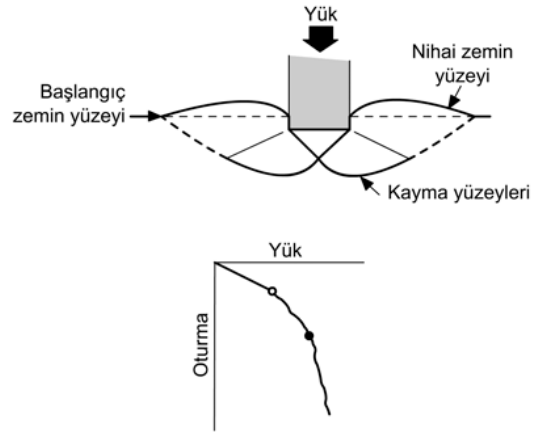
Taşıma gücü göçme şekilleri genel olarak kayma göçmesi, zımbalama göçmesi ve kısmi kayma göçmesi olmak üzere üç ana grupta toplanabilir.



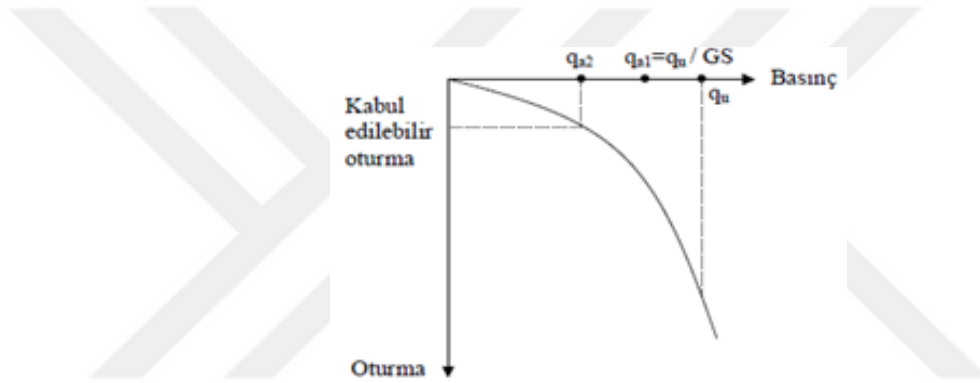
Şekil 3.4. Genel Kayma Göçmesi



Şekil 3.5. Zımbalamadan Kaynaklanan Göçme Şekli



**Şekil 3.6.** Kısmi Kaymadan Kaynaklı Göçme Şekli



**Şekil 3.7.** Oturma Kriterinin Taşıma Gücüne Etkisi

Yukarıda gösterilen kayma göçmesi durumları ile karşılaşılma ihtimali azdır. Binalardaki hasarların nedeni genellikle taşıma gücü kaybından değil, oturma kaynaklı meydana gelmektedir.

### 3.2.1. Sığ Temelerde Taşıma Gücü Hesap Yöntemi (Terzaghi 1943)

Sığ temeller altında göçme mekanizmalasmasındaki (Şekil 3.8) bağıntı, kaydıran kuvvetlerle, karşı koyan kuvvetlerin dengesi üzerine kurulur.



### 3.3. Eurocode 8'e Göre Temeller

Üst yapıdan iletilen düşey ve deprem yükleri temeller tarafından zemine iletilir. Temellerin etkileri karşılamaının yanında, sınırlı oturma yapmaları beklenir. Zemindeki belirsizlikler, teme le erişmenin güçlüğü ve temelde meydana gelen oturma nın geri dönmemesinin sağlanamamasından dolayı, temellerin rijit yapılarak etkilerin olabildiğince düzgün dağılımla zemine iletilmesi sağlanmaya çalışılır. Üst yapıda teme le bağılı elemanların elastik ötesi şekil değiştirmeleri durumunda bile, temel in tasarım dayanımına erişmemesi emniyet açısından gereklidir. Yönetmelik, SDOS (süneklik düzeyi orta sistem) ve SDYS (süneklik düzeyi yüksek sistem) de deprem etkisini esas alan doğrusal analizden bulunacak etkilerin 1.4 katsayısı ile arttırılarak temel tasarımında göz önüne alınmasını öngörmekte olduğundan bu suretle temel ve zemin için davranış katsayısı %40 azaltılır ve temelde elastik ötesi şekil değiştirmelerin oluşmasının önlenmesi düşünülmektedir. Ayrıca yönetmelikte farklı oturma nın söz konusu olabileceği durumunda, plak temel in tercih edilmesi de vurgulanmıştır. [32]

### 3.4. Zemin Yatak Yay Katsayısı

İlk olarak demiryolları traversleri hesapları için kullanılan elastik zemine oturan kiriş modeli Winkler hesaplamalarında, trenlerin geçmesi sırasında traverslerde oluşan sehimleri inceleyen bu yöntem yatak katsayısı olarak adlandırılmıştır. Ülkemizde kullanılan programlarda elastik zemine oturan temellerin, hesap ve tasarımlarında genellikle Winkler modelini kullanmaktadırlar. Bu yöntem ülkemizde 'yatak katsayısı yöntemi' olarak bilinmektedir. Yatak katsayısı ilgili sahanın zemin etüd değerlerinden bulunarak programlara girdi şeklinde işlenmektedir. Taban basınç dağılımının temeldeki oturmalarla orantılı olduğu varsayımı yapılan bu yöntemde, yatak katsayısının sadece zemin özellikleriyle ilgili olmadığını, bunun yanında temel in boyutlarıyla da ilgili olduğu bilinmektedir. [18]

Bu çalışmadaki modellerde 500, 1000, 2000, 5000 ve 10000 t/m<sup>3</sup> olmak üzere beş çeşit zemin sınıfı seçilmiştir. 500 ve 1000 t/m<sup>3</sup> değerine sahip zeminler Adapazarı ilindeki gibi alüvyon zemin benzeri zemin sınıfıdır. 2000 t/m<sup>3</sup> değerindeki zemin



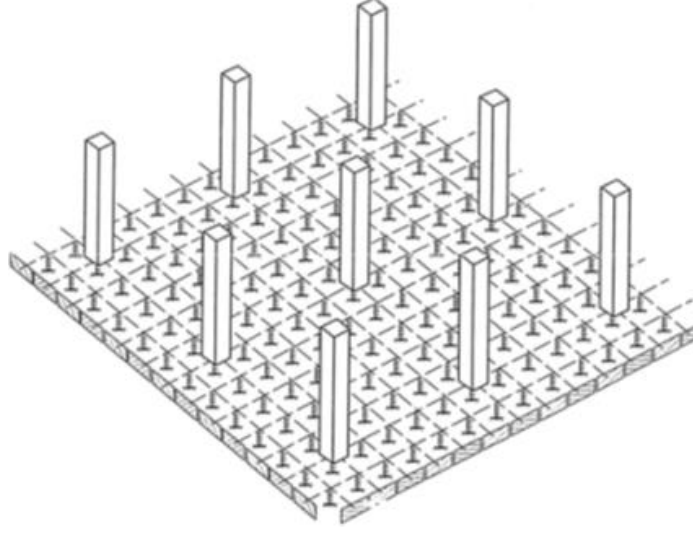
alüvyon zeminlerin bir bodrum katın alt seviyesindeki zemine benzetilebilir. 5000 ve 10000 t/m<sup>3</sup> değerindeki zeminler ise çakıllı sıkı kum veya sert kaya şeklinde nitelendirilen zeminlere benzetilebilir.

Yatak katsayısı yöntemine göre yaylar kendi başına düşen yükler ile bir miktar sıkışma yapabilmektedir. Yatak katsayısı birim çökme için birim alana yüklenecek yük miktarı olarak ifade edilmektedir:

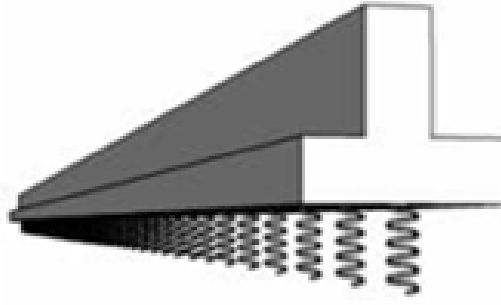
$$k = p / \Delta l \quad \text{Denk. (3.6)}$$

Burada  $k$  yatak katsayısı,  $p$  zemin noktasında uygulanan gerilmeyi ve  $\Delta l$  o noktada meydana gelen yer değiştirmeyi temsil etmektedir. [26, 27].

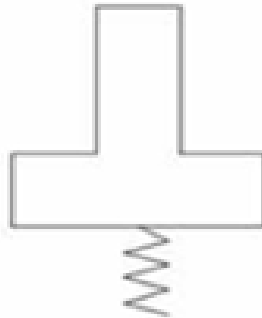
Bu yönetime göre, tanımlanan yaylar, hem çekme hem de basınç alabilmektedir. Ülkemizde kullanılan programlar da hesaplamalarda bu şekilde devam etmektedir. Zemin her ne kadar yay olarak tanımlansa da basınç alabilen zeminin, çekme alması doğada izah edilebilecek bir durum değildir. Zemin türleri incelendiğinde, hemen hemen tüm yöntemlerde zeminde ya da yapı temelinde bir yay sistemi bariz olduğu açıktır. Ancak zeminlerin yay olarak tanımlanıp bunları temel altında bir amortisör görevi gördüğü mantığıyla, temel hesaplamalarında zeminde tanımlanan yayların çekmeye de çalıştığını kabul etmeleri, zemin-yapı birleşiminin rijit olması kabulü, deprem veya diğer etkenlerden doğacak olan yatay ve düşey yer değiştirmeleri ile oluşacak 2.mertebe etkileri ile zemin-yapı etkileşiminden doğacak olumsuz etkileri göz ardı etmektir. Hesaplamalarda doğru olarak çıkabilecek sonuçların olumsuz etkileri de maalesef ülkemizin geçmiş depremlerinde açıkça görülmektedir.



**Şekil 3.9.** Radye Temelde Yay Modeli [18]



**Şekil 3.10.** Sürekli Temelde Yay Modeli



**Şekil 3.11.** Tekil Temelde Yay Modeli [18]

Zemin parametreleri kullanılarak aşağıdaki çizelgelerden ilgili yatak katsayısı değerleri bulunabilmektedir:

**Çizelge 3.1.** Terzaghi'ye (1955) göre yatak katsayısı çizelgesi [28]

Zemin sınıfı	Yatak katsayısı değerleri ( $KN/m^3$ )
Katı Kil	< 24 000 – 48 000
Sert Kil	48 000 – 96 000
Çok Sert Kil	>96 000
Gevşek Kum	8000 – 12 800
Orta Sıkı Kum	19 600 – 41 600
Sıkı Kum	96 000 – 160 000

**Çizelge 3.2.** Ersoy'a (1995) göre yatak katsayısı çizelgesi [29]

Zemin sınıfı	Yatak katsayısı değerleri ( $KN/m^3$ )
Balçık, Turba	<2000
Plastik Kil	5 000 – 10 000
Yarı Sert Kil	10 000 – 15 000
Sert Kil	15 000 – 30 000
Dolma Toprak	10 000 – 20 000
Gevşek Kum	10 000 – 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 – 50 000
Sıkı Kum	50 000 – 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 – 150 000
Sağlam Şist	>500 000
Kaya	>2 000 000

**Çizelge 3.3.** Keskinel'e (1970) göre yatak katsayısı çizelgesi [30]

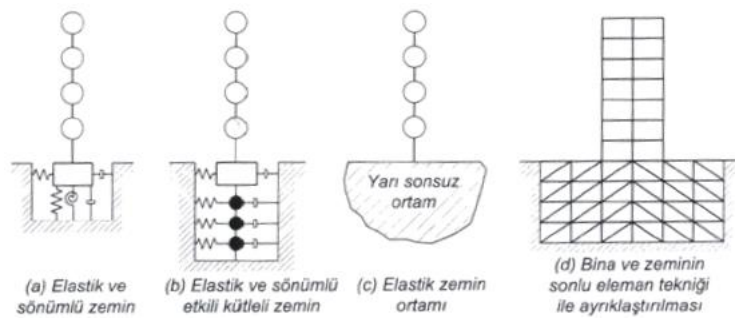
Zemin sınıfı	Yatak katsayısı değerleri ( $KN/m^3$ )
Balçık, Turba	<2000
Plastik Kil	5 000 – 10 000
Yarı Sert Kil	10 000 – 15 000
Sert Kil	15 000 – 30 000
Dolma Toprak	10 000 – 20 000
Gevşek Kum	10 000 – 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 – 50 000
Sıkı Kum	50 000 – 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 – 150 000
Sağlam Şist	>500 000

Ana kayada oluşan deprem hareketi, zemine ulaşırken, değişik zemin tabakalarından geçerek değişikliğe uğrar ve yapı temeli yoluyla yapıya iletilir. Fakat, bir deprem hareketinde zemin ve yapı beraber hareket ederek birbirlerinin davranışlarını etkiler. Örneğin, 1970 Gediz Depremi'nde merkez üssünden 135 km uzaklıktaki yerleşim merkezinde hiçbir yapıda hasar meydana gelmezken, sadece bir fabrika yıkıldığı görülmüştür. Daha sonra yapılan incelemede, fabrikanın birinci periyodunun, yapının üzerinde bulunduğu zeminin etkili periyoduna oldukça yakın olduğu tespit edildiğinden bu olayın zemin-yapı etkileşiminin yanında, zeminin yapının davranışına olan etkisini de gösterdiği tespit edilmiştir.

Bir bölgedeki yapının deprem davranışlarının değerlendirilmesinde, zemin-yapı sisteminin dinamik özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir. Zemin, yapının davranışını şu şekillerde etkiler:

- a) Yapının altındaki zemin, ana kayadaki deprem etkisinin genlik ve frekans içeriğini değiştirerek iletmesi durumu, dolgu olan zeminlerde deprem etkisinin büyümesine sebep olur.
- b) Zeminde meydana gelen şekil değiştirmeler, yapının periyot ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerinde değişiklikler oluşturur.
- c) Yapıdaki titreşim enerjisinin önemli bir kısmı, zemine mesnetlenmenin rijit olmaması, zemindeki sönüm ve zeminde geri dönmeyen yayılma etkisinden dolayı söner.
- d) Yapının üzerinde bulunduğu zeminin etkisiyle deprem sırasında taşıyıcı sistemde farklı oturmalar oluşabilir; bu durum da geometrisi narin binalar için devrilme riskiyle karşı karşıya kalılabileceğini göstermektedir.

Genellikle zemin-yapı etkileşimi, b ve c’de bahsedilen olayların incelenmesi olarak ele alınır. Bu iki halde, yapının davranışı kısmi olarak zeminden ve buna paralel olarak zeminin davranışı da yapıdan etkilenir. Zeminin yer hareketini büyütmesi olarak bilinen bu olay da zemin-yapı etkileşimi ile değişikliğe uğrar. Yapının temelinde meydana gelen hareketle, aynı yerde yapı olmadığında meydana gelecek olan serbest yüzey hareketi arasında fark ortaya çıkar. Ancak, uygulamada bu ölçüde ayrıntılı inceleme, nadir durumlarda göz önüne alınabilir. Genellikle, yapı zemine rijit olarak bağlı kabul edilerek analiz yapılmasının yanı sıra, bazı özel durumlar zemin-yapı etkileşiminin göz önüne alınmasını gerektirmektedir. [32]



**Şekil 3.12.** Zemin-Yapı Etkileşiminin İncelenmesi İçin Değişik Hassaslıkta Modeller

Yapının davranışı incelenmesinde, deprem hareketinin ana kayaya uygulanması ve bunun üst zeminde ve yapıdaki etkilerinin analizi daha gerçekçi kabul edilir. Ancak, yerin hareketi için ulaşılan bilgilerin ana kayaya ait olmayıp, zemin yüzündeki ölçümlerinden elde edildiği düşünülürse bunun da çok gerçekçi olmadığı ortaya çıkar. Bunu yerine yapı temelinde elastik yay ve sönüm kabul edilerek, deprem hareketinin yüzeyden etkidiğini kabul etmek daha uygun olabilir. Diğer bir çözüm de, zeminin dinamik karakteristiklerinin önceden belirlenip, zemin ve yapının davranışının beraberce incelenmesidir.

Zeminin dinamik karakterlerinin belirlenmesinde, zemin rijitliğini, sönümü ve yarı sonsuz zemin ortamında yüzeyden yansıyan dalganın geri dönmeyecek şekilde yayılmasını göz önüne alan modeller, yapının temelinde kabul edilen eşdeğer elastik yay ve sönümlerle modelleme, zemini düşey doğrultuda elastik yay ve sönümlerin bir araya gelmesinden oluşan kayma çerçevesi şeklinde modelleme, yapının elastik veya viskoelastik yarı sonsuz ortamda mesnetli olarak modellenmesi, zeminin iki veya üç boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi şeklinde çeşitli yaklaşıklıkta geliştirilebilir. [32]

#### 4. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ (ZYE)

Zemin-yapı etkileşimi, zemin ve yapısal mekanik, zemin ve yapısal dinamikler, deprem mühendisliği, jeofizik ve jeomekanik, malzeme bilimleri, sayısal ve sayısal yöntemler ile çeşitli diğer teknik disiplinlerin kesişiminde bulunan disiplinlerarası bir uğraş alanıdır. 19. Yüzyılda başlayan çalışmalar, 20. yüzyılın ilk yarısında olgunlaşmış, 20.yüzyılın ikinci yarısında nükleer enerjinin ve kıyı endüstrilerinin ihtiyaçları tarafından teşvik edilerek hızla ilerlemiştir. Statik temel rijitlikleri, ZYE etkileri için mühendislik analizleri ve formüllerinde de yaygın bir şekilde kullanıldığından, bu çalışma bu gibi statik çözümler hakkında kısa bir inceleme içermektedir. [31]

Zemin-yapı etkileşimindeki modern çağın başlangıcı yaklaşık 40 yıl önce Veletsos & Wei (1971) ve Luco & Westmann (1971, 1972) tarafından yapılan ilk çalışmalar yayımlandıktan sonra ZYE disiplininin ilerleme hızı, esasen nükleer enerji ve deniz aşırı sanayilerin ihtiyaçlarına dayanan hızlı bir ivme ve çeşitlendirme sağlamıştır. Böylece tanımlanan çeşitli zemin türleri üzerindeki esnek temeller üzerine yapılan çalışmalarda ilerlemeler kaydedilmiş; zemin parametrelerinin etkileri, değişkenlikleri ve bulgular değerlendirilerek ZYE'nin tarihsel süreci başlamış olur. [31]

##### 4.1. Deprem Hareketinde Zemin-Yapı Etkileşimi

Yapılar deprem hareketi sebebiyle yatay kuvvet etkisi altında kalırlar. Yapıların depreme karşı göstermiş oldukları tepki, üst yapının projesine, uygulama aşamasındaki gösterilen özene, temel elemanına ve genelde ihmal edilen aslında önemsenmesi gereken zemin ve zemine bağlı olan parametrelere bağlıdır. Yapının depreme karşı koyabilmesi için, yapının temelden zemine düşey ve yatay yükleri başarıyla aktarabilmesi ve zeminin emniyetli taşıyabileceği gerilmeleri aşmaması gerekmektedir. Bu hususlardan dolayı zemin-yapı etkileşimi deprem hareketi baz alınarak incelenmeye çalışılmıştır. [32]

#### 4.2. Temellerin ZYE Etkisi İle İlişkisi

Temel tasarımında, temelin ve zeminin üst yapıdan gelen yükün iletilmesinde güvenliğin sağlanması ve kullanma halinde yeterliliğin sağlanması olmak üzere iki durum söz konusu olur. Temeller genellikle betonarme olarak tasarlanır ve yapısal elemanların tasarımına göre de zeminin davranışı ve özellikleri pek çok belirsizliği içerir. Zemindeki belirsizlik, zeminin mekanik özelliklerini yansıtan malzeme, bünye denklemlerinin oluşturulmasındaki belirsizlik, kohezyon, daneler arasındaki boşluk ve zeminin 3 boyutlu bir ortam olması önemli zorlukların başında sayılabilir. Bu zorluklar sebebiyle zemin mekaniği alanının gelişmesi diğer branşlara göre geç kalmıştır. Bunlara ilaveten depremin oluşturduğu dinamik dalgalarının zemin ile olan etkileşiminin incelenmesi, kapasite tasarımı ve sünekliğin sağlanması şartlarının temelde uygulanabilirliği, tekrarlı yüklemelerde zeminde oluşan sönümde eklenebilir. Düşey ve yatay yüklerin ciddi oturmaların yaşanmadan temelden zemine iletilmesi sağlanmalı ve oluşabilecek sürekli oturmalar da üst yapı tasarımında göz önüne alınmalıdır. Özellikle farklı oturmaların üst yapıda ek zorlamalara sebep olacağı ve tasarlanan yapıdaki oturmaların özellikle bitişik nizam yapılan komşu yapılarda da zorlamalar meydana getirebileceği unutulmamalıdır. Temelde yeterli rijitlik seçilerek, kolon ve perde gibi elemanlardan iletilen yüklerin zemine olabildiğince düzgün yayılı iletilmesi sağlanmalıdır. Binanın temel seviyesinde düzgün bir titreşim hareketiyle zorlanması için kolon ve perde gibi elemanlar, temel seviyesinde: bağ kirişi, sürekli temel ve dolayısıyla üst yapı depremde düzgün olmayan salınım hareketi dışında zorlanacağı için kaçınılmalıdır. [32]

Deprem sırasında temel ve zeminin elastik bölgede kalması güvenlik açısından gereklidir. Farklı oturma ile devrilme ve kayma tehlikesinin önlenmesi açısından temel ile bütünleşen çevre perdesi bulunan rijit bodrum katlar tercih edilmelidir. Bu tür binalarda deprem kesme kuvveti, temel tabanında ve çevre perde yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti yanında depreme zıt oluşan pasif zemin etkisi ile karşılanarak yapı olumlu yönde etkilenir. [32]



### 4.3. Zemin Modelleri

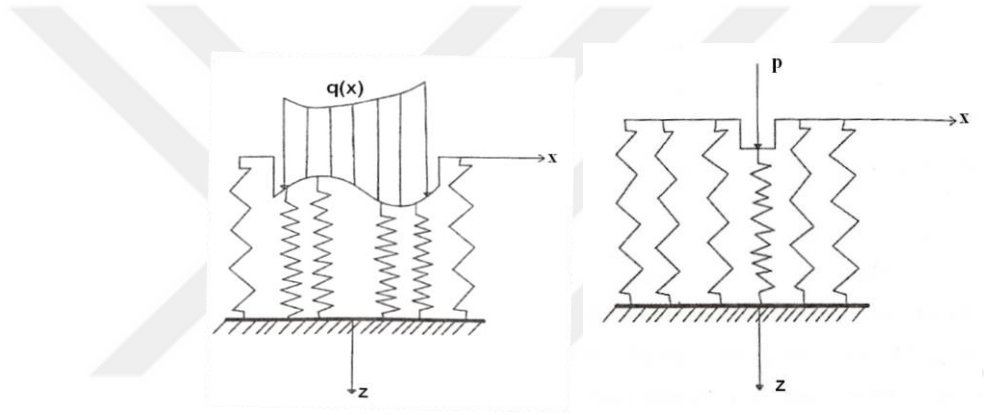
İlk olarak geoteknik, demiryolu ve karayolu mühendisleri tarafından tasarım ve analiz için kullanılan elastik zemin üzerine oturan plak ve kiriş modelleri Winkler teorisine dayanmaktadır. Winkler zemin modelinde zemin, birbirinden bağımsız düşey doğrultuda çekme ve basınca çalışan, lineer elastik yaylardan oluşmuş bir sistem olarak ifade edilmektedir. bu teoriye göre, her bir yay tek başına çalışmaktadır ve sadece yükün etkidiği yaylarda çökmeler meydana geleceği düşünülmüştür.

Ancak, Winkler teorisiyle ilgili bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, yaylar arasında herhangi bir etkileşim söz konusu olmadığından dolayı, bu kabul zeminin süreksiz bir ortam olduğu düşüncesini de beraberinde getirmektedir. Bir başka eksiklik ise, yay katsayısının, temelin rijitliği, geometrisi, zemin özellikleri gibi birçok parametreye bağlı olması ve ampirik bağıntılardan elde ediliyor olmasıdır. Bundan dolayı, Winkler modelinin bu eksikliklerinin giderilmesi amacıyla gelişmiş iki parametrelili zemin modelleri tasarlanmıştır. (Filonenko-Borodich, 1940; Pasternak, 1954; Vlasov ve Leontiev, 1966; Hetenyi 1946; Kerr 1964). Belirtilen modellerin de ilk parametresi, Winkler modelinde olduğu gibi yay rijitliği, ikinci parametresi ise lineer-elastik yayların etkileşimini temsil etmektedir. Modellerin tamamı matematiksel olarak eşit olmasına rağmen zemin parametrelerinin farklı olduğu görülmektedir.

Uygulamada kiriş modelleri de kullanılmış olup; yaygın olarak kullanılan iki model, Euler-Bernoulli ve Timoshenko kiriş modelleridir. Euler-Bernoulli modeli ince kirişler için çok uygun olup, kısa ve kalın kirişlerde verdiği sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Kirişlerin statik ve dinamik davranışlarını modellemekte yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem olan Timoshenko modelinde ise kirişlerin titreşimi modellenirken eğilme ve kayma etkilerinin her ikisini de aynı anda dikkate alınmaktadır. Ayrıca bu teoriye göre, yer değiştirmelerden önce kiriş eksenine dik olan düzlemsel bir kesitin, şekil değiştirmeden sonra da düzlemselliğini koruduğu, ama kiriş eksenine dikliğini kaybettiği de bilinmektedir. Ayrıca Timoshenko kiriş teorisinde, kayma birim uzamalarının ve yanal kayma gerilmelerinin kesit boyunca sabit olduğu kabul edilmektedir [33, 34, 35].

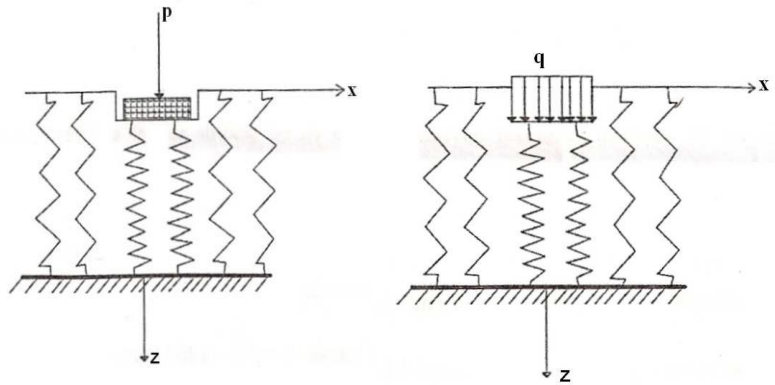
### 4.3.1. Winkler Zemin Modeli

Zemin-yapı etkileşiminin hesabında kullanılan ilk model olan bu modelin ifadesinin basit ve hesaplamalarının da kolay olması sebebiyle ülkemizde hala en sık kullanılan zemin modeli Winkler zemin modelidir. Winkler modelinde zemin sadece  $k$  zemin yatak katsayısı değişkeni bulunmaktadır. Winkler zemin modelinin tek parametreliliği olması ve bazı sıkıntılar oluşturması sebebiyle konu incelenerek parametreleri çoğaltılmış ve farklı zemin modelleri ortaya konmuştur. Bu modellerin bir kısmı iki parametreliliği olsa da geliştirilen tüm modeller Winkler teorisi ile ilgilidir. Şekil 4.1’de Winkler modelleri için farklı yükleme durumlarındaki yer değiştirme halleri gösterilmiştir [18].



a) Düzgün olmayan yayılı yük durumu

b) Tekil yük durumu



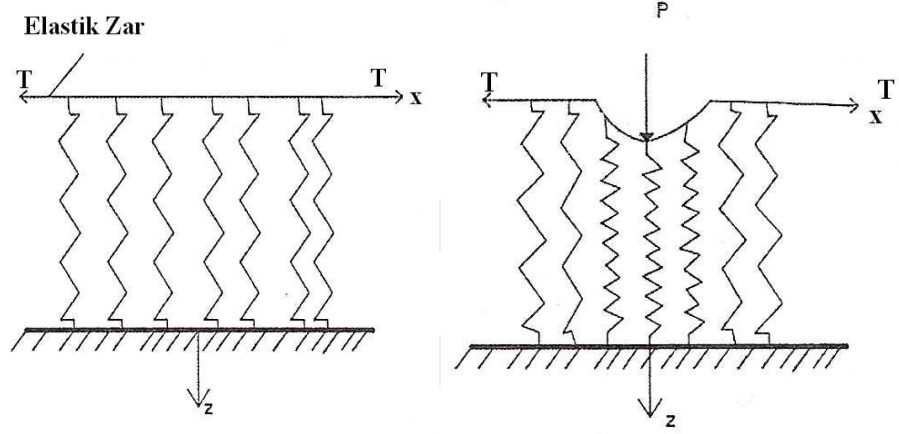
c) Rijit cisimle yükleme durumu

d) Düzgün yayılı yük durumu

Şekil 4.1. Winkler Zemin Modeli

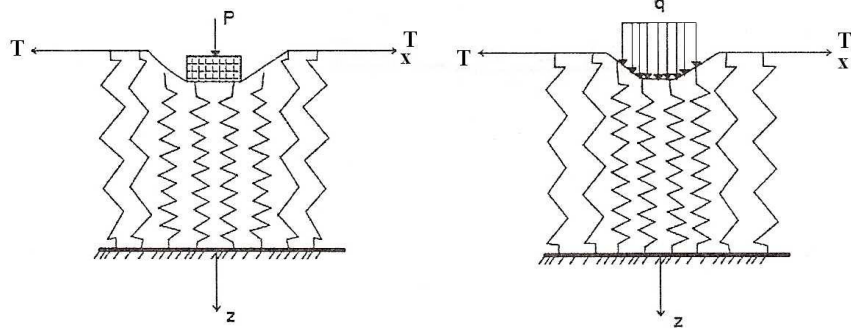
### 4.3.2. Filonenko –Brodich Zemin Modeli

Filonenko-Brodich modelinde (1940–1945), Winkler modelinden farklı olarak Şekil 4.2’de yayların üst yüzeyinde elastik bir zar olduğu kabul etmektedir. Bu modelde sisteme yükleme yapılması halinde yüzeydeki zarda bir miktar gerilme meydana gelecektir. Modelin önemli olan parametresi de, yayları birbirine bağlayan zarda oluşan bu çekme kuvvetidir [18].



a) Yüksüz durum

b) Tekil yük durumu



c) Rijit cisimle yükleme durumu

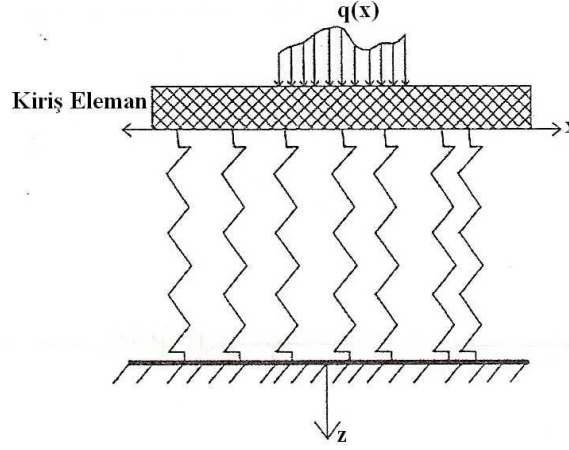
d) Düzgün yayılı yük durumu

Şekil 4.2. Filonenko-Brodich zemin modeli

### 4.3.3. Hetenyi Zemin Modeli

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi Hetenyi modeli (1946), Winkler yaylarının üzerinde iki boyutlu problemler için bir plak, tek boyutlu problemler için de elastik bir kiriş olduğunu varsaymaktadır. Bu modeldeki zemin parametreleri plağın eğilme rijitliği ve  $k$  yay katsayısı olarak alınmıştır [18].

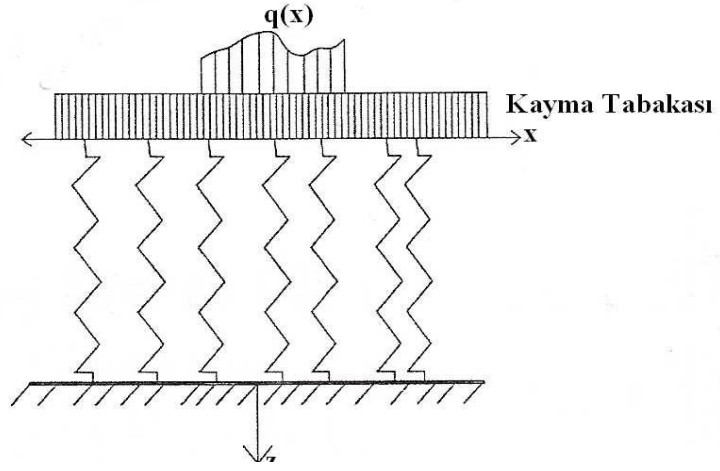
Plağın eğilme rijitliğinin dikkate alınması özellikle radye temellerin rijit plak olarak kabul edilmemesi gerektiğini ve zemin-yapı etkileşiminin plakların eğilme rijitliğiyle ilgili olduğunu gösteren bir ipucu niteliğindedir.



Şekil 4.3. Hetenyi zemin modeli

### 4.3.4. Pasternak Zemin Modeli

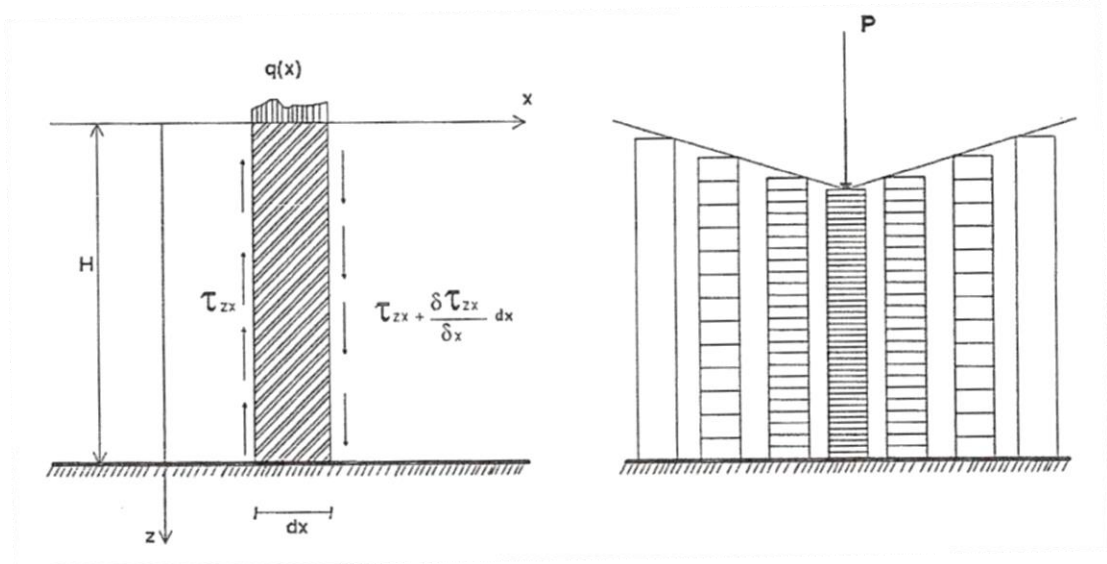
1954 yılında ortaya konulan Pasternak modeline göre, Winkler modelindeki yayların üzerinde sadece düşey doğrultuda yer değiştirme yapabilen ve sıkışmayan elemanlardan oluşan bir kayma tabakası vardır. Kayma tabakasının  $x$  ve  $y$  düzleminde izotropik olduğu varsayılmıştır [18].



**Şekil 4.4.** Pasternak zemin modeli

#### 4.3.5. Vlasov Zemin Modeli

Vlasov zemin modeli değişkenleri, zeminin elastik özelliklerine ve sıkışan zeminin tabaka kalınlığına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu modele getirilebilecek en büyük eleştiri, kullanılan parametrelerin birçok unsurun etkisi altında olması nedeniyle belirlenmesinde karşılaşılan güçlüğüdür [36, 37, 38].



**Şekil 4.5.** Vlasov zemin modeli

## 5. BİNALARDA DEVRİLME

Ülkemizde son yıllarda büyük şehirlerin kalabalıklaşması, gelişmekte olan kentlerimizin de kırsaldan daha fazla göç alması, ulaşım ağlarının yaygınlaşarak yolculuk sürelerinin kısalması sebebiyle kent yakınlarında yeni kırsal yerleşimlerin kurulması gibi daha birçok neden nüfusun artarak yeni yerleşim birimlerinin kurulması sebebiyle konut yapım hızı ve sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca son zamanlarda revaçta olan kentsel dönüşüm projelerinin hızlanmasıyla birlikte nüfus yoğunluğu fazla olan özellikle İstanbul gibi büyükşehirlerde, arsa sıkıntısı yaşanması ve geçmişteki yerleşimlerin yolları ve o yörenin kentleşmesini etkilemesi sebebiyle bitişik nizam yapılar yapılmaktadır.

Ülkemizde, arsa sıkıntısı çekilen yerlerde arsa fiyatlarının yükselmesi ve yeni imar durumu düzenlemesinin yapılamaması sebebiyle yola cephesi 4,00 metre olan bir arsaya bile bina inşa edilebilmektedir.

Ülkemizin farklı yerlerindeki H/B oranı yüksek binalara ait bazı örnekler:



**Şekil 5.1.** Balıkesir İli Merkezindeki dar cepheli binalar



**Şekil 5.2.** Giresun İli Merkezinde Dere Yatağındaki Bina (B=6,00 m, H=24,00 m)

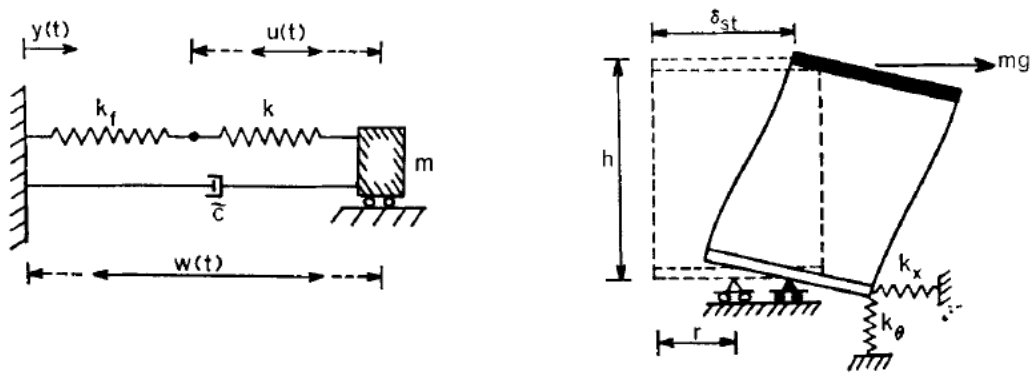
### **5.1. Binaların Devrilme Koşulları**

Binaların devrilmemesi için temel olarak şu iki şartın sağlanması gerekmektedir:

1. Binanın deprem gibi herhangi bir yükleme ve/veya yükleme kombinasyonu itibarıyla, binayı topuk noktasına göre devirmeye çalışan momentin, devrilmeye karşı koyan momentten küçük olması gerekmektedir. Bu çalışmanın konusu olan narin binalar için temel ile yapı birleşik bir kütle olarak alınmalıdır. Çünkü binanın temelini ankastre olduğu varsayımı, sanki radye temelin zemine ankrajlı bir yapı şeklinde olduğunu düşünmek, üst yapının temele kolon ve perde birleşim bölgelerinden bağlandığından daha sağlam gibi bir algı oluşturmaktadır. Ancak bazı tür zemin ve binaların temel ile birlikte hareket ettiğini hatta ve hatta üst yapının duvarlarında bile en ufak bir deformasyon olmadığını görmek aslında bu algının

kırılması gerektiğini göstermektedir. Bu maddeyle alakalı değinilmesi gereken başka bir nokta da, binanın devrileceği topuk noktasının temel şeridi sınırları içerisinde olması, yani zeminin ağırlıklı olarak elastik davranış göstermesi, plastik davranış göstermemesi gerekmektedir.

2. Temel deplasmanlarının, yatak yay katsayısı olan 'K' değeri ile çarpıldığında, zeminin emniyetli taşıma gücü değerini geçmediğini görmek gereklidir. Çünkü temelin düşey doğrultudaki yaptığı yer değiştirme, zeminin emniyetli taşıma gücünü aştığı andan itibaren, artık temel zemin içine batarak o andan itibaren plastik davranmaya başlayacak, temelin diğer bölgelerindeki yer değiştirmeler her ne kadar zemin içine batmıyor gibi gözükse de bu sefer, temelin batan kısmına yakın bu deplasmanlı yerler de zemin içine batacak ve silsile yoluyla giden bu süreçte artık temel çökerek dönmeye, yer değiştirmeye doğru giderek; ikinci mertebe etkileriyle de devrilecektir. Temelin yaşayabileceği adım adım tariflenen bu senaryo aslında nonlineer analiz mantığıdır. Bu nedenle temelleri, elastik zemin üzerine oturan bir kiriş mantığından çıkarak, hesaplamaları nonlineer metodla yapmak, temelin her çöken kısmı için bir sonraki aşamada ne olacağını tayinini en iyi şekilde gösterecektir. Veletsos ve Meek'in tarifini yaptığı Şekil 5.3'te doğru davranışın nasıl olabileceği, yatak yay katsayısının çekme aldığı tarifinin haricinde iyi bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 5.3. Zemin Yaylarıyla Tanımlanmış Bina Modeli (Veletsos And Meek, 1974)



Bu şekilde yüksek katlı yapıların yapılması devrilme konusunun gündeme gelmesine sebep olmaktadır. Ülkemizde halen yürürlükte olan 2007 DBYBHY’te yapıların devrilme tahkikleri hakkında bir kural yoktur. Bu konu, geçmiş dönemlerde yaşanan özellikle 1999 Gölcük Depremi’nde bazı binalarda gerçekleşmiştir. Bu yaşanan olay neticesinde literatüre farklı bir çok çalışma yapılarak fikir atılmış, genellikle binaların zemin sıvılaşmasından dolayı devrildiği işaret edilmiştir. 17 Ağustos 1999 depreminde sıvılaşma nedeniyle devrildiği ifade edilen yapıların fotoğrafları gösterilmiştir.



**Şekil 5.4.** Oturma Formunda Temel Deplasmanları-Tığcılar Mahallesi Adapazarı



**Şekil 5.5.** B=4,00 Metre, H=16,00 Metre Olan Binanın Devrilmiş Hali-1



**Şekil 5.6.** B=4,00 Metre, H=16,00 Metre Olan Binanın Devrilmiş Hali-2



**Şekil 5.7.** B=4,00 Metre, H=16,00 Metre Olan Binanın Devrilmiş Hali-3



**Şekil 5.8.** Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali

Bodrum katı bulunmayan dar cepheli yapı, bitişiğindeki daha geniş cepheli yapı ile meydana gelen çekiçleme etkisi altında daha az rijit olduğundan devrilmiştir.



**Şekil 5.9.** Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali



**Şekil 5.10.** Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali



**Şekil 5.11.** Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali



**Şekil 5.12.** Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali



**Şekil 5.13.** Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmiş Hali



**Şekil 5.14.** Dar Cepheli Bir Binanın Devrilmeye Yakın Davranışı

17 Ağustos 1999 Depremi'nde binalarda görülen bu davranış ile ilgili yaygın olan kanı, binaların oturduğu zeminin sıvılaşarak taşıma gücünü kaybetmesi ile açıklanmaktadır. Ancak devrilme davranışı gösteren binaların genelde dar cepheli narin yapıda oldukları ve bodrum katlarının olmadığı hatta hemen hepsinin radye temele sahip olduğu görülmektedir.

Sıvılaşan zeminlerin taşıma gücünü kaybetmesi bariz bilinen bir gerçektir. Ayrıca sıvılaşma olan zeminlerde deprem sonrasında zemindeki suyun yapının çevresinden dışarı doğru taşıdığı birçok yaşanan depremde görülmektedir. Fakat, H/B oranları büyük olan narin binalar bir yöne doğru devrilirken, H/B oranı düşük olan binaların devrilmeyerek düşey yönde hemen hemen eşit miktarda deplasman yaparak oturmasının sebebinin binaların aslında zemin sıvılaşmasından dolayı değil, plan geometrilerinin narinliğinden dolayı oluştuğu fikrini öne sürmektedir. Sıvılaşan zeminlerdeki bazı binaların depremden sonraki fotoğraflarına da göz atmakta fayda vardır:



**Şekil 5.15.** Depremde Sıvılaşan Zeminden Yukarı Çıkan Su Ve Oturan Bina



**Şekil 5.16.** Depremde Sıvılaştan Zeminden Yukarı Çıkan Su



**Şekil 5.17.** Depremde Sıvılaştan Zeminden Yukarı Çıkan Su Ve Ayrışan Zemin





**Şekil 5.18.** Depremde Sıvılaşma Sebebiyle Devrildiği İddia Edilen Bina

Bina türü yapılar yaygın olarak kullanılan paket programlar ile projelendirilirken üst yapı ayrı çözümlenerek, buradan gelen yükler temele aktarılır ve temel de kendi içinde ayrı çözümlenir. Ayrı çözümlenen temel sistemi de çoğu zaman üst yapı ile birlikte çözümlenmez. Ayrıca temel hesabında temelin rijit kabul edilmesinin yanı sıra, temelin zemine ankastre olarak bağlandığı kabulü yapılmaktadır. Zeminin bir yay olarak tanımlayan Winkler zemin modelinde ve esaslı bu modele dayanan farklı zemin modellerinde de, zeminin basıncın yanı sıra çekmeye de çalıştığını ifade eden tanımlamalar kullanılan programlara yansımıştır. Üstelik yapı ile zeminin etkileşmesinden doğacak etkilerin büyük oranda hesaplamalar dahil edilmemesi, düşey ve yanal etkilerin kombinasyonlarından doğacak senaryoların yapıya nasıl etkiyeceği ile ilgili ayrıntılı ve uzun zaman alan hesaplamalara girilmemesi, bazı bina türlerinde devrilme gibi çeşitli sorunlara neden olmaktadır.

## **5.2. Devrilmeye Karşı Alınabilecek Önlemler**

Konunun öncelikle yürürlükte olan 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Bina Hakkında Yönetmelik'te ve yenilecek olan yönetmeliklerimizde dikkate alınarak binaların paket programlarda hesaplamaları yapılırken devrilme tahkiklerinin

yapılması gerekmektedir. Bu tahkik yapılırken, paket programlarda üst yapı ve temelin ayrı ayrı çözümlenmesinin yanında üst yapı ve temelin birlikte çözümlenmesi yapılarak, temelde tanımlanan zemin yaylarının çekme almadığı da varsayımlara eklenmelidir. Özellikle geometrisi narin olan ve bitişik nizam yapılacak dar cepheli binalarda ikinci merteye etkilerinin hesaplara dahil edilerek proje mühendislerince yorumlanması, temeldeki deplasmanların yay katsayısı ile çarpılarak çıkacak değerin emniyetli zemin gerilmesini geçmediğinin kontrolü, eğer bu değer aşıyorsa da jetgrout, fore kazık veya farklı türde zemin iyileştirme yöntemlerine gidilmesi, projeleri kabul edecek İdarelerce de kontrol edilmeli ve genel geçer kabuller altına alınması gerekmektedir. Ayrıca binaların toprak altında, bodrum çevre perdeli olarak inşa edilmeleri de alınacak önlemlerin arasına girmektedir.

Projelendirme ve uygulama safhasında alınacak bu tür önlemlerin yanı sıra, belediyelerin İmar Yönetmeliklerini gözden geçirerek yapıların cephe genişliklerine verilecek en küçük uzunluğun artırılması ya da binaların yükseklik/genişlik oranına göre bir sınırlandırma getirmeleri gerekmektedir.

Bitişik nizam yapılarda yaşanacak devrilme tehlikesinin binaların birbiriyle olan etkileşimlerinden dolayı devrilmese dahi, sıralı binaların domino etkisiyle deprem sonucunda yıkılma ihtimali asla gözden çıkarılmamalıdır. Özellikle İstanbul Üsküdar'da yapılan eski bitişik nizamlı eğimli zeminler üzerine oturan binaların bu büyük depremde bu etkilerle karşı karşıya kalma ihtimalinin maalesef yüksek olması da unutulmamalıdır.

## 6. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu çalışmada devrilme konusu plan geometrisi dikdörtgen, H/B oranları yüksek binalar için modeller hazırlanarak zemin yay katsayıları farklı değerlerde alınarak bir takım sonuçlara ulaşılmıştır.

### 6.1. Düşey Yük Analizi ve Ön Boyutlandırma

#### +6.1.1. Düşey Yük Analizi

Düşey yükler halen yürürlükte olan TS498 Yönetmeliği çerçevesince belirlenen düşey yük analizi aşağıda verilmiştir. Yapının tüm katlarında döşeme kalınlıkları 15 cm tercih edilmiştir.

15 cm 'lik betonarme döşemede:

Betonarme plak (15cm) : 3,00 kN/m<sup>2</sup>

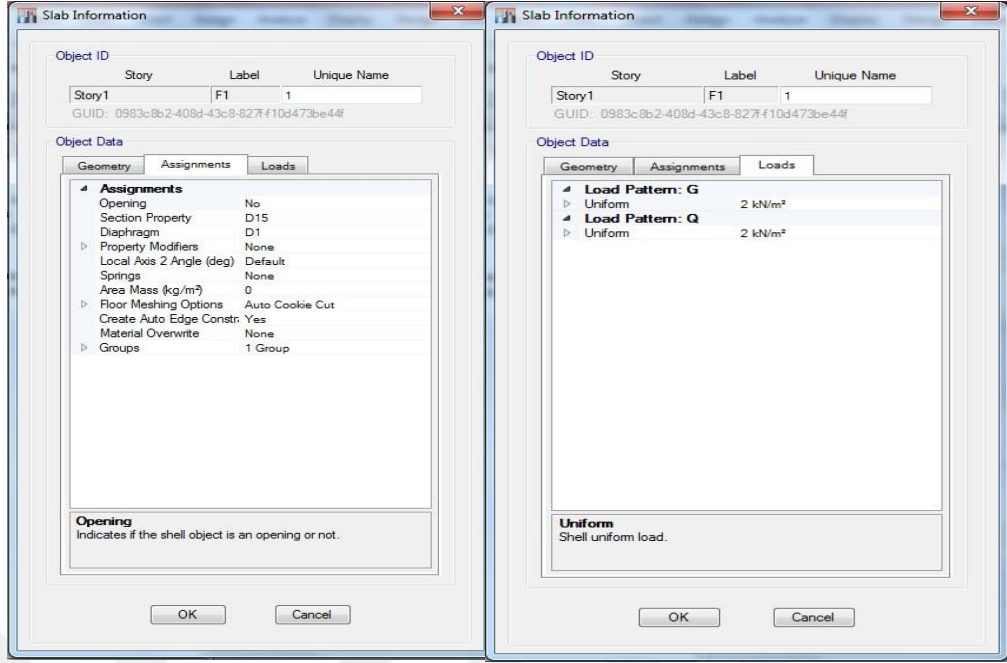
Kaplama Karo Mozaik (2cm): 0,4 kN/m<sup>2</sup>

Kaplama harcı (2cm) : 0,4 kN/m<sup>2</sup>

Tesviye Betonu (4cm) : 0,8 kN/m<sup>2</sup>

Sıva (2cm) : 0,4 kN/m<sup>2</sup>

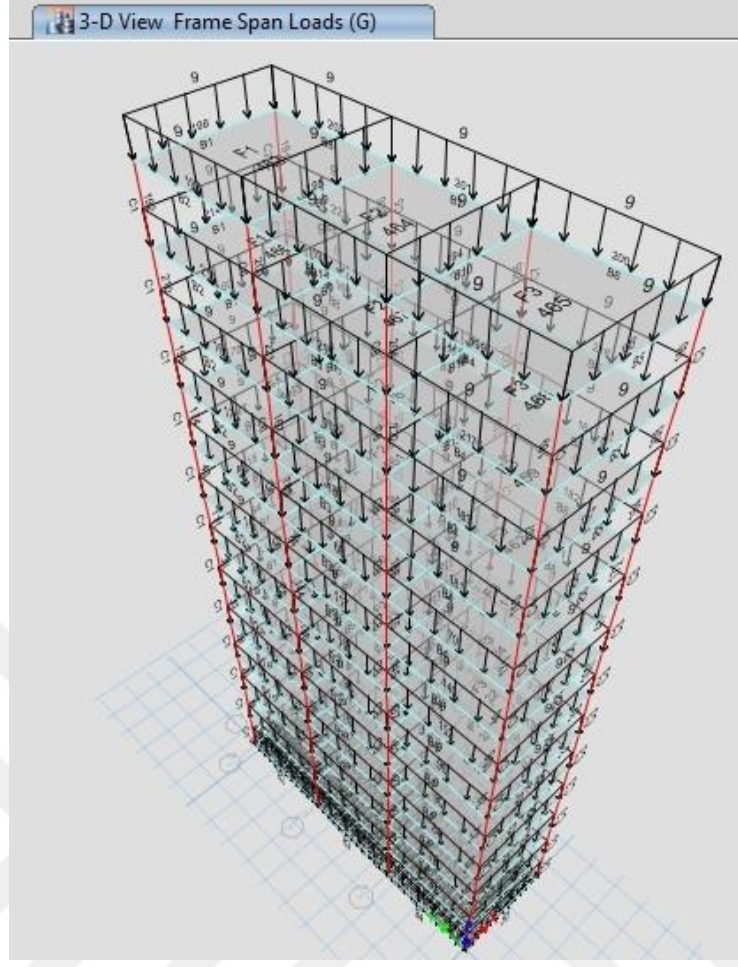
g : 5,00 kN/m<sup>2</sup>



**Şekil 6.1.** ETABS 15.0.0 Programında Döşeme Kalınlığı Ve Yükleri Seçimi

Örneklerdeki bina modelleri konut şeklinde düşünülerek binalara fazla yük getirilmek istenmemiştir. Çatıdaki kar yükü olacağı sebebiyle çatı döşemesi de dahil olmak üzere tüm döşemelerde hareketli yük  $q=2,0 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Binanın tüm duvarları 19x20x20 cm boyutlarına sahip delikli tuğla alınmıştır.

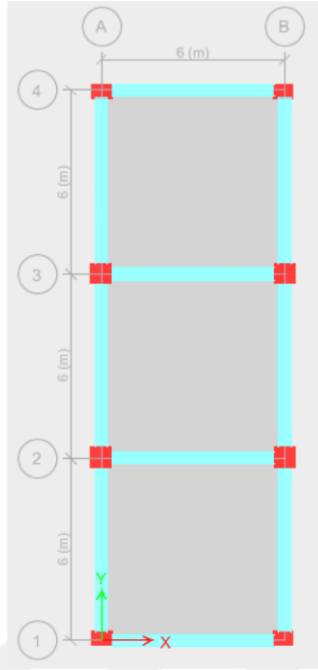
Duvar yükü (19cm) :  $9,0 \text{ kN/m}^2$



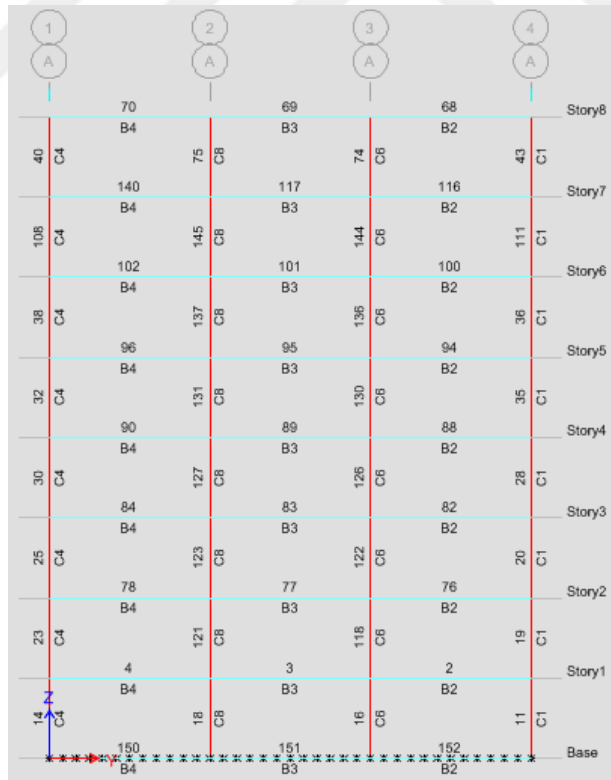
**Şekil 6.2.** ETABS 15.0.0 Programında Düşey Yüklerin 3 Boyutta Gösterimi

### **6.1.2. Ön Boyutlandırma**

Örneklerde kullanılacak kolon, kiriş ve döşemeler için ön boyutlandırma değerleri TS500 ve 2007 DBYBHY'e göre belirlenmiştir. Bina modellemelerinin plan ve kesit görünüşleri Şekil 6.3 ve 6.4'te gösterilmiştir.



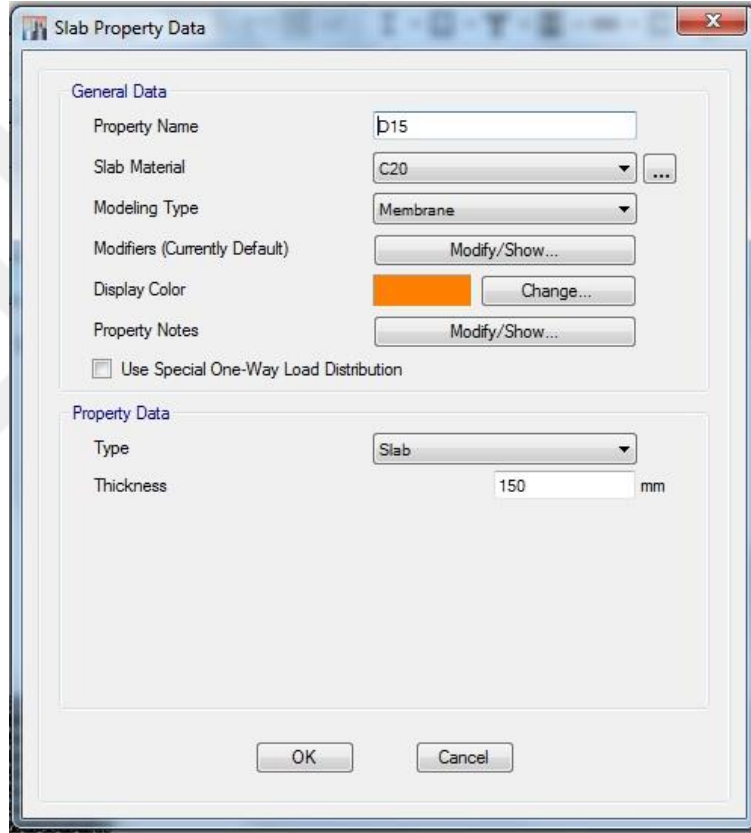
Şekil 6.3. ETABS 13.0.0 Programında Bina Modelinin Planı



Şekil 6.4. ETABS 13.0.0 Programında Bina Modelinin Kesit Görünüşü

### 6.1.2.1. Döşemeler

TS500'e göre minimum döşeme kalınlığı 120 mm'dir. Hesaplarda kullanılan döşeme kalınlıkları 150 mm'dir ve standartlara göre döşeme kalınlığı yeterlidir. Döşemeler için rijit diyafram tanımlaması geçerlidir. Rijit diyafram, yanal etki sebebiyle döşemelerin şekil değiştirmeden eşit yer değiştirme yapmasıdır. Döşemelere her kat için ayrı ayrı rijit diyafram tanımlaması yapılmıştır.

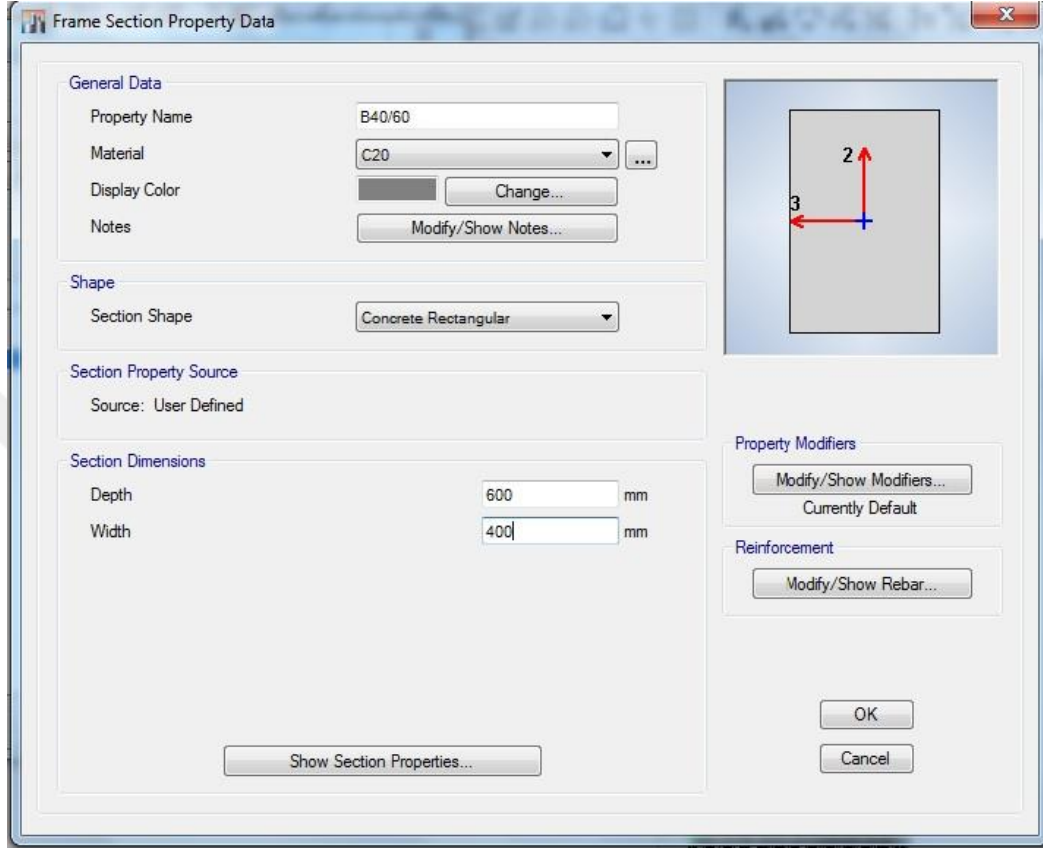


Şekil 6.5. ETABS 15.0.0 Programında Döşeme Seçimi

### 6.1.2.2. Kirişler

2007 DBYBHY'e göre kirişlerin gövde genişlikleri minimum 250 mm olmalıdır. Ayrıca kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun kirişe dik genişliğinin toplamını geçmemelidir. Kiriş yüksekliği de, döşeme kalınlığının 3

katından ve 300 mm'den daha az, kiriş gövde genişliğinin 3,5 katından daha fazla olmamalıdır. Örneklerde 40x60 ve 60x60 şeklinde kiriş boyutları tercih edilmiştir.

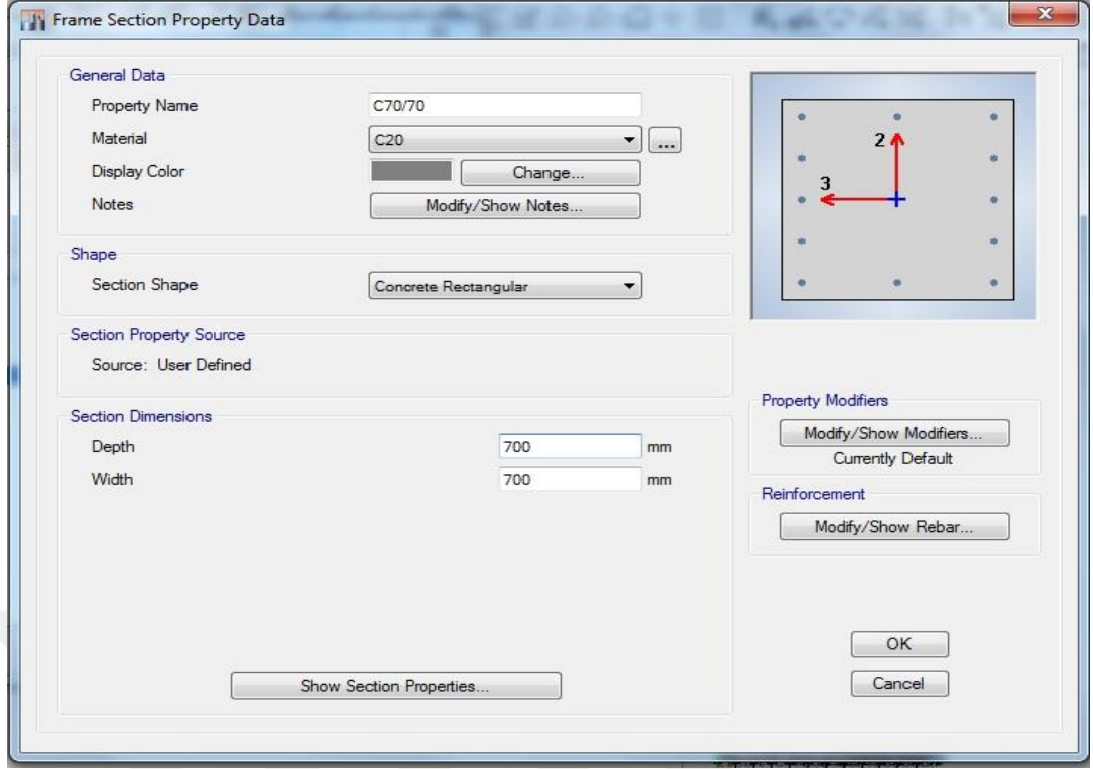


**Şekil 6.6.** ETABS 15.0.0 programında 40x60 kiriş için veri girişi

### 6.1.2.3. Kolonlar

2007 DBYBHY 3.3.1 ve 3.3.2'ye göre dikdörtgen kesitli kolonlar minimum 250 mm'den ve en kesit alanı da 75000 mm<sup>2</sup>'den daha az olmamalıdır. Kolonun brüt en kesit alanı, dm düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan aksenal basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere,  $A_c \geq dm / (0.50 f_{ck})$  koşulunu sağlamalıdır. Bina modellerinde kolonlar 70x50 ve 70x70 şeklinde seçilmiştir.

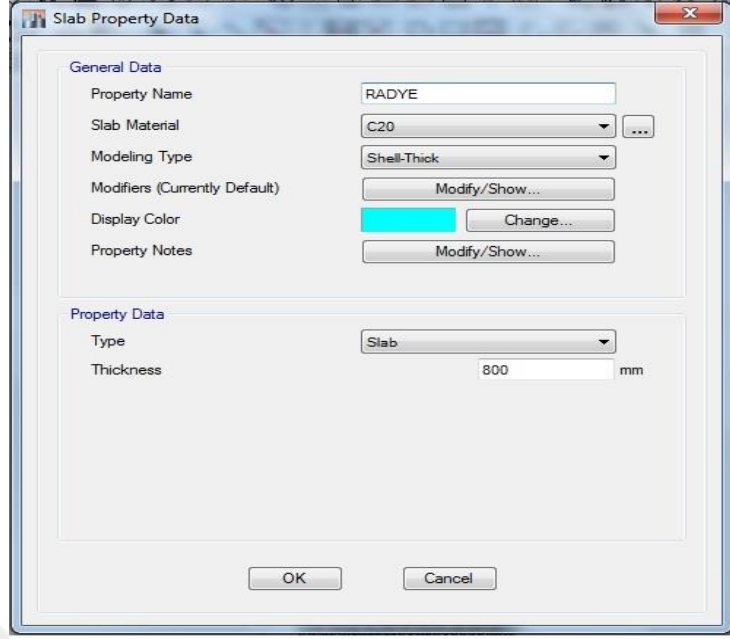




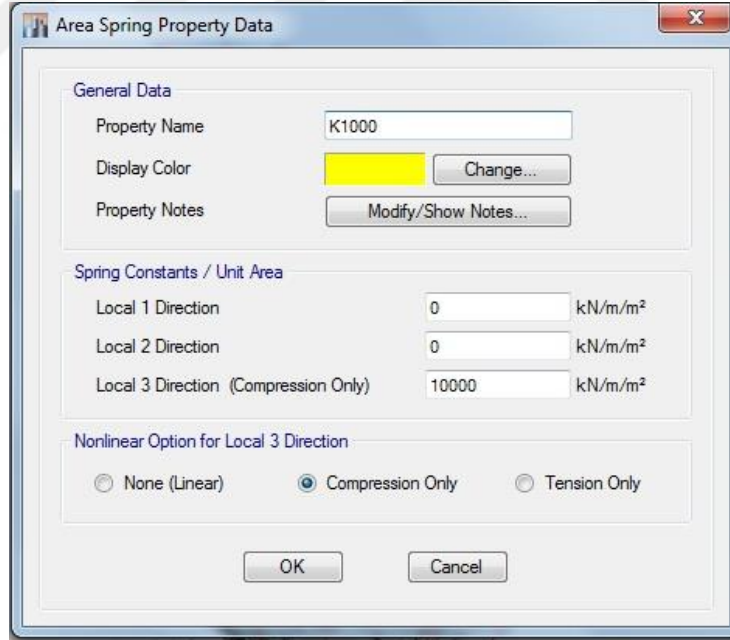
**Şekil 6.7.** ETABS 15.0.0 Programında Kolon İçin Veri Girişi

#### 6.1.2.4. Temeller

Genel geçer kabullere göre, radye temel kalınlığı her kat için 10 cm kalınlığında alınmaktadır. Radye temel tercih edilen hesaplamaları yapılan binaların temel kalınlıkları 80 cm alınmıştır. Temel zemini yay şeklinde modellenirken hem çekmeye hem de basınca çalıştığı varsayılmaktadır. Ancak gerçekte zemin basınca çalışırken, temeli tutarak kendisine doğru çekemeyeceği için çekmeye çalışmamaktadır. Bu çalışmadaki sayısal örneklerde zeminin çekme değeri alınmamıştır. Programa tanıtılan zemin modelleri de Şekil 6.9’da gösterilmektedir.



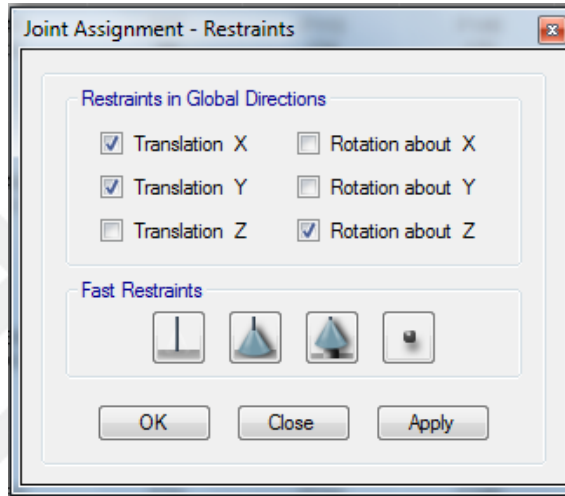
Şekil 6.8. Temel malzeme tanımı ve boyutlandırması



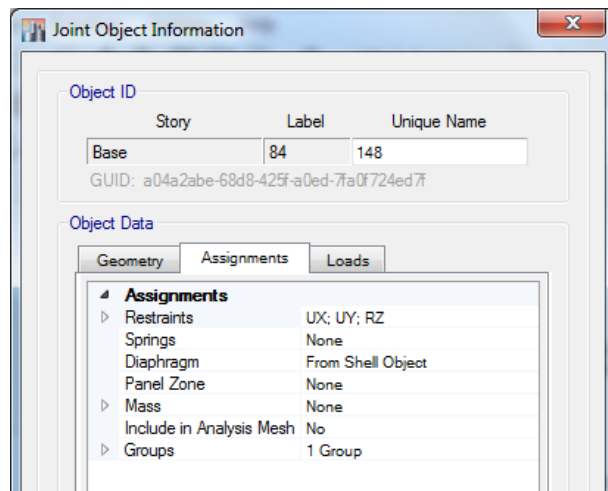
Şekil 6.9. Temel yay katsayısı ve özellikleri tanımlamaları

Temellerin her ne kadar zemine ankastre olarak bağlı olduğu teoride düşünülse de, aslında temellerin ankastre bağlı olmadıkları, dönme, çökme ve yer değiştirme

yapabildikleri yaşanan depremlerde çalışması yapılan yükseklik/genişlik oranı büyüyen binalarda gerçekleştiklerini söylemek zor değildir. Bundan mütevellit bu çalışmada sayısal modellemesi yapılan örneklerde temellerin x ve y yönünde döndükleri, y yönünde ise düşey yönde yer değiştirme yapabildikleri yani çökme veya havaya kalkma davranışını sergileyecekmiş gibi davranış gösterecek şekilde modellenmiştir. ETABS 15.0.0 programındaki bu mesnet şartı modellemesi Şekil 6.10 ve 6.11’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.10.** ETABS 15.0.0 Programında Temelin Mesnet Şartları Tanımı



**Şekil 6.11.** ETABS 15.0.0 Programında Temelin Mesnet Şartları Tanımı

## 6.2. Malzeme Seçimi

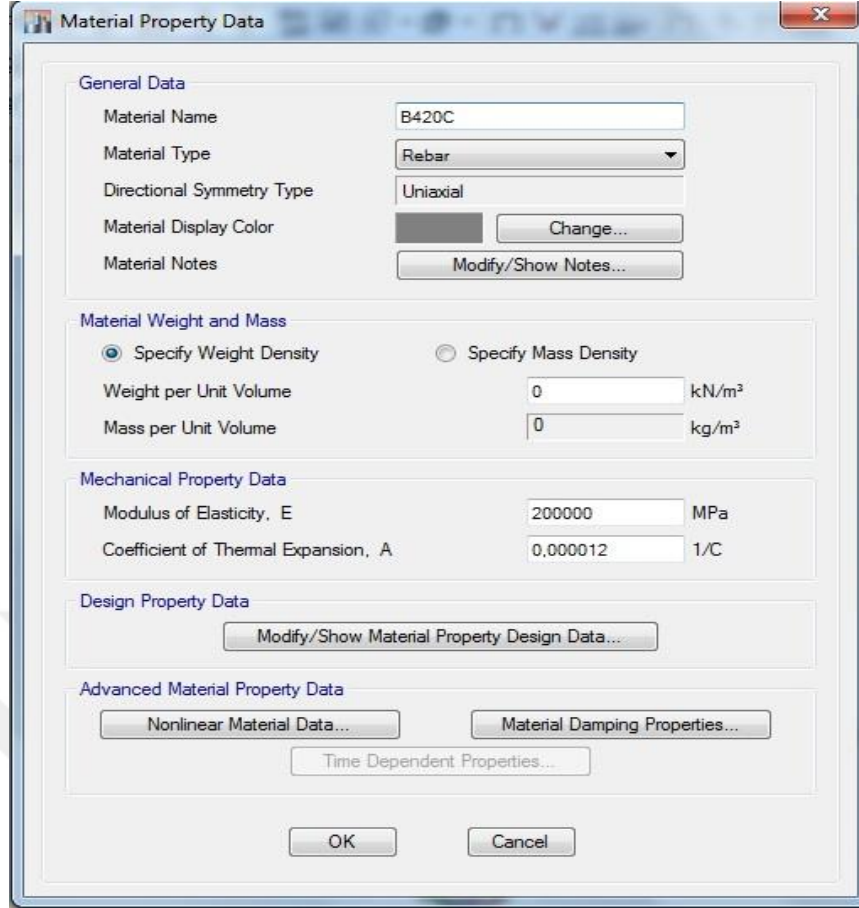
2007 DBYBHY madde 3.2.5.1'e göre deprem bölgelerinde yapılacak betonarme binalarda C20'den daha düşük dayanımlı beton kullanılmayacağından sayısal örneklerde C20/25 beton seçilmiştir. Yine 2007 DBYBHY madde 3.2.5.1'e göre betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılmayacağından donatı çeliği S420 seçilmiştir. ETABS 15.0.0 programında malzemelerin tanımlandığı menüler Şekil 6.12 ve 6.13'de gösterilmektedir.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in ETABS 15.0.0. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name: C20; Material Type: Concrete; Directional Symmetry Type: Isotropic; Material Display Color: Yellow; Material Notes: Modify/Show Notes...
- Material Weight and Mass:** Specify Weight Density (selected): 25 kN/m³; Specify Mass Density: 2549.29 kg/m³.
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E: 28000 MPa; Poisson's Ratio, U: 0.2; Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C; Shear Modulus, G: 11666.67 MPa.
- Design Property Data:** Modify/Show Material Property Design Data...
- Advanced Material Property Data:** Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties...

At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 6.12. Beton Malzemesi Tanımlaması



Şekil 6.13. Donatı Malzemesi Tanımlaması

## 6.4. Sayısal Modellerin Veri Girişinde Kullanılan Bilgiler

### 6.4.1. Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması : Spektral İvme Katsayısı

2007 DBYBHY'e göre deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı,  $A(T)$ , Denk.(6.1) ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme,  $S_{ae}(T)$ , Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi  $g$ 'nin çarpımına eşittir.

$$A(T) = A_o I S(T)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g$$

Denk. (6.1)

#### 6.4.2. Etkin Yer İvme Katsayısı

2007 DBYBHY'e göre etkin yer ivme katsayısı  $A_0$  Tablo 4'te verilmiştir.

Çizelge 6.1. DBYBHY'ye göre Etkin Yer İvme Katsayısı Tablosu

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i><math>A_0</math></i>
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Çalışmadaki bina modellemeleri 1.derece deprem bölgesine göre alındığından etkin yer ivme katsayısı 0,40 alınmıştır.

#### 6.4.3. Bina Önem Katsayısı

2007 DBYBHY'e göre Bina Önem Katsayısı, I, Tablo 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.2. 2007 DBYBHY'ye Göre Bina Önem Katsayısı Tablosu

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
<b>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</b> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<b>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</b> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<b>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</b> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<b>4. Diğer binalar</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Bu çalışmadaki sayısal örneklerde konut türü binalar seçildiği için bina önem katsayısı  $I=1,0$  değeri alınmıştır.

#### 6.4.4. Spektrum Katsayısı

Denklem (1.1)'de yer alan *Spektrum Katsayısı*,  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve binanın doğal periyodu olan  $T$ 'ye bağlı olarak Denklem (1.2) ile hesaplanacağı gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned}$$

Denk. (1.2)

(1.2) denklemindeki *Spektrum Karakteristik Periyotları*,  $T_A$  ve  $T_B$ , yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Tablo 6'da gösterilmiştir.

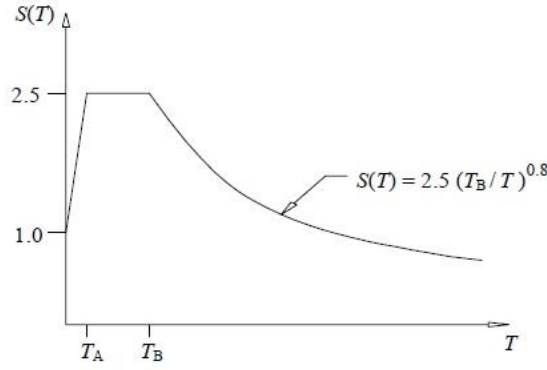
**Çizelge 6.3.** 2007 DBYBHY'ye göre Yerel Zemin Sınıfı Tablosu

<i>Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı</i>	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Çalışmadaki sayısal örneklerdeki zemin sınıfı, binaların bodrum kata sahip olmaması nedeniyle, Z4 zemin sınıfı olarak alınmış,  $T_A=0,20$  ve  $T_B=0,90$  olarak seçilmiştir.

#### 6.4.5. Özel Tasarım İvme Spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumunun, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebileceği 2007 DBYBHY’de vurgulanmıştır. Fakat bu şekilde belirlenecek ivme spektrumunun ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Tablo 6’daki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak (1.1) denkleminde bulunacak değerlerden asla daha küçük olmayacağı da açıktır.



şekil 6.14. Spektrum Katsayısı Grafiği

#### 6.4.6. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı süneklilik düzeyi yüksek ve normal olmak üzere, 2007 DBYBHY’te yer alan tabloda tanımlandığı üzere yapının taşıyıcı sistemi ile ilişkilendirilerek seçilmektedir.



**Çizelge 6.4.** 2007 DBYBHY'ye göre Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı Tablosu

<i>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</i>	<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</i>
	<b><u>(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR</u></b>	
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar .....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7

Çalışmadaki sayısal örneklerde perde kullanılmamış, deprem yüklerinin tamamı çerçevelerle taşınmakta olduğundan, taşıyıcı sistem davranış katsayısı olan  $R=8,00$  alınmıştır.

ETABS 15.0.0 programında deprem bölgesi ( $A_o$ ), zemin sınıfı ( $Z$ ), bina önem katsayısı ( $I$ ), taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ )'nin seçildiği menü de Şekil 6.15'te gösterilmiştir.

**Şekil 6.15.** ETABS 15.0.0' Göre Veri Girişi Tablosu

## 6.5. Hesap Yöntemi Seçimi

Bina ve bina türü yapılarda 2007 DBYBHY'e göre deprem hesabı için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri vardır. Bu çalışmadaki örneklerde P-δ örneklerinin görülebilmesi için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Eşdeğer deprem yükünün kullanılabileceği binaların sınırları Tablo 8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.5.** 2007 DBYBHY'e göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Sınırlama Tablosu

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>Bina Türü</i>	<i>Toplam Yükseklik Sınırı</i>
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca <b>B2</b> türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

Çalışmadaki örneklerde en yüksek binanın yüksekliği 36,00 metre seçildiği ve binanın zaten simetrik ve herhangi bir düzensizliğe sahip olmadığı için bu yöntemin kullanılmasında sakınca yoktur.

### 6.5.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü'nün Belirlenmesi

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti) olan  $V_t$ , (6.3) denklemi ile belirlenecektir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_o I W$$

Denk. (6.3)

(A) denklemindeki binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı olan  $W$  (6.4) denklemi ile belirlenecektir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i$$

Denk. (6.4)

(B) denklemindeki  $W_i$  ise (6.5) denklemiyle belirlenecektir.

$$w_i = g_i + n q_i$$

Denk. (6.5)

(C) denklemindeki hareketli yük katsayısı olan  $n$ , 2007 DBYBHY tablosuna göre tüm örnekler konut binası olarak tasarlandığı için 0,30 seçilmiştir.

**Çizelge 6.6.** 2007 DBYBHY'ye göre Hareketli Yük Katılım Katsayısı Tablosu

<i>Binanın Kullanım Amacı</i>	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

### 6.5.2 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

2007 DBYBHY'e göre (A) denklemi ile hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, binanın katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak, (6.6) denklemi ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i$$

Denk. (6.6)

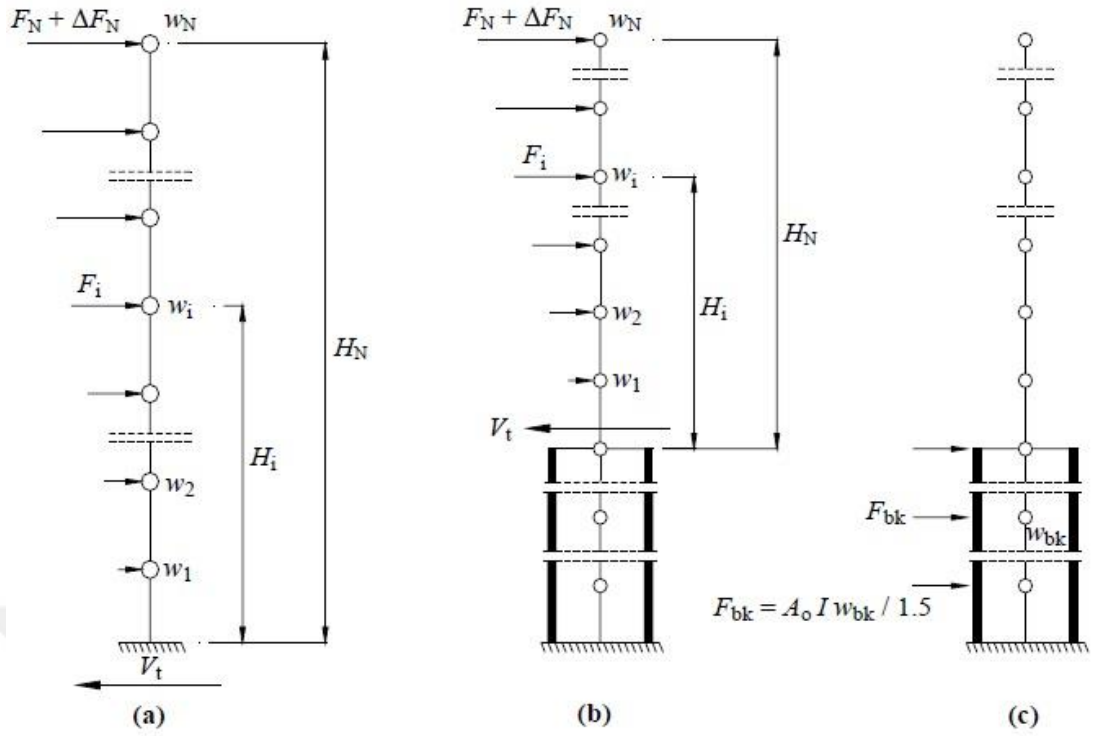
Binanın tepesine ek olarak etkiyen eşdeğer deprem yükü olan  $\Delta F_N$  de (6.7) denklemi ile belirlenmektedir.

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \quad \text{Denk. (6.7)}$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün  $\Delta F_N$  haricindeki kalanı,  $N$ 'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına (6.8) denklemi ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad \text{Denk. (6.8)}$$

2007 DBYBHY 2.7.2.4 maddesi (a) bendine göre, Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göze alınmaksızın Tablo 7'den alınan R katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların ağırlıkları hesaba katılacaktır. Zaten çalışmadaki örneklerde bodrum kat bulunmamaktadır. Bu durumda ilgili bütün tanım ve bağıntılar için temel üst kotu yerine zemin kat kotu dikkate alınacaktır. Binanın birinci doğal titreşim periyodunun hesabında da sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılacaktır. Şekil 6.16'daki verilere göre, sayısal örneklere uygun plan (a) şıkında gösterildiği üzeredir.



**Şekil 6.16.** 2007 DBYBHY'ye göre Kat Durumlarına Göre Toplam Eşdeğer Yükünün Belirlenmesi

### 6.5. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanmasıyla binanın deprem doğrultusundaki hakim periyodu, (6.9) denklemiyle hesaplanan değerden daha büyük olmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2}$$

Denk. (6.9)

### 6.6. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler

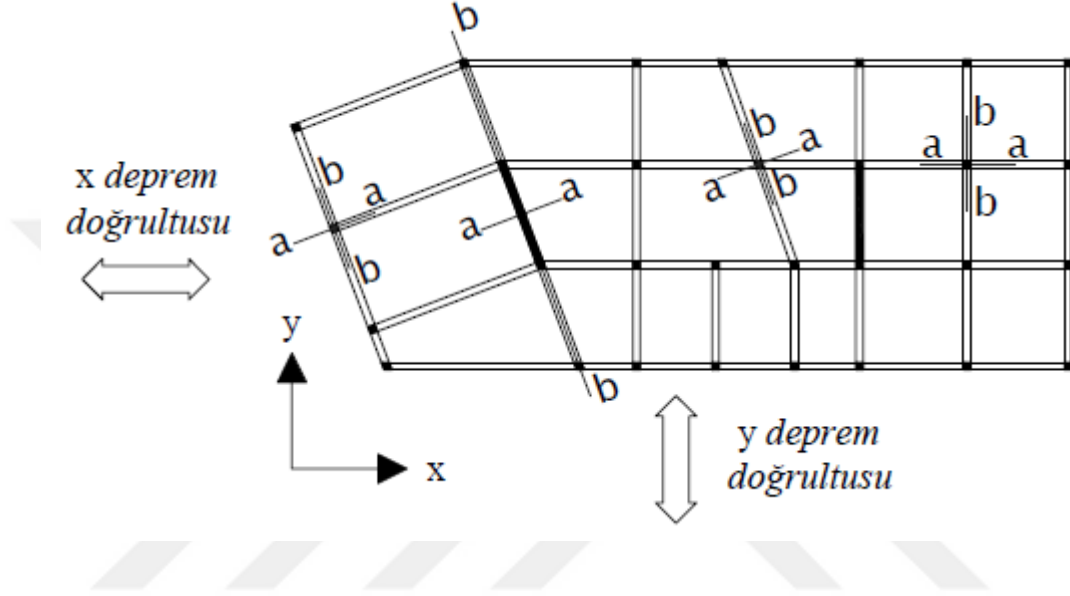
Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç

kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde (6.10) denklemi ile elde edilecektir (Şekil 6.17).

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad \text{veya} \quad B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} \quad \text{veya} \quad B_b = \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by}$$

Denk. (6.10)



Şekil 6.17. 2007 DBYBHY'ye göre Deprem Doğrultuları

### 6.7. Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değıştirme farkını ifade eden *azaltılmış görelî kat ötelemesi*,  $\Delta_i$ , (6.11) denklemi ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad \text{Denk. (6.11)}$$

(2.17) denkleminde  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , her bir deprem doğrultusu için binanın  $i$ 'inci ve  $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değıştirmeleri göstermektedir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdeler için *etkin görelî kat ötelemesi*,  $\delta_i$ , (6.12) denklemi ile elde edilecektir.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad \text{Denk. (6.12)}$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, (6.12) denklemi ile hesaplanan  $\delta_i$  etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri olan  $(\delta_i)_{\max}$ , (6.13) denklemindeki şartı sağlamalıdır.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad \text{Denk. (6.13)}$$

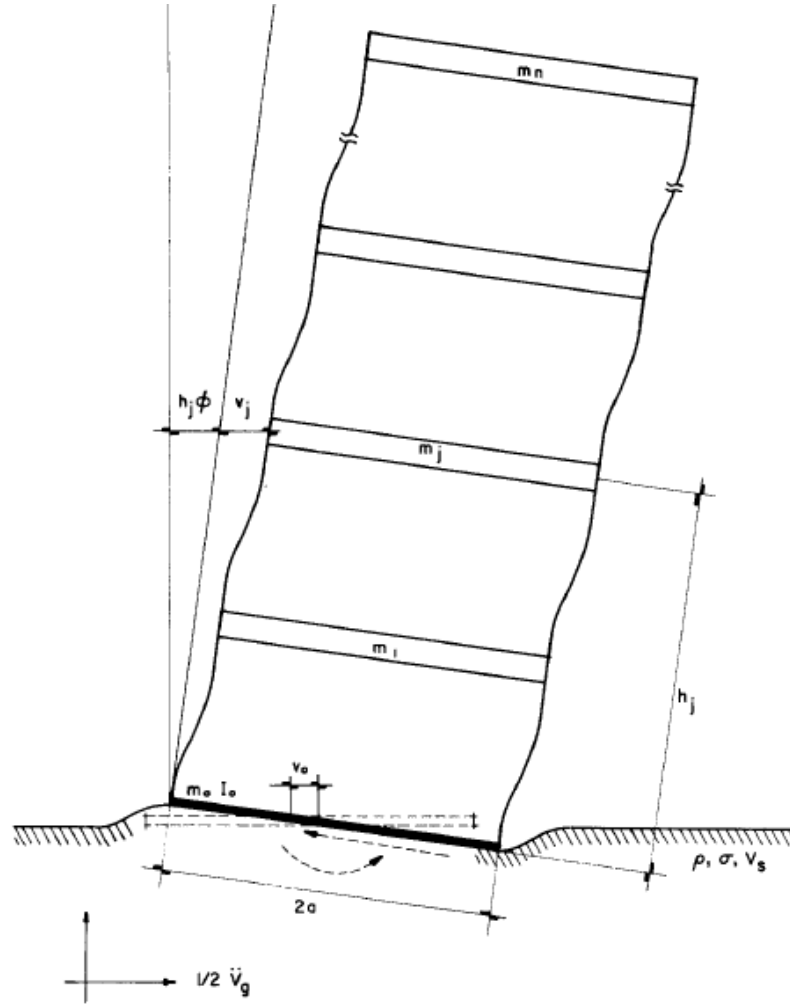
### 6.8. İkinci Mertebe Etkileri

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri yaklaşık olarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad \text{Denk. (6.14)}$$

Alınacak deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertebe Gösterge Değeri olan  $\theta_i$ , (6.14) denklemi ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir. Burada  $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ , i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak (6.11) denklemi ile hesaplanacaktır.

Bu çalışmada, sayısal örneklerdeki ikinci mertebe etkileri ile oluşacak P- $\delta$  etkisi Şekil 6.18'de gösterilmektedir.



**Şekil 6.18.** Zemin-yapı Etkileşimi Sonucu Oluşan 2.Mertebe Etkileri

Şekil 6.18’de 2.mertebe etkilerinden dolayı oluşacak P- $\delta$  etkilerinin yanı sıra zemin-yapı etkileşiminden dolayı meydana gelecek dönme ve çökmeler de görülmektedir.

Bu çalışmanın konusu olan H/B oranı dikdörtgen planlı büyük binalarda 2.mertebe etkilerinin ve lineer olmayan analiz yönteminin de kullanılması gerektiği açıktır.

### 6.9. Sayısal Örneklerle Ait Genel Açıklama ve Bulgular

Bu çalışmada toplam 60 adet bina modellenmiştir. 60 adet bina modelinin 40 tanesi lineer analiz ile aynı boyutlara sahip diğer 20 tanesi de P- $\delta$  etkisi altında lineer



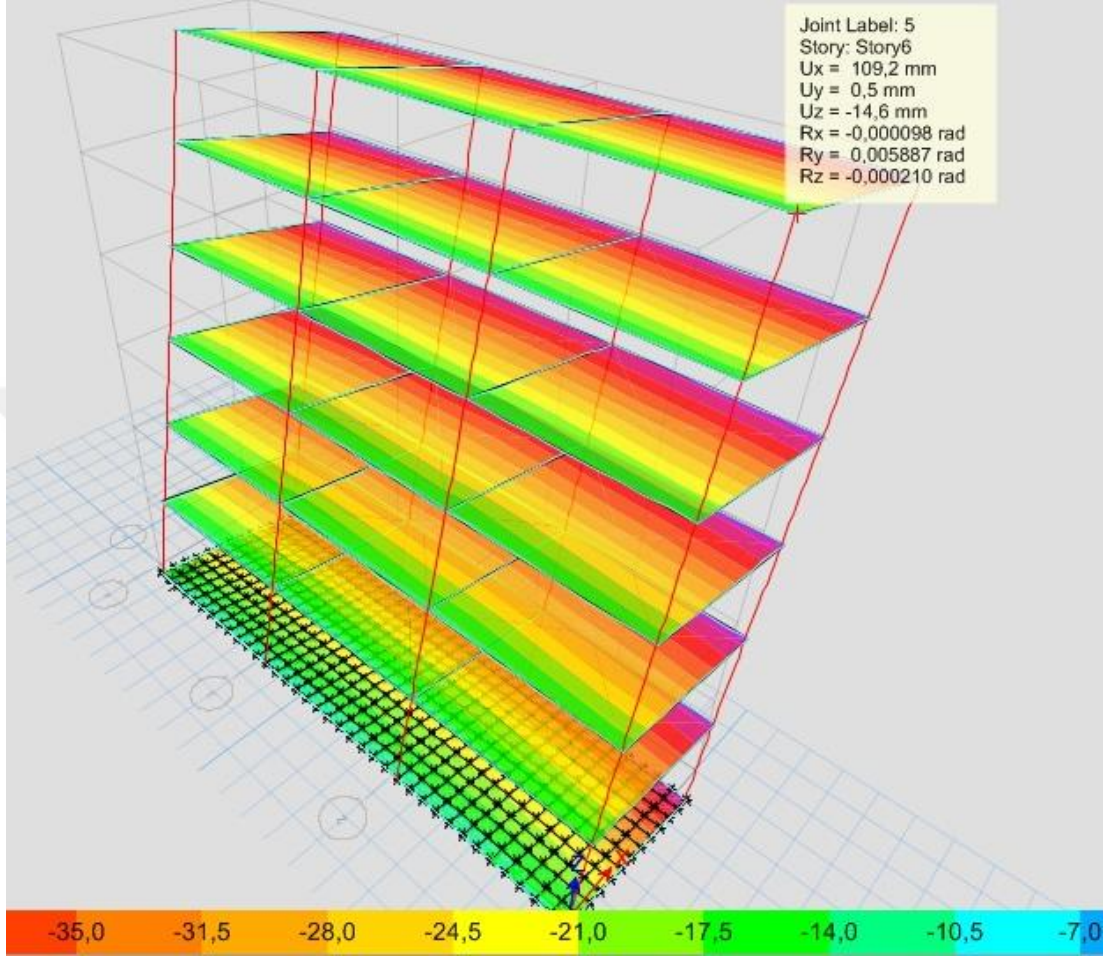
olmayan analiz yöntemiyle çözümlenmiştir. Binalar modellenirken yatak katsayıları 400, 500, 1000, 2000, 5000 ve 10000 t/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. H/B oranları da 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 ve 6.00 şeklinde alınmıştır. Bu şekilde sınıflandırılan binaların kat yükseklikleri 3.00 metre olarak seçilmiş ve tüm binalarda eşittir. Aks aralıkları 6.00 metre şeklinde seçilen binaların boyutlandırılması en yüksek binanın taşıyıcı sistemin ilgili yönetmelikler çerçevesinde kabul görecektir şekilde dizayn edilmiştir. Modellemeler ETABS 15.0.0 programında tüm analizler için, STA4CAD V13.1 programında sadece lineer analizler için yapılmıştır. Genellikle piyasada kullanılan paket programlar Yönetmeliklerimizi programların içine adapte ederek mühendislere pratik kullanımlar sağlamasına karşılık, ETABS, SAP2000 vb. programlar gibi verileri, mühendislerin girişine bırakan programlar bazı projelerde hataları azaltılabilmektedir. STA4CAD v13.1 programında zemin yaylarının çekme değerleri alınmayacak şekilde girilemezse de, temel ile üst yapının birlikte analiz ederek etkileşimleri bir nebze görme şansı yaratmıştır. Bu şekilde yapılan analizler neticesinde çıkan sonuçlar iki programda ve farklı analiz türlerinde de karşılaştırılmıştır.

Yapıların devrilmesi ile ilgili yorumlamada bize yardımcı olan iki husus vardır: Bunlardan birincisi, narin geometriye sahip binalarda hesap usullerini değiştirerek 2.mertebe etkilerini gözde alarak maksimum dönme, çökme ve yer değiştirmeleri görerek sınır değerlerinin nasıl aşıldığını görerek yorumlamaktır. İkincisi ise, temelin elastik davranıştan çıkarak elastoplastik davranışa geçtiğini sonuçlarda görerek, temelin havaya kalktığını ve hatta temelde çökmelerin olduğu yerlerde zemin emniyet sınır değerlerinin aşıldığını görmek olacaktır.

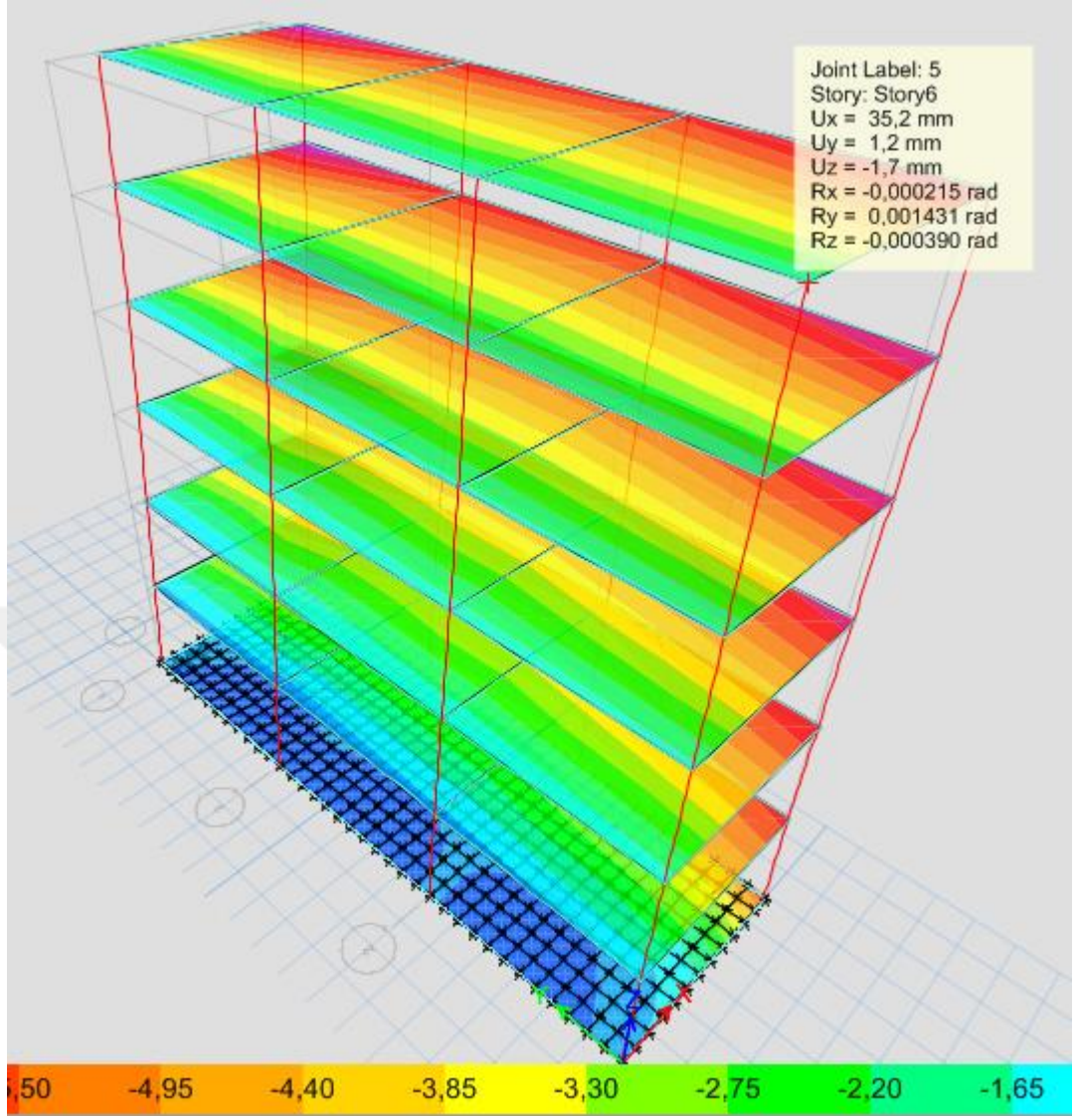
#### **6.10. Sayısal Örneklere Ait Analiz Sonuçları**

ETABS 13.0.0 programında 40 adet, STA4CAD V13.1 programında ise 20 adet olmak üzere toplam 60 adet bina modeli analizi yapılmıştır. ETABS 13.0.0 programında yapılan analiz sonuçlarından elde edilen tepe deplasmanları 3 boyutlu olarak, temel deplasmanları da plan olarak gösterilmektedir. Bina modeli fazla olduğundan, H/B oranı 3.00, 4.00, 5.00, 6.00 ve yatak katsayıları 500 ve 10000 t/m<sup>3</sup>

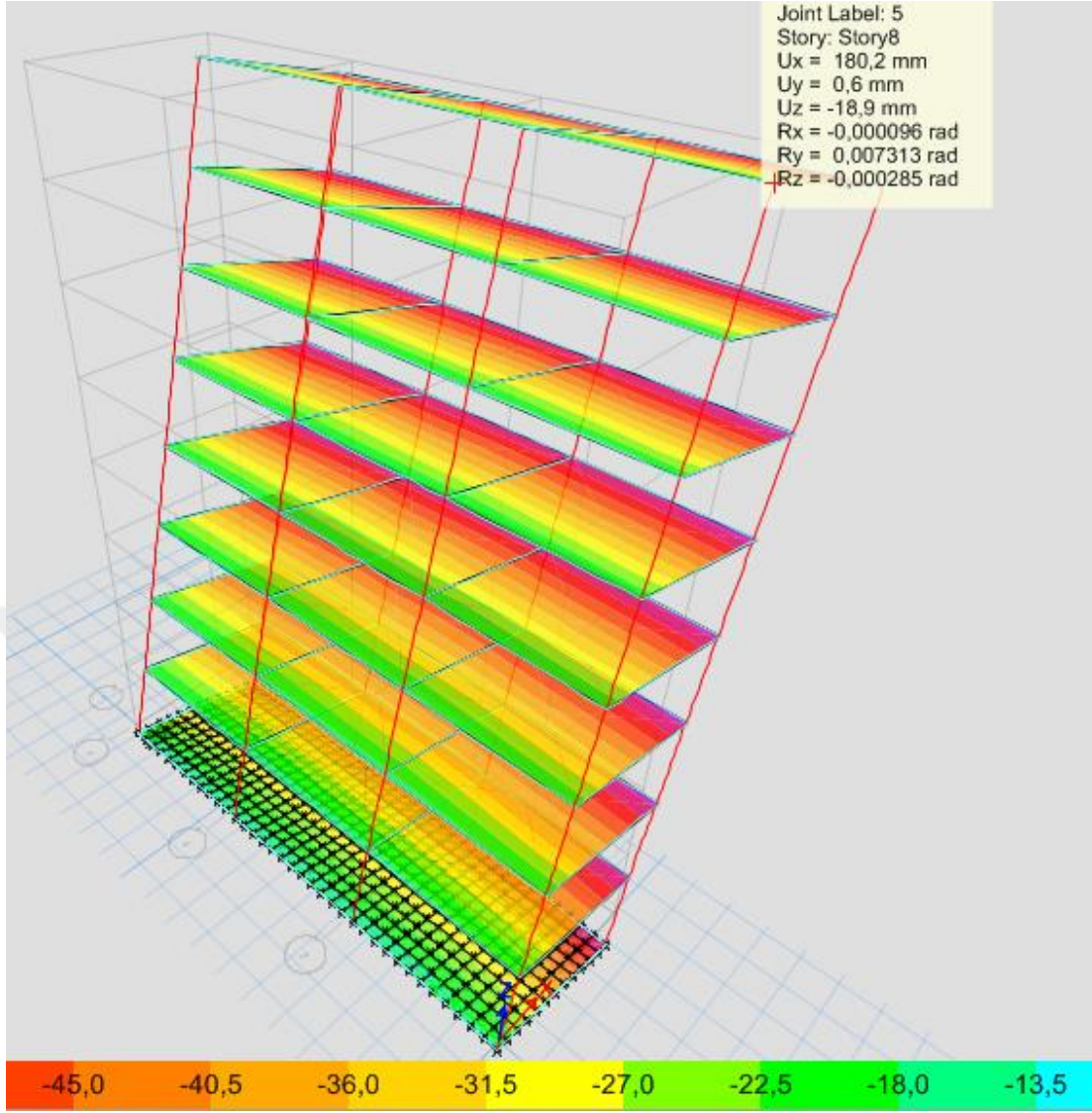
olan yapılar şekillerle gösterilmiştir. Diğer analiz sonuçları ise tablo formatında verilerek yorumlaması akabinde yapılacaktır.



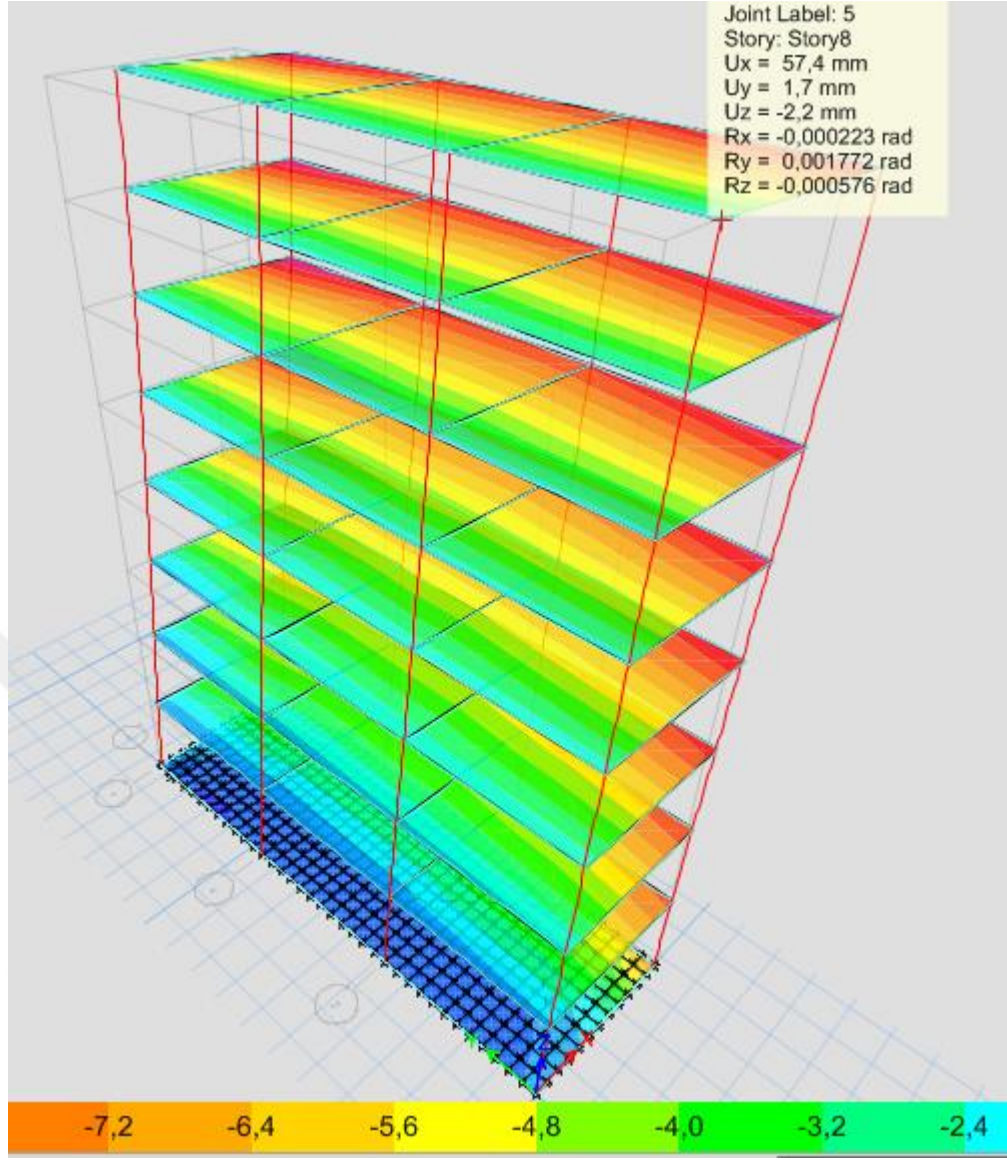
**Şekil 6.19.** H/B=3.00, K=500 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları



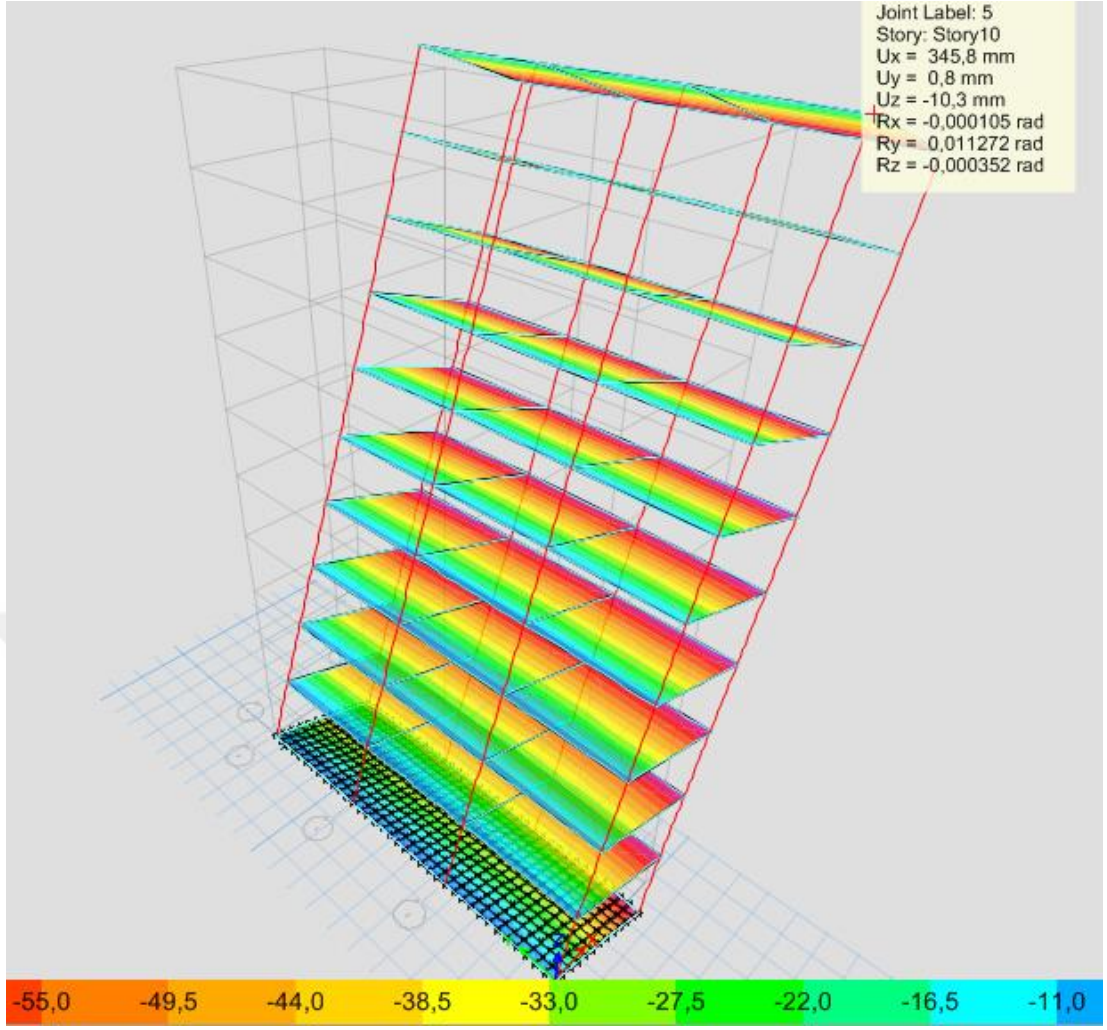
**Şekil 6.20.** H/B=3.00, K=10000 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yüklemesi Neticesindeki Tepe Deplasmanları



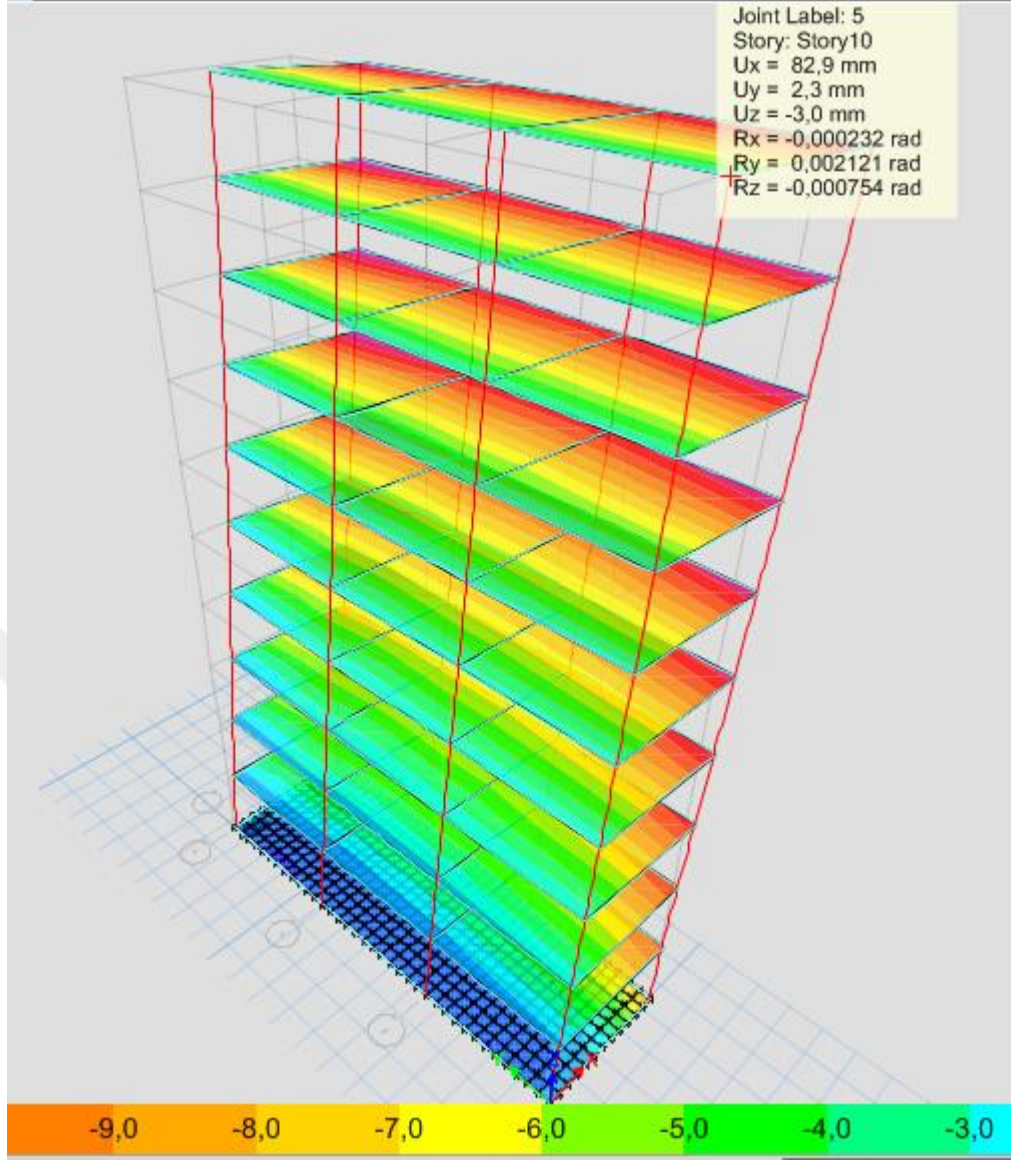
**Şekil 6.21.** H/B=4.00, K=500 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yüklemesi Neticesindeki Tepe Deplasmanları



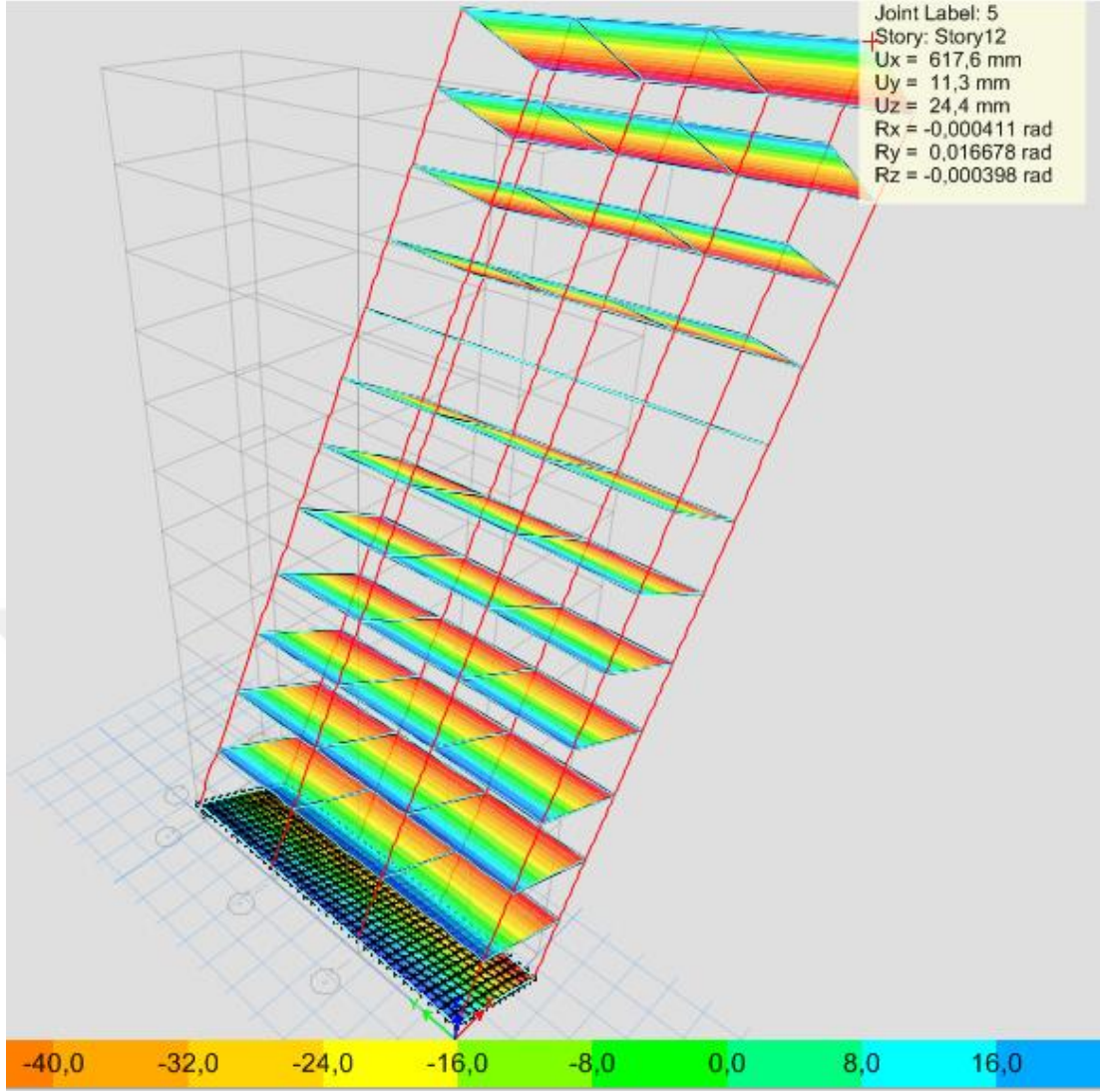
**Şekil 6.22.** H/B=4.00, K=10000 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları



**Şekil 6.23.** H/B=5.00, K=500 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yüklemesi Neticesindeki Tepe Deplasmanları

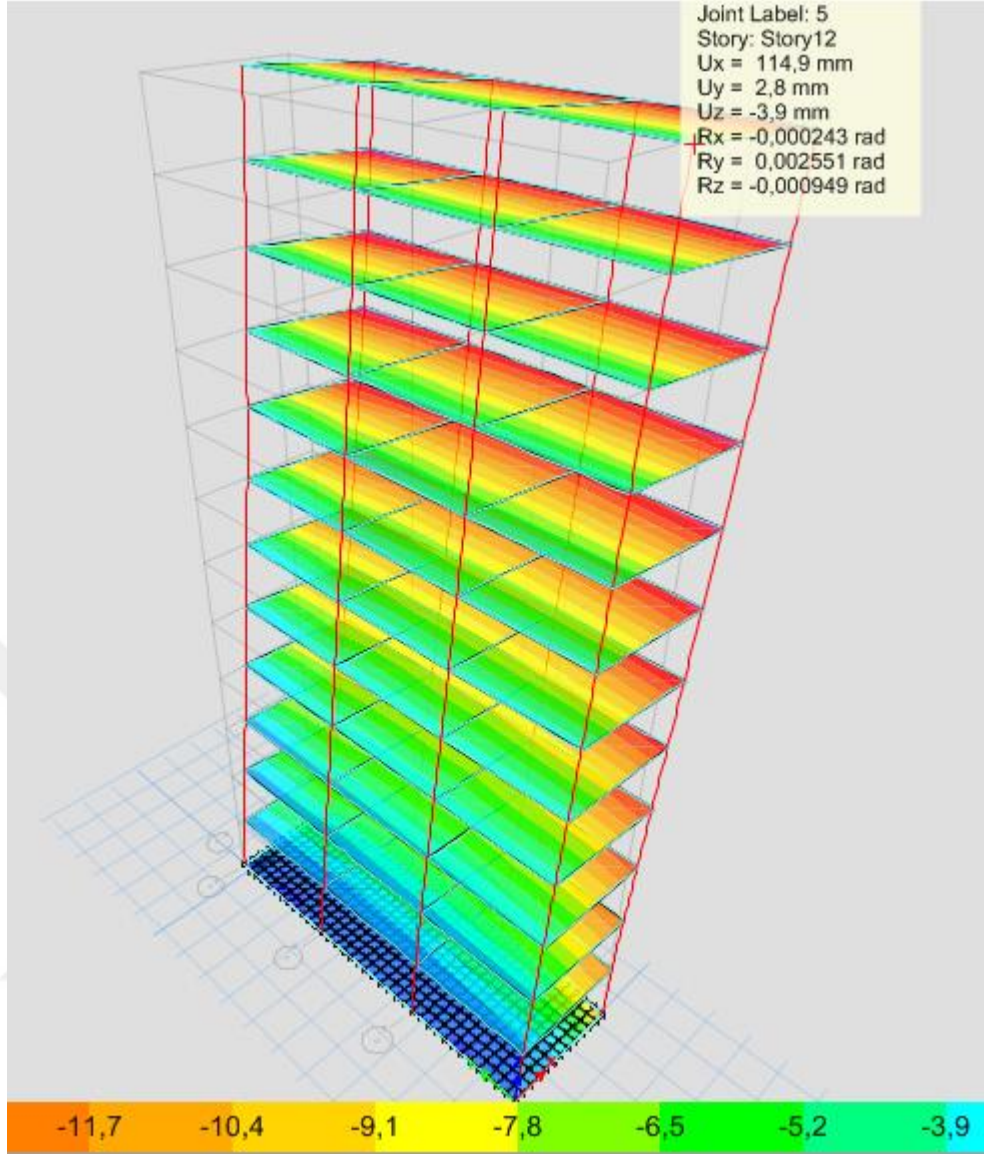


Şekil 6.24. H/B=5.00, K=10000 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yükleme Neticesindeki Tepe Deplasmanları



Şekil 6.25. H/B=6.00, K=500 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yüklemesi Neticesindeki Tepe Deplasmanları





**Şekil 6.26.** H/B=6.00, K=500 t/m<sup>3</sup> Modelinin (G+Q+EXP) Yüklemesi Neticesindeki Tepe Deplasmanları

## 6.11. Sayısal Örneklere Ait Analiz Sonuçları Tabloları

**Çizelge 6.7.** Bina Modellerine Ait Maksimum ve Minimum Tepe Deplasmanları-  
Lineer Analiz (STA4CAD V13.1)

BİNA MODELİ	DEPLASMAN (mm)		
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$
K=500 H/B=3.00	27,06	1,04	-0,70
K=1000 H/B=3.00	24,05	0,90	-0,63
K=2000 H/B=3.00	23,90	0,92	-0,62
K=5000 H/B=3.00	17,28	0,66	-0,45
K=10000 H/B=3.00	13,11	0,49	-0,33
K=500 H/B=4.00	53,65	1,98	-1,59
K=1000 H/B=4.00	47,69	1,76	-1,41
K=2000 H/B=4.00	36,41	1,34	-1,08
K=5000 H/B=4.00	26,32	0,97	-0,78
K=10000 H/B=4.00	20,91	0,77	-0,62
K=500 H/B=5.00	77,64	2,72	-2,47
K=1000 H/B=5.00	69,02	2,42	-2,19
K=2000 H/B=5.00	51,03	1,79	-1,64
K=5000 H/B=5.00	36,08	1,26	-1,15
K=10000 H/B=5.00	28,66	1,00	-0,91
K=500 H/B=6.00	104,25	3,45	-3,50
K=1000 H/B=6.00	92,66	3,07	-3,11
K=2000 H/B=6.00	68,72	2,27	-2,34
K=5000 H/B=6.00	48,44	1,60	-1,63
K=10000 H/B=6.00	39,41	1,67	-1,40

**Çizelge 6.8.** Modellere Ait Maksimum ve Minimum Tepe Deplasmanları - Lineer Analizi (ETABS 13.0.0)

A NOKTASI	DEPLASMAN (mm)		
BİNA MODELİ	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$
K=500 H/B=3.00	119,60	0,50	-13,00
K=1000 H/B=3.00	81,80	0,80	-5,90
K=2000 H/B=3.00	59,30	1,00	-3,00
K=5000 H/B=3.00	43,20	1,10	-1,80
K=10000 H/B=3.00	35,80	1,20	-1,60
K=500 H/B=4.00	210,90	0,70	-15,40
K=1000 H/B=4.00	140,20	1,10	-7,10
K=2000 H/B=4.00	99,40	1,30	-3,80
K=5000 H/B=4.00	70,20	1,60	-2,40
K=10000 H/B=4.00	58,90	1,70	-2,10
K=500 H/B=5.00	401,80	1,00	-10,80
K=1000 H/B=5.00	215,80	1,30	-8,40
K=2000 H/B=5.00	150,00	1,70	-4,70
K=5000 H/B=5.00	103,70	2,10	-3,20
K=10000 H/B=5.00	85,80	2,30	-2,90
K=500 H/B=6.00	538,20	1,50	-15,10
K=1000 H/B=6.00	353,30	33,30	-1,40
K=2000 H/B=6.00	198,90	2,10	-6,60
K=5000 H/B=6.00	139,00	2,60	-4,40
K=10000 H/B=6.00	114,90	2,80	-3,90

**Çizelge 6.9.** Bina Modellerine Ait Maksimum ve Minimum Tepe Deplasmanları -  
Nonlinear+ P-δ Analizi (ETABS 13.0.0)

A NOKTASI	DEPLASMAN (mm)		
BİNA MODELİ	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$
K=500 H/B=3.00	116.80	95.70	-51.40
K=1000 H/B=3.00	83.90	96.30	-30,00
K=2000 H/B=3.00	63.70	7.20	-19.60
K=5000 H/B=3.00	49.20	5.50	-11.50
K=10000 H/B=3.00	41.90	4.90	-8.20
K=500 H/B=4.00	196.80	132.30	-65.60
K=1000 H/B=4.00	139.40	139.60	-39.10
K=2000 H/B=4.00	104,00	144.50	-25.40
K=5000 H/B=4.00	78.10	147.20	-16,00
K=10000 H/B=4.00	67.90	12.50	-12,00
K=500 H/B=5.00	351.70	169.10	-80.10
K=1000 H/B=5.00	207.70	178.70	-48.20
K=2000 H/B=5.00	153.20	185.40	-31.70
K=5000 H/B=5.00	113.10	190.50	-20.50
K=10000 H/B=5.00	97.20	192.40	-16.10
K=500 H/B=6.00	624.30	216.40	-83.10
K=1000 H/B=6.00	389.20	218,00	-61.90
K=2000 H/B=6.00	211.20	226.60	-38.30
K=5000 H/B=6.00	154.10	233.40	-25.30
K=10000 H/B=6.00	131.30	236.20	-20.20

**Çizelge 6.10.** Bina Modellerine Ait Temel Deplasmanları-Linear Analiz (STA4CAD)

BİNA MODELİ	DEPLASMAN (mm)		
	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$
K=500 H/B=3.00	0	0	1,53
K=1000 H/B=3.00	0	0	1,42
K=2000 H/B=3.00	0	0	1,25
K=5000 H/B=3.00	0	0	0,93
K=10000 H/B=3.00	0	0	0,68
K=500 H/B=4.00	0	0	2,51
K=1000 H/B=4.00	0	0	2,34
K=2000 H/B=4.00	0	0	2,08
K=5000 H/B=4.00	0	0	1,60
K=10000 H/B=4.00	0	0	1,19
K=500 H/B=5.00	0	0	3,06
K=1000 H/B=5.00	0	0	2,87
K=2000 H/B=5.00	0	0	2,57
K=5000 H/B=5.00	0	0	1,99
K=10000 H/B=5.00	0	0	1,50
K=500 H/B=6.00	0	0	3,66
K=1000 H/B=6.00	0	0	3,58
K=2000 H/B=6.00	0	0	3,08
K=5000 H/B=6.00	0	0	2,40
K=10000 H/B=6.00	0	0	1,80

**Çizelge 6.11.** Temel Deplasmanları-Nonlinear+P- $\delta$  Analizi (ETABS 13.0.0)

H/B	TEMEL DEPLASMANLARI $\delta$ (mm)	
	K=500	K=1000
3,00	(-13,80),(-46,90)	(-5,40),(-27,60)
4,00	(-17,10),(-59,20)	(-6,70),(-35,00)
5,00	(-6,00),(-72,10)	(-8,30),(-42,20)
6,00	(28,50),(-70,20)	(0,50),(-58,10)

H/B	TEMEL DEPLASMANLARI $\delta$ (mm)		
	K=2000	K=5000	K=10000
3,00	(-2,20),(-16,80)	(-0,90),(-9,30)	(-0,70),(-6,70)
4,00	(-2,70),(-21,40)	(-1,10),(-11,90)	(-0,80),(-8,10)
5,00	(-3,30),(-25,90)	(-1,30),(-14,50)	(-1,00),(-9,90)
6,00	(-3,50),(-30,90)	(-1,40),(-17,20)	(-1,10),(-11,80)

**Çizelge 6.12.** 1.Derece Deprem Bölgesinde Binayı Deviren ve Devrilmeye Karşı Direnen Moment Tablosu

MODEL	H	D0	B/2-D0/2	G+n*Q	Mdirenen
	(m)	(cm)	(cm)	t	tm
H/B=3,00					
K = 500	18,00	10,92	294,54	951,96	2803,90
K = 1000	18,00	7,77	296,12	951,96	2818,90
K = 2000	18,00	5,75	297,13	951,96	2828,51
K = 5000	18,00	4,23	297,89	951,96	2835,75
K = 10000	18,00	3,52	298,24	951,96	2839,13
H/B=4,00					
K = 500	24,00	18,02	290,99	1295,28	3769,14
K = 1000	24,00	12,87	293,57	1295,28	3802,49
K = 2000	24,00	9,44	295,28	1295,28	3824,70
K = 5000	24,00	6,81	296,60	1295,28	3841,74
K = 10000	24,00	5,74	297,13	1295,28	3848,67
H/B=5,00					
K = 500	30,00	34,58	282,71	1619,88	4579,56
K = 1000	30,00	18,95	290,53	1619,88	4706,16
K = 2000	30,00	13,89	293,06	1619,88	4747,14
K = 5000	30,00	9,92	295,04	1619,88	4779,29
K = 10000	30,00	8,29	295,86	1619,88	4792,50
H/B=6,00					
K = 500	36,00	61,76	269,12	1946,24	5237,72
K = 1000	36,00	38,20	280,90	1946,24	5466,99
K = 2000	36,00	19,89	290,06	1946,24	5645,17
K = 5000	36,00	13,90	293,05	1946,24	5703,46
K = 10000	36,00	11,49	294,26	1946,24	5726,91

**Çizelge 6.12.** (Devam) 1.Derece Deprem Bölgesinde Binayı Deviren ve Devrilmeye Karşı Direnen Moment Tablosu

MODEL	Mdeviren1	Mdeviren2	GS-1	GS-2
	tm	tm	Mdir/Mdev1	Mdir/Mdev2
H/B=3,00				
K = 500	2036,45	2088,43	1,38	1,34
K = 1000	1810,18	1847,16	1,56	1,53
K = 2000	1798,95	1826,32	1,57	1,55
K = 5000	1300,61	1320,74	2,18	2,15
K = 10000	993,92	1010,67	2,86	2,81
H/B=4,00				
K = 500	3569,01	3685,71	1,06	1,02
K = 1000	3172,45	3255,80	1,20	1,17
K = 2000	2422,20	2483,34	1,58	1,54
K = 5000	1751,21	1795,31	2,19	2,14
K = 10000	1391,19	1428,36	2,77	2,69

MODEL	Mdeviren1	Mdeviren2	GS-1	GS-2
	tm	tm	Mdir/Mdev1	Mdir/Mdev2
H/B=5,00				
K = 500	4643,57	4923,65	0,99	0,93
K = 1000	4127,62	4281,10	1,14	1,10
K = 2000	3042,9	3155,40	1,56	1,50
K = 5000	2157,51	2237,86	2,22	2,14
K = 10000	1713,97	1781,11	2,80	2,69
H/B=6,00				
K = 500	5603,76	6204,76	0,93	0,84
K = 1000	4981,12	5352,85	1,10	1,02
K = 2000	3601,26	3794,81	1,57	1,49
K = 5000	2603,64	2783,90	2,19	2,05
K = 10000	2068,38	2180,19	2,77	2,63

H : Bina Yüksekliği (m)

D<sub>0</sub> : Binanın Tepe Deplasmanı (cm)

B/2-D<sub>0</sub>/2 : Devrilmeye Karşı Koyan Düşey Yükün Topuğa Olan Uzaklığı (cm)

G+nQ : Bina Öz Ağırlığı Değeri İle Hareketli Yükün İdealleştirilmiş Hali

- $M_{direnen}$  : Binanın Devrilmesine Karşı Koyan Moment (tm)
- $M_{deviren1}$  : X Yönündeki Deprem Etkisindeki Devirici Moment (tm)
- $M_{deviren2}$  : P- $\delta$  Etkisindeki Devirici Moment (tm)
- $G_s$  : Güvenlik Katsayısı

**Çizelge 6.13.** Göreli Kat Ötelemesi Sınır Değerin Aşılma Durumu Kontrolü

MODEL	KAT	D0	G.K.Ö.	hk	$\alpha = \delta_i / hk$	R	$\alpha * R$	GKÖ KONTROLÜ
	N	cm	$\delta_i = D0/N$	cm	(°)			SINIR DEĞER=0,02
H/B=3,00								
K = 500	6,00	10,92	1,82	300,00	0,00607	8,00	0,049	S.D. AŞILMAKTA
K = 1000	6,00	7,77	1,30	300,00	0,00432	8,00	0,035	S.D. AŞILMAKTA
K = 2000	6,00	5,75	0,96	300,00	0,00319	8,00	0,026	S.D. AŞILMAKTA
K = 5000	6,00	4,23	0,71	300,00	0,00235	8,00	0,019	S.D. ALTINDA
K = 10000	6,00	3,52	0,59	300,00	0,00196	8,00	0,016	S.D. ALTINDA
H/B=4,00								
K = 500	8,00	18,02	2,25	300,00	0,00751	8,00	0,060	S.D. AŞILMAKTA
K = 1000	8,00	12,87	1,61	300,00	0,00536	8,00	0,043	S.D. AŞILMAKTA
K = 2000	8,00	9,44	1,18	300,00	0,00393	8,00	0,031	S.D. AŞILMAKTA
K = 5000	8,00	6,81	0,85	300,00	0,00284	8,00	0,023	S.D. AŞILMAKTA
K = 10000	8,00	5,74	0,72	300,00	0,00239	8,00	0,019	S.D. ALTINDA
H/B=5,00								
K = 500	10,00	34,58	3,46	300,00	0,01153	8,00	0,092	S.D. AŞILMAKTA
K = 1000	10,00	18,95	1,90	300,00	0,00632	8,00	0,051	S.D. AŞILMAKTA
K = 2000	10,00	13,89	1,39	300,00	0,00463	8,00	0,037	S.D. AŞILMAKTA
K = 5000	10,00	9,92	0,99	300,00	0,00331	8,00	0,026	S.D. AŞILMAKTA
K = 10000	10,00	8,29	0,83	300,00	0,00276	8,00	0,022	S.D. AŞILMAKTA
H/B=6,00								
K = 500	12,00	61,76	5,15	300,00	0,01716	8,00	0,137	S.D. AŞILMAKTA
K = 1000	12,00	38,20	3,18	300,00	0,01061	8,00	0,085	S.D. AŞILMAKTA
K = 2000	12,00	19,89	1,66	300,00	0,00553	8,00	0,044	S.D. AŞILMAKTA
K = 5000	12,00	13,90	1,16	300,00	0,00386	8,00	0,031	S.D. AŞILMAKTA
K = 10000	12,00	11,49	0,96	300,00	0,00319	8,00	0,026	S.D. AŞILMAKTA

H : Bina Yüksekliği (m)

D0 : Binanın Tepe Deplasmanı (cm)



- $\delta_i$  : Görelî Kat Ötelenmesi ( $D_0/N$ )
- $h_k$  : Kat Yüksekliği (m)
- $\alpha$  : Görelî Kat Ötelenmesinden Kaynaklanan Açî Değerî ( $\delta_i / h_k$ )
- N : Kat Sayısı

**Çizelge 6.14.** Temel Dönmesinden Oluşan Deplasmanın Toplam Deplasman İçindeki Payı

MODEL	H	D0	$V = \delta_1 - \delta_2$	D	$\gamma = V/D$	$D1 = \gamma H$	$\delta = (D0 - D1)$	D1/D0
	m	cm	cm	cm	(derece)	cm	cm	%
<b>H/B=3,00</b>								
K=500	18,00	10,92	3,35	600,00	0,00558	10,05	0,87	0,92
K = 1000	18,00	7,77	2,22	600,00	0,00370	6,66	1,11	0,86
K = 2000	18,00	5,75	1,44	600,00	0,00240	4,32	1,43	0,75
K = 5000	18,00	4,23	0,84	600,00	0,00140	2,52	1,71	0,60
K = 10000	18,00	3,52	0,55	600,00	0,00092	1,65	1,87	0,47
<b>H/B=4,00</b>								
K = 500	24,00	18,02	4,21	600,00	0,00702	16,84	1,18	0,93
K = 1000	24,00	12,87	2,83	600,00	0,00472	11,32	1,55	0,88
K = 2000	24,00	9,44	1,87	600,00	0,00312	7,48	1,96	0,79
K = 5000	24,00	6,81	1,08	600,00	0,00180	4,32	2,49	0,63
K = 10000	24,00	5,74	0,73	600,00	0,00122	2,92	2,82	0,51
<b>H/B=5,00</b>								
K = 500	30,00	34,58	6,61	600,00	0,01102	33,05	1,53	0,96
K = 1000	30,00	18,95	3,39	600,00	0,00565	16,95	2,00	0,89
K = 2000	30,00	13,89	2,26	600,00	0,00377	11,30	2,59	0,81
K = 5000	30,00	9,92	1,32	600,00	0,00220	6,60	3,32	0,67
K = 10000	30,00	8,29	0,89	600,00	0,00148	4,45	3,84	0,54
<b>H/B=6,00</b>								
K = 500	36,00	61,76	9,87	600,00	0,01645	59,22	2,54	0,96
K = 1000	36,00	38,20	5,86	600,00	0,00977	35,16	3,04	0,92
K = 2000	36,00	19,89	2,74	600,00	0,00457	16,44	3,45	0,83
K=5000	36,00	13,90	1,58	600,00	0,00263	9,48	4,42	0,68
K=10000	36,00	11,49	1,07	600,00	0,00178	6,42	5,07	0,56

- D0 : Binanın Tepe Deplasmanı (cm)
- V : Temelin Genişliği Boyunca Düşey Doğrultuda Yaptığı Deplasman Farkının Mutlak Değeri (cm)
- G.K.Ö. : Göreli kat Ötelenmesi
- $\gamma$  : (V/D) Temelin Dönme Açısı
- D1 : Temel Dönmesinden Kaynaklanan Tepe Deplasmanı (cm)
- $\delta$  : ( D0- D1 ) Tepe deplasmanı ile Temel Dönmesinden Kaynaklı Deplasman Farkı (cm)
- D1/D0 : Temel Dönmesinden Kaynaklı Deplasmanın Tepe Deplasmanına Oranı

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada betonarme karkas binaların devrilmeye karşı tahkikinde, bina yüksekliğinin cephe genişliğine oranı (H/B) ile zemin yatak katsayısı (K) dikkate alınarak bilgisayar destekli optimum tasarımı amaçlanmıştır. Bu kapsamda dikdörtgen planlı bir betonarme binanın, yükseklik/cephe oranı ve zemin yatak katsayısı değişken tutulmuştur. Binanın optimum H/B oranını belirlemek için, zeminin çekme dayanımı ihmal edilerek, 20 adet farklı modelin, STA4CAD V13.1 programı ile lineer analizleri ve ayrıca P- $\delta$  etkileri de dikkate alınarak ETABS 13.0.0 programı ile lineer ve nonlinear analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada tüm modellerin genişlikleri 6,00 metre, temelleri de 80 cm, kolon boyutları 70/50 ve 70/80, kirişler 40/60 ve 60/60, döşeme kalınlıkları da 15 cm sabit, binanın yükseklik ve zeminin yatak katsayısı değişken tutulmuştur. Bina yükseklik/genişlik oranları 3.00, 4.00, 5.00 ve 6.00 olacak şekilde bodrumsuz 4 farklı bina yüksekliği 18.00, 24.00, 30.00 ve 36.00 metre için 5 farklı yatak katsayısı 500, 1000, 2000, 5000 ve 10000 t/m<sup>3</sup> değerleri için ayrı ayrı modelleme ve devrilme tahkiki kontrolü yapılmıştır.

Ayrıca her model (4\*5=20) için ETABS 13.0.0 programı ile lineer (20 adet) ve nonlinear (20 adet) ve STA4CAD V13.1 programı ile lineer (20 adet) olmak üzere toplam 60 adet farklı analiz ilgili şartnameler dikkate alınarak yapılmış ancak, yatay yük analizinde eşdeğer deprem yükü kullanılmış, ETABS 13.0.0 programı ile yapılan modellerde zeminin çekme değeri sıfır olarak alınmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular şu şekildedir:

- a) Bina yükseklik/genişlik oranı ve zemin katsayısı arttıkça modellerin yanal deplasmanların azaldığı görülmüştür.
- b) 500 t/m<sup>3</sup> yatak katsayılı zeminde 5,00 ve 6,00 yükseklik/genişlik oranına sahip modellerin devirici momentlerinin direnen momentlerden büyük olması sebebiyle devrileceği sonucuna ulaşılmıştır.

c) 500 t/m<sup>3</sup> yatak katsayılı zeminde yükseklik/genişlik oranının 4,00 olduğu modelde devirici moment/direnen moment oranının 1,06 değeri ile devrilmeye yakın davranış gerçekleştirebileceği ve P-δ etkisiyle bu oranın 1,02'ye yaklaştığı görülmüştür.

d) Bina yükseklik/genişlik oranı 3,00'den 6,00'ya doğru arttıkça, P-δ etkisinin devrilmeye katkısı, yumuşak zeminde %2'den %11'e yükselirken, sert zeminlerde %1 ile %2 arasında değişmektedir.

e) Yatak katsayısı 500, 1000 ve 2000 t/m<sup>3</sup>, yükseklik/genişlik oranının 3,00, 4,00, 5,00 ve 6,00 olan modellerde deviren momentin direnen momente oranının 0,84 ile 1,58 değerleri arasında değişerek devrilme davranışı içinde ve devrilmeye çok yakın davranışlar sergilediği, ancak 5000 ve 10000 t/m<sup>3</sup> yatak katsayısına sahip zeminlerdeki aynı rijitliğe sahip modellerde bu oranın 2,08 ile 2,86 değerlerine yükselerek devrilme davranışından tamamen uzaklaştıkları görülmüştür.

f) Yatak katsayısı 5000 ve 10000 t/m<sup>3</sup>, yükseklik/genişlik oranı 3,00 olan modeller ve yatak katsayısı 10000 t/m<sup>3</sup>, yükseklik/genişlik oranı da 4,00 olan modelin görelî kat ötelemesi sınır değeri olan 0,02'yi aşmadığı ancak diğer tüm modellerin görelî kat ötelenmesi sınır değeri aştığı tespit edilmiştir.

g) Modellerin yapmış oldukları temel deplasmanları ile yatak katsayılarının çarpılması sonucunda bulunan zemin gerilmesi neticesinde, modellerin zeminin emniyetli zemin gerilmesi sınır değerini aştığı görülmekte, bu nedenle de temelin dönme, çökme ve yer değiştirme davranışlarına sebep olabileceği bundan dolayı da devrilme davranışının oluşabileceği kanaatine varılmıştır.

h) Zemin yaylarının 500 t/m<sup>3</sup>'ten 10000 t/m<sup>3</sup>'e doğru büyüdükçe, temel dönmesinden dolayı binanın tepesinde oluşturduğu deplasmanın, deprem etkisinden dolayı binanın tepesinde oluşan deplasmana oranının %90 seviyelerinden %50'lere indiğinin görülmesi, binanın yumuşak zeminlerde temeliyle birlikte toplam deplasmanın %90'ı oranında döndüğünü göstermekte; zemin rijitleştikçe bu dönme oranının %50'lere gerilediğini göstermektedir.

ı) Yumuşak zeminlerde binanın toplam deplasmanın %90'ı oranında temel ile birlikte dönme davranışı göstermesine rağmen, sert zeminlerde bu oranın %50'lerde olması, aynı rijitliğe sahip binalarda yumuşak zeminlerdeki binaların iç kuvvetlerinin daha az, sert zeminlerdeki binaların iç kuvvetlerinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu da, aynı rijitliğe sahip sert zemindeki yapı sisteminin, yumuşak zemindeki yapı sistemine göre deprem sırasında üzerine gelen kuvveti absorbe edebilmek için zeminle daha çok mücadele edeceği yani zemin-yapı etkileşiminin daha çok oluşacağını göstermektedir.

i) Nonlinear analiz yöntemiyle bulunan dönme, çökme ve yer değiştirme değerlerinin lineer analize göre bulunan değerlerden büyük olması, depremde gerçekte yapının yapacağı davranışı öngörme ve bunlara alınacak önlemleri tespit etmede yardımcı olacağından bu tür narin binalar için 2.mertebe etkilerini de göz önüne alarak nonlinear hesap yönteminin seçilmesi, tasarlanacak yapılarda güvenli bölgede kalma adına en azından bu hesap yöntemiyle de kontrol edilmesi gerektiği kanaatine ulaşılmıştır.

j) Her ne kadar direnen momentlerin deviren momentlere oranı olan güvenlik sayısının 1,0'i geçmesi durumunda binaların devrildiği düşünülse de, temel deplasmanlarından dolayı zeminin çökmesinin ortaya çıkması bu nedenle de zeminin plastik davranışa geçmesinden dolayı binanın dönme noktasının zeminin çöktüğü her noktadan sonra ötelenme davranışı göstereceği açıktır. Bu nedenle devrilme davranışı için güvenlik sayısının en azından istinat duvarlarındaki gibi 1,50 seçilmesi güvenli bölgede kalma adına doğru olacağı düşünülecektir.

k) Devrilme davranışı için güvenlik katsayısının 1,00 seçilmesi durumunda H/B oranının 5,00 ve 6,00 olan modellerin 500 t/m<sup>3</sup> zemin yay katsayısına sahip zeminlerde devrildiği, söz konusu güvenlik katsayısının 1,50 olması durumunda aynı modellerle birlikte H/B oranı 3,00 ve 4,00 olan modellerin de 500, 1000 ve 2000 t/m<sup>3</sup> değerlerine sahip zeminlerde devrilebileceği görülmüştür.

l) Güvenlik katsayısına göre devrilme kontrolü sağlanan modellerin hemen hemen yarısı devrilirken, deprem etkisi sonucunda temelde basınç sebebiyle düşey yönde

deplasman yaparak zeminin emniyetli taşıma gücü değerini aştığı ve zeminin plastik davranışa geçeceğinden dolayı modellerin tümünün devrilebileceği riskinin taşıdığı gözlemlenmiştir.

m) Yüksekliği 25,00 metreden daha olan binalar 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre depremde yıkılma riski daha az riskli görüldüğü için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile analiz yapılırken, çalışmada modellenen bu tür binalar için de devrilme riskinin olduğu görülmektedir.

n) Sağlam zeminlerde dahi depremden dolayı oluşan tepe deplasmanının temelin dönmesinden kaynaklanan tepe deplasmanının 2 katı olduğu görülmüştür.

### **7.1. Konu ile İlgili Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar**

Bu çalışma, zemin parametreleri tanımlanarak, bodrum kat ilavesi yapılarak, farklı bina modellerinde ampatmanlar eklenerek modeller çeşitlendirilebilir. Fayların bina cephelerine dik veya paralel olması durumuna dikkate alınarak oluşturulacak modeller için de zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılabilir. Devrilme riski taşıyan binalara jetgrout, forekazık zemin iyileştirme yöntemleri uygulanarak, binaların gömme derinlikleri belirlenerek, optimum bina yükseklik/genişlik oranları belirlenerek devrilme riskinin önüne geçilebilir. Tüm zeminlerde yapının temeli itibariyle zemine ankastre bağlı olacağı teorisinin yumuşak zeminlerde yapıların temeliyle birlikte dönmesinin, sert zeminlere göre daha çok olduğu gerekçesiyle, temel ile zemin arasındaki mesnetlenmenin ne şekilde olduğundan dolayı nasıl modelleneceği hususunda gelecekte yapılacak araştırmalar, düşey ve yatay etkiler altında her ne kadar binaların taşıyıcı sistemlerinde hatta duvarlarında bile hasar oluşmamasına rağmen, yapıların toptan çökme, dönme ve yer değiştirme davranışlarını engellemiş olacaktır. İstinat yapılarında statik hesaplar öncesinde yapılan bu tahkiklerin narin binalar için de yapılmasının gerekliliği bu çalışmanın analiz sonuçları ile açığa çıkmıştır. Yatay yüklere maruz kalan binaların temelde basınç sebebiyle oluşturduğu düşey yöndeki deplasman sebebiyle zeminin emniyetli gerilme değerini aşması sonucunda zeminin elastik davranıştan plastik davranışa geçtiği bilinmekte; bu aşamadan sonra artık temelin dönme noktası olan topuk

noktasının temelini kısa kenarı doğrultusunda nereye kadar ilerlediğinin tespiti de konu ile ilgili yapılacak çalışmalar arasında en uygunu olacaktır. Ülkemizde ilgili yönetmeliklerin, uygulanan maksimum bina yüksekliğine göre minimum cephe genişliği için sınırlandırma getirmesi de alınacak diğer önlemler arasındadır.



## KAYNAKLAR

- [1] Bakır, S. B., 2005, Zeminlerin Sismik Yapı Hasarı Üzerindeki Etkileri: Adapazarı'ndan Öğrenilenler
- [2] Doğan, O., 1993, Elastik Zemine Üzerine Oturan Kirişler, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [3] Jennings, P., Bielak, J., 1973 Dynamics Of Building-Soil Interaction, Bulletin of the Seismological Society of America
- [4] Erdik, M., 1989, Yüksek Yapıların Deprem Tasarımında Zemin-yapı Etkileşimi İle İlgili Genel Esaslar, Araştırma Makalesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- [5] Gupta, I.D., Trifunac, M.D., 1990, Probabilistic Spectrum superposition for response analysis including the effects of soil-structure interactions, Computational Mechanics Publications, India, Department of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles
- [6] Stewart, P., Seed, B.R., Fenves, L.G., 1998, Empirical Evaluation Of Internal Soil-Structure Interaction Effects Los Angeles Department of Civil & Environmental Engineering, University of California, Berkeley
- [7] Stewart, P., Seed, B.R., Fenves, L.G., 1999, Seismic soil-structure interaction in buildings. I: Empirical findings, University of California, Berkeley
- [8] Stewart, P., Seed, B.R., Fenves, L.G., 1999, Seismic soil-structure interaction in buildings. II: Empirical findings, University of California, Berkeley
- [9] Chouw, N., 2002, Influence of soil-structure interaction on pounding response of adjacent buildings due to near-source earthquakes, Department of Environmental and Civil Engineering, Okayama University, Okayama



- [10] Gündüz, Z., Arman, H., 2005, Zemin Davranışına Uygun Yapı Tasarımı İlkeleri ve Uygulanabilirliği, Araştırma Makalesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- [11] İnal, S.İ., 2006, İki Parametrelili Elastik Zeminde Yapı Zemin Etkileşimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [12] François, S., Pyl, L., Masoumi, H.R., Degrande G., 2006, The influence of dynamic soil–structure interaction on traffic induced vibrations in buildings, Department of Civil Engineering, K.U. Leuven
- [13] Aluç, A. 2007, Elastik Zemine Oturan İki Yapıya SH Dalgası Etkimesi Durumunda Zemin-yapı Etkileşim Problemi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [14] Gökçe, T., 2008 Mevcut Binaların Zemin Yapı Etkileşimini Dikkate Alarak Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [15] Soysal, L., 2008 Deprem Koşullarında Zemin-yapı Etkileşimi Ve Zemin İyileştirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [16] Girgin, S.C., Mısır, S., Özden, G., Kahraman, S., 2008, Zemin-yapı Etkileşiminin Yapısal Tasarımdaki Rolü, D.E.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir
- [17] Karabörk, T., 2009, Zemin-yapı Etkileşimi Dikkate Alınarak Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan 3 Boyutlu Dinamik Analizi, Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Dergisi, Aksaray
- [18] Mamuk, F., 2010 Üç Boyutlu Dinamik Yapı Zemin Etkileşimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul

- [19] Raychowdhury, P., 2011 Seismic response of low-rise steel moment-resisting frame (SMRF) buildings incorporating nonlinear soil–structure interaction (SSI), Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur
- [20] Korkmaz, K.A., Demir, F., 2012, Zemin-yapı Etkilerinin Yapıların Deprem Davranışına Etkileri, Araştırma Makalesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
- [21] Derdiman, M.K., 2013 Farklı Özelliklere Sahip Zeminlerin Betonarme Yüksek Yapılarda Yapı Salınım Periyoduna Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, YTBMYO, İnşaat Bölümü, Isparta
- [22] Çağlar, N., Garip, Z. Ş., Atasoy, S., 2014, Yumuşak Zeminlerde Yapılan Betonarme Binaların Deprem Davranışına Bodrum Kat Etkisi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Sakarya
- [23] Siyahi, B., Çetin, K.Ö., Bilge, T., 2015 Geoteknik Deprem Mühendisliği Açısından Zemin Temel-Yapı Etkileşimine Kritik Bakış, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul
- [24] Çetinkaya, M.Y., Çelebi, E., Kırtel, O., 2015 Yapı-temel-zemin Sismik Etkileşim Probleminin Adapazarı Bölgesi İçin Empedans Fonksiyonları Yardımıyla Analizi, Araştırma Makalesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- [25] Çinicioğlu, F., 2005, Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, Araştırma Makalesi, İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- [26] Mısır, S., Özden, G., Kahraman, S., 2007, Sabit ve Değişken Yatak Katsayısı Yaklaşımlarının Yapı Davranışına Etkisi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16–20 Ekim 2007, İstanbul
- [27] Develioğlu, İ. N., 1996, Yatak katsayısı ve Temel Yapılarına Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul

- [28] Terzaghi, K., 1955, Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction, Geotechnique
- [29] Ersoy, U., 1995, Betonarme 2 Döşeme Ve Temeller, Evrim Yayınevi, Ankara
- [30] Keskinel, F., 1970, Elastik Zemine Oturan Sonlu Kiriş Tesir Çizgileri ve Sürekli Temellerin Çözümüne Uygulanması, İstanbul Teknik Üniversitesi
- [31] Öğüt, O., 2017, Soil-Structure Interaction Effect of Embedded Foundation and Adjacent Buildings on Response Characteristics of Superstructures, Doctor of Environmental Studies, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
- [32] Celep, Z., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beşinci Baskı, 2017, İstanbul
- [33] Gedikli, A., Ergüven M.E ve Kimence, B., 2001, Winkler Zeminine Oturan Dikdörtgen Plaklar Yarı Sayısal Burkulma Analizi 7th Ulusal Mekanik Kongresi, 10–14 Eylül 2001, Konya
- [34] Gedikli, A., Ergüven M.E., 2003, A mixed finite element formulation for Timoshenko beam on Winkler foundation, Computational Mechanics
- [35] Gedikli, A., 2007, Eigenvalue problems of beams with wedge-shaped Vlasov foundations, Journal of Sound and Vibration
- [36] Gedikli, A., Kimence, B., 2002, İki parametrelili elastik zemine kısmi gömülü silindirik tank, 5th International Congress on Advances in Civil Engineering, 25–27 September, Istanbul-Turkey
- [37] Gedikli, A., 2006, Eigenvalue Problems of Beams on Vlasov Foundations Having Shape of Wedge, Seventh International Congress on Advances in Civil Engineering, October 11–13, İstanbul

[38] Gedikli, A., Erguven M.E., 1993, Consistent stiffness matrix for analysis of beams and plates on elastic foundation, Bulletin of The Technical University of Istanbul

[39] Soyal, L., 2006, Deprem Koşullarında Zemin-yapı Etkileşimi ve Zemin İyileştirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kültür Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

[40] Girgin, K., 1996, Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Yükün Ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artımı Yöntemi, Doktora Tezi, F.B.E., İ.T.Ü, İstanbul

[41] Özer, E., 1987, İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi, Bulletin Of The Technical University Of İstanbul, Vol.40, No.4

[42] Özer, E., Pala, S., Orakdoğan, E., Girgin, K., 1997, Deprem Bölgelerindeki Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Rehabilitasyonu, Kesin Rapor, İNTAG 532 T, TÜBİTAK

[43] DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[44] TS500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[45] TS498, 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[46] ETABS Version 13.0.0, CSI Company, Berkeley, California, USA

[47] STA4CAD V13.1 Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. İstanbul

[48] Eurocode 8 Common unified rules for structures in seismic regions, Brussels  
1984

