

**KARGİR DOLGU DUVARLARIN DÜZLEMLERİNE DİK  
DEPREM ETKİLERİ ALTINDA DAVRANIŞI**

**DOKTORA TEZİ**  
**Yük. Müh. M. Arif GÜREL**  
**(501964012)**

112243

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Şubat 2001**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Haziran 2001**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Feridun ÇILI**

*Feridun Çili*

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kaya ÖZGEN (İTÜ)**

*Kaya ÖZGEN*

**Prof. Dr. Zekai CELEP (İTÜ)**

*Zekai CELEP*

**Prof. Dr. Sadettin ÖKTEN (MSÜ)**

*Sadettin ÖKTEN*

**Prof. İbrahim EKİZ (YTÜ)**

*İbrahim EKİZ*

**HAZİRAN 2001**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince değerli ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Feridun ÇILI'ya en derin teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca verdiği fikirlerle bana ışık tutan Harran Üniversitesi'nden hocam sayın Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN'a ve bilgisayar programlarının hazırlanmasında çok büyük emeği geçen Bilgisayar Yüksek Mühendisi sayın Cengiz GÖK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2001

M. Arif Gürel



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                               | <b>Sayfa No</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>ÖNSÖZ</b>                                                                                  | <b>ii</b>       |
| <b>İÇİNDEKİLER</b>                                                                            | <b>iii</b>      |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                                          | <b>v</b>        |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                                          | <b>vi</b>       |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                                                         | <b>x</b>        |
| <b>ÖZET</b>                                                                                   | <b>xiii</b>     |
| <b>SUMMARY</b>                                                                                | <b>xv</b>       |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                               | <b>1</b>        |
| 1.1 Konu                                                                                      | 1               |
| 1.2 Konu İle İlgili Çalışmalara Toplu Bakış                                                   | 3               |
| 1.3 Çalışmanın Amacı                                                                          | 7               |
| <b>2. KARGİR DOLGU DUVARLAR VE MALZEMELERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ</b>                           | <b>8</b>        |
| 2.1 Genel Açıklamalar                                                                         | 8               |
| 2.2 Tanımlar                                                                                  | 9               |
| 2.3 Kargir Dolgu Duvarların Basınç ve Çekme Dayanımı                                          | 12              |
| 2.4 Ülkemizde Kullanılan Kargir Dolgu Duvar Malzemeleri ve Bunların Çeşitli Özellikleri       | 16              |
| 2.4.1 Fabrika Tuğlaları                                                                       | 16              |
| 2.4.2 Gazbeton Duvar Blokları                                                                 | 20              |
| 2.4.3 Beton Briketler                                                                         | 20              |
| <b>3. HESAP YÖNTEMİ</b>                                                                       | <b>22</b>       |
| 3.1 Genel Açıklamalar                                                                         | 22              |
| 3.2 Varsayımlar                                                                               | 23              |
| 3.3 Yöntemin Ana Çizgileri                                                                    | 24              |
| 3.4 Hesap Modeli                                                                              | 27              |
| 3.4.1 j. Kesitin Ağırlık Merkezinin Koordinatının Hesaplanması                                | 29              |
| 3.4.2 Kargir Dolgu Duvar Şeridine Etkiyen Yüklerin Tanımlanması                               | 31              |
| 3.4.3 Deprem Hareketinin Düşey Bileşeni ve Etkileri                                           | 33              |
| 3.4.4 j. Elemanın Ağırlık Merkezinin Koordinatının Hesaplanması                               | 36              |
| 3.4.5 j. Kesit Üzerine Etkiyen Normal Kuvvet ve Eğilme Momentinin Hesaplanması                | 37              |
| 3.4.6 j. Kesitteki Dışmerkezliğin Hesaplanması                                                | 38              |
| 3.4.7 (j+1). Elemanın Eğriliğinin Hesaplanması                                                | 38              |
| 3.4.8 Çözüm İşlemi                                                                            | 44              |
| <b>4. ÇALIŞMADAKİ PARAMETRELER İÇİN HESAPTA KULLANILAN DEĞERLER VE BİLGİSAYAR PROGRAMLARI</b> | <b>49</b>       |

|                                                                                                                                                              | <b>Sayfa No</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 4.1 Genel Açıklamalar                                                                                                                                        | 49              |
| 4.2 Yatay ve Düşey Deprem Katsayıları                                                                                                                        | 50              |
| 4.3 Duvar Üst Kesiti İle Kiriş Tabanı Arasındaki Temas Kuvvetinin Düşey Bileşeni                                                                             | 52              |
| 4.4 Dolgu Duvarların Fiziksel, Geometrik ve Mekanik Özellikleri İle İlgili Parametreler İçin Hesapta Kullanılan Değerler                                     | 54              |
| 4.5 Davranışı Etkileyen Büyüklükler                                                                                                                          | 56              |
| 4.6 Bilgisayar Programları                                                                                                                                   | 57              |
| <b>5. KARGİR DOLGU DUVARLARIN DÜZLEMLERİNE DİK VE DÜŞEY DEPREM ETKİLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARINI ETKİLEYEN BÜYÜKLÜKLERİN İRDELENMESİ</b>                     | <b>63</b>       |
| 5.1 Genel Açıklamalar                                                                                                                                        | 63              |
| 5.2 Duvar Düzlemine Dik Atalet Kuvvetlerinin Etkileri                                                                                                        | 64              |
| 5.3 Düşey Atalet Kuvvetlerinin Etkileri                                                                                                                      | 67              |
| 5.4 Duvar Üst Kesiti İle Kiriş Tabanı Arasındaki Temas Kuvvetinin Etkisi                                                                                     | 70              |
| 5.5 Duvarların Fiziksel, Geometrik ve Mekanik Özelliklerinin Gözönüne Alınmasını Sağlayan $\rho H/E$ Parametresinin Etkisi                                   | 71              |
| 5.6 Duvar Narinliğinin Etkisi                                                                                                                                | 73              |
| 5.7 Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Ötelenme Kapasitelerinin İrdelenmesi                                                                            | 78              |
| 5.8 Kargir Dolgu Duvarların Dayanabilecekleri Düzleme Dik Atalet Kuvvetleri Üzerinde Düşey Atalet Kuvvetlerinin Etkisi                                       | 80              |
| 5.9 $\rho H/E$ Parametresinin ve $P/W$ Oranının Duvar Davranışı Üzerindeki Etkilerinin Bir Kez Daha İrdelenmesi                                              | 81              |
| 5.10 Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Atalet Kuvvetleri Altında Alt ve Üst Kirişler Düzeyinde Basit Mesnetli Olan Düşey Bir Plak Olarak Modellenmesi | 84              |
| 5.11 Hesapta Gözönüne Alınmamış Bazı Büyüklüklerin Etkilerinin İrdelenmesi                                                                                   | 90              |
| 5.11.1 Genel Açıklamalar                                                                                                                                     | 90              |
| 5.11.2 Duvar Üst Kesiti İle Kiriş Tabanı Arasındaki Temas Kuvvetinin Düşey Bileşeninin “e” Dışmerkezliğinin Etkisi                                           | 90              |
| 5.11.3 Duvar Ortamının İhmal Edilen Ancak Az da Olsa Mevcut Olan Çekme Dayanımının Etkisi                                                                    | 92              |
| 5.11.4 Duvar Ortamının Aslında Sınırlı Olan Basınç Dayanımının Ezilme Olmayacak Kadar Yüksek Kabul Edilmesinin Etkisi                                        | 94              |
| 5.11.5 Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Atalet Kuvvetlerine Kemerlenme Etkisi İle Direnişi                                                           | 96              |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>                                                                                                                               | <b>102</b>      |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                                                                                             | <b>109</b>      |
| <b>EKLER</b>                                                                                                                                                 | <b>113</b>      |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                                                                                              | <b>140</b>      |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 2.1</b> : TS 2510'a göre taşıyıcı olmayan dış duvarların en büyük yapım alanları ( $m^2$ )                                                                                                                                                                                            | 10              |
| <b>Tablo 2.2</b> : TS 2510'da verilen duvar harcı karışımları (hacim olarak)                                                                                                                                                                                                                   | 11              |
| <b>Tablo 2.3</b> : TS 4563'e göre yatay delikli tuğlaların anma boyutları (mm)                                                                                                                                                                                                                 | 18              |
| <b>Tablo 2.4</b> : Yatay delikli tuğlaların sınıflarına göre hacim ağırlıkları ( $kN/m^3$ )                                                                                                                                                                                                    | 19              |
| <b>Tablo 2.5</b> : Yatay delikli tuğlaların sınıflarına göre basınç dayanımları ( $N/mm^2$ )                                                                                                                                                                                                   | 19              |
| <b>Tablo 2.6</b> : Ytong duvar bloklarının boyutları (mm)                                                                                                                                                                                                                                      | 20              |
| <b>Tablo 2.7</b> : TS 406'da verilen briket boyutları (mm)                                                                                                                                                                                                                                     | 21              |
| <b>Tablo 4.1</b> : Ytong duvar bloklarının salt basınç altındaki elastisite modülü değerleri ( $kN/cm^2$ )                                                                                                                                                                                     | 55              |
| <b>Tablo 4.2</b> : Çeşitli dolgu duvar numunelerinin basınç altındaki ortalama elastisite modülü değerleri ( $kN/cm^2$ )                                                                                                                                                                       | 55              |
| <b>Tablo 5.1</b> : $c_y$ - $\delta$ bağıntıları elde edilen duvarların özellikleri ve P/W oranının seçilen iki değeri için elde edilen $c_{ymaks.}$ , $\delta_{cymaks.}$ ve e/H değerleri                                                                                                      | 75              |
| <b>Tablo 5.2</b> : Gözönüne alınan duvarların P/W = 0.3 değeri için elde edilen $\delta_{cymaks.}$ değerleri ile $\Delta_{maks.} = 0.02 \times h$ değerlerinin karşılaştırılması                                                                                                               | 79              |
| <b>Tablo 5.3</b> : Dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında altta ve üstte basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmesi durumunda, gözönüne alınan duvarlar için elde edilen $c_{ymaks.}$ , $\delta_{cymaks.}$ ve e/H değerleri (P/W = 0.5 ve 1.0 değerleri için) | 87              |
| <b>Tablo 5.4</b> : Kargir dolgu duvarlar için bu çalışmadan ve çekme dayanımı sınırsız varsayılarak I. Mertebe Teorisi'nden elde edilen $c_{ymaks.}$ değerlerinin karşılaştırılması (P/W = 0.3 değeri için)                                                                                    | 93              |
| <b>Tablo 5.5</b> : Dolgu duvarların kemerlenme etkisine dayanan düzlemlerine dik düzgün yayılı yük dayanım formülündeki $\lambda$ katsayısı                                                                                                                                                    | 98              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                        | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Şekil 2.1</b> : Düşey basınç etkisindeki bir kargir duvar numunesinde, kargir birim, harç ve kargir için ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrileri                                                                                 | 13              |
| <b>Şekil 2.2</b> : (a) Düşey basınç etkisindeki kargir prizma, (b) Kargir birim ve harç için gerilme durumu                                                                                                                            | 14              |
| <b>Şekil 2.3</b> : TS 705'e göre tuğla yüzlerinin adları                                                                                                                                                                               | 17              |
| <b>Şekil 2.4</b> : (a) Yatay delikli tuğla, (b) Düşey delikli tuğla                                                                                                                                                                    | 18              |
| <b>Şekil 2.5</b> : (a) Tam briket, (b) Yarım briket                                                                                                                                                                                    | 21              |
| <b>Şekil 3.1</b> : (a) Kargir dolgu duvarlı çerçeve ve hesap için gözönüne alınan B genişlikli düşey duvar şeridi, (b) 1-1 Kesiti                                                                                                      | 25              |
| <b>Şekil 3.2</b> : (a) Kargir duvar şeridinin yükleme sonrasında aldığı şekil, (b) Duvar şeridinin zıt işaretli eğrilikteki iki bölgeden oluşan durumu ve üst kiriş tabanı ile duvar şeridi üst kesiti arasındaki düşey temas kuvveti  | 26              |
| <b>Şekil 3.3</b> : Kargir duvar şeridinin hesapta gözönüne alınan deforme olmuş şekli                                                                                                                                                  | 27              |
| <b>Şekil 3.4</b> : Bölümlendirilmiş kargir duvar şeridinin deforme olmuş şekli                                                                                                                                                         | 28              |
| <b>Şekil 3.5</b> : (a) Kargir duvar şeridinin davranışının incelenmesinde gözönüne alınan yükler, (b) Bu yükler altında şeridin deforme olmuş durumu                                                                                   | 32              |
| <b>Şekil 3.6</b> : j. kesite etkiyen normal kuvvet ve eğilme momentinin elde edilişi                                                                                                                                                   | 37              |
| <b>Şekil 3.7</b> : Kargir duvar şeridi kesitinin çekirdek bölgesi                                                                                                                                                                      | 39              |
| <b>Şekil 3.8</b> : Çatlamamış bir j. kesitteki şekil değiştirmeler ve eğrilik                                                                                                                                                          | 40              |
| <b>Şekil 3.9</b> : Çatlamış bir j. kesitteki şekil değiştirmeler ve eğrilik                                                                                                                                                            | 41              |
| <b>Şekil 3.10</b> : Hesabın her bir adımı sonunda duvar şeridi tabanında elemanların geometrisi                                                                                                                                        | 47              |
| <b>Şekil 3.11</b> : Duvar şeridi tabanında dışmerkezliğin alabileceği sınır değer                                                                                                                                                      | 47              |
| <b>Şekil 4.1</b> : BİRİNCİ programının genel akış diyagramı                                                                                                                                                                            | 59              |
| <b>Şekil 4.2</b> : İKİNCİ 2 programının genel akış diyagramı                                                                                                                                                                           | 61              |
| <b>Şekil 5.1</b> : Yüklü dolgu duvar ve T topuk noktası                                                                                                                                                                                | 66              |
| <b>Şekil 5.2</b> : Düzlemleri dışına yıkılmış sandviç duvarlar                                                                                                                                                                         | 74              |
| <b>Şekil 5.3</b> : Kargir dolgu duvarlar için tipik bir düzleme dik atalet kuvveti - yatay ötelenme, $c_y$ - $\delta$ , grafiği                                                                                                        | 77              |
| <b>Şekil 5.4</b> : (a) Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetleri etkisinde altta ve üstte basit mesnetli düşey bir plak olarak modellenmesi, (b) Hesap için simetriden yararlanıp duvarın yarısının gözönüne alınması | 86              |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.5</b> | : Tabanında ezilme ve büyük yatay ötelenme sonucu düzlemi dışına yıkılmış bir kargir dolgu duvar                                                                                                                                                                                                                                        | 95  |
| <b>Şekil 5.6</b> | : Düzlemine dik atalet kuvvetleri etkisinde bulunan ve rijit ve sabit sınırları olan bir kargir dolgu duvarda oluşan düşey kemerlenme mekanizması                                                                                                                                                                                       | 97  |
| <b>Şekil A.1</b> | : P/W oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 0.5 \times 10^{-6}$ , $c_d = 0$ )                                                                                                                | 114 |
| <b>Şekil A.2</b> | : P/W oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 1.0 \times 10^{-6}$ , $c_d = 0$ )                                                                                                                | 115 |
| <b>Şekil A.3</b> | : P/W oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 2.0 \times 10^{-6}$ , $c_d = 0$ )                                                                                                                | 116 |
| <b>Şekil A.4</b> | : P/W oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 3.0 \times 10^{-6}$ , $c_d = 0$ )                                                                                                                | 117 |
| <b>Şekil A.5</b> | : P/W oranının bazı değerleri altında ve $\rho H/E$ parametresinin geniş bir aralığında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler ( $c_d = 0$ )                                                                                                 | 118 |
| <b>Şekil A.6</b> | : İkinci merteye etkiler nedeniyle rijit dolgu duvar durumuna karşı gelen narinlikteki azalmayı gösteren, P/W oranının bazı değerleri altında ve $\rho H/E$ parametresinin geniş bir aralığında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik azaltma faktörü ( $c_d = 0$ )   | 119 |
| <b>Şekil A.7</b> | : Yatay deprem katsayısının 0.04 değerinde, $\rho H/E$ parametresinin geniş bir aralığında ve P/W oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3, (d) 0.5, (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönlendirilmiş) | 120 |
| <b>Şekil A.8</b> | : Yatay deprem katsayısının 0.07 değerinde, $\rho H/E$ parametresinin geniş bir aralığında ve P/W oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3, (d) 0.5, (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönlendirilmiş) | 122 |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil A.9</b>  | : Yatay deprem katsayısının 0.04 değerinde, $\rho H/E$ parametresinin geniş bir aralığında ve $P/W$ oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3, (d) 0.5, (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönlendirilmiş) | 124 |
| <b>Şekil A.10</b> | : Yatay deprem katsayısının 0.07 değerinde, $\rho H/E$ parametresinin geniş bir aralığında ve $P/W$ oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3, (d) 0.5, (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönlendirilmiş) | 126 |
| <b>Şekil A.11</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen (a) 1, (b) 2, (c) 3 ve (d) 4 numaralı duvarların $P/W$ oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )                                                                                                                                         | 128 |
| <b>Şekil A.12</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen (a) 5, (b) 6, (c) 7 ve (d) 8 numaralı duvarların $P/W$ oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )                                                                                                                                         | 129 |
| <b>Şekil A.13</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen (a) 9, (b) 10, (c) 11 ve (d) 12 numaralı duvarların $P/W$ oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )                                                                                                                                      | 130 |
| <b>Şekil A.14</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen (a) 13, (b) 14, (c) 15 ve (d) 16 numaralı duvarların $P/W$ oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )                                                                                                                                     | 131 |
| <b>Şekil A.15</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen (a) 17, (b) 18, (c) 19 ve (d) 20 numaralı duvarların $P/W$ oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )                                                                                                                                     | 132 |
| <b>Şekil A.16</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen (a) 21 ve (b) 22 numaralı duvarların $P/W$ oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )                                                                                                                                                     | 133 |
| <b>Şekil A.17</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen ve yükseklikleri eşit, ancak narinlik değerleri farklı olan (a) 2, 4, 6, 9, 13 ve (b) 3, 5, 12 numaralı duvarların $P/W = 0.3$ değeri için yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrilerinin aynı eksen takımı üzerinde karşılaştırılması ( $c_d = 0$ )                                                 | 134 |
| <b>Şekil A.18</b> | : Tablo 5.1'de özellikleri verilen 6 numaralı duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvveti üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisini gösteren ve $P/W$ oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3, (d) 0.5 ve (e) 1.0 değerleri için çizilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönlendirilmiş)  | 135 |

- Şekil A.19** : Tablo 5.1’de özellikleri verilen 6 numaralı duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvveti üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisini gösteren ve P/W oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3, (d) 0.5 ve (e) 1.0 değerleri için çizilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönlenmiş) 136
- Şekil A.20** : Dolgu duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin yatay bileşeni analize dahil edilmeden, Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 4, (b) 12 ve (c) 16 numaralı duvarlar için P/W oranının bazı değerleri altında çizilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ ) 138
- Şekil A.21** : Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik yatay atalet kuvvetleri altında alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmesi durumunda, Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 1, (b) 6, (c) 12 ve (d) 16 numaralı duvarlar için P/W oranının bazı değerleri altında çizilen yatay deprem katsayısı-yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ ) 139

## SEMBOL LİSTESİ

|                                       |                                                                                                                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>                              | : Kargir dolgu duvar şeridi yatay kesitlerinin alanı                                                                            |
| <b>A(T)</b>                           | : Spektral İvme Katsayısı                                                                                                       |
| <b>A<sub>0</sub></b>                  | : Etkin Yer İvmesi Katsayısı                                                                                                    |
| <b>a<sub>i</sub>, a<sub>i+1</sub></b> | : Bir dolgu duvarın altındaki ve üstündeki kat döşemelerinin bir deprem sırasındaki yatay ivmeleri                              |
| <b>B</b>                              | : Duvar şeridinin genişliği                                                                                                     |
| <b>c<sub>d</sub></b>                  | : Düşey deprem katsayısı                                                                                                        |
| <b>c<sub>y</sub></b>                  | : Yatay deprem katsayısı                                                                                                        |
| <b>c<sub>ymaks.</sub></b>             | : Duvar şeridinin dayanabileceği düzleme dik en büyük atalet yükünü gösteren yatay deprem katsayısı                             |
| <b>E</b>                              | : Duvar ortamının elastisite modülü                                                                                             |
| <b>e</b>                              | : Duvar şeridi üzerine kirişten gelen düşey yükün dışmerkezliği                                                                 |
| <b>e<sub>j</sub></b>                  | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. kesitteki normal kuvvet dışmerkezliği                                                |
| <b>e<sub>j</sub>/H</b>                | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. kesitteki boyutsuz dışmerkezlik                                                      |
| <b>f<sub>m</sub></b>                  | : Duvar ortamının basınç dayanımı                                                                                               |
| <b>H</b>                              | : Duvar şeridinin kalınlığı                                                                                                     |
| <b>h<sub>i</sub></b>                  | : Bina'nın i. katının yüksekliği                                                                                                |
| <b>I</b>                              | : Duvar şeridi yatay kesitlerinin eğilme eksenine göre atalet momenti, Bina Önem Katsayısı                                      |
| <b>k</b>                              | : Malzeme esnekliğinden dolayı rijit duvar durumuna karşı gelen narinlikteki azalmayı ifade eden narinlik azaltma faktörü       |
| <b>L</b>                              | : Duvar şeridinin yüksekliği                                                                                                    |
| <b>L/H</b>                            | : Duvar şeridinin narinliği                                                                                                     |
| <b>ℓ</b>                              | : Duvar şeridinin ideal olarak bölümlendirilmiş modelinde her bir elemanın yüksekliği                                           |
| <b>ℓ<sub>n</sub></b>                  | : Yakınsaklık kriteri sağlandığında duvar şeridi tabanındaki elemanın yüksekliği                                                |
| <b>M<sub>j</sub></b>                  | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. kesit üzerine etkiyen eğilme momenti                                                 |
| <b>m</b>                              | : Duvar şeridinin birim yüksekliğinin kütlesi                                                                                   |
| <b>N<sub>j</sub></b>                  | : Duvar şeridinin j. kesiti üzerine etkiyen normal kuvvet                                                                       |
| <b>n</b>                              | : Duvar şeridinin ideal olarak bölündüğü eleman sayısı                                                                          |
| <b><math>\bar{n}</math></b>           | : Duvar şeridinin ideal olarak bölündüğü eleman sayısı için bir ilk deneme değeri                                               |
| <b>n<sup>*</sup></b>                  | : Yakınsaklık kriterinin sağlandığı eleman sayısı değeri                                                                        |
| <b>P</b>                              | : Duvar şeridi üzerine kirişten gelen düşey yük                                                                                 |
| <b>P/W</b>                            | : Duvar şeridi üzerine kirişten gelen düşey yükün duvar şeridi ağırlığına oranı                                                 |
| <b>q</b>                              | : Kargir dolgu duvarın düşey kemerlenme etkisine dayanan düzlemine dik düzgün yayılı yük dayanım değeri (1 m <sup>2</sup> için) |

|                                        |                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R</b>                               | : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı                                                                                                                                                                                  |
| <b>R<sub>1</sub></b>                   | : Kemerlenme etkisine dayanan düzleme dik düzgün yayılı yük dayanım formülünde, düzlem içi yüklemekten dolayı duvarda meydana gelen hasarın duvarın düzlemine dik dayanımı üzerindeki etkisini gösteren bir katsayı   |
| <b>R<sub>2</sub></b>                   | : Kemerlenme etkisine dayanan düzleme dik düzgün yayılı yük dayanım formülünde, duvarın altındaki ve üstündeki kirişlerin eğilme rijitliğinin duvarın düzlemine dik dayanımı üzerindeki etkisini gösteren bir katsayı |
| <b>r<sub>j</sub></b>                   | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. elemanın eğrilik yarıçapı                                                                                                                                                  |
| <b>r<sub>n</sub></b>                   | : Yakınsaklık kriteri sağlandığında duvar şeridi tabanındaki elemanın eğrilik yarıçapı                                                                                                                                |
| <b>S(T)</b>                            | : Spektrum Katsayısı                                                                                                                                                                                                  |
| <b>u<sub>j</sub></b>                   | : Duvar şeridinin gözönüne alınan bir j. yatay kesitinde, kesit kalınlığındaki çatlamamış kısmın uzunluğu                                                                                                             |
| <b>W</b>                               | : Duvar şeridinin toplam ağırlığı                                                                                                                                                                                     |
| <b>w</b>                               | : Duvar şeridinin birim yüksekliğinin ağırlığı                                                                                                                                                                        |
| <b>w<sup>1</sup></b>                   | : Duvar şeridinin 1 m <sup>2</sup> sinin ağırlığı                                                                                                                                                                     |
| <b>w<sub>i</sub></b>                   | : Duvar şeridinin ideal olarak bölümlendirilmiş modelinde i. elemanın ağırlığı                                                                                                                                        |
| <b>x, y</b>                            | : Duvar şeridi boykesiti için eksen takımı                                                                                                                                                                            |
| <b>x, y, z</b>                         | : Genel bir eksen takımı                                                                                                                                                                                              |
| <b>y<sub>j</sub></b>                   | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. kesitin ağırlık merkezinin y koordinatı                                                                                                                                    |
| <b>y<sub>Gj</sub></b>                  | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. elemanın ağırlık merkezinin y koordinatı                                                                                                                                   |
| <b>α<sub>j</sub></b>                   | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. elemene karşı gelen açı                                                                                                                                                    |
| <b>α<sub>k</sub></b>                   | : Yakınsaklık kriteri sağlandığında gözönüne alınan bir açı değeri                                                                                                                                                    |
| <b>α<sub>n</sub> = α<sub>B</sub></b>   | : Yakınsaklık kriteri sağlandığında duvar şeridi tabanındaki elemene karşı gelen açı                                                                                                                                  |
| <b>γ</b>                               | : Duvar şeridi üst kesitinin dönme miktarı                                                                                                                                                                            |
| <b>γ*</b>                              | : Bazı hesaplar için herhangi bir adımda seçilen ilk bir γ üst kesit dönmesinden hareketle ulaşılan ve yakınsaklık kriterini sağlayan üst kesit dönme değeri                                                          |
| <b>Δ<sub>i</sub></b>                   | : Binanın i. katı için görelî kat ötelenmesinin değeri                                                                                                                                                                |
| <b>(Δ<sub>i</sub>)<sub>maks.</sub></b> | : Binanın i. katı için görelî kat ötelenmesinin en büyük değeri                                                                                                                                                       |
| <b>δ</b>                               | : Duvar şeridinin üst kesitinin taban kesitine göre yatay ötelenme miktarı                                                                                                                                            |
| <b>δ<sub>cymaks.</sub></b>             | : Duvar şeridinin dayanabileceği düzleme dik en büyük atalet yüküne karşı gelen yatay ötelenme miktarı                                                                                                                |
| <b>δ<sub>maks.</sub></b>               | : Duvar şeridinin yapabileceği en büyük yatay ötelenme miktarı                                                                                                                                                        |
| <b>δ/H</b>                             | : Duvar şeridi üst kesitinin taban kesitine göre boyutsuz yatay ötelenme miktarı                                                                                                                                      |
| <b>ε</b>                               | : Bazı hesaplar için yakınsaklık kriterinin sağlanmasında gözönüne alınan ve istenildiği kadar küçük seçilebilen pozitif bir sayı, Şekil değiştirme                                                                   |
| <b>ε<sub>1</sub>, ε<sub>2</sub></b>    | : Duvar şeridinin gözönüne alınan bir yatay kesitinin kenarlarındaki şekil değiştirmeler                                                                                                                              |
| <b>η<sub>j</sub></b>                   | : Duvar şeridinin j. elemanın boyutsuz eğrilik ifadesinde yer alan ve bu elemanın üst kesitindeki normal kuvvet dışmerkezliğine bağlı olan bir                                                                        |

|                                |                                                                                                                             |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                | katsayı                                                                                                                     |
| $\lambda$                      | : Kemerlenme etkisine dayanan düzleme dik düzgün yayılı yük dayanım formülünde yer alan duvar narinliğine bağlı bir katsayı |
| $\xi$                          | : Duvar şeridinin ideal olarak bölümlendirilmiş modelinde her bir elemanın boyutsuz yüksekliği                              |
| $\rho$                         | : Duvar şeridinin birim hacminin ağırlığı                                                                                   |
| $\rho H/E$                     | : Duvar şeridinin esneklik katsayısı                                                                                        |
| $\sigma_1, \sigma_2$           | : Duvar şeridinin gözönüne alınan bir yatay kesitin kenarlarındaki normal gerilmeler                                        |
| $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ | : Düşey basınca maruz kargir prizmada, kargir birim ve harçta x, y, z eksenleri doğrultusunda oluşan normal gerilmeler      |
| $\phi_j$                       | : Duvar şeridinin deforme olmuş halinde j. elemanın eğriliği                                                                |
| $\phi_n$                       | : Yakınsaklık kriteri sağlandığında duvar şeridi tabanındaki elemanın eğriliği                                              |



## KARGİR DOLGU DUVARLARIN DÜZLEMLERİNE DİK DEPREM ETKİLERİ ALTINDA DAVRANIŞI

### ÖZET

Tasarımda yapısal elemanlar olarak dikkate alınmamalarına rağmen dolgu duvarların bir deprem sırasında yapıya rijitlik ve dayanım yönünden önemli desteği vardır. Dolayısıyla bu duvarların ister düzlem içi ister düzleme dik deprem etkilerinden dolayı hasar görüp yıkılmaları yapının azımsanamayacak bir rijitlik ve dayanım desteğinin ortadan kalkması olarak yorumlanabilir.

Kargir dolgu duvarların ve kargir dolgu duvarlı çerçevelerin düzlem içi deprem dayanımı ve davranışı konusunda yoğun çalışmalar yapılmıştır. Düzleme dik doğrultudaki dayanım ve davranış konusundaki çalışmalar ise daha azdır. Bir deprem sırasında dolgu duvarlar üzerine gelen düzleme dik etkiler bu doğrultudaki atalet kuvvetleri ile katlar arası görelî ötelenme etkisidir. Yatay rijitliği yeterli, dolayısıyla katlar arası görelî ötelenme miktarları yönetmeliklerce belirtilmiş sınırlar içinde kalan yapılardaki dolgu duvarların bir depremde düzlemlerine dik doğrultuda maruz kaldıkları tek etkinin bu doğrultudaki atalet kuvvetleri olduğu düşünülebilir. Ancak yeterli yanal rijitliğe sahip olmayan yapılarda katlar arası görelî ötelenmeler ihmal edilemez ve bu tür yapılardaki kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik davranışları ve dayanımları ile ilgili bir çalışmada bu etkinin de gözönüne alınması gerekir.

Bu çalışmada, kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetlerinden oluşan birleşik yükleme etkileri altındaki davranışları incelenmiştir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konu tanıtılmış, konu ile ilgili diğer çalışmalar gözden geçirilmiş ve çalışmanın amacı belirtilmiştir.

İkinci bölümde kargir dolgu duvarlar hakkında genel bir bilgi verilmiş ve bu duvarların basınç ve çekme dayanımlarından bahsedilmiştir. Bu bölümde ayrıca ülkemizde yaygın olarak kullanılan kargir dolgu duvar malzemelerinin çeşitli özellikleri anlatılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde hesap yöntemi açıklanmıştır. Bu amaçla önce çalışmanın tümü için geçerli olan varsayımlar verildikten sonra hesap için kullanılan model tanıtılmıştır. Daha sonra duvarların hesabında gözönüne alınan yükler açıklanmıştır. Duvarların hesap için ideal olarak bölündüğü elemanlar ve bu elemanlar arasındaki kesitler için hesapta gerekli olan bağıntıların çıkarılması bu bölümün önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Çalışmadaki amaçlara ulaşmak için çıkarılan bağıntıların nasıl kullanılacağı ise bu bölümün sonunda açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde duvarların davranışlarının belirlenmesinde kullanılan yükleme parametrelerinden ve duvarların hesap için gerekli fiziksel, geometrik ve mekanik özellikleri ile ilgili parametrelerden bahsedilmiştir. Bu bölümde ayrıca sayısal hesapların yapılması için yazılan bilgisayar programları tanıtılmıştır.

Bu çalışmanın özünü oluşturan beşinci bölümde ise yapılan hesaplar sonucu dolgu duvarların davranışları üzerinde yatay ve düşey atalet kuvvetlerinin, duvar üzerine kirişten gelen düşey yükün, katlar arası görelî ötelenmelerin, duvar esneklik parametresinin ve duvar narinliğinin etkisi incelenmiştir. Bunların dışında dolgu duvarlar alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenerek bu durumda düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımları araştırılmıştır. Bölümün sonunda ise hesapta gözönüne alınmamış bazı büyüklüklerin etkileri irdelenmiş ve ayrıca dolgu duvarların düzlemlerine dik kuvvetlere direnişî için “kemerlenme etkisi modeli” kısaca açıklanmıştır.

Gözönüne alınan varsayımlar ve sınırlar içinde bu çalışmada elde edilen ve altıncı bölümde verilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

(a) Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik deprem etkilerine bu doğrultudaki küçük eğilme rijitlikleri ile dayandıkları bir model kullanılarak elde edilen bu çalışmadaki sonuçlara duvarların davranışları ve dayanımları ile ilgili olarak oldukça güvenli tarafta kalan alt sınırlar gözûyle bakılabilir.

(b) Düzleme dik büyük atalet kuvvetleri bu çalışmadaki eğilme esaslı hesap modeline göre kargir dolgu duvarlar için ağır bir yükleme durumu oluşturmaktadır. Dolgu duvarların bu hesap modeline göre düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımları oldukça küçüktür.

(c) Düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumunda duvarların davranışları üzerinde olumlu bir etkiye, yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumunda ise olumsuz bir etkiye sahiptirler. Ancak davranış üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisi yatay atalet kuvvetlerinin etkisine göre çok daha az önemlidir.

(d) Duvar üzerine gelen düşey yükün duvar davranışî ve dayanımı üzerinde çok olumlu bir etkisi vardır. Buna karşılık büyük görelî kat ötelenmeleri duvar davranışını çok olumsuz bir şekilde etkilemektedir.

(e) Bir kargir dolgu duvar için diğer bütün parametreler sabit iken  $\rho H/E$  esneklik parametresindeki değişim daha çok duvarın yatay ötelenmeleri üzerinde etkili olmaktadır. Bu parametredeki değişimin duvarların düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımları üzerindeki etkisi ise daha azdır.

(f) Narinlik değerleri dışında diğer bütün parametreleri aynı olan duvarlar içinde narinlik değerleri büyük olanlar düzlemlerine dik deprem etkilerine karşı çok daha zayıf durumdadırlar.

(g) Katlar arası görelî ötelenmelerin yeterince küçük olduğu yapılarıdaki dolgu duvarlar, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında alt ve üst kirişler veya döşemeler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenebilirler. Bu model duvarlar için esas modele göre düzleme dik çok daha yüksek atalet kuvveti dayanımları vermektedir.

(h) Kargir dolgu duvarların, görelî kat ötelenmelerinin küçük olması, çevrelerindeki çerçeve elemanlarının yeterince rijit olması ve bu elemanlarla aralarında iyi bir temas sağlanmış olması koşuluyla, bir deprem sırasında etkiyen düzlemlerine dik atalet kuvvetlerine karşı kemerlenme etkisine dayanan oldukça iyi bir dayanımları vardır. Ancak bu sınır şartlarına sahip olmayan dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımlarını kemerlenme etkisi modelleri yerine bu çalışmadaki eğilme esaslı modellerden uygun olan biri ile hesaplamak daha gerçekçi olabilir.

## **BEHAVIOR OF MASONRY INFILL WALLS UNDER OUT-OF-PLANE EARTHQUAKE EFFECTS**

### **SUMMARY**

Although not considered as structural elements in the design, the contribution of infill walls to the structure on rigidity and strength is significant in case of an earthquake. Therefore, damages of these walls -whether from in-plane or out-of-plane earthquake effects- can be deemed as an important decrease in the support for rigidity and strength of the structure.

Many studies have been made on the in-plane earthquake strength and behavior of masonry infill walls and masonry infilled frames. However, there are comparatively few studies about out-of-plane strength and behavior of infill walls. In an earthquake, out-of-plane effects acting upon infill walls are inertia forces and inter-story drift effect at the same direction. In the structures having sufficient lateral rigidity, it might be assumed that the only effect undergone by infill walls in case of an earthquake is out-of-plane inertia forces. On the other hand, in the structures with insufficient lateral rigidity, the inter-story drift effect can not be ignored, and hence it must also be taken into account in a study about out-of-plane behavior and strength of masonry infill walls located in such structures.

In this study, the behavior of masonry infill walls under the combined loading actions which consist of i) their own weights, ii) out-of-plane inertia forces, iii) out-of-plane inter-story drift and iv) vertical inertia forces, is investigated.

This study consists of six chapters. In the first chapter, the subject is introduced, the previous work concerning the subject is reviewed and the objective and scope of the study is stated.

In the second chapter, general information concerning the masonry infill walls is given and the compression and tensile strengths of these walls are discussed. Furthermore, various properties of masonry units widely used in our country are explained.

In the third chapter of the study, the method of analysis is outlined. For this purpose, having stated the basic assumptions valid for the study, the analysis model is introduced. Then, the loads considered in the analysis are explained. The derivation of required expressions for elements into which walls are ideally divided and for sections which are the boundaries of these elements, constitutes an important portion of this chapter. The usage of the derived expressions to achieve the objectives of this study is explained at the end of the chapter.

In the fourth chapter, the loading parameters, and parameters concerning the physical, geometrical and mechanical properties of walls related to the calculations are discussed. Furthermore, the computer programs written to implement the calculations are introduced.

In chapter five, which forms the main part of the study, the effects of the i) out-of-plane and vertical inertia forces, ii) vertical load acting on the wall, iii) inter-story drift, iv) flexibility parameter of the wall and v) slenderness of the wall on the behavior of masonry infill walls are investigated by performing the required calculations. In addition, infill walls were modelled as simply supported vertical plate and their out-of-plane inertia force strengths studied by using this model. At the end of the chapter, the effects of some parameters ignored in the analysis are discussed and “arching action model” for resistance of walls to out-of-plane forces is briefly explained.

The conclusions drawn from this study within the assumptions and limitations are given in the sixth chapter and summarized below briefly.

- (a) The conclusions obtained in this study by using a model in which walls resist the loads acting upon them with their small bending rigidity might be assumed as lower bounds for behaviors and strengths of walls.
- (b) According to the model used in this study, high out-of-plane inertia forces form a heavy loading condition for masonry infill walls. Out-of-plane inertia force strengths for walls obtained from this model are quite small.
- (c) Vertical inertia forces form a positive effect on the behavior of walls when they act downward, but, on the contrary, form a negative effect when they act upward. However, the effects of vertical inertia forces on the behavior of walls are much less important than those of out-of-plane inertia forces.
- (d) There is a considerable positive effect of vertical load imposed upon wall on the behavior and strength. But, high inter-story drifts affect behavior very badly.
- (e) When all of the other parameters for a wall are constant, change in flexibility parameter,  $\rho H/E$ , affects mostly the lateral displacements of wall. Effect of the change in this parameter on out-of-plane inertia force strength of wall is less.
- (f) Within the walls which have the same parameters except for slenderness, the more slender ones are more vulnerable to out-of-plane earthquake effects.
- (g) Walls located in the structures in which inter-story drifts are small enough might be modelled as vertical plates simply supported at the level of upper and lower beams under the effect of out-of-plane inertia forces. For walls, this model gives higher out-of-plane inertia force strengths than the main model does.
- (h) Masonry infill walls have good resistance to out-of-plane inertia forces provided that the structure have high lateral rigidity, surrounding frame members have sufficient rigidity and a good contact have been provided with these members. However, calculation of out-of-plane inertia force strengths of walls which lack these conditions might be more realistic with an appropriate model introduced in this study.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Konu

Betonarme ve çelik iskeletli yapılarda farklı kullanım alanlarının birbirinden ayrılması ve yapı cephesinin oluşturulması ve bunlarla birlikte kullanım alanlarının ısı, nem ve ses gibi tesirlerden yalıtılması çok kere çerçeve gözleri içine inşa edilen kargir dolgu duvarlar sayesinde sağlanmaktadır. Dolgu duvarlar genellikle esas taşıyıcı sistemin tamamlanmasından sonra inşa edildiğinden kargir bu iş için ideal bir malzemedir [1].

Düşey yüklerin taşınması açısından kargir dolgu duvarlar esas taşıyıcı sistem için ilâve yüke sebep olan ve genellikle düşey yük taşıma kapasitesine herhangi bir katkısı olmayan, ikincil veya taşıyıcı olmayan elemanlar durumundadırlar. Ancak yapının düşey yüklere ek olarak deprem ve rüzgâr yükleri gibi özel yüklere maruz kalması halinde durum farklıdır. Böyle durumlarda, çerçeve ile aralarındaki bağlantı durumu ve kargir malzemenin özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak dolgu duvarlar esas taşıyıcı sistemin davranışı üzerinde etkili bir hale gelirler [1-8].

Deprem hareketinin çok eksenli olma özelliğinden dolayı bir depremde kargir dolgu duvarlar eşzamanlı düşey, düzlem içi ve düzleme dik etkilere maruz kalırlar. Dolgu duvarın düzlemine dik etkiler, düzleme dik atalet kuvvetleri ile bu doğrultudaki katlar arası görelî ötelenme etkisinin toplamı şeklinde ortaya çıkar [2,9,10].

Çerçeveli yapılarda, yapıya önemli yatay rijitlik sağlamaları ve dolayısıyla P- $\Delta$  etkilerinin azaltılmasına katkıda bulunmaları ve ayrıca önemli yatay dayanım sağlamalarından dolayı, kargir dolgu duvarların düzlem içi yatay yük – deformasyon davranışlarının gerçekçi bir şekilde anlaşılması için oldukça çok sayıda deneysel, sayısal ve teorik çalışma yapılmıştır. Davranışın karışıklığından dolayı özellikle deneysel çalışmalar üzerinde yoğunlaşmış ve bunlardan elde edilen bilgilerden

yararlanılarak dolgulu çerçevelerin rijitlik ve dayanım gibi özelliklerinin belirlenmesi için hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda, dolgu duvarda çekme ve basınç diyagonallerinin olduğu ve duvarın düzlem içi etkinliğinin özetle bu basınç diyagonallerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [2,4-7,9].

Kargir duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri için çözümü ise sismik analizin en karışık ve anlaşılması zor alanlarından biri olarak tanımlanmaktadır. Problemin karışıklığı, davranışın başlıca çatlama ve malzeme kırılması yerine kararlılığın yitirilmesi ile kontrol edilen yüksek dereceden non-lineer olması durumundan kaynaklanmaktadır [2].

Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik deprem kuvvetleri altında davranışlarının incelenmesi konusunda da, düzlem içi kuvvetlerinki kadar olmasa da, oldukça çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu, depremin sebep olduğu atalet etkisine ve rüzgâr etkisine benzetmek için duvarın düzlemine dik düzgün yayılı kuvvetler altındaki davranışı üzerinde yoğunlaşmıştır. Çoğu deneysel olan bu çalışmaların hemen hepsinde dolgu duvarın etrafındaki çerçevenin sabit olması durumu gözönüne alınmış ve duvarın düzlemine dik kuvvetlere karşı direncinin duvar içinde oluşan düşey ve/veya yatay kemerlenme etkilerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [9,11]. Kargir dolgu duvarlar, özellikle yeterli yatay rijitliğe sahip olmayan yapılarda bulunanlar, bir deprem sırasında kaçınılmaz olarak katlar arası görelî ötelenme etkisine de maruz kalırlar. Ancak yapılmış çalışmaların çoğunda bu etki gözardı edilmiştir. Halbuki kargir duvarlar üzerinde yapılmış bazı çalışmalarda katlar arası görelî ötelenme etkisinin kargir duvarlar için atalet yüklerinden daha ağır bir yükleme durumu olabileceği belirtilmektedir [9,10].

Dolgu duvarların deprem sırasında etkisi altında kaldıkları düzlemlerine dik atalet kuvvetleri ve düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi birleşik durumu için davranışlarının araştırılması konusunda çok az sayıda deneysel çalışmaya rastlanmıştır. Bu alanda ve düşey atalet kuvvetlerinin de gözönüne alındığı herhangi bir analitik veya sayısal çalışmaya ulaşamamıştır.

## 1.2 Konu İle İlgili Çalışmalara Toplu Bakış

Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik doğrultudaki davranışları konusunda bu güne kadar yapılan çalışmalar, düzlemleri doğrultusundaki davranışları için yapılanlardan daha azdır. Ancak dolgu duvarların düzlemlerine dik doğrultudaki davranışlarının anlaşılması konusundaki ilk çalışmalar ilginin depremlerden çok patlama etkileri olduğu 1940'lı yıllara kadar gider [11].

1956'da McDowell, McKee ve Sevin [12], sınırları rijit kargir duvarlarda kemerlenme etkisi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Onların yöntemleri uçlarından tam sınırlanmış donatısız kargir duvarların, elastik veya elasto-plastik eğilme analizi ile elde edilenlerden çok daha büyük düzleme dik yatay yüklere dayanabileceklerini göstermiştir. McKee ve Sevin [13] bu yöntemi patlama dayanımı için yeni bir tasarım yöntemine uygulamışlardır.

Hendry [14], tuğla duvarların düzlemlerine dik dayanımlarının ortaya çıkmasında kemerlenme etkisinin rolünü vurgulamıştır.

West, Hodgkinson ve Web [15], farklı sınır koşullarına sahip dolgu duvarları düzlemlerine dik yükleme altında deneyerek, dolgu duvar ve çerçeve arasındaki ara yüzey koşullarının duvarın düzlemine dik doğrultudaki dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Wilton ve Gabrielsen [16], [12]'deki tek doğrultudaki kemerlenme etkisi yöntemi ile kendi yaptıkları dinamik deneylerin sonuçlarının uygunluk içinde olduğunu görmüşlerdir. Lefter ve Colville [17], [16]'daki çalışmanın sonuçlarını kullanarak dolgu duvarların düzlemlerine dik doğrultudaki deprem dayanımlarını belirlemek üzere virtüel iş kavramlarına dayanan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Gabrielsen ve Kaplan [18], donatısız kargir duvarların düzlemlerine dik yükleme için dayanımlarının belirlenmesi konusunda yapılan ve sekiz yıl süren bir çalışmanın özetini vermişlerdir. Büyük bir şok tüneli kullanılarak, donatısız kargir duvarlar patlama dalgaları altında denenmiştir. Deney numuneleri olarak dolgu duvarlar kullanılmamış, ancak kemerlenme etkisi oluşturmak için duvarlar kenarlarından sınırlanmıştır. Deney duvarları eğilerek çatlamış ancak yıkılmamıştır. Rijit mesnetli

tuğla duvarların düzleme dik doğrultuda oldukça yüksek dinamik yüklere dayandığı gözlenmiştir.

Anderson [19,20], alt ve üstte mesnetli, düzlemlerine dik doğrultuda düzgün yayılı yükleme altındaki duvar panelleri için kemerlenme etkisine dayanan bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, duvarı çevreleyen elemanların rijitliğinin etkisini, duvar ile çevreleyen elemanlar arasındaki başlangıç aralıklarının etkisini ve duvardaki rötrenin etkisini gözönüne almıştır.

Drysdale ve Essawy [21], beton blok ile inşa edilmiş duvarların düzlemlerine dik eğilmesini incelemişlerdir. Bu amaçla 21 adet tam ölçekli beton blok duvar bir hava yastığı yardımıyla statik olarak etkiyen, düzlemlerine dik düzgün yayılı yükleme altında denenmiştir. Duvarların ilk çatlama ve yıkılma yükü araştırılmış, elde edilen sonuçlar elastik plak analizi ve akma çizgisi analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Dawe ve Seah [22], esnek çelik çerçeveler ve donatısız beton bloklarla inşa ettikleri dokuz deney numunesini bir hava yastığı yardımıyla statik olarak etkiyen düzlemlerine dik düzgün yayılı yükleme altında denemişlerdir. Deney sonuçları kemerlenme etkisinin akma çizgisi analizine dahil edilmesinin duvarlar için daha yüksek dayanımlar verdiğini göstermiştir. Duvarların taşıma gücünü belirlemek için kemerlenme etkisine dayanan bir grup bağıntı önerilmiştir.

Fowler [23], dolgu duvarları delikli tuğla ile inşa edilmiş çelik çerçeveleri sarsma tablası yardımıyla düzleme dik doğrultudaki yükleme altında denemiştir. Deneyde iki adet özdeş dolgulu çerçeve bir düzenek yardımıyla üstte dönmeye karşı tutulmuş, ayrıca sarsma tablasına kütle sağlamak için üstte bir beton plak yerleştirilmiştir. Bu durumdaki kargir dolgu duvarlı çerçeveler üç ayrı düzeydeki benzetilmiş deprem yüklemesi altında denenmiştir. Duvarlar yıkılmadan yüklemelere dayanabilmişlerdir. Deney sırasında çerçeve ve dolgu duvarın alt ve üstte birlikte hareket ettiği, buna karşılık arada farklı hareketler olduğu gözlenmiştir. Çelik kolonlar üstteki dönme kısıtlamasından dolayı eğriliğe maruz kalmış, dolgu duvarların şekil değiştirmiş formu ise hemen hemen doğrusal olmuştur.

Abrams, Angel ve Uzarski [11], donatısız kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik doğrultudaki dayanımlarını belirlemek için bir dizi deney yaparak, deneylerinin sonucunda kemerlenme etkisine dayanan bir analitik model önermişlerdir. Onların

deneylerinin en önemli özelliklerinden biri, bazı numuneleri düzleme dik yükleme altında denemeden önce çeşitli düzeylerde düzlem içi yükleme altında deneyerek, düzleme dik dayanım üzerinde düzlem içi hasarın etkisini incelemek olmuştur. Sonuçta bu etkiyi belirten bir dayanım azaltma faktörü önermişlerdir. Düzleme dik yüklemeyi bir hava yastığı yardımıyla statik olarak uygulamışlardır. Ayrıca deneylerinde dolgu duvar narinliğini, kargir birim türünü ve harç türünü parametre olarak seçmişlerdir. Deneylerinin sonucunda yeterince rijit sınırlara sahip dolgu duvarların, düzlemlerine dik doğrultuda oldukça yüksek atalet yüklerine dayanabileceklerini belirtmişlerdir.

Lee, Pande, Middleton ve Kralj [24], düzlemlerine dik düzgün yayılı yatay yükler altındaki tuğla kargir panellerin üç boyutlu sayısal çözümünü yaparak, hesaptan elde ettikleri sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Analizlerinde tuğla duvarın elastik davranışını modellemek için iki aşamadan oluşan bir homojenleştirme tekniği kullanmışlardır. Homojenleştirmenin ilk aşamasında tuğla birimler düşey derzlerle homojenleştirilmiştir. Daha sonra bu ortam yatay derzlerle homojenleştirilerek kargir'in eşdeğer malzeme özellikleri elde edilmiştir. Analizlerinde çatlama olayını da gözönüne almışlardır. Boşluklu ve boşluksuz dikdörtgen kargir paneller için hesap ve deney sonuçlarının büyük bir uygunluk içinde olduğunu gözlemişlerdir. Ayrıca geliştirdikleri sayısal hesap yönteminin düzlemlerine dik yükleme altında bulunan herhangi bir geometri ve sınır koşullarına sahip kargir panellerin fiziksel davranışlarının belirlenmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Flanagan ve Bennett [9], dolgu duvarları delikli tuğla ile inşa edilmiş çelik çerçevelerin düzlem içi – düzleme dik iki doğrultu davranışlarını ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Düzlem içi ve düzleme dik kuvvetlerin etkileşimini belirlemek ve hasarlı dolgu duvarların davranışını anlamak için oldukça kapsamlı bir deneysel çalışma yapmışlardır. Deneyler düzlem içi, düzleme dik düzgün yayılı yük, düzleme dik görelî ötelenme, ardışık yükleme; düzleme dik yüklemeyi takiben düzlem içi yükleme ve düzlem içi yüklemeyi takiben düzleme dik yükleme, birleşik bir düzlem içi ve düzleme dik yükleme ve bir sarsma tablası deneyinden ibaret olmuştur. Düzleme dik görelî ötelenme deneyleri için iki tane dolgu duvarlı çelik çerçeveden biri üstte ve diğeri çerçevenin orta yüksekliğinde statik olarak uygulanan çevrimsel düzleme dik deplasmanlara maruz bırakılmıştır. Çerçevelerden birincisi bir konsol eğrilğine, ikincisi ise bir kiriş eğrilğine maruz bırakılmıştır. Birinci çerçevede, üstte

uygulanan en büyük yük değerinde dolgu duvarın tabanında belirgin bir yatay çatlak ve bu çatlağın üzerindeki birkaç yatay derzde ince çatlaklar gözlenmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve arasındaki düşey arayüzey, duvar ile kolonlar hareket ederken bozulmadan kalmıştır. Deney ölçümleri, verilen bir yükseklik için duvar ve çerçevenin hemen hemen aynı düzleme dik hareketi yaptıklarını göstermiştir. Ötelenmeler yükseklik boyunca doğrusala yakın olmuştur. Bu durum görelî yatay ötelenme yüklemesi esnasında taban dönmesinin meydana geldiğini, dolayısıyla taban plağının ankastreden çok mafsallıya yakın olduğunu göstermiştir. İkinci çerçeve üstte deplasmana karşı tutulmuş ve orta yükseklikte yatay yük uygulanmıştır. En büyük yük değerinde, dolgu duvarda orta yüksekliğe yakın yatay derzlerde ince yatay çatlaklar ve duvarın üst yarısındaki düşey derzlerde ise düşey kılcal çatlaklar gözlenmiştir. Deneyler sonucunda, etrafındaki çerçeve ile arasında iyi temas sağlanmış donatısız kargir dolgu duvarların hem düzlemlerine dik atalet yükleri hem de öngörülen görelî yatay ötelenme yüklemesi altında dayanım ve kararlılıklarının oldukça iyi olduğu ve bunun büyük ölçüde duvar içinde oluşan kemerlenme etkisinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Birleşik düzlem içi – düzleme dik yüklemeler altında da duvarların oldukça iyi bir dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Bunun da yine kemerlenme ve ayrıca bu durumda ortaya çıkan diyagonal itki kuvvetlerinin duvara bir öngerme etkisi sağlamalarından kaynaklandığı gözlenmiştir.

Flanagan ve Bennett'in yaptığı düzleme dik doğrultudaki dinamik görelî ötelenme yüklemesi esnasında ise duvar ve çerçeve kolonları arasındaki bağın çözüldüğü gözlenmiştir. Böylece düzlemine dik deprem yükleri altında bulunan kargir dolgu duvarlı çerçevelerde, dolgu duvarın duvar yüksekliği boyunca çerçevenin hareketlerini izlemesinin beklenemeyeceği, duvarın sadece üstünün ve altının kendisini çevreleyen çerçevenin hareketlerini takip edebileceği sonucu çıkarılmıştır.

Yukarıda özetlenen çalışmalar arasında sadece [9] ve [23]'ün kargir dolgu duvarların görelî kat ötelenmesi etkisi altındaki davranışlarını incelediği, diğer çalışmaların çoğunun duvarı çevreleyen çerçeve sabit iken bu dolgu duvarın salt düzlemine dik dayanımını araştırdığı görülmektedir.

### 1.3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetlerinden oluşan birleşik yükleme etkileri altındaki davranışlarının araştırılmasıdır.

İkinci bölümde kargir dolgu duvarlar hakkında genel bir bilgi verilmekte ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan kargir dolgu duvar malzemelerinin özellikleri anlatılmaktadır. Hesap yöntemi üçüncü bölümde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde duvarların davranışlarının belirlenmesinde gözönüne alınan yükleme parametreleri ile geometrik, fiziksel ve mekanik özelliklerle ilgili parametreler verilmiştir. Beşinci bölümde yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar ve bunların irdelenmesi bulunmaktadır. Bu bölümde ayrıca hesapta gözönüne alınmamış bazı parametrelerin duvar davranışı üzerindeki etkilerinin ne olabileceği açıklanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ise altıncı bölümde özetlenmiştir.

Ek 1’de, beşinci bölümde sunulan ve irdelenen parametrik incelemelere ait grafikler verilmiştir. Ek 2’de ise sayısal hesapların yapılması için hazırlanan ve C++ dilinde kodlanan bilgisayar programlarının listesi bulunmaktadır.

## **2. KARGİR DOLGU DUVARLAR VE MALZEMELERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ**

### **2.1 Genel Açıklamalar**

Betonarme ve çelik iskeletli yapılarda çerçeve gözleri içine örülen kargir dolgu duvarlar yapıda amaçlanmış olan farklı kullanım alanlarını birbirinden ayırmak ve yapı cephesini oluşturmak için inşa edilmekte ve bu sayede kullanım alanlarının ısı, nem ve ses gibi tesirlerden yalıtılmasını da sağlamış olmaktadır. Dolgu duvarlar bu işlevlerini yerine getirirken normal halde kendi ağırlıklarından başka bir yük taşımazlar. Sadece duvar üst kesitine kirişten gelen bir miktar yük olabilir. Ancak bir deprem sırasında bu duvarlar depremin sebep olduğu düzlem içi, düzleme dik ve düşey atalet kuvvetlerine, duvar ile kendisini çevreleyen çerçeve arasındaki düzlem içi etkileşim kuvvetlerine ve düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisine de maruz kalırlar. Ayrıca bina cephesini oluşturan dış duvarlar, bir rüzgâr durumunda ortaya çıkan ve duvar yüzeyine dik olarak düzgün yayıldığı kabul edilen rüzgâr basıncına da güvenle dayanabilmelidir [2,25].

Ülkemizde inşa edilen kargir dolgu duvarlarda kullanılan duvar malzemesi geniş bir çeşitlilik göstermektedir. En yaygın duvar malzemeleri yatay delikli tuğla, gazbeton duvar blokları ve beton briket olmakla birlikte, düşey delikli tuğla, beton blok ve hatta taş kullanıldığı dahi olmaktadır [25,26]. Ayrıca işçilik kalitesi başta olmak üzere, dolgu duvarın geometrik şekli ve inşa ediliş amacı da farklılıklar gösterebilmektedir. Çerçeve gözlerini doldurmak maksadıyla üretilip kullanılan çeşitli duvar panelleri de mevcuttur. Ancak bu tür paneller bu çalışmanın kapsamı dışında olduğundan bunlardan bahsedilmeyecektir.

Bu bölümde özel olarak kargir dolgu duvarlar hakkında genel bir bilgi verilmekte ve bu duvarların basınç ve çekme dayanımlarından bahsedilmektedir. Ayrıca ülkemizde kullanımı yaygın olan dolgu duvar malzemeleri ve bunlarla ilgili çeşitli özellikler kısaca anlatılmaktadır.

## 2.2 Tanımlar

Ülkemizde yığma kargir ve yarım kargir yapılarıdaki duvarlar ile betonarme ve çelik iskeletli yapılarıdaki taşıyıcı olmayan kargir duvarların tasarım ve hesaplanması ile yapılmasında gözönünde bulundurulması gereken kurallar “Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları” adlı TS 2510 standartında belirlenmiştir [25]. Bu standartta kargir duvar, doğal taşların veya tuğla, beton briket, gazbeton blok vb. yapay taşların, kireç, çimento vb. bir mineral bağlayıcı ile yapılmış harç kullanılarak örülmesi yolu ile oluşturulan yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Aynı standartta harcın tanımı ise mineral bağlayıcılar, kum ve yeterli miktardaki suyun ve gerektiğinde harcın özelliklerini geliştirmek amacı ile kullanılan katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilen ve ana görevi kargir birimleri birbirine bağlamak olan yapı malzemesi şeklinde verilmektedir. Bu çalışmada ele alınan kargir dolgu duvarlar ise bu standartta “taşıyıcı olmayan duvarlar” sınıfına konulmakta ve yapıda kendi ağırlığından başka herhangi bir yük taşımayan duvarlar olarak tanımlanmaktadır. Ancak böyle tanımlanmalarına karşılık, meydana gelebilecek deprem etkisi, rüzgâr yükü vb. yatay yükleri, yanında bulunan ve temas halinde oldukları taşıyıcı duvar, döşeme plağı, kiriş, kolon vb. yük taşıyabilen yapı elemanlarına güvenle iletebilecek şekilde yapılmış olmaları gerektiği vurgulanmaktadır.

Bu çalışma açısından önemli kavramlardan biri olan duvar narinliği ise bir duvarın ardışık iki döşeme plağı veya kiriş ya da hatıllar arasında kalan kısmının gerçek yüksekliğinin duvar anma kalınlığına oranı olarak tanımlanmaktadır.

TS 2510’da çerçeve gözü içine örülen kargir dolgu duvarlar “taşıyıcı olmayan dış duvarlar” ve “taşıyıcı olmayan iç duvarlar” olarak iki grupta ele alınmaktadır. Standartta bu duvarlarla ilgili olarak aşağıdaki hususlar yer almaktadır.

Taşıyıcı olmayan dış duvarlarda, duvarın içinde yer aldığı iki kolon ve ardışık iki kirişin çevrelediği çerçeve gözünün açıklık ve yüksekliği ile bu gözün temel üst kotundan yüksekliği bunların düzenlenmesinde ve projelendirilmesinde önem taşır. Böyle bir çerçeve gözünde yer alan taşıyıcı olmayan duvarın açıklık ve yüksekliğinden büyük olanının küçüğüne oranı (e) ile gösterilirse, taşıyıcı olmayan dış duvarlar için herhangi bir hesap tahkikin yapılması gerekmeden yapılabilecek en büyük duvar alanları  $m^2$  olarak, (e) oranına ve duvarın yerden yüksekliği ile

duvarın kalınlığına bağılı olarak Tablo 2.1’de gösterilmektedir. Tablo 2.1’de (e) oranının 1 ve 2 değerlerinin karşılıkları verilmiştir. (e) oranının 1 ve 2 arasındaki değerlerine karşı gelen en büyük duvar alanı büyüklükleri enterpolasyon yapılarak bulunur. Duvarın temel üst kotundan yüksekliği bulunurken duvarın oturduğu döşeme kotu gözönünde tutulur.

**Tablo 2.1** TS 2510’a göre taşıyıcı olmayan dış duvarların en büyük yapım alanları (m<sup>2</sup>)

| Duvar Kalınlığı (cm) | Duvarın Temel Üst Kotundan Yüksekliği |       |          |       |        |       |
|----------------------|---------------------------------------|-------|----------|-------|--------|-------|
|                      | < 8 m                                 |       | 8 ~ 20 m |       | > 20 m |       |
|                      | e = 1                                 | e ≥ 2 | e = 1    | e ≥ 2 | e = 1  | e ≥ 2 |
| 9                    | 9                                     | 7     | 7        | 4     | 6      | 3     |
| 19                   | 22                                    | 15    | 15       | 10    | 10     | 6     |
| 29                   | 38                                    | 30    | 30       | 20    | 20     | 15    |

Tablo 2.1’de verilen sınır değerleri aşmayan ve çevredeki kiriş, kolon ve döşeme gibi taşıyıcı yapı elemanlarına bitişik olan ve yapımında A, B veya C grubu harç kullanılmış bulunan taşıyıcı olmayan dış duvarlar için herhangi bir statik tahkik yapılması gerekmez. Bu gibi duvarların, binanın kiriş, kolon ve döşeme gibi taşıyıcı kısımlarına temas halinde bulunan bölümlerinin örülmesi sırasında taşıyıcı kısımlar ile iyi bir bağlantı sağlanmalı ve değme yerlerinde oluşan derzler duvarın örülmesinde kullanılan harç ile sıkıca doldurulmalıdır.

Taşıyıcı olmayan iç duvarların kat döşemelerinin yapımından sonra örüleceği ve genellikle bu döşemelere yük olarak etki yapacağı gözönünde tutulmalı ve olabildiği kadar hafif malzeme kullanılmalıdır. Bu duvarların ağırlıkları, varsa sıva ve kaplama dahil 7 kN/m’den büyük olmamalıdır.

Taşıyıcı olmayan iç duvarların döşemeler yerine taşıyıcı betonarme veya çelik kirişlere oturtulması halinde ağırlıkları 7 kN/m’den büyük olabilir. Bu duvarların döşemelere oturtulması halinde uzunlukları 4 m’yi aşmamalı ve örme sırasında A veya B grubu harçlar kullanılmalıdır.

Yukarıda A, B ve C grubu duvar harçlarından bahsedilmektedir. TS 2510’da harca giren bileşenlerin hacimsal miktarlarına göre A, B, C, D ve E olarak adlandırılan beş tür harç belirtilmektedir. Bunlar Tablo 2.2’de verilmiştir.

**Tablo 2.2** TS 2510’da verilen duvar harcı karışımları (hacim olarak)

| Harç Grubu |   | Kum | Çimento | Harç Çimentosu | Kireç Hamuru | Toz Kireç |
|------------|---|-----|---------|----------------|--------------|-----------|
| A          | – | 3   | 1       | –              | –            | –         |
| B          | 1 | 4   | 1       | –              | –            | –         |
|            | 2 | 4   | 1       | 1/2            | –            | –         |
|            | 3 | 4   | 1       | –              | –            | 1/2       |
|            | 4 | 4   | 1       | –              | –            | 1         |
| C          | 1 | 7–9 | 1       | 2              | –            | –         |
|            | 2 | 5   | 1       | –              | –            | –         |
|            | 3 | 5   | 1       | –              | 1            | –         |
| D          | 1 | 6–8 | 1       | –              | 2            | –         |
|            | 2 | 6–8 | 1       | –              | –            | 3         |
|            | 3 | 2–3 | –       | 1              | –            | –         |
| E          | – | 3   | –       | –              | 1            | –         |

TS 2510’a göre duvar harcı karışımlarında, harç grubuna göre gerekli agrega ve bağlayıcı madde miktarları hacim olarak Tablo 2.2’de verilen değerlere uygun olmalıdır. Harca, kullanılacağı yere ve koşullara uygun kıvamda olabilmesini sağlayacak miktarda su katılmalı, özel durum ve gerekler dışında, yerleştirildiği derzden akıp giderek derzi kısmen boş bırakacak kadar akıcı olmayan ve kolay işlenebilen plastik bir kıvam gerçekleştirilmelidir. Ülkemizde kargir duvar harçları ile ilgili olarak yayımlanmış olan TS 2848 standardı vardır [27].

TS 2510’da kargir dolgu duvarların örülmesi işleminin ise özetle şu şekilde yapılması gerektiği belirtilmektedir: Kargir birimin duvara konulmasında, önce ince bir kat harç serildikten sonra kargir birim bu harcın üzerine konularak malanın sapı ile ve konulan harç bulunduğu derz aralarından taşacak şekilde hafifçe vurulmalıdır. Bu sırada kırılıp çatlayan kargir birimler duvardan alınarak yerlerine sağlam olanları konulmalıdır. Gerek birbirinin üstüne gelen sıralardaki ve gerekse aynı sıradaki düşey derzler birbirinden şaşırtılmalı ve bu şaşırtmada binme payları 4,5 cm’den az olmamak koşulu ile kargir birim yüksekliğinin %40’ından küçük olmamalıdır. Örülme sırasında gerek düşey ve gerekse yatay derzlerin harç ile iyice doldurulmasına dikkat edilmelidir.

Kargir dolgu duvarlar genellikle tek sıra halinde örülmektedir. Çift sıra halinde örme nadiren yapılmaktadır. Ancak genellikle yatay delikli tuğla kullanılarak iki sıra halinde örülen ve ısı yalıtımı amacı ile arasına yalıtım malzemesi konulan cephe duvarları oldukça yaygın bir şekilde yapılmaktadır. Bu tür duvarlarda çoğunlukla iç ve dış duvar arasında bağlantıyı sağlayacak bir düzenek olmamakta ve deprem etkileri altında böyle duvarların özellikle düzlemleri dışına yıkılma riskleri yüksek olmaktadır. Bu nedenle bu tür duvarların yapılmasının gerekli olduğu hallerde iç ve dış duvarın birlikte çalışmasını sağlayacak bir bağlantı düzeni yapılmalıdır [28]. Zorunlu haller dışında, dolgu duvarlar tek sıra olarak inşa edilmelidir.

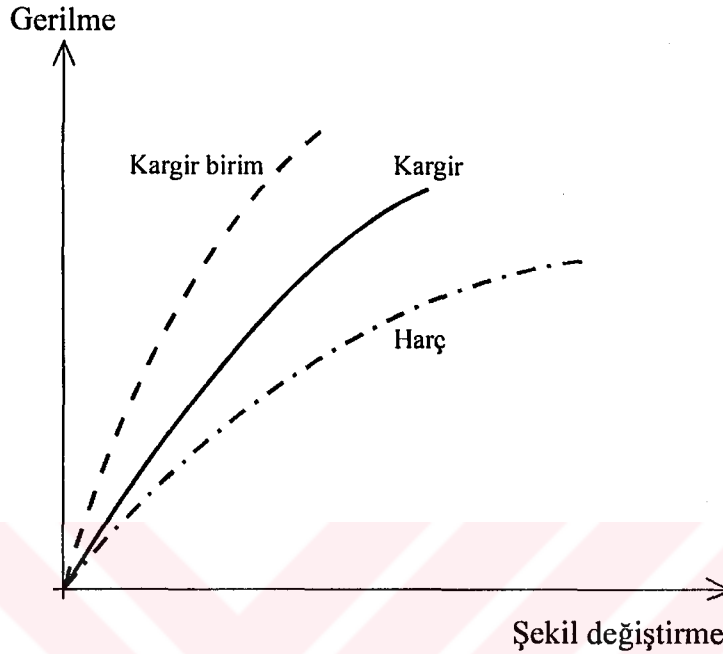
### **2.3 Kargir Dolgu Duvarların Basınç ve Çekme Dayanımı**

Kargir dolgu duvarlar normal halde kendi ağırlıklarının etkisi altındadırlar. Bunun yanında duvar üzerine kırıktan gelen bir miktar düşey yük olabilir. Bu durumlardan dolayı duvar yatay kesitlerinde sadece basınç gerilmeleri oluşur. Bir deprem sırasında ise duvarın maruz kaldığı düşey, düzlem içi ve düzlemine dik deprem etkileri nedeniyle bu kesitlerde basınç gerilmeleri yanında çekme ve kayma gerilmeleri de meydana gelir [1,2]. Duvar için önemli olabilecek kayma gerilmeleri bu çalışmada hesaba dahil edilmeyen duvar düzlemi içindeki yatay deprem etkilerinden dolayı meydana gelmektedir. Duvarın davranışının belirlenmesinde gözönüne alınan etkiler altında duvar yatay kesitlerinde yalnızca basınç ve çekme gerilmeleri olduğundan, kayma gerilmeleri düşük düzeylerde kaldığından, burada duvarın sadece basınç ve çekme gerilmeleri altındaki davranışından ve dayanım özelliklerinden kısaca bahsedilmektedir.

Kargir birim ve harç gibi dolgu duvar malzemeleri genel olarak gevrek yapıya sahip malzemelerdir. Dolayısıyla gevrek yapılı malzemeler için karakteristik olan basınç dayanımı kargir dolgu duvarlar için de en önemli mekanik mukavemet parametresi olarak görülebilir.

Kargir duvar numuneleri üzerinde düşey basınç kuvveti etkisinde yapılmış bir çok deneyde numunelerin basınç dayanımının kargir birim ortalama dayanımından küçük, harç dayanımından ise büyük çıktığı gözlenmiştir [29,30,31]. Örneğin Ali ve Page [29] tarafından düşey tekil yük altındaki tuğla kargir duvarların basınç

dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılan böyle bir çok deneyden elde edilen ve Şekil 2.1’de gösterilen gerilme – şekil değiştirme eğrileri bu durumu oldukça net bir şekilde göstermektedir. Bu şekilden kargir duvarın gerilme – şekil değiştirme bağıntısının doğrusal olmadığı da görülmektedir.



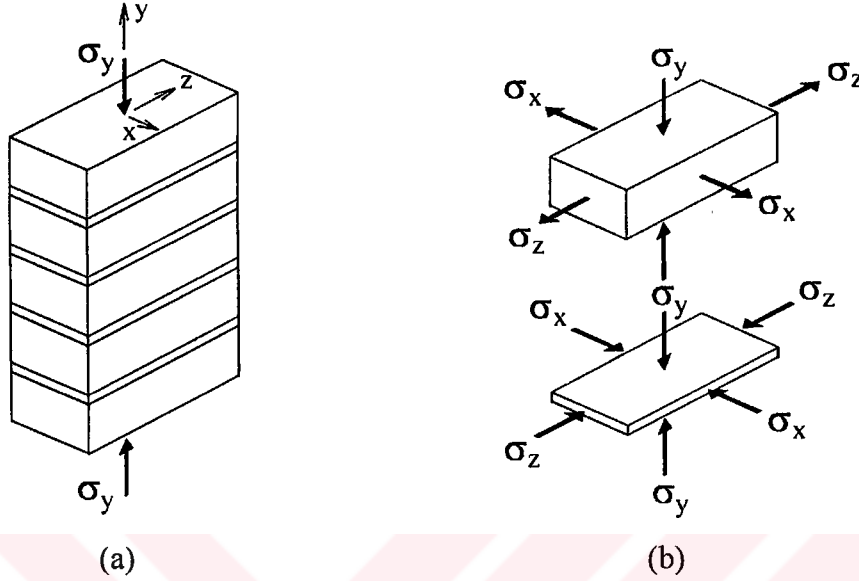
**Şekil 2.1** Düşey basınç etkisindeki bir kargir duvar numunesinde, kargir birim, harç ve kargir için ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Duvar da gerilmelerin kargir birimler arasındaki geçişi harç sayesinde sağlanır. Kargir birim ve harç yük doğrultusunda kısalır, yüke dik doğrultuda ise genişler. Bu genişleme harçta daha büyüktür. Bu yüzden, Şekil 2.2(b)’de gösterildiği gibi yanal doğrultuda harçta basınç ve kargir birimde çekme gerilmeleri doğar. Sonuçta harcın basınç dayanımı artarken kargir birimin basınç dayanımı serbest basınç dayanımının altına düşer [31-33].

Duvarların basınç dayanımı başta duvarı oluşturan kargir birim ve harcın basınç dayanımı gibi ölçülebilen parametrelere bağlıdır. Bunun yanında derz kalınlığı, işçilik ve duvar elemanının boyutları gibi faktörler de duvarların basınç dayanımına etki etmektedirler [1,2,25,30-33].

Kargir duvarların basınç dayanımı pratik olarak kullanılan kargir birimin basınç dayanımının bir yüzdesi olarak alınmaktadır ve bu yüzdenin %25 ~ 50 civarında olduğu bilinmektedir. Yüksek duvar dayanımı elde etmek için dayanımı yüksek

kargir birim kullanmak gerekmele birlikte, deneyler duvar dayanımının kargir birim dayanımı ile aynı oranda artmadığını da göstermiştir. Ayrıca harç dayanımının artması duvar dayanımı üzerinde belli bir harç dayanımından sonra etkili olmamaktadır [1,2,30,31].



**Şekil 2.2** (a) Düşey basınç etkisindeki kargir prizma, (b) Kargir birim ve harç için gerilme durumu

Deneyler derz kalınlığı, özellikle yatay derzlerin kalınlığı arttıkça duvarın basınç dayanımının azaldığını göstermiştir [25,30-33]. Bu yüzden TS 2510'da [25] kargir duvarlarda derzlerin olabildiğince ince yapılması, düşey derzlerin 1 cm'den ve yatay derzlerin ise 1.5 cm'den daha kalın olmaması gerektiği belirtilmektedir. Ancak derz kalınlıkları azaltılırken kargir birimlerin doğrudan doğruya birbirlerine değmemeleri, iki birim arasında mutlaka bir derz harcı tabakasının bulunmasının sağlanması gerektiği vurgulanmaktadır.

Kargir'in basınç dayanımı üzerinde işçiliğin etkisi özellikle düşük dayanımlı kargir birim ve harç kullanılması durumunda belirgindir. Kötü işçilik, derzlerin uygun şekilde doldurulmaması ve kargir birimlerin düzgün yerleştirilmemesi gibi durumlar şeklinde ortaya çıkmaktadır [25,30,34].

Kargir dolgu duvarlarda basınç gerilmeleri, duvarların bizzat taşıyıcı olduğu yığma kargir yapılarıdaki gerilmelere kıyasla oldukça düşüktür. Dolayısıyla bu duvarlar için Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi gerilme – şekil değiştirme bağıntısının doğrusala

oldukça yakın olan başlangıç bölümünün gözönüne alınması mümkündür. Bu durumdan hareketle bu çalışmada kargir dolgu duvarların hesapta gözönüne alınan yükleme durumları altında doğrusal bir gerilme – şekil değiştirme bağıntısına sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım, Bölüm 3.4.7’de açıklandığı gibi kesitlerin moment – eğrilik bağıntılarının basit şekilde yazılmasına olanak vermekte, dolayısıyla hesabın oldukça kolay bir hale gelmesini sağlamaktadır. Doğrusal olmayan bir gerilme – şekil değiştirme bağıntısının gözönüne alınmasıyla hesabın biraz daha zorlaşacağı açıktır.

Ayrıca Bölüm 3.2’de de belirtildiği gibi bu çalışmada kargir birim ve harçtan oluşan kargir dolgu duvar ortamı, basınç dayanımı ezilme olmayacak kadar yüksek olan homojen bir ortam olarak varsayılmaktadır. Bu varsayımlardan birincisi yine kargir dolgu duvarlarda basınç gerilmelerinin genel olarak düşük düzeyde olması düşüncesinden kaynaklanmaktadır. Bu varsayımlar da hesabı oldukça kolaylaştırmaktadır. Aksi halde özellikle kargir birimin, harcın ve bunların arayüzeylerinin farklı elastik özelliklerinin gözönüne alınması durumunda hesabın ne kadar karışık hale geleceği açıktır.

Kargir duvar elemanların çekme dayanımlarının belirlenmesi konusunda da bir çok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu eğilme yoluyla çekme dayanımını elde etme üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu amaçla inşa edilen duvar numuneleri yatay derzlere dik ve paralel etkiyen eğilme momentleri altında denenmiştir [1,35,36].

Yatay derzlere dik eğilme momentleri altında denenilen duvar numunelerinde kırılmaların harç birleşiminde veya kargir birim ile harç arasındaki arayüzeyde ya da kısmen harçta, kısmen arayüzeyde ve kısmen de kargir birimde meydana geldiği gözlenmiştir. Kargir duvarın çekme dayanımını etkileyen en önemli faktörlerin harç çekme dayanımı ve arayüzey dayanımı olduğu belirlenmiştir [1,35]. Ayrıca kargir duvarın çekme dayanımı üzerinde derz kalınlığı ve kargir birim dayanımının da etkili olduğu belirlenmiştir. Deneyler yatay derz kalınlığı arttıkça ve kargir birimin dayanımı azaldıkça duvarın eğilme çekme dayanımının azaldığını göstermiştir [35].

Yatay derzlere paralel eğilme momentleri altında denenilen duvar numunelerinde kırılmaların iki şekilde ortaya çıktığı gözlenmiştir. Birinci tipte, eğilme momenti etkisi ile oluşan çatlak ardışık olarak düşey derz ve kargir birimden geçen şekilde meydana gelmektedir. İkinci tipte ise çatlak kargir birimleri kesmeden birimlerin

etrafındaki düşey ve yatay derzleri izleyen şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu ikinci tip kırılma daha çok kargir birimin dayanımının yüksek olduğu durumlarda gözlenmektedir [35]. Aynı bir kargir duvar numunesi için yatay derzlere paralel eğilme altında, derzlere dik eğilmeden elde edilen çekme dayanımının 3 ile 6 katı arasında değişen bir çekme dayanımı elde edilmiştir. Bunun sebebinin kargir birimler arasındaki kilitlenme ve sürtünme olduğu anlaşılmıştır [35].

Özetle gevrek yapıli malzemelerin hemen hepsinde olduğu gibi kargir duvar numunelerinde de çekme dayanımının basınç dayanımına kıyasla oldukça düşük olduğu sonucu elde edilmiştir.

Bu çalışmada kargir dolgu duvarların davranışlarının belirlenmesinde gözönüne alınan yükleme durumları altında, duvarda yatay derzlere dik etkiyen eğilme momentleri doğacaktır. Yukarıda belirtildiği gibi duvarın özellikle bu durumdaki çekme dayanımı oldukça düşüktür. Bu nedenle bu çalışmada güvenli tarafta kalınarak kargir dolgu duvarların oldukça düşük olan çekme dayanımları ihmal edilmekte, başka bir deyişle çekme dayanımlarının sıfır olduğu varsayılmaktadır.

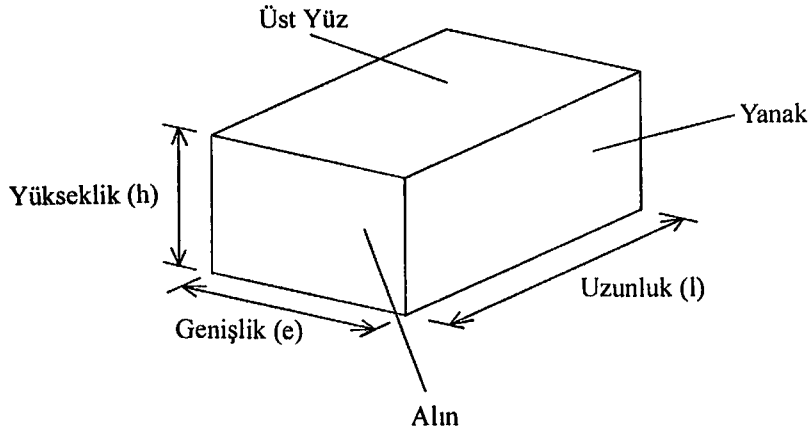
## **2.4 Ülkemizde Kullanılan Kargir Dolgu Duvar Malzemeleri ve Bunların Çeşitli Özellikleri**

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan kargir dolgu duvar malzemeleri, fabrika tuğlaları, gazbeton duvar blokları ve beton briketlerdir. Fabrika tuğlaları için TS 705, TS 4377 ve TS 4563 standartları, gaz ve köpük beton yapı malzeme ve elemanları için TS 453 standardı ve beton briketler için TS 406 standardı vardır. Kargir duvar harçları için ise daha önce belirtildiği gibi TS 2848 standardı geçerlidir.

### **2.4.1 Fabrika Tuğlaları**

TS 705’de [37] fabrika tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütölmüş tuğla ve kiremit tozu, kül ve benzerleri karıştırılarak makinalarda şekillendirildikten ve genellikle yapay olarak kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan yapı malzemesi olarak tarif edilmektedir. Bu standarta göre tuğla

yüzeyleri, Şekil 2.3’de gösterilmiş olduğu gibi üst yüz, alt yüz, yanak ve alın olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.3 TS 705’e göre tuğla yüzlerinin adları

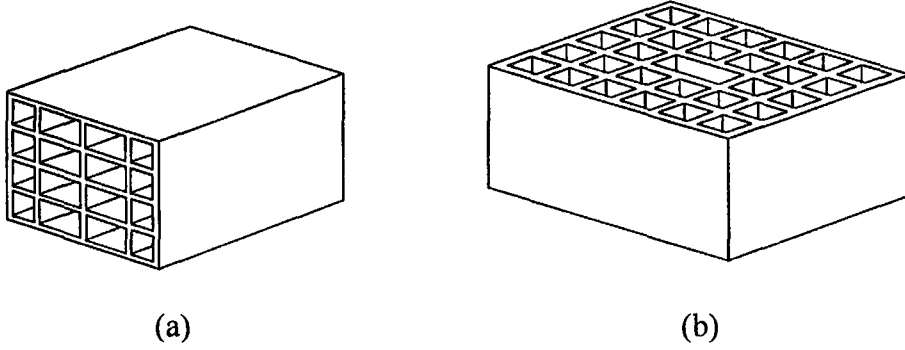
TS 705’de fabrika tuğlaları boyutlarına göre normal tuğla (NT), modüler tuğla (MT) ve blok tuğla (BT) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Normal tuğla anma boyutları 190×90×50 mm olan tuğla, modüler tuğla anma boyutları 190×90×85 mm olan tuğla ve blok tuğla ise anma boyutları modüler tuğladan daha büyük olan en çok 9 MT büyüklükteki tuğla olarak tanımlanmaktadır.

TS 705’de çeşitli özelliklerine göre tuğlalar, cephe tuğlası, dolu tuğla (DOT), düşey delikli tuğla (DDT), yatay delikli tuğla (YDT), dolu klinker tuğlası (DOK), delikli klinker tuğlası (DEK) şeklinde de sınıflandırılmaktadır.

Dolu tuğla aslında bir yığma kargir yapı malzemesi olmasına rağmen 1970’li yıllara kadar ülkemizde en fazla kullanılan dolgu duvar malzemesi olmuştur. Ancak dolu tuğla ülkemizde artık üretilmemektedir ve dolgu ve bölme duvar yapımında bunun yerini yatay ve düşey delikli tuğla, gazbeton duvar blokları ve boşluklu beton briket gibi duvar malzemeleri almıştır.

Ülkemizde duvar yapımında kullanılan ve taşıyıcı özelliği olmayan yatay delikli fabrika tuğlaları ile ilgili olarak yayımlanmış olan TS 4563 standardı vardır [38]. Bu standarta göre yatay delikli tuğla, delik eksenleri alın yüzeyine dik ve hacim ağırlığı 10 kN/m<sup>3</sup> veya daha az olan fabrika tuğlası olarak tanımlanmaktadır. Yatay delikli tuğla ülkemizde dolgu ve bölme duvar yapımında halen en çok kullanılan duvar malzemesidir. Şekil 2.4(a)’da yatay delikli tuğla için şematik bir örnek verilmektedir.

TS 4563 duvar yapımında kullanılan yatay delikli fabrika tuğlalarını boyutlarına, hacim ağırlıklarına, basınç dayanımlarına, alınlılarının harçlanabilme özelliğine ve dona dayanıklı olup olmadıklarına göre sınıflandırmaktadır.



**Şekil 2.4** (a) Yatay delikli tuğla, (b) Düşey delikli tuğla

TS 4563'e göre üretilecek yatay delikli tuğlaların boyutları Tablo 2.3'de verilmektedir. Tabloda bütün tuğla boyutları değil, örnek olması açısından sadece birkaç tanesinin boyutları verilmiştir. Yatay delikli tuğlaların sınıflarına göre hacim ağırlığı değerleri Tablo 2.4'de, sınıflarına göre basınç dayanımları ise Tablo 2.5'de verilmiştir.

**Tablo 2.3** TS 4563'e göre yatay delikli tuğlaların anma boyutları (mm)

| Semboller |                            |                             | Anma Boyutları |              |               |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|---------------|
| Sıra No   | Normal Tuğla Boyutuna Göre | Modüler Tuğla Boyutuna Göre | Uzunluk (l)    | Genişlik (e) | Yükseklik (h) |
| 1         | NT                         | 2/3 MT                      | 190            | 90           | 50            |
| 2         | 1.7 NT                     | MT                          | 190            | 90           | 85            |
| 3         | 2.2 NT                     | 1 1/4 MT                    | 190            | 115          | 85            |
| 4         | 3.4 NT                     | 1 4/5 MT                    | 240            | 145          | 85            |
| 5         | 3.6 NT                     | 2 MT                        | 190            | 190          | 85            |
| 6         | 5.5 NT                     | 2 4/5 MT                    | 240            | 145          | 135           |
| 7         | 5.7 NT                     | 3 MT                        | 190            | 190          | 135           |

Yatay delikli tuğlaların ülkemizde yağma kargir yapıların taşıyıcı duvarlarının yapımında da kullanıldığı bilinmektedir. Bu yanlış bir uygulamadır. Çünkü ülkemizde üretilen yatay delikli tuğlaların boşluk oranı yüksek, basınç ve kesme

dayanımları çoğunlukla düşüktür. Nitekim taşıyıcı duvarları bu tür tuğlalarla inşa edilmiş yapıların depremlerde büyük hasar gördükleri ve hatta yıkıldıkları sıkça görülmüştür.

**Tablo 2.4** Yatay delikli tuğlaların sınıflarına göre hacim ağırlıkları (kN/m<sup>3</sup>)

| Tuğla Sınıfı | Hacim Ağırlığı Değerleri |       |
|--------------|--------------------------|-------|
|              | En çok                   | En az |
| 1.0          | 10                       | 9.01  |
| 0.9          | 9                        | 8.01  |
| 0.8          | 8                        | 7.01  |
| 0.7          | 7                        | 6.01  |
| 0.6          | 6                        | 5.01  |

**Tablo 2.5** Yatay delikli tuğlaların sınıflarına göre basınç dayanımları (N/mm<sup>2</sup>)

| Tuğla Sınıfı | Basınç Dayanımı Değerleri  |                   |
|--------------|----------------------------|-------------------|
|              | Aritmetik Ortalama (en az) | En Küçük Değerler |
| 7.5          | 7.5                        | 6                 |
| 5.0          | 5.0                        | 4                 |
| 2.5          | 2.5                        | 2                 |

Ülkemizde kargir yapıların yapımında oldukça yaygın olarak kullanılan düşey delikli hafif tuğlalar dolgu duvarların yapımında da kullanılmaktadır. Ancak bu tuğlaların dolgu duvar yapımındaki kullanım oranı yatay delikli tuğlaya göre çok daha düşüktür. Düşey delikli hafif fabrika tuğlaları için yayımlanmış olan TS 4377 standartı vardır [39]. Bu standartta düşey delikli hafif tuğla, ısı iletkenliği daha az olacak şekilde ve gerektiğinde gözenekleştirici katkı maddeleri kullanılarak üretilmiş, delik eksenleri üst ve alt yüzlerine dik, hacim ağırlığı 10 kN/m<sup>3</sup> veya daha az olan fabrika tuğlası olarak tarif edilmektedir. Şekil 2.4(b)'de düşey delikli tuğla için şematik bir örnek verilmiştir.

TS 4377 düşey delikli hafif tuğlaları hacim ağırlıklarına, yapılış özelliklerine, basınç dayanımlarına ve dona dayanıklı olup olmadıklarına göre sınıflandırmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi bu tuğlalar aslında yığma kargir yapı tuğlasıdır ve dolgu duvar malzemesi olarak kullanımı gün geçtikçe daha da azalmaktadır.

#### 2.4.2 Gazbeton Duvar Blokları

Ülkemizde gaz ve köpük beton yapı malzeme ve elemanları ile ilgili olarak yayımlanmış olan TS 453 standardı vardır [40]. Bu standarta uygun olarak ülkemizde üretilen gazbeton duvar bloklarına Ytong'un duvar blokları ve Çimentaş - Gazbeton'un duvar blokları örnek olarak verilebilir.

Ytong, yüksek silisli kum, kireç, çimento, su ve alüminyum tozu karışımı ile oluşturulan harcın basınçlı buhar altında sertleştirilmesi ile elde edilen bir yapı malzeme ve elemanıdır. Yapısının yaklaşık %80'i içinde durgun hava bulunan gözeneklerden oluşur. Ytong'un duvar blokları genellikle düz ve geçmeli olarak üretilmektedir. Bu bloklar ile inşa edilen duvarlarda bağlayıcı madde olarak harç veya Ytong tutkalı kullanılabilir. Ytong duvar blokları basınç dayanımlarına göre G1 (1.5 N/mm<sup>2</sup>), G2 (2.5 N/mm<sup>2</sup>), G3 (3.5 N/mm<sup>2</sup>), G4 (5.0 N/mm<sup>2</sup>) ve G5 (7.5 N/mm<sup>2</sup>) olarak beş sınıfa, birim hacim ağırlıklarına göre ise 4 kN/m<sup>3</sup>, 5 kN/m<sup>3</sup>, 6 kN/m<sup>3</sup>, 7 kN/m<sup>3</sup> ve 8 kN/m<sup>3</sup> olarak yine beş sınıfa ayrılmaktadır [40]. Tablo 2.6'da Ytong duvar bloklarının boyutları verilmektedir.

**Tablo 2.6** Ytong duvar bloklarının boyutları (mm)

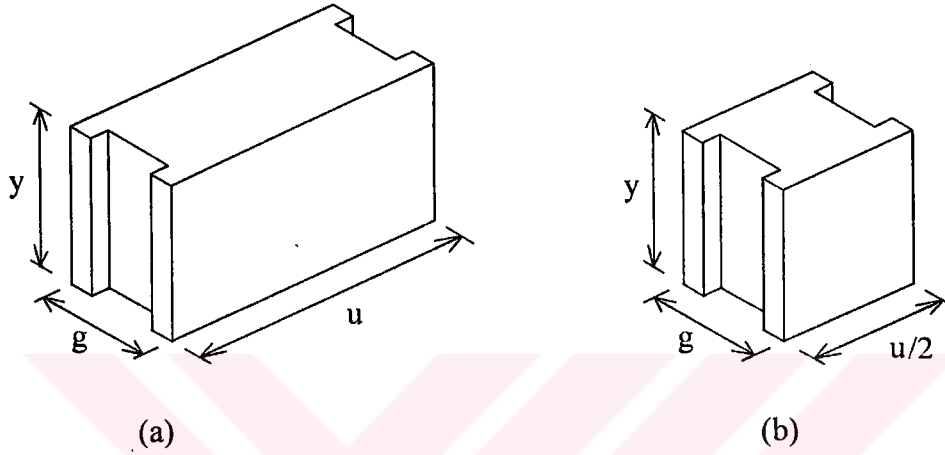
| Duvar Bloğu Tipi                  | Uzunluk            | Yükseklik | Genişlik (Kalınlık)                                                                                       |
|-----------------------------------|--------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tutkalla Uygulanan Duvar Blokları | 250-300<br>500-600 | 250       | 75, 90, 100, 120, 125, 135, 150, 175, 190, 200, 225, 240, 250, 275, 290, 300, 325, 350, 375, 390,..., 500 |
| Harçla Uygulanan Duvar Blokları   | 240-290<br>490-590 | 240       |                                                                                                           |

#### 2.4.3 Beton Briketler

Ülkemizde duvar yapımında kullanılan beton briketler için "Duvarlar İçin Beton Briketler" adı altında TS 406 standardı mevcuttur [41]. Bu standartta duvarlar için beton briket, çimento, çeşitli agregalar, su ve gerektiğinde katkı maddeleri ile belirli şekillerde üretilen, duvar ve benzeri yapı elemanları örmeye yarayan bir yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır.

TS 406'da beton briketler çeşitli yönlerden sınıflandırılmaktadır: Dolu veya boşluklu olmalarına göre; dolu beton briketler (DB), boşluklu beton briketler (BB), basınç

dayanımlarına göre; yüksek dayanımlı beton briketler (Y), normal dayanımlı beton briketler (N), alçak dayanımlı beton briketler (A), briket birim hacim ağırlığına göre; hafif beton briketler (H), yoğun beton briketler (O), kullanıldığı yer ve şekillere göre; normal briketler (tam briketler, köşe briketleri, yarım briketler) ve özel briketler (çift köşe briketleri, pencere kenarı briketleri ve baca briketleri). Şekil 2.5’de tam ve yarım briketler için birer örnek gösterilmektedir. Tablo 2.7’de TS 406’nın öngördüğü briket boyutları verilmektedir.



**Şekil 2.5** (a) Tam briket, (b) Yarım briket

Briket üretimi tuğlanın üretimi kadar büyük bir yatırım gerektirmemektedir. Bu nedenle oldukça yaygın olan üretiminin çoğunlukla bir denetim olmadan gerçekleştirilmesi dolayısıyla kalitesi büyük farklılıklar göstermektedir.

**Tablo 2.7** TS 406’da verilen briket boyutları (mm)

| Genişlikler (mm)  |       | g   | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Yükseklikler (mm) |       | y   | 190 | 190 | 190 | 240 | 240 |
| Uzunluklar (mm)   | Tam   | u   | 390 | 390 | 390 | 490 | 490 |
|                   | Yarım | u/2 | 190 | 190 | 190 | 240 | 240 |

Yukarıda özetle ülkemizde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar malzemeleri ve bunların bazı özellikleri anlatılmıştır. Bu malzemelerin “elastisite modülü” gibi hesap için gerekli olan diğer bazı karakteristikleri ile ilgili bilgiler Bölüm 4.4’de verilecektir.

### 3. HESAP YÖNTEMİ

#### 3.1 Genel Açıklamalar

Kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetlerinden oluşan birleşik yükleme etkileri altında davranışlarının belirlenmesi oldukça zordur. Bu durum başlıca duvarın kargir birim, harç ve bunların arayüzeyi gibi üç farklı fazdan oluşması, bu fazların gerilme – şekil değiştirme bağıntılarının genel olarak doğrusal olmaması ve ayrıca çatlama ve büyük yerdeğiştirme etkilerinin meydana gelmesinden dolayı davranışın doğrusal olmamasından kaynaklanmaktadır. Bütün bunların hesapta gözönüne alınması zorunluluğu varsa problemin ne kadar güçleşeceği ve büyük bir hesap hacmi gerektireceği açıktır. Ancak burada unutulmaması gereken husus, kargir dolgu duvarların yukarıda belirtilen etkiler altındaki davranışlarını etkileyen büyüklüklerin çokluğu yanında, hesapta gözönüne alınan büyüklüklerin sınırlı ve belirli bir matematik modele uydurulması zorunluluğu olduğundan, hesap yöntemlerinde gösterilen bütün titizliğe karşın, hesaplanan sonuçların bu duvarların belirtilen etkiler altındaki gerçek davranışını değil de, seçilen modelin davranışını yansıttığıdır.

Bu bölümde kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetlerinden oluşan birleşik yükleme etkileri altındaki davranışlarının belirlenmesi için kullanılan sayısal hesap yöntemi açıklanmıştır. Bu yöntem, La Mendola ve Papia tarafından kargir duvarların kendi ağırlıkları ve üstte etkiyen dışmerkez bir düşey yükden oluşan yükleme durumu altındaki kararlılıklarının incelenmesi amacıyla geliştirilen sayısal yöntemin [42], bu çalışmada gözönüne alınan yükleme durumları altında kargir dolgu duvarların davranışlarının incelenebilmesine uygun olacak şekilde uyarlanmasından ibarettir.

### 3.2 Varsayımlar

Aksi belirtilmedikçe, bu çalışmanın bütün bölümlerinde geçerli olan varsayımlar aşağıda sıralanmıştır:

- a) Kargir dolgu duvarı oluşturan kargir birim, harç ve bunların arayüzeyinin özelliklerini ayrı ayrı gözönüne almak yerine, bunların oluşturduğu ortam brüt özellikli homojen bir ortam olarak gözönüne alınmaktadır.
- b) Yukarıda belirtilen brüt özellikli homojen ortamın çekme dayanımı sıfır, basınç dayanımı hesapta gözönüne alınan yükleme durumları altında ezilme olmayacak kadar yüksektir. Bu ortamın eğilme – basınç altındaki gerilme – şekil değiştirme bağıntısı ise doğrusaldır.
- c) Yerdeğiştirmeler sırasında kuvvetler doğrultularını ve şiddetlerini korurlar.
- d) Sistem çatlama ve geometri değişimi nedeniyle doğrusal olmadığından süperpozisyon kuralı geçerli değildir.
- e) Çerçeve gözü içindeki kargir dolgu duvar yerdekiştirmeler sırasında sürekli olarak tabanda ankastre, üstte ise çerçeve kirişi ile temas halinde ancak serbestçe dönebilmektedir.
- f) Duvar ile çerçeve kolonları arasında bir etkileşim yoktur.
- g) Çerçeve gözünün ait olduğu yapıda katların eğilme rijitliği sonsuz kabul edilmektedir.
- h) Kargir dolgu duvarın kütlesi duvar yüksekliği boyunca düzgün olarak dağılıdır.
- i) Duvarda pencere ve kapı boşluğu yoktur.

Bu varsayımlardan bazılarının nedenleri daha önce açıklanmıştı. Diğerlerinin nedenleri, gerçeğe uygunluk dereceleri, hesapta sağladıkları kolaylıklar ve sonuçlara olan etkileri sırası geldikçe açıklanmaktadır.

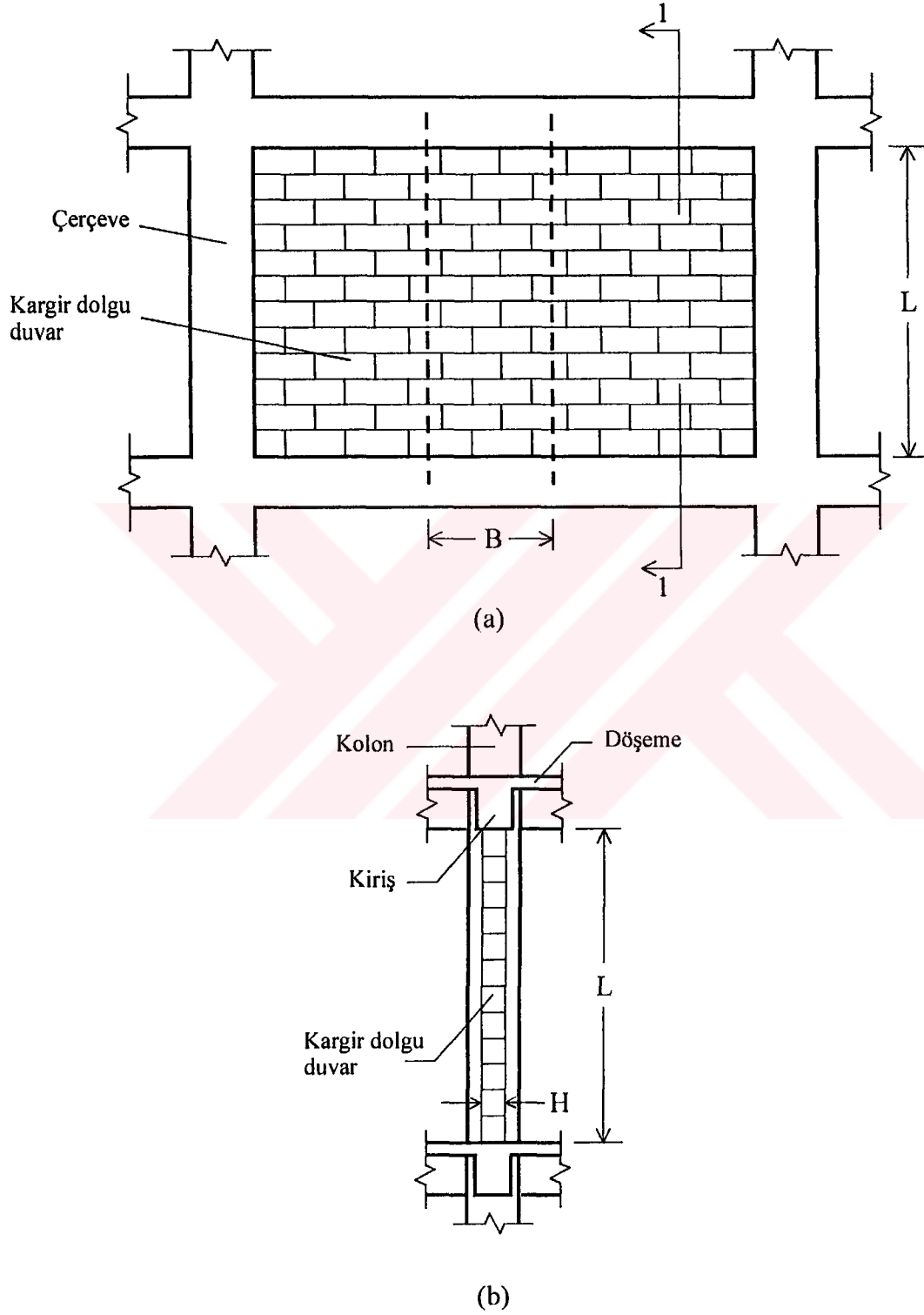
### 3.3 Yöntemin Ana Çizgileri

Bölüm 1.2’de düzlemine dik deprem etkileri altındaki kargir dolgu duvarlı bir çerçevede dolgu duvar ile çerçevenin sadece altta ve üstte aynı yerdeğiştirmeleri yaptığı, arada ise duvar ile çerçeve kolonları arasındaki bağıın çözülebileceği vurgulanmıştı. Bu durumdan hareketle duvarın, kendi ağırlığı, düzlemine dik atalet kuvvetleri, düzlemine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetleri etkisi altındaki davranışı incelenirken Şekil 3.1(a)’da gösterildiği gibi tüm dolgu duvarı ele almak yerine duvar orta bölgesindeki B genişlikli “düşey duvar şeridi” gözönüne alınabilir. Sözkonusu yükleme durumları altında dolgu duvarların davranışları ve dayanımları konusunda güvenli tarafta kalan değerlerin araştırıldığı bu çalışmada, gözönüne alınan bu duvar şeridi yaklaşık olarak, altta oturduğu kiriş üstünde ankastre, üstte ise çerçeve kirişi ile temas halinde olan ancak serbestçe dönebilen prizmatik bir eleman olarak düşünülebilir. Duvar şeridinin tabanda ankastre olarak gözönüne alınması, hesapta gözönüne alınan etkiler altında en büyük basınç kuvvetine maruz kesitin duvar şeridinin taban kesitinin olması ve buna bağılı olarak üst kesitin, duvar şeridi için esas mesnet olan taban kesitinden daha önce taşıma gücüne ulaşması düşüncesiyle açıklanabilir [10]. Bununla birlikte Bölüm 5.10’da dolgu duvarlar, görelî kat ötelenmesi etkisi ihmal edilerek düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenerek elde edilen sonuçlar esas modelin verdiği sonuçlar ile karşılaştırılmış ve irdelenmiştir.

Katların eğilme rijitliğinin teorik olarak sonsuz varsayılmasıyla dolgu duvarların oturduğu kiriş veya döşemelerde dönme olmaması durumu gözönüne alınmış olmaktadır. Aksi halde duvarların oturduğu kiriş veya döşemelerdeki dönmeler de hesaba dahil edilmesi gereken bir parametre olurdu.

Yukarıda açıklanan basitleştirme, analizi bir anlamda tek boyutlu bir elemanın hesabına indirgemesine rağmen, çekme almayan malzeme varsayımı ve büyük yerdeğiştirme etkilerinin mevcut olması, gözönüne alınan yükleme durumu için duvar şeridinin deforme olmuş şeklini kontrol eden diferansiyel denklemin integrasyonu üzerine kurulmak istenecek analitik yaklaşımı olanaksız hale getirecektir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, duvar şeridinin belirtilen yükleme durumları altındaki davranışlarının incelenmesi için [42]'deki sayısal çözüm yöntemi eldeki probleme uygun şekilde uyarlanmıştır. [42]'de, Bölüm 3.1'de de belirtildiği gibi

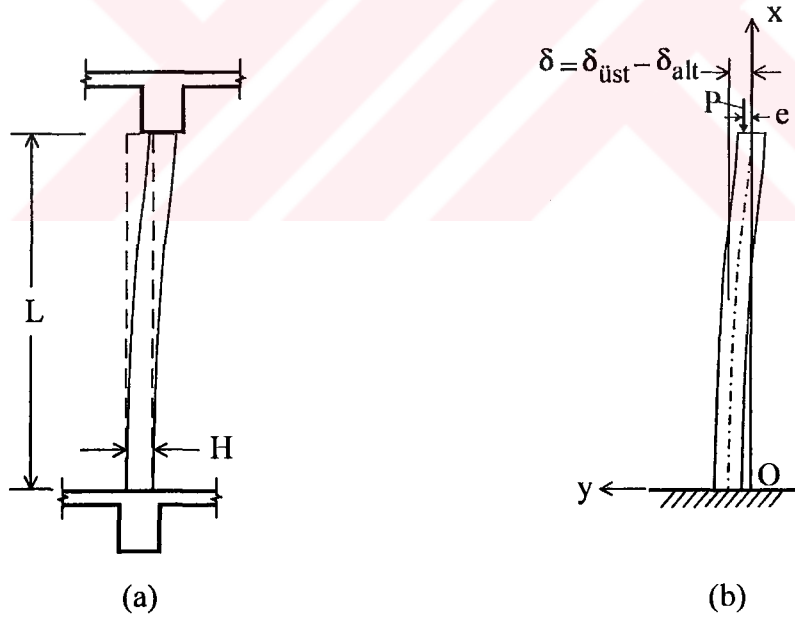


**Şekil 3.1** (a) Kargir dolgu duvarlı çerçeve ve hesap için gözöntüne alınan B genişlikli düşey duvar şeridi, (b) 1-1 Kesiti

kargir duvarların kendi ağırlıkları ve üst kesitte etkiyen dışmerkez bir yük için kararlılık koşullarının araştırılması amacıyla bir sayısal çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde çatlama etkisi ve büyük yerdeğiştirme etkileri gözönüne alınmıştır.

Kargir duvar şeridinin kendi ağırlığı, düzlemine dik atalet kuvvetleri ve düzlemine dik katlar arası görelî ötelenme etkisinden oluşan bir yükleme durumu altında alacağı şeklin biraz abartılı olarak Şekil 3.2(a)'daki gibi olması beklenebilir.

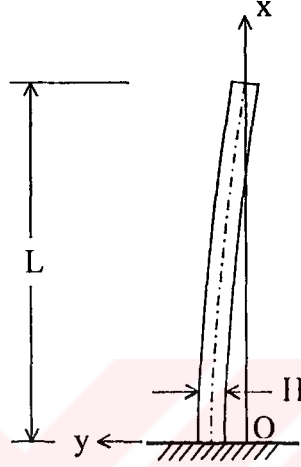
Şekil 3.2(b)'de gösterildiği gibi kargir duvar şeridi üst kesiti ile temas halinde olduğu giriş tabanı arasındaki  $P$  ile gösterilmiş olan ve büyüklüğü bilinmeyen düşey temas kuvveti bu esnada dışmerkez olarak etkir duruma gelecektir. Şekilde “e” ile gösterilmiş olan bu dışmerkezliğin de değeri bilinmemektedir. Analizde duvar düzlemine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi, Bölüm 3.4.2’de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi bu  $P$  kuvvetinin  $c_y$  yatay deprem katsayısı ile çarpımı olan ve duvar üst kesitine etkiyen  $c_y P$  büyüklüğündeki yatay bir kuvvetin hesaba dahil edilmesiyle gözönüne alınmış olmaktadır.



**Şekil 3.2** (a) Kargir duvar şeridinin yükleme sonrasında aldığı şekil, (b) Duvar şeridinin zıt işaretli eğrilikteki iki bölgeden oluşan durumu ve üst giriş tabanı ile duvar şeridi üst kesiti arasındaki düşey temas kuvveti

$P$  kuvvetinin bu dışmerkez haliyle gözönüne alınması, Şekil 3.2(b)'de gösterildiği gibi seçilmiş olan eksen takımında duvar şeridini eğrilikleri zıt işareti olan iki

bölgeden oluşan bir eleman durumuna getirmektedir. Bu durumun hesabı oldukça zorlaştırdığı görülmüştür. Bundan dolayı önemli bir basitleştirme yapılarak  $P$  kuvvetinin “e” dışmerkezliği ihmal edilmekte ve kuvvetin duvar şeridi üst kesitinin ağırlık merkezinde etki ettiği kabul edilmektedir. Bu basitleştirme ile duvar şeridinin hesapta gözönüne alınan etkiler altında alacağı şeklin Şekil 3.3’deki gibi tek işaretli eğrilikte olması beklenebilir. “e” dışmerkezliği hesaba dahil edilseydi etkisinin ne olabileceği Bölüm 5.11.2’de açıklanmaktadır.



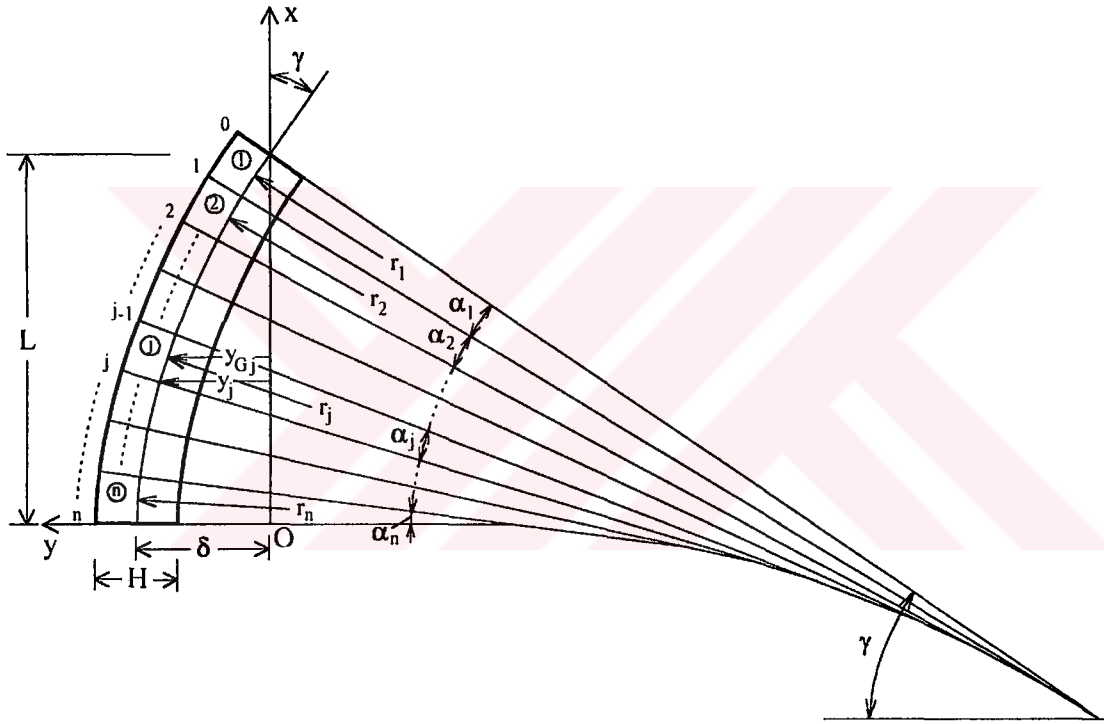
**Şekil 3.3** Kargir duvar şeridinin hesapta gözönüne alınan deforme olmuş şekli

### 3.4 Hesap Modeli

Şekil 3.4 yüksekliği  $L$  ve kalınlığı  $H$  olan duvar şeridinin deforme olmuş şeklini biraz abartılı bir şekilde göstermektedir.  $O(x, y)$  koordinat sistemi,  $x$  eksenini duvar şeridi üst kesitinin ağırlık merkezinden geçecek şekilde seçilmektedir. Şerit, hepsi aynı  $\ell = L/n$  uzunluğuna sahip ve üst uçtan başlayarak 1’den  $n$ ’e kadar numaralanan  $n$  tane elemana ideal olarak bölünmektedir. Bu elemanlar, şekilden de görüldüğü gibi yine üst kesitten başlamak üzere 0’dan  $n$ ’e kadar numaralı  $n+1$  tane kesit tarafından sınırlanmaktadır [42].

Çalışmadaki ilk ana amaç, narinlik dışında diğer özellikleri belli olan duvar şeritlerinin önceden belirtilecek yükleme durumları altında düzlemleri dışına yıkılmadan dengede kalacakları sınır narinlik değerlerini bulmak ve bu sayede hem yükleme parametrelerinin hem de duvarın fiziksel, geometrik ve mekanik özellikleri ile ilgili parametrelerin davranış üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu, şeritlerin

deforme olmuş şekillerine uygun eleman sayıları belirlenerek yapılmaktadır. Duvar şeritlerinin deforme olmuş şekilleri ise üst kesitin  $\gamma$  dönmesi ile karakterize edilmektedir. Bu  $\gamma$  dönmesindeki artım ile tekrarlanacak olan hesaplama işlemi, sırası geldikçe açıklanacak boyutsuz parametreler kullanılarak yapılmaktadır. Çalışmanın ikinci ana amacı ise narinlik değerleri dahil bütün özellikleri belli olan duvar şeritlerinin dayanabilecekleri etkileri, örneğin yatay atalet kuvvetlerinin değerlerini belirlemektir. Bu da, Bölüm 3.4.8'de açıklandığı gibi bir ilk  $\gamma$  deneme değeri alıp daha sonra ardışık yaklaşım ile duvarın o aşamadaki yükleme durumuna uygun, gerçek  $\gamma$  değerini elde ederek ve bulunan bu  $\gamma$  değeri için gerekli hesaplamaları yaparak gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 3.4** Bölümlendirilmiş kargir duvar şeridinin deforme olmuş şekli

Temel varsayım her bir elemanın eğrilik değerinin kendi içinde sabit olduğudur. Ayrıca bu eğrilik değeri elemanın üst kesitindeki eğrilik değeri olarak alınmaktadır. Eğer elemanların

$$\xi = \frac{\ell}{H} = \frac{L/n}{H} = \frac{L}{nH} \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanan boyutsuz uzunlukları yeterince küçük ise diğer bir deyişle atanan bir  $\gamma$  dönme değeri için  $n$  sayısı yeterince büyük ise bu yaklaşım iyi bir şekilde kurulmaktadır.

#### 3.4.1 j. Kesitin Ağırlık Merkezinin Koordinatının Hesaplanması

Yukarıda eğrilik hakkında belirtilen varsayıma dayanarak ve Şekil 3.4'deki notasyonlar kullanılarak j. kesitin ağırlık merkezinin y koordinatı

$$y_j = y_{j-1} + r_j \left[ \cos \left( \gamma - \sum_{i=1}^j \alpha_i \right) - \cos \left( \gamma - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) \right] \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadede  $r_j$ , j. elemanın eğrilik yarıçapını ve  $\alpha_j = \ell / r_j$  duvar şeridinin bölümlendirilmiş modelinde bu elemana karşı gelen açığı göstermektedir. (3.2) ifadesindeki kosinüs fonksiyonları Taylor serisine açılır ve sadece ilk üç terim alınırsa

$$\cos \left( \gamma - \sum_{i=1}^j \alpha_i \right) = 1 - \frac{1}{2} \left( \gamma - \sum_{i=1}^j \alpha_i \right)^2 + \dots \quad (3.3)$$

ve

$$\cos \left( \gamma - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) = 1 - \frac{1}{2} \left( \gamma - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right)^2 + \dots \quad (3.4)$$

ifadeleri elde edilir. Bu açılımların (3.2) ifadesinde görülen farkları alındığında ise

$$\begin{aligned} \cos \left( \gamma - \sum_{i=1}^j \alpha_i \right) - \cos \left( \gamma - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) &= \frac{1}{2} \left[ \left( \gamma - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right)^2 - \left( \gamma - \sum_{i=1}^j \alpha_i \right)^2 \right] \\ &= \gamma \alpha_j - \frac{1}{2} \left( \alpha_j^2 + 2 \alpha_j \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) \end{aligned} \quad (3.5)$$

ifadesine varılır. (3.5) ifadesi (3.2)'ye yerleştirilerek

$$y_j = y_{j-1} + r_j \left[ \gamma \alpha_j - \frac{1}{2} \left( \alpha_j^2 + 2\alpha_j \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) \right] \quad (3.6)$$

elde edilir. (3.6) ifadesinde eşitliğin sağında görülen  $r_j$  değeri paranteze katılarak

$$y_j = y_{j-1} + \gamma \alpha_j r_j - \frac{1}{2} \left( \alpha_j \alpha_j r_j + 2\alpha_j r_j \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) \quad (3.7)$$

ve burada da  $\alpha_j r_j = \ell$  olduğu gözönünde tutularak

$$y_j = y_{j-1} + \gamma \ell - \frac{1}{2} \left( \ell \alpha_j + 2\ell \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) \quad (3.8)$$

ifadesi elde edilir. Eşitliğin solundaki ve sağındaki terimler duvar şeridinin  $H$  kalınlığına bölünür ve  $\ell/H = \xi$  olduğu gözönüne alınırsa, (3.8) ifadesi

$$\frac{y_j}{H} = \frac{y_{j-1}}{H} + \xi \gamma - \frac{1}{2} \xi \alpha_j - \xi \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \quad (3.9)$$

haline gelir. (3.9) ifadesi  $\alpha_j = \ell/r_j$  ve  $\alpha_i = \ell/r_i$  olduğu gözönüne alınarak

$$\frac{y_j}{H} = \frac{y_{j-1}}{H} + \xi \gamma - \frac{1}{2} \xi \frac{\ell}{r_j} \frac{H}{H} - \xi \sum_{i=1}^{j-1} \frac{\ell}{r_i} \frac{H}{H} \quad (3.10)$$

şeklinde ve

$$\frac{y_j}{H} = \frac{y_{j-1}}{H} + \xi \gamma - \frac{1}{2} \xi \frac{\ell}{H} \frac{1}{r_j} H - \sum_{i=1}^{j-1} \xi \frac{\ell}{H} \frac{1}{r_i} H \quad (3.11)$$

olarak yeniden yazılabilir. Bu ifade,  $\ell/H = \xi$  olduğu ve  $1/r_j$  ve  $1/r_i$  terimlerinin sırasıyla  $j$ . ve  $i$ . elemanların  $\phi_j$  ve  $\phi_i$  ile gösterilecek eğrilikleri olduğu gözönüne alınarak

$$\frac{y_j}{H} = \frac{y_{j-1}}{H} + \xi\gamma - \frac{1}{2}\xi^2\phi_jH - \sum_{i=1}^{j-1}\xi^2\phi_iH \quad (3.12)$$

şeklinde yazılabilir. Nihayet (3.12) ifadesinde

$$\sum_{i=1}^{j-1}\xi^2\phi_iH = \sum_{i=1}^j\xi^2\phi_iH - \xi^2\phi_jH \quad (3.13)$$

olduğu gözönüne alınıp gerekli düzenlemeler yapıldığında j. kesitin ağırlık merkezinin (3.2) ile verilen y koordinatı boyutsuz biçimde

$$\frac{y_j}{H} = \frac{y_{j-1}}{H} + \xi\gamma + \frac{1}{2}\xi^2\phi_jH - \sum_{i=1}^j\xi^2\phi_iH \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3.14)$$

olarak ifade edilmiş olur.

Şekil 3.4’de seçilmiş olan eksen takımına göre  $y_0 = 0$  olduğundan ve  $\xi$  de seçilecek bir büyüklük olduğundan, duvar şeridinin atanan bir  $\gamma$  üst kesit dönmesine uygun olan deforme olmuş şekli  $j = 1$  indeksinden başlanıp (3.14) ifadesi tekrarlı, geriye dönüşlü şekilde kullanılarak elde edilebilir. Ancak bu her seferinde elemanların eğrilikleri biliniyorsa yapılabilir. Elemanların eğriliklerinin bilinmesi için ise ilk olarak bu elemanların kesitlerine etkiyen eğilme momenti ve normal kuvvetin bilinmesi gereklidir.

### 3.4.2 Kargir Dolgu Duvar Şeridine Etkiyen Yüklerin Tanımlanması

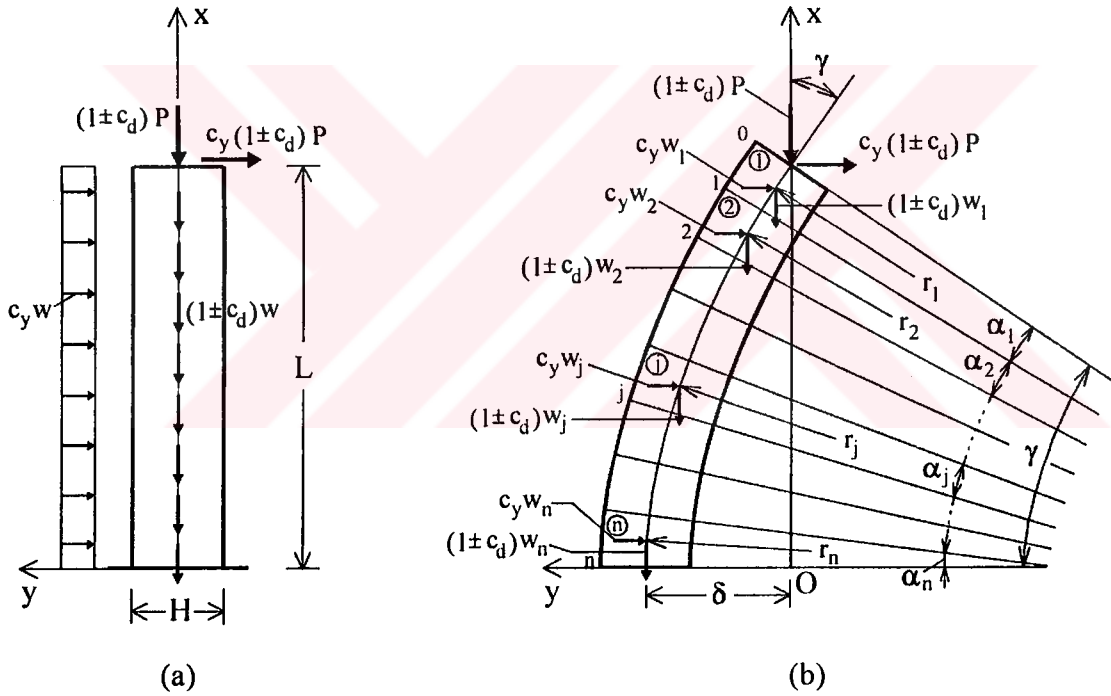
Kargir dolgu duvar şeridinin davranışı Şekil 3.5(a)’da gösterilen ve kendi ağırlığı, düzlemine dik atalet kuvvetleri, düzlemine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetlerinden oluşan oldukça genel bir yükleme durumu altında incelenmektedir.

Şekil 3.5(a)’daki  $w = W/L$  değeri duvar şeridinin birim yüksekliğinin ağırlığını göstermektedir. Şekildeki  $c_y$  değeri, beklenen deprem şiddetine bağlı olarak yatay atalet kuvvetlerinin değerini belirleyen yatay deprem katsayısını,  $c_d$  ise düşey atalet kuvvetlerinin değerini belirleyen düşey deprem katsayısını göstermektedir.

Böylelikle yatay ve düşey atalet etkilerine eşdeğer statik yatay ve düşey kuvvetler gözönüne alınmış olmaktadır.

Bölüm 3.3’de belirtildiği gibi katlar arası görelî ötelenme etkisinin duvarın davranış analizine dahil edilmesi Şekil 3.5(a)’daki düşey  $(1 \pm c_d)P$  kuvvetinin yatay deprem katsayısı ile çarpımı olan ve duvar üst kesatine yatay olarak etki ettirilen  $c_y(1 \pm c_d)P$  kuvvetinin gözönüne alınması ile sağlanmaktadır. Yatay kuvvet sadece  $c_y P$  olarak da alınabilirdi. Duvar üst kesatine kirişten gelen  $P$  düşey yükünün bir kütleden dolayı olduğu düşüncesiyle burada  $c_y(1 \pm c_d)P$  değeri alınmıştır.

Buradaki  $P$  kuvvetinin değerinin bilinmesi mümkün değildir. Bundan dolayı, Bölüm 4.3’de açıklandığı gibi hesap yapılırken bu kuvvete duvar şeridi ağırlığının çeşitli katları olacak şekilde değerler verilmektedir.



**Şekil 3.5** (a) Kargir duvar şeridinin davranışının incelenmesinde gözönüne alınan yükler, (b) Bu yükler altında şeridin deforme olmuş durumu

Şekil 3.5(b)’de idealize edilmiş, bölümlendirilmiş kargir duvar şeridinin üzerine etkiyen yükler altında  $\gamma$  üst kesit dönmesi ile karakterize edilen deforme olmuş şekli gösterilmektedir. Burada her bir eleman  $w_j = w \ell = W/n$  ağırlığı ile bu ağırlığa karşı gelen  $c_y w_j = c_y W/n$  yatay ve  $\pm c_d w_j = \pm c_d W/n$  düşey atalet kuvvetleri tarafından

etkilenmektedir. Her üç kuvvetin de tekil olduğu ve elemanın ağırlık merkezine etki ettiği varsayılmaktadır.

### **3.4.3 Deprem Hareketinin Düşey Bileşeni ve Etkileri**

Deprem hareketinin çok eksenli olma özelliğinden dolayı bir deprem sırasında yer kabuğunda yatay ve düşey titreşimler meydana gelir. Bunun sonucu olarak yapılar depremde eşzamanlı yatay ve düşey etkilere maruz kalırlar [1-3]. Deprem hareketinin yatay bileşeni etkisinde yapıların davranışı ve oluşan hasar türleri daha çok araştırılmış, düşey bileşenin etkisi konusundaki araştırmalar ise nispeten daha az olmuştur. Bu çalışmada dolgu duvarların davranışlarının incelenmesine düşey atalet kuvvetleri de dahil edildiğinden, bu alt bölümde bu kuvvetlerin meydana gelmesine sebep olan depremin düşey bileşeninin genel etkisinden bahsedilecektir.

Depremler sırasında alınan ivme kayıtlarından, çoğu depremde düşey ivme değerlerinin yatay ivme değerlerinden daha küçük olduğu gözlenmiştir. Depremden depreme oldukça fark etmekle beraber, en büyük düşey ivme değerinin en büyük yatay ivme değerine oranının çoğunlukla  $1/2 \sim 2/3$  civarında olduğu gözlenmiştir [2]. Ancak özellikle sığ depremlerde ve depremlerin episantr bölgelerinde ve buraların yakınında bu oranın daha yüksek değerlere ulaştığı, hatta bazı depremlerde 1'i geçtiği ve buna bağlı olarak ciddi hasarların meydana geldiği gözlenmiştir [43,44].

Deprem ivmesinin düşey bileşeninin düşük enerji içeriğinden dolayı hasar potansiyelinin önemli olmadığı yaygın olarak ileri sürülmektedir. Gerçekten düşey bileşenin enerji içeriği çoğu zaman aynı depremin yatay bileşenine kıyasla önemli derecede azdır. Ayrıca uygun şekilde projelendirilmiş ve inşa edilmiş yapılarda düşey yüklere karşı büyük bir güvenlik faktörünün mevcut olduğu iddia edilmektedir. Ancak bazı depremlerden sonra yapılan incelemeler doğrudan eksenel basınç kuvvetlerindeki artış ve azalıştan kaynaklanmış olan hasarların olduğunu göstermiştir. Ayrıca bazı durumlarda eksenel kuvvetlerdeki değişimin ihmal edilmesinin ciddi düşey deprem hareketinin olmaması durumunda meydana gelmeyebilecek eğilme ve kesme kırılmalarına götürebileceği anlaşılmıştır [43,44].

Yüksek düşey deprem ivmesi değerlerinin kaydedildiği ve buna bağlı olarak önemli hasarların meydana geldiği son depremlere 1986 Kalamata -Yunanistan, 1994

Northridge -California, A.B.D ve 1995 Hyogo Ken Nanbu -Kobe, Japonya depremleri örnek olarak verilebilir [43].

Büyükklüğü 5.7 olan 1986 Kalamata depreminde 0.81 ve 1.26 gibi oldukça yüksek düşey/yatay maksimum ivme oranları elde edilmiştir. Bu depremde hasar incelemesi yapılan bir çok yerde, yer üzerindeki bazı cisimlerin yer ile aralarında bir sürtünme izi olmaksızın yatay olarak yer değiştirdikleri gözlenmiştir. Bir çok betonarme binanın oldukça çok sayıdaki kolon ve perde duvarında simetrik basınç ve kesme – basınç kırılmalarına rastlanmıştır. Bu kırılmalarda kötü detaylandırma ve yapım hatalarının etkisi ile birlikte kuvvetli düşey yer hareketinin önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir [43].

6.7 büyüklüğündeki 1994 Northridge depreminde de yüksek düşey ivme değerleri kaydedilmiş ve bir çok modern binada düşey yer hareketinin etkisine atfedilebilecek yapısal hasarlar gözlenmiştir. 1.18g'ye ulaşan düşey ivmeler ölçülürken 1.79 gibi çok yüksek bir düşey/yatay maksimum ivme oranı elde edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kıyısını etkileyen en yıkıcı depremlerden biri olarak belirtilen bu depremde betonarme binalarda genel olarak önemli yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Özel olarak ara kat hasarları ve hatta göçmeleri oldukça çok sayıda ortaya çıkmıştır. Bu hasarların çoğunun, diğer bazı faktörlerin yanında, düşey hareketin etkisinden kaynaklanan eksenel kuvvetlerdeki değişimden dolayı meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca eksenel yükteki azalmanın kiriş – kolon birleşim bölgelerinin süneklik ve kesme kapasitesi üzerindeki olumsuz etkilerine de rastlanmıştır. Yüksek düşey ivmelerin bir sonucu olarak özellikle kirişsiz döşemeli sistemlerde, bu döşemelerin kuvvetli düşey titreşimleri sonucunda kolonların çevresinde zımbalama hasarları meydana gelmiştir. Ayrıca yatay yük taşıyıcı sisteme bağlantılı olmayan ve basit mesnetli şekilde yerleştirilmiş bir çok döşeme sisteminde kuvvetli düşey titreşimlerin sonucu olarak kesme kırılmaları ve hatta toptan göçmeler gözlenmiştir. Bu depremde bir çok çelik çerçevede kiriş – kolon birleşimlerinde ve kolonların gövdesinde hasarlar ortaya çıkmış, ayrıca kararlılık kaybı durumları meydana gelmiştir. Tümünden yıkılan çelik bina olmamasına karşılık, onarım masrafı ve binanın kullanılamaması dolayısıyla gelir kaybı oldukça yüksek olmuştur. Kaynaklı kiriş – kolon birleşimlerindeki hasarlar büyük ölçüde kaynaktaki kırılmadan dolayı olmuş, ancak bazen kolon başlıklarında kırılmalar olduğu da gözlenmiştir. Bunların dışında

düşey hareketin sonucu olan kiriş düşey titreşimleri de birleşimlerde hasar meydana gelmesine sebep olmuştur [43].

1995 Kobe depreminde episantr'dan oldukça uzak bölgelerde dahi kuvvetli düşey hareketler meydana gelmiştir. Örneğin episantr'dan 45 km uzaklıktaki bir ölçüm istasyonunda 0.33g civarında düşey ivme ve 1.21 gibi yüksek bir düşey/yatay maksimum ivme oranı elde edilmiştir. Bu deprem sonrasında yapılan hasar incelemelerinde de düşey hareketin etkisinden kaynaklanan kolon kesme kırılmalarına ve oldukça çok sayıda kolon basınç kırılmasına rastlanmıştır. Yine betonarme binalarda ara kat göçmeleri sıkça gözlenmiştir. Kobe depreminde ayrıca çok sayıda çelik yapı çerçevesinde yerel ve global kararlılık kaybı durumları meydana gelmiştir. Kötü detaylandırma yanında gevrek çelik kullanımının bazı hasarlarda önemli bir etken olduğu gözlenmiştir [43,44].

Yukarıda bahsedilen ve yakın geçmişte meydana gelmiş olan depremlerin sonuçları depremin düşey bileşeninin depreme dayanıklı tasarım ve analize dahil edilmesinin önemini toplu olarak ve açık bir şekilde vurgulamaktadır. Böylece tasarım işlemine düşey bileşenin dahil edilmesi için basit, ancak rasyonel yöntemlere ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır [2,43,44].

Bahsedilen üç deprem için sadece binalardaki yapısal hasarlardan kısaca söz edilmiştir. Depremin düşey bileşeni doğal olarak yapısal olmayan elemanları ve bu arada çerçeve gözleri içindeki kargir dolgu duvarları da etkileyecektir. Bir çerçeve gözü içinde sınırlanmış dolgu duvarda depremin salt düşey bileşeninin etkisi ile tersinir düşey atalet kuvvetleri meydana gelecektir. Dolayısıyla duvar yatay kesitleri deprem öncesinde mevcut olan gerilmeler ile birlikte depremin yatay ve düşey etkilerinden kaynaklanan gerilmelerin toplam etkisine maruz kalacaktır. Bunun yanında duvar alt ve üst kesitleri ile bu kesitlerin temas halinde oldukları çerçeve alt ve üst kirişleri arasında ise önemli olabilecek itki kuvvetleri doğacaktır. Sonuçta dolgu duvarda burkulma ve/veya yerel basınç kırılmaları, ezilmeler gibi durumlar ortaya çıkabilecektir. Bu çalışmada dolgu duvar ortamının basınç dayanımı, Bölüm 3.2'de de belirtildiği gibi ezilme olmayacak kadar yüksek kabul edilmektedir. Dolayısıyla depremin düşey bileşeninin, duvar üzerindeki diğer etkilerle birlikte dolgu duvarın davranışı üzerindeki etkisi üzerinde durulmaktadır. Dolgu duvar, davranışının incelenmesinde gözönüne alınan kendi ağırlığı, düzlemine

dik atalet kuvvetleri ve düzlemine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi altında deforme olduğunda, hesaba dahil edilmesi durumunda düşey atalet kuvvetlerinin de duvarın davranışı üzerinde etkili duruma geleceğı daha da açık bir şekilde anlaşılmış olur.

Deprem ivmesinin düşey bileşeninin yönüne bağılı olarak dolgu duvarda oluşacak düşey atalet kuvvetleri de ivme ile zıt yönlü olmak üzere aşağı veya yukarı yönelmiş durumda olacaktır. Dolgu duvarın davranışının incelenmesinde düşey atalet kuvvetleri her bir yönüyle ayrı ayrı gözönüne alınarak etkisi araştırılmaktadır.

#### 3.4.4 j. Elemanın Ağırlık Merkezinin Koordinatının Hesaplanması

Elemanların eğrilikleri hakkındaki varsayıma dayanarak ve Şekil 3.4'deki notasyonlar kullanılarak duvar şeridinin deforme olmuş durumunda j. elemanın ağırlık merkezinin  $y_{Gj}$  koordinatı

$$y_{Gj} = y_{j-1} + r_j \left[ \cos \left( \gamma - \frac{\alpha_j}{2} - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) - \cos \left( \gamma - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) \right] \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3.15)$$

şeklinde yazılabilir. Yine kosinüs fonksiyonları Taylor serisine açılarak ve j. kesitin ağırlık merkezinin koordinatı elde edilirken yapılan işlemlere ve düzenlemelere benzer işlemler ve düzenlemeler burada da yapılırsa (3.15) ifadesi boyutsuz şekilde

$$\frac{y_{Gj}}{H} = \frac{y_{j-1}}{H} + \frac{1}{2} \xi_j \gamma + \frac{3}{8} \xi_j^2 \phi_j H - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^j \xi_i^2 \phi_i H \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3.16)$$

olarak elde edilir.

Şekil 3.5(b) seçilmiş olan koordinat sisteminin x ekseninin üst kesit ağırlık merkezi ile sürekli çakışık olduğunu göstermektedir. Bu yüzden hesap yapılırken  $y_0 = 0$  olacağı açıktır.



$$M_j = (1 \pm c_d)Py_j + (1 \pm c_d)\frac{W}{n} \sum_{i=1}^j (y_j - y_{Gi}) + c_y \frac{L}{n} \left[ (1 \pm c_d)jP + \frac{W}{n} \sum_{i=1}^j \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \quad (3.18)$$

ifadesi elde edilir.

### 3.4.6 j. Kesitteki Dışmerkezliğin Hesaplanması

j. kesitteki  $e_j$  dışmerkezliğinin hesabı için bu kesitteki eğilme momentini ifade eden (3.18) bağıntısının aynı kesitteki normal kuvveti ifade eden (3.17) bağıntısına bölünmesi yeterlidir. Bu işlem yapılırken  $\sum_{i=1}^j i = j(j+1)/2$  olduğu gözönünde bulundurulur ve gerekli ara işlemler yapılırsa  $e_j$  dışmerkezliği boyutsuz şekilde

$$\frac{e_j}{H} = \frac{y_j}{H} - \frac{1}{n(P/W) + j} \sum_{i=1}^j \frac{y_{Gi}}{H} + c_y \xi_j \left[ 1 - \frac{1 \pm 2c_d}{2 \pm 2c_d} \frac{j}{n(P/W) + j} \right] \quad (3.19)$$

( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ )

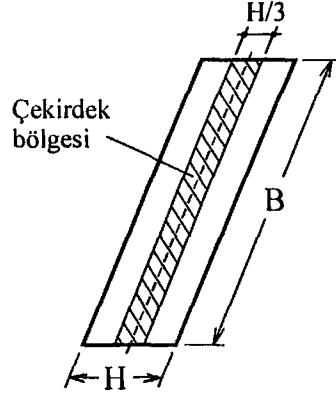
olarak elde edilir. Bu ifadeden üst kesit ( $j = 0$ ) için,  $\frac{y_0}{H} = 0$  ve ifadenin sağındaki toplama işlemi sıfır olduğundan,  $\frac{e_0}{H} = 0$  elde edileceği açıktır. (3.17), (3.18) ve (3.19) ifadelerinde  $\pm$  içeren terimlerdeki  $+$  işareti düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumu için,  $-$  işareti ise bu kuvvetlerin yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumu için kullanılmaktadır, Şekil 3.5, Şekil 3.6.

### 3.4.7 (j+1). Elemanın Eğriliğinin Hesaplanması

Bir elemanın eğriliği bu elemanın üst kesitindeki eğrilik değerine eşit varsayılmaktadır.

Çekme dayanımı olmayan ve basınç etkisi altında doğrusal gerilme – şekil değiştirme davranışı gösteren malzeme varsayımıyla, (3.19) ifadesiyle verilen kesitteki boyutsuz dışmerkezliğin değerine bağlı olarak iki farklı moment – eğrilik bağıntısının gözönüne alınması gerekir.

Kargir dolgu duvar şeridinin kesiti dikdörtgendir. Bir dikdörtgen kesitte çekirdek bölgesi yarı ayırıt uzunlukları dikdörtgenin kenar uzunluklarının 1/6'sı olan bir eşkenar dörtgendir [45]. Buna göre, Şekil 3.7'de gösterildiği gibi kalınlığın orta üçte birinde kalan bölge duvar şeridi için çekirdek bölgesi olarak alınabilir.



**Şekil 3.7** Kargir duvar şeridi kesitinin çekirdek bölgesi

Dolayısıyla kesitteki  $e_j/H$  boyutsuz dışmerkezliği 1/6 değerine eşit veya ondan küçük olduğunda bu durum kesite etkiyen  $N_j$  ve  $M_j$  tesirleri altında kesitin çatlamamış olduğu anlamına gelir [45]. Buna göre Şekil 3.8'de çatlamamış bir j kesiti için gösterilmiş olan denge durumu gözönüne alınarak (j+1). eleman için eğrilik ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir: Eğrilik kesitteki dönme miktarı olduğundan, bu büyüklük kesit kenarlarındaki  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  şekil değiştirmeleri ve kesit kalınlığı cinsinden

$$\phi_{j+1} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{H} \quad (3.20)$$

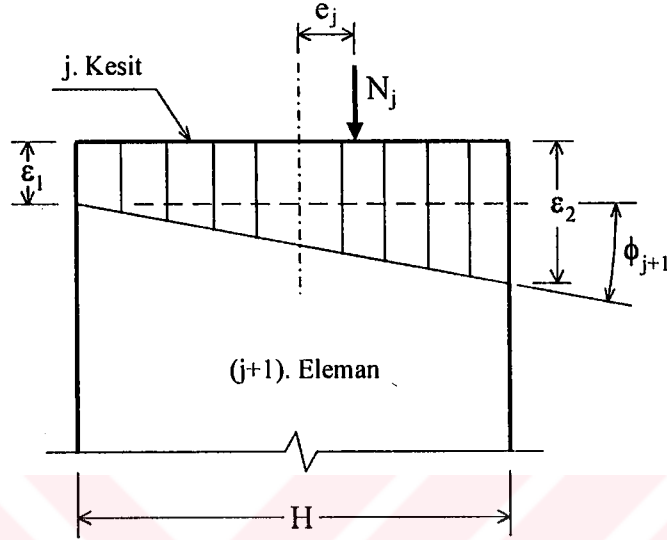
şeklinde yazılabilir, Şekil 3.8.  $\varepsilon_1$  ve  $\varepsilon_2$  şekil değiştirmeleri de gerilmeler cinsinden

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} \quad (3.21a, b)$$

olarak yazılabilir. Burada E duvar ortamının elastisite modülüdür.  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  gerilmeleri ise

$$\sigma_1 = \frac{N_j}{A} - \frac{M_j}{I} \frac{H}{2}, \quad \sigma_2 = \frac{N_j}{A} + \frac{M_j}{I} \frac{H}{2} \quad (3.22a, b)$$

şeklinde yazılır [45]. Burada  $A = BH$  = duvar şeridinin kesit alanı,  $I = BH^3/12$  ise bu kesitin  $B$  genişliğine paralel olan ve ağırlık merkezinden geçen eksene, eğilme eksenine göre atalet momentidir.  $M_j = N_j e_j$  olduğu gözönünde bulundurulur,  $A$  ve  $I$ 'nın açık ifadeleri (3.22a) ve (3.22b) ifadelerine yerleştirilip gerekli düzenlemeler yapılırsa, gerilme ifadeleri



**Şekil 3.8** Çatlamamış bir  $j$ . kesitteki şekil değiştirmeler ve eğrilik

$$\sigma_1 = \frac{N_j}{BH} \left( 1 - \frac{6e_j}{H} \right), \quad \sigma_2 = \frac{N_j}{BH} \left( 1 + \frac{6e_j}{H} \right) \quad (3.23a, b)$$

şekline gelir.  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$ 'nin bu ifadeleri (3.21a) ve (3.21b)'deki şekil değiştirme ifadelerine yerleştirilerek, şekil değiştirmeler için

$$\varepsilon_1 = \frac{N_j}{EBH} \left( 1 - \frac{6e_j}{H} \right), \quad \varepsilon_2 = \frac{N_j}{EBH} \left( 1 + \frac{6e_j}{H} \right) \quad (3.24a, b)$$

ifadelerine ulaşılır. Bu ifadeler (3.20) ifadesine yerleştirilip gerekli düzenlemeler yapıldığında  $(j+1)$ . elemanın eğriliği için

$$\phi_{j+1} = \frac{N_j}{EBH^2} 12 \frac{e_j}{H} \quad (3.25)$$

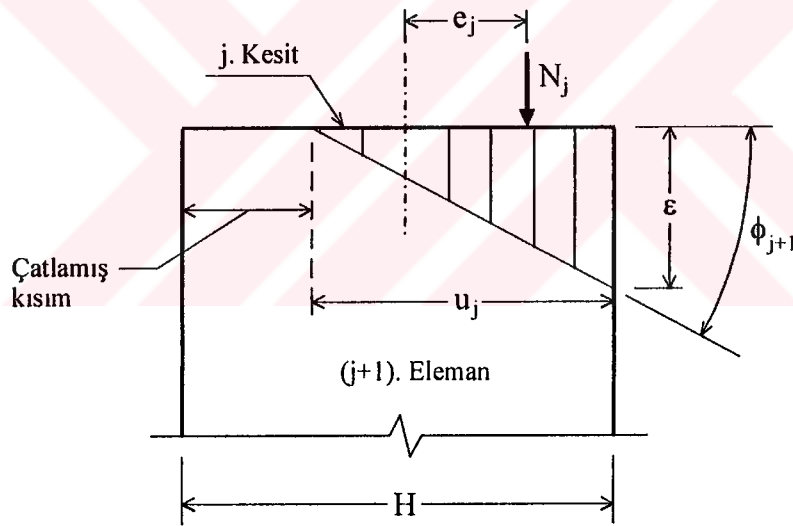
ifadesi bulunur. Bu ifade boyutsuz biçimde

$$\phi_{j+1}H = \frac{N_j}{EBH} 12 \frac{e_j}{H} \quad (3.26)$$

olarak yazılabilir.

Kesitteki  $e_j/H$  boyutsuz dışmerkezliğinin  $1/6$  değerinden büyük olması ise  $N_j$  ve  $M_j$  tesirleri altında kesitin çatlamış olduğu anlamına gelir [45]. Buna göre Şekil 3.9'da çatlamış bir  $j$  kesiti için gösterilmiş olan denge durumu gözönüne alınarak  $(j+1)$ . eleman için eğrilik ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir. Yine eğrilğin kesitteki dönme olduğu ifade edilirse

$$\phi_{j+1} = \frac{\varepsilon}{u_j} \quad (3.27)$$



**Şekil 3.9** Çatlamış bir  $j$ . kesitteki şekil değiştirmeler ve eğrilik

elde edilir, Şekil 3.9. Bu ifadede  $u_j$ , Şekil 3.9'da görüldüğü gibi kesit kalınlığındaki çatlamamış kısmın uzunluğunu göstermektedir. Kesitte yine şekilde gösterildiği gibi üçgen bir şekil değiştirme ve dolayısıyla gerilme durumu vardır. Dolayısıyla bu gerilme durumuna sebep olan  $N_j$  kuvvetinin yakın olduğu kenara  $u_j/3$  mesafede olması gerekir. Bu mesafe aynı zamanda  $(H/2 - e_j)$ 'ye eşittir. Bunlar birbirine eşitlenir ve  $u_j$  çekilirse

$$u_j = 3H \left( \frac{1}{2} - \frac{e_j}{H} \right) \quad (3.28)$$

ifadesi bulunur.  $\varepsilon$  şekil değıştirmesi ise kısa yoldan şöylece elde edilebilir:  $\varepsilon$  şekil değıştirmesine karşı gelen gerilme  $\sigma$  olarak gösterilirse, bu gerilme kesite etkiyen normal kuvvet cinsinden

$$\sigma = \frac{N_j}{\frac{1}{2} Bu_j} = \frac{2N_j}{Bu_j} \quad (3.29)$$

olarak elde edilebilir.  $\sigma$ 'nın bu ifadesi  $\varepsilon = \sigma/E$  bağıntısına yerleştirilirse

$$\varepsilon = \frac{2N_j}{EBu_j} \quad (3.30)$$

ifadesine varılır. (3.30) ve (3.28) ifadeleri (3.27)'ye yerleştirilerek çatlamış kesitin eğriliğı için

$$\phi_{j+1} = \frac{N_j}{EBH} \frac{2}{9H \left( \frac{1}{2} - \frac{e_j}{H} \right)^2} \quad (3.31)$$

ifadesi bulunur. Bu ifade de boyutsuz biçimde

$$\phi_{j+1} H = \frac{N_j}{EBH} \frac{2}{9 \left( \frac{1}{2} - \frac{e_j}{H} \right)^2} \quad (3.32)$$

olarak yazılabilir.

Çatlamamış ve çatlamış kesitler için elde edilen (3.26) ve (3.32) boyutsuz eğrilik ifadeleri tek bir ifade olarak

$$\phi_{j+1}H = \frac{N_j}{EBH} \eta_j \quad (3.33)$$

şeklinde yazıldığında,  $\eta_j$  terimi

$$\eta_j = \begin{cases} 12 \frac{e_j}{H} & 0 \leq \frac{e_j}{H} \leq \frac{1}{6} \\ \frac{2}{9 \left( \frac{1}{2} - \frac{e_j}{H} \right)^2} & \frac{1}{6} \leq \frac{e_j}{H} < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (3.34)$$

( $j = 0, 1, 2, \dots, n-1$ )

olmaktadır.

( $j+1$ ). elemanın boyutsuz eğriliği için elde edilen (3.33) ifadesine  $N_j$ 'nin (3.17) ile verilen değeri yerleştirilirse

$$\phi_{j+1}H = \frac{(1 \pm c_d) \left[ P + j \frac{W}{n} \right]}{EBH} \eta_j \quad (3.35)$$

elde edilir. Gerekli işlem ve düzenlemeler yapıldığında bu ifade

$$\phi_{j+1}H = \frac{W}{BHL} \frac{\ell}{H} \frac{H}{E} (1 \pm c_d) \left( n \frac{P}{W} + j \right) \eta_j \quad (3.36)$$

durumuna gelir. Bu ifadedeki  $W/(BHL)$  terimi duvar şeridinin birim hacminin ağırlığını göstermektedir. Bu terim  $\rho$  ile gösterilir ve  $\ell/H = \xi$  olduğu gözönüne alınırsa, (3.36) ifadesi

$$\phi_{j+1}H = \frac{\rho H}{E} \xi (1 \pm c_d) \left( n \frac{P}{W} + j \right) \eta_j \quad (j = 0, 1, 2, \dots, n-1) \quad (3.37)$$

durumuna gelir. Elde edilen bu ifade kargir dolgu duvar şeridindeki ( $j+1$ ). eleman için boyutsuz eğrilik ifadesinin almış olduğu son şekil olmaktadır.

### 3.4.8 Çözüm İşlemi

Bölüm 3.4’de açıklandığı gibi bu çalışmada iki ana amaç vardır: Kısaca bir kez daha belirtilirse, birinci ana amaç, yükleme parametreleri ve dolayısıyla yükleme durumları ve narinlik dışındaki bütün özellikleri (fiziksel, geometrik ve mekanik) belli olan duvar şeritlerinin düzlemleri dışına yıkılmadan dengede kalacakları sınır narinlik değerlerini bulmaktır. Bu yapıldığında hem yükleme parametrelerinin hem de duvarın narinlik dışındaki fiziksel, geometrik ve mekanik özellikleri ile ilgili parametrelerin duvar davranışı üzerindeki etkileri görülebilecektir. İkinci ana amaç ise narinlik değerleri dahil bütün özellikleri belli olan duvar şeritlerinin karşılayabilecekleri etkileri, örneğin yatay atalet kuvvetinin değerlerini belirlemektir. Elde edilen bağıntılar yardımıyla yukarıda belirtilen amaçlara ulaşılabilir.

Birinci gruptaki hesaplar: Örneğin seçilecek bir yükleme durumu ( $c_y$ ,  $c_d$ ,  $P/W$ ) için ve kargir dolgu duvar şeridinin yine seçilecek fiziksel, geometrik ve mekanik özellikleri ( $\rho$ ,  $H$  ve  $E$ ) için duvar şeridinin alabileceği en büyük narinlik,  $(L/H)_{maks.}$ , değerleri ve bu narinliklere karşı gelen boyutsuz yerdeğiştirme,  $\delta/H$ , değerleri elde edilebilir. Elde edilecek bu değerlerin “denge eğrileri” diye adlandırılacak  $L/H$ ’a karşı  $\delta/H$  eğrileri şeklinde gösterilmesi uygun olmaktadır. Bu sayede elde edilen bir dolgu duvarın sözkonusu bir yükleme durumunu karşılayabilecek bir durumda olup olmadığı da belirlenebilir.

Bu amaçla  $c_y$ ,  $c_d$ ,  $P/W$  ve (3.37) ifadesinde görülen  $\rho H/E$  parametresi seçilirse, bu değerlere karşı gelen  $L/H - \delta/H$  denge eğrisi (3.19), (3.34), (3.37), (3.14) ve (3.16) ifadeleri sırayla kullanılarak elde edilebilir.

Ancak bu aşamada bazı hususların açıklanması gerekmektedir. Kargir duvar şeridinin ideal olarak bölümlendirilmesini karakterize eden  $\xi$  parametresi (3.19) ve (3.37) ifadelerinde bir anlamda bağımsız olarak yer almaktadır. Bu durum gözönüne alınarak, aranan denge eğrisinin noktaları, seçilmiş olan yükleme durumuna uygun olan atanmış bir  $\gamma$  üst kesit dönmesi ile kontrol edilen deforme olmuş duvar şeridi şekli için gerekli elemanların sayısı hesaplanarak belirlenecektir. Bundan dolayı elde edilecek sonuçların doğruluğu  $\xi$  parametresinin seçilecek değerlerine doğrudan bağlı olacaktır. Bölüm 3.4’de de belirtildiği gibi elemanların eğrilikleri kendi içlerinde sabit varsayılmaktadır. Bu varsayım yine aynı yerde belirtilmiş olduğu gibi elemanların  $\xi$  boyutsuz uzunluklarının yeterince küçük olması durumunda doğru

olacaktır. Yapılan hesaplarda  $\xi$ 'nin 0.05 gibi çok küçük seçilmesi durumunda sonuçlarda bazen anlamsız değişimler olabildiği gözlenmiştir. Bundan dolayı  $\xi$  için 0.40, 0.30 ve 0.25 gibi değerler alınıp hesap yapılarak, sonuçlarda anlamlı değişimler veren değerlerden birinin seçilmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan hesaplarda  $\xi = 0.25$  değerinin genel olarak uygun bir değer olduğu görülmüş ve bu çalışmadaki bütün hesaplar  $\xi$ 'nin bu değeri için yapılmıştır. Ayrıca  $\xi$ 'nin 0.25 yerine sonuçlarda yine anlamlı değişimler veren diğer bir değer olan 0.30 alınması durumunda elde edilen sonuçların genel olarak %0.3 ~ 0.5'den daha az fark ettiği görülmüştür.

Boyutsuz dışmerkezliğin (3.19) ile verilen ifadesinin kullanımı ve boyutsuz eğriliğin (3.37) ile verilen ifadesinin kullanımı  $n$ 'in önceden bilinmesini gerektirir. Bu durum ise bir ardışık yaklaşım yapılması gerektiğini ima etmektedir. Ardışık yaklaşımın yakınsaklığı ise duvar şeridinin tabanı ankastre kabul edildiğinden bu taban kesitinde dönme olmaması sınır koşulunun gerçekleşmesi ile elde edilmektedir. Bu koşul

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \xi \phi_i H \quad (3.38)$$

olarak ifade edilebilir. Ancak ardışık yaklaşım yapılırken bu yakınsaklık koşulunun tam sayıdaki eleman, başka bir deyişle  $n$ 'in tamsayı değerleri için gerçekleşmemesi durumu vardır.

Buna göre, seçilmiş olan  $c_y$ ,  $c_d$ ,  $P/W$  ve  $pH/E$  değerleri için  $L/H - \delta/H$  denge eğrisinin atanan bir  $\gamma$  değerine karşı gelen noktasını bulmak için çözüm işlemi şöyle yürütülmektedir: Bir  $\bar{n}$  deneme değeri atanır.  $j = 0$  indeksi için önce (3.19) daha sonra (3.34) ve (3.37) ifadeleri kullanılarak  $\phi_i H = 0$  elde edilir. Bu değer (3.14)'e

yerleştirilerek  $\frac{y_1}{H} = \xi \gamma$  bulunur. Daha sonra (3.16) ifadesi kullanılarak  $\frac{y_{G1}}{H} = \frac{1}{2} \xi \gamma$

elde edilir. Aynı denklemler belirtilen sırada  $j = 1$  için kullanılarak  $\frac{y_{G2}}{H}$  elde edilir

ve işleme böylece devam edilir. İşlem durduğunda, yani  $j$  indeksi (3.37) ifadesinde  $\bar{n} - 1$  değerine geldiğinde yakınsaklık kriteri (3.38) kontrol edilir. Eğer

$$\gamma - \sum_{i=1}^{\bar{n}} \xi \phi_i H > 0 \quad (3.39)$$

ise  $\bar{n}$ 'nin artırılmış bir değeri ile aksi durumda ise azaltılmış bir değeri ile işlem tekrarlanır.  $\bar{n} = n^*$  değeri aşağıdaki koşulları ilk defa sağladığında işlemin yakınsaklığına ulaşılmış olmaktadır:

$$\gamma - \sum_{i=1}^{n^*-1} \xi \phi_i H = \alpha_{n^*} = \alpha_B > 0; \quad \gamma - \sum_{i=1}^{n^*} \xi \phi_i H = \alpha_K < 0 \quad (3.40a, b)$$

Bu durumda duvar şeridinin, Şekil 3.10'da da gösterildiği gibi  $n^* - 1$  tane  $\ell^* = L/n^*$  uzunluklu eleman ile daha kısa uzunluklu son, artık, bir elemandan oluştuğu kabul edilebilir. Duvar şeridinin bu son elemanının uzunluğu  $\ell_{n^*}$  olarak gösterilirse bu uzunluk

$$\ell_{n^*} = \alpha_{n^*} \cdot r_{n^*} \quad (3.41)$$

olarak yazılabilir. Burada  $r_{n^*}$ , Şekil 3.10'da görüldüğü gibi bu son elemanın eğrilik yarıçapını göstermektedir. (3.41) ifadesinde eşitliğin her iki yanı  $H$  duvar kalınlığına bölünerek bu son elemanın boyutsuz uzunluğu

$$\frac{\ell_{n^*}}{H} = \frac{\alpha_{n^*} \cdot r_{n^*}}{H} = \frac{\alpha_{n^*}}{\phi_{n^*} \cdot H} \quad (3.42)$$

olarak elde edilir. Dolayısıyla duvar şeridinin boyutsuz uzunluğu, diğer bir deyişle narinliği

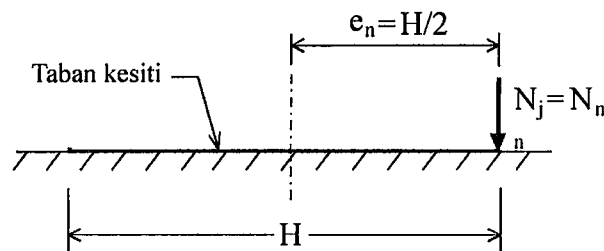
$$\frac{L}{H} = n\xi = (n^* - 1)\xi + \frac{\alpha_{n^*}}{\phi_{n^*} \cdot H} \quad (3.43)$$

olarak hesaplanmış olur. Denge eğrisinin bu ordinatına karşı gelen  $\frac{\delta}{H}$  apsis değeri ise Şekil 3.4 ve Şekil 3.10 gözönünde bulundurularak

$$\frac{\delta}{H} = \frac{y_n}{H} = \frac{y_{n^*-1}}{H} + \frac{r_{n^*}}{H} (1 - \cos \alpha_{n^*}) \quad (3.44)$$

$$\frac{\delta}{H} = \frac{y_n}{H} = \frac{y_{n-1}}{H} + \frac{1}{2} \frac{\alpha_n^2}{\phi_n H} \quad (3.45)$$

$\gamma$  açısındaki değişim ile işlemi tekrarlayarak ve bu büyüklük,  $\gamma$ , için küçük artımlar öngörerek tüm  $L/H - \delta/H$  denge eğrisi çizilebilir.  $\gamma$ 'nın duvar şeridinin dengesi ile uygun en büyük değeri, şeridin taban kesitinde boyutsuz dışmerkezliğin veya duvarın  $\delta/H$  boyutsuz ötelenme miktarının 0.5'e eşit olması sınır durumuna karşı gelir. Çünkü Şekil 3.11'de de gösterildiği gibi boyutsuz dışmerkezliğin veya duvarın  $\delta/H$  boyutsuz ötelenme miktarının bundan daha büyük değerlerinde denge durumunun sağlanamayacağı açıktır.



47

İkinci gruptaki hesaplar: Örneğin  $c_d$  ve  $P/W$  yükleme parametreleri seçilen ve ayrıca  $\rho$ ,  $H$ ,  $E$  ve  $L$  değerleri belli olan bir kargir dolgu duvar şeridinin yatay deprem katsayısı – yatay yerdeğiştirme,  $c_y$ - $\delta$ , grafiği elde edilebilir ve bu sayede şeridin dayanabileceği en büyük yatay atalet kuvveti ve bu duruma karşı gelen yatay yerdeğiştirme değeri belirlenebilir. Bu amaca ulaşmak için küçük bir  $c_y$  değeri ile hesaba başlanır ve duvarın bu  $c_y$  değeri ve seçilmiş  $c_d$  ve  $P/W$  yükleme parametreleri altında deforme olmuş şeklinde üst kesitin dönmesinin bir ilk  $\gamma$  deneme değerine eşit olduğu kabul edilir. Bu aşamada (3.38) yakınsaklık kriteri kontrol edilir. Şeridin  $L$  ve  $H$  değerleri belli olduğu için ve  $\xi$  değeri de seçilmiş olduğundan dolayı bu kriterdeki  $n$  değeri bellidir. Bu ilk  $\gamma$  deneme değeri için  $\gamma - \sum_{i=1}^n \xi \phi_i H > 0$  çıkmış ise  $\gamma$  biraz azaltılarak, aksi halde ise biraz artırılarak işlemler tekrarlanır. Nihayet bir  $\gamma^*$  değerinde, yakınsaklık kriterinin tam olarak sağlanmasının zor olduğu da düşünülerek ve buna bağlı olarak istenildiği kadar küçük seçilebilecek bir “ $\epsilon$ ” değeri de gözönüne alınarak, kriter

$$\left| \gamma^* - \sum_{i=1}^n \xi \phi_i H \right| < \epsilon \quad (3.46)$$

olarak sağlandığında yakınsaklığa ulaşıldığı kabul edilebilir. Bu durumda (3.14) ifadesi ile  $j = n$  alınarak,  $y_n = \delta$  doğrudan hesaplanır. Böylece çizilecek  $c_y$ - $\delta$  eğrisinin bir noktası belirlenmiş olur. Bu şekilde hesaplamalara devam edilir.  $c_y$ - $\delta$  eğrisinde elde edilebilecek son nokta için kısıtlayıcı koşul yine taban kesitindeki boyutsuz dışmerkezliğin veya duvarın  $\delta/H$  boyutsuz ötelenme miktarının 0.5 veya ona çok yakın bir değer olması durumu olacaktır. Bu gruptaki hesaplar yapılırken (3.46) yakınsaklık kriterindeki “ $\epsilon$ ” için yeterince küçük bir değer olan 0.00005 değeri kullanılmıştır.

## **4. ÇALIŞMADAKİ PARAMETRELER İÇİN HESAPTA KULLANILAN DEĞERLER VE BİLGİSAYAR PROGRAMLARI**

### **4.1 Genel Açıklamalar**

Kargir duvarların düzlemlerine dik doğrultudaki deprem etkileri için çözümünün sismik analizin en karışık ve anlaşılması zor alanlarından biri olarak tanımlandığı ve bunun sebebinin de problemin başlıca çatlama ve kararlılığın yitirilmesi ile kontrol edilen yüksek dereceden non-lineer olması durumundan kaynaklandığı belirtilmişti. Dolayısıyla dolgu duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri altında davranışlarını araştıran bir yaklaşımda, duvar davranışının gerçeğe mümkün olduğu kadar yakın anlaşılabilmesi için çatlamanın ve duvarın düzlemine dik doğrultudaki küçük yanal rijitliğinden kaynaklanan büyük ikinci mertebe etkilerin birlikte gözönüne alınması gerekir. Bu çalışmadaki eğilme esaslı hesap modeli ile bu etkiler gözönüne alınabilmektedir.

Bu bölümde ilk önce bu çalışmada dolgu duvarların davranışlarının araştırılmasında kullanılan ve yatay ve düşey atalet etkilerini temsil eden yatay ve düşey deprem katsayılarından bahsedilmektedir. Bunun ardından duvar üst kesiti ile bu kesitin temas halinde olduğu kiriş tabanı arasında mevcut olduğu düşünülen temas kuvvetinin düşey bileşeni, diğer bir deyişle duvar üzerine kirişten gelen düşey yük irdelenmektedir. Daha sonra bu çalışmada dolgu duvarların fiziksel, geometrik ve mekanik özellikleri ile ilgili parametreler için hesapta kullanılan değerler verilmektedir. En sonda ise hesapta elde edilen, diğer bir deyişle dolgu duvarların davranışlarını etkileyen büyüklükler açıklanmaktadır. Bu bölümde ayrıca sayısal hesapların yapılması için yazılmış olan bilgisayar programları da kısaca tanıtılmaktadır.

## 4.2 Yatay ve Düşey Deprem Katsayıları

Kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düşey atalet kuvvetleri ve düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisinden oluşan birleşik yükleme etkileri altında davranışları araştırıldığından, yatay ve düşey atalet kuvvetlerinin gözönüne alınmasını sağlayacak uygun yatay ve düşey deprem katsayılarının kullanılması gereklidir. Bölüm 3.4.2’de belirtildiği gibi bu yatay ve düşey deprem katsayıları sayesinde yatay ve düşey atalet etkileri hesapta eşdeğer statik yatay ve düşey kuvvetler olarak gözönüne alınabilmiş olmaktadır.

01.01.1998 tarihinde yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’in 6.11. numaralı maddesi “Yapısal Çıkıntılara, Mimari Elemanlara, Mekanik ve Elektrik Donanımına Etkiyen Deprem Yükleri” başlığını taşımaktadır [46]. Bu maddenin 6.11.1. numaralı alt bölümünde “Yapısal Çıkıntılara ve Mimari Elemanlara Etkiyen Deprem Yükleri” alt başlığı ile bu tür elemanların deprem hesabında kullanılacak yükün hesabı belirtilmektedir. Buna göre binalarda balkon, parapet, baca, vb. konsol olarak binanın taşıyıcı sistemine bağlı, ancak bağımsız çalışan yapısal çıkıntılara ve cephe, ara bölme panoları vb. yapısal olmayan tüm mimari elemanlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin,  $S(T) = 1.0$  alınarak

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (4.1)$$

denkleminde bulunan spektral ivme katsayısının ilgili elemanın toplam ağırlığı ile çarpılmasından elde edilmesi öngörülmektedir. Ayrıca bu şekilde hesaplanacak deprem yükünün, yatay veya düşey doğrultuda, en elverişsiz iç kuvvetleri verecek yönde ilgili elemanın ucuna etki ettirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0$  ve bina önem katsayısı  $I$ ’nın her ikisinin alabilecekleri en büyük ve en küçük değerler için spektral ivme katsayısı hesaplandığında

$$\text{maks. } A(T) = 0.40 \times 1.5 \times 1.0 = 0.60 \quad \text{ve} \quad \text{min. } A(T) = 0.10 \times 1.0 \times 1.0 = 0.10 \quad (4.2)$$

değerleri elde edilmektedir. Bu değerlerden hareketle seçilen  $c_y$  yatay deprem katsayıları gözönüne alınarak yapılan ön hesaplar, bu katsayılardan özellikle birincisinin verdiği yatay kuvvetlerin dolgu duvarlar için çok ağır bir yükleme

durumu oluşturduğunu göstermiştir. Bunun bir sebebi, bu çalışmadaki modelde duvarın, gözönüne alınan etkilere düzlemine dik doğrultudaki küçük eğilme rijitliği ile dayanıyor olmasıdır. Diğer önemli sebep ise analizde gözönüne alınan ve katlar arası görelî ötelenme etkisinin analize dahil edilmesini sağlayan kuvvet olan  $c_y P$  büyüklüğündeki yatay tekil kuvvetin duvar için özellikle çok ağır bir yükleme durumu oluşturmasıdır. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada  $c_y$  yatay deprem katsayısı için daha makul değerlerin gözönüne alınması gerekmiştir. Bu amaçla  $c_y$  için 0.02, 0.04, 0.07 ve 0.10 değerleri seçilip hesapta kullanılmıştır.

Binaların özellikle üst katlarındaki dolgu duvarların 0.10 yatay deprem katsayısı ile gözönüne alınacak düzleme dik yatay deprem yükünden daha büyük yatay yüklere maruz kaldıkları ve usulüne uygun olarak inşa edilmiş olanların çoğunlukla yıkılmadan bu yükü karşılayabildikleri söylenebilir. Duvarların düzlemlerine dik doğrultudaki bu yüksek dayanımları, Bölüm 5.11.5’de açıklandığı gibi katlar arası görelî ötelenme etkisinin mevcut olmasına rağmen duvar içinde oluşan düşey ve/veya yatay kemerlenme etkileri sayesinde olmaktadır. Bunun yanında, Bölüm 5.9’da açıklandığı gibi katlar arası görelî ötelenme etkisinin çok küçük düzeylerde tutulabildiği yapılarda dolgu duvarlara makul seviyede düşey yük, en azından duvarlar ile üst kirişler arasında iyi bir temas sağlanabilmiş ise dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetlerine direnme gücü oldukça iyi olmaktadır.

Çalışmadaki bilgisayar programlarından ikincisi ile yapılan hesaplarda ise pratikte inşa edilebilecek dolgu duvar tiplerinin oldukça geniş bir aralığını içine alan yeterli sayıda dolgu duvarın bizzat dayanabilecekleri yatay atalet yükünü gösteren  $c_y$  yatay deprem katsayıları elde edilmektedir.

Bölüm 3.4.3’de de belirtildiği gibi deprem hareketinin çok eksenli olma özelliğinden dolayı bir deprem sırasında yapılar ve içlerindeki mimari elemanlar ile mekanik ve diğer donanımlar eşzamanlı yatay ve düşey etkilere maruz kalırlar. Bu çalışmadaki hesap modeli ile bir depremde dolgu duvarlarda oluşabilecek düşey atalet kuvvetleri de rahatlıkla gözönüne alınabilmekte ve davranış üzerindeki etkileri incelenebilmektedir.

Depremler sırasında alınan ivme kayıtlarından düşey ivme değerlerinin yatay ivme değerlerinden çoğunlukla daha küçük oldukları görülmektedir. Depremden depreme oldukça fark etmekle beraber çoğu depremde düşey/yatay maksimum ivme oranının

1/2 ~ 2/3 civarında olduğu yine Bölüm 3.4.3'de belirtilmişti. Ancak bu oranın depremlerin episantr bölgelerinde ve buranın yakınında daha yüksek olduğu ve bazı depremlerde 1'i geçtiği bile gözlenmiştir.

Yapılan hesaplarda dolgu duvarların düşey atalet kuvvetlerine, yatay atalet kuvvetlerine oldukları kadar duyarlı olmadıkları görülmüştür. Bundan dolayı düşey atalet kuvvetlerinin duvar davranışı üzerindeki etkilerini görebilmek için düşey deprem katsayısının yatay deprem katsayısına göre daha yüksek değerlerinin kullanılması gerekmiştir. Bu durumdan hareketle bu çalışmada kargir dolgu duvarların davranışları incelenirken kullanılacak düşey deprem katsayısı  $c_d$ 'nin 0.10, 0.20, 0.30 ve 0.50 gibi dört farklı değeri gözönüne alınmıştır.

Yatay ve düşey atalet kuvvetleri tersinir özelliğe sahiptirler. Yatay atalet kuvvetlerinin iki zıt yönünün duvarların davranışı üzerinde farklı etkilere sebep olmayacağı, ancak düşey atalet kuvvetlerinin yönünün davranış üzerinde etkili olacağı açıktır. Bundan dolayı hesapta düşey atalet kuvvetlerinin iki zıt yönü gözönüne alınmıştır; yer ivmesinin düşey bileşeninin yukarı doğru, dolayısıyla düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumu ve yer ivmesinin düşey bileşeninin aşağı doğru, dolayısıyla düşey atalet kuvvetlerinin yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumu.

#### **4.3 Duvar Üst Kesiti İle Kiriş Tabanı Arasındaki Temas Kuvvetinin Düşey Bileşeni**

Kargir dolgu duvarların normal halde kendi ağırlıklarından başka bir yük taşımadıkları varsayılmaktadır. Ancak duvar üzerine kirişten gelen bir miktar düşey yük olabilir. Bu çalışmada dolgu duvarların davranışlarının incelenmesine düzlemlerine dik doğrultudaki katlar arası görelî ötelenme etkisi de dahil edildiğinden ve bu etkinin hesaba dahil edilmesi Bölüm 3.3 ve Bölüm 3.4.2'de de belirtilmiş olduğu gibi kiriş ile duvar üst kesiti arasındaki düşey P kuvvetine bağlı yatay  $c_y P$  kuvvetinin gözönüne alınması ile sağlandığından dolayı, bu P kuvvetinin hesapta uygun değerlerinin kullanılması gerekir.

Betonarme yapılarda önce betonarme iskelet inşa edilmekte, dolgu ve bölme duvarlar daha sonra örülmektedir. Rötire ve özellikle kolon gibi basınç kuvvetinin hakim olduğu elemanlarda sünme dolayısıyla zamanla küçümsenemeyecek şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Deneyler kolonlardaki sünme şekil değiştirmelerinin elastik şekil değiştirmelerin 2 ~ 3 katına kadar çıkabileceğini göstermektedir [31]. Dolgu duvarların kendilerinde de derzlerdeki harcın büzülmesinden dolayı zamanla bir miktar kısalma meydana gelir. Çerçeve kolonlarındaki sünme ve rötire şekil değiştirmelerinin miktarı ile dolgu duvardaki şekil değiştirme miktarına bağlı olarak duvar üzerine zamanla gelecek yük farklı olabilir. Bunda duvarın örülmesi sırasında duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasında sağlanmış olan başlangıç temas durumunun da önemli bir etkisi vardır. Dolayısıyla bu P yükünün ne büyüklükte olacağını söylemek oldukça zordur. Dolgu duvarlar betonarme karkasın hemen bitiminde inşa edilmiş ise duvarların üzerine zamanla önemli büyüklükte yük gelebilir. Buna karşılık duvarlar betonarme karkasın bitiminden çok sonra örülmüşse, kolonlarda rötire ve sünme şekil değiştirmeleri de büyük ölçüde tamamlanmış olacağından duvarların üzerine kirişlerden gelecek bu yükün küçük değerlerde olması beklenebilir.

Yurdumuzda nadiren de olsa bazı betonarme yapılarda bir katın önce kolonları inşa edilerek arasına dolgu duvarlar örülmekte, daha sonra ise duvarların üstü kirişlerin taban kalıbı görevini görecektir şekilde kirişlerin betonu dökülmektedir. Böyle uygulamalarda da dolgu duvarlar üzerine, aslında taşıyıcı duvar niteliğinde olmasalar da önemli miktarda yük gelebilir. Ancak bu durumda da duvarların üzerine gelecek yükün büyüklüğünü kesin olarak söylemek zordur.

Ayrıca bir deprem sırasında duvar ile kiriş arasında mevcut olan bu düşey temas kuvvetinde artma ve azalmalar olması da kaçınılmazdır.

Yukarıda belirtilen bir çok belirsizlikten dolayı, dolgu duvarların davranışları incelenirken duvar ile kiriş arasındaki temas kuvvetinin düşey bileşeni, diğer bir deyişle duvar üzerine kirişten gelen düşey yük için alması muhtemel olduğu değerlerin oldukça geniş bir aralığı gözönüne alınmıştır. Bu amaçla bu yüke duvar şeridi ağırlığının çeşitli katları olacak şekilde değerler verilmiştir. W duvar şeridinin ağırlığı olmak üzere P ile gösterilen bu yük için 0, 0.1W, 0.3W, 0.5W, 1W, 3W ve 5W değerleri gözönüne alınmıştır. Buradaki sıfır değeri duvar üst kesiti ile kiriş

tabanı arasında bir temas olmaması durumu için kullanılmakta ve dolayısıyla serbest duran duvarlar durumuna karşı gelmektedir.

#### **4.4 Dolgu Duvarların Fiziksel, Geometrik ve Mekanik Özellikleri İle İlgili Parametreler İçin Hesapta Kullanılan Değerler**

Bu çalışmadaki hesap modeli ile kargir dolgu duvarların belirtilecek yükleme durumları altında davranışları incelenirken duvar kalınlığı  $H$ , duvar ortamının birim hacim ağırlığı  $\rho$  ve elastisite modülü  $E$ 'nin belirtilmesi gerekmektedir. Hesapta bu büyüklükler ayrı ayrı değil de, (3.37) bağıntısında görüldüğü gibi  $\rho H/E$  parametresi olarak toplu şekilde ortaya çıkmaktadır. Çalışmadaki bilgisayar programlarından ikincisi ile yapılan hesaplarda duvar yüksekliği  $L$ 'nin de belirtilmesi gerekmektedir.

Bölüm 2.1'de belirtilmiş olduğu gibi ülkemizde en çok kullanılan dolgu duvar malzemeleri yatay delikli tuğla, gazbeton duvar bloğu ve beton brikettir. Bu malzemelerin birim hacim ağırlıkları sırasıyla  $6 \sim 10 \text{ kN/m}^3$ ,  $3.5 \sim 8 \text{ kN/m}^3$  ve  $12 \sim 16 \text{ kN/m}^3$  civarındadır [38,40,41]. Bunların dışında 1970'lerden önce yaygın olarak dolu tuğla kullanılmıştır ve şimdi bazı şehirlerin kenar semtlerinde nadiren de olsa taş kullanıldığı dahi olmaktadır. Bu malzemelerin birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla  $13 \sim 18 \text{ kN/m}^3$  ve  $20 \sim 29 \text{ kN/m}^3$  civarındadır [37,47]. Bu değerler yaklaşık olarak duvar ortamının birim hacim ağırlık değerleri olarak alınmıştır.

Kullanılan dolgu duvar malzemeleri çeşitli standart kalınlıklarda imal edilmektedir. Dolgu duvar malzemelerinin bu ve benzeri özellikleri 2. Bölüm'de belirtilmiştir. Bölüm 2.2'de belirtildiği gibi ülkemizde dolgu duvarlar çoğunlukla tek sıra halinde inşa edilmektedir. Buna bağlı olarak duvar kalınlığı duvarın inşasında kullanılan kargir birimin kalınlığı ile duvarın bir veya her iki yüzünde bulunan sıva tabakasının kalınlığının toplamı olmaktadır. Hesapta sıva gözönüne alınmamıştır ve duvar kalınlıkları olarak kargir birimlerin standart kalınlıkları gözönüne alınarak 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm ve 30 cm değerleri kullanılmıştır [38,40,41].

Literatürde duvar malzemelerinin basınç altındaki elastisite modülü değerleri verilmektedir. Örneğin gazbeton, Ytong, duvar bloklarının salt basınç altındaki elastisite modülleri için verilen değerler Tablo 4.1'de verilmektedir [48]. Bununla birlikte sözkonusu dolgu duvar malzemeleri ile inşa edilmiş duvar numunelerinin

basınç altındaki elastisite modülleri ile ilgili çalışma literatürde yok denecek kadar azdır. Farklı kargir birimler ve farklı özellikte harçlar kullanılarak inşa edilmiş duvar numunelerinin düzlem gerilme durumu altındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada [49], kargir birim olarak yatay delikli tuğla ve Ytong duvar bloğu, harç olarak ise melez harç ve çimento harcı kullanılarak inşa edilmiş duvar numunelerinin basınç altındaki elastisite modülleri için bulunmuş ortalama değerler Tablo 4.2’de verilmektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi aynı kargir birim

**Tablo 4.1** Ytong duvar bloklarının salt basınç altındaki elastisite modülü değerleri ( $\text{kN/cm}^2$ )

| Birim Hacim Ağırlığı, $\rho$<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | Elastisite Modülü, E<br>( $\text{kN/cm}^2$ ) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 3.5                                                 | ~70                                          |
| 4.0                                                 | ~100                                         |
| 5.0                                                 | ~150                                         |
| 6.0                                                 | ~200                                         |
| 7.0                                                 | ~250                                         |
| 8.0                                                 | ~300                                         |

**Tablo 4.2** Çeşitli dolgu duvar numunelerinin basınç altındaki ortalama elastisite modülü değerleri ( $\text{kN/cm}^2$ )

|                                                                | Duvar Malzemesi (Kargir Birim) |                   |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
|                                                                | Yatay Delikli Tuğla            | Ytong Duvar Bloğu |
| Duvar Malzemesinin Ort. Elastisite Modülü ( $\text{kN/cm}^2$ ) | 110                            | 115               |
| Melez Harçlı Duvar Num. Ort. El. Modülü ( $\text{kN/cm}^2$ )   | 114                            | 176               |
| Çimento Harçlı Duvar Num. Ort. El. Modülü ( $\text{kN/cm}^2$ ) | 190                            | 59                |

fakat farklı cins harç ile inşa edilmiş numunelerin elastisite modülleri arasında büyük fark olabilmektedir. Tablodan ayrıca yatay delikli tuğla ile inşa edilmiş ve derzlerinde çimento harcı kullanılmış numunelerin melez harçlı numunelerden daha yüksek elastisite modülüne sahip olduğu, Ytong duvar bloğu ile inşa edilmiş numunelerde ise bunun tam tersi bir durum olduğu görülmektedir. Buradan şu sonuca rahatlıkla varılabilmektedir: Duvarların mekanik özellikleri ve dolayısıyla davranışları üzerinde harcın oldukça önemli bir etkisi vardır. Ancak dolgu duvarı

oluşturan kargir birim, harç ve bunların arayüzeylerinin özelliklerini ayrı ayrı gözönüne almanın hesabı ne kadar zorlaştıracığı açıktır. Bu nedenle Bölüm 3.2’de de belirtildiği gibi hesabı kolaylaştırmak maksadıyla duvar brüt özellikli ve homojen bir ortam olarak gözönüne alınmaktadır.

Yukarıdaki basitleştirme ile hesap kolaylaşmaktadır. Ancak gerçek durumdan çok uzaklaşmamak için ve elastisite modülü ile ilgili olarak eldeki bilgilerin yetersizliği nedeniyle hesapta duvar ortamının elastisite modülünün de alabileceği değerlerin oldukça geniş bir aralığı gözönüne alınmıştır. Böylece duvarın birim hacim ağırlığı, kalınlığı ve elastisite modülünün hesapta toplu halde yer aldığı  $\rho H/E$  parametresi için uygun ve yeterli sayıda değer gözönüne alınabilmiş olmaktadır. Bu parametre için hesapta  $0.25 \times 10^{-6}$ ,  $0.375 \times 10^{-6}$ ,  $0.5 \times 10^{-6}$ ,  $0.75 \times 10^{-6}$ ,  $1.0 \times 10^{-6}$ ,  $1.5 \times 10^{-6}$ ,  $2.0 \times 10^{-6}$ ,  $2.5 \times 10^{-6}$ ,  $3.0 \times 10^{-6}$ ,  $3.5 \times 10^{-6}$ ,  $4.0 \times 10^{-6}$ ,  $4.5 \times 10^{-6}$  ve  $5.0 \times 10^{-6}$  değerleri gözönüne alınmıştır. Örneğin  $\rho = 5 \text{ kN/m}^3$  ve  $E = 100 \text{ kN/cm}^2$  değerlerinin kullanılabileceği üç duvar için kalınlıklar 10 cm, 20 cm ve 30 cm ise  $\rho H/E$  parametresinin bu duvarlar için alacağı değerler sırasıyla  $0.5 \times 10^{-6}$ ,  $1.0 \times 10^{-6}$  ve  $1.5 \times 10^{-6}$  olmaktadır.

Çalışmanın yazılan bilgisayar programlarından ikincisi ile yapılan hesaplarında duvar yüksekliği  $L$  de kullanılmaktadır. Bu değer için kargir dolgu duvarların pratikte alabilecekleri yüksekliğin geniş bir aralığını içine alan değerler kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan yükseklik değerleri 2.40 m, 2.50 m, 3.00 m, 3.50 m, 3.60 m, 4.00 m, 4.20 m ve 5.10 m dir. 3.00 m’den büyük yükseklik değerlerine sahip dolgu duvarların ara hatılsız olarak inşa edilmesi uygun olmamasına rağmen, yüksek duvarların da davranışlarını görebilmek için 3.00 m’den daha büyük yükseklik değerleri de gözönüne alınmıştır.

#### 4.5 Davranışı Etkileyen Büyüklükler

Bu çalışmada kargir dolgu duvarların davranışlarını etkileyen büyüklükler olarak aşağıda sıralanan parametreler seçilmiştir.

a) Duvar düzlemine dik atalet kuvvetlerinin gözönüne alınmasını sağlayan yatay deprem katsayısı,  $c_y$ .

- b) Düşey atalet kuvvetlerinin her iki yöndeki etkisinin gözönüne alınmasını sağlayan düşey deprem katsayısı,  $c_d$ .
- c) Duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin düşey bileşeninin, diğer bir deyişle duvar üzerindeki düşey yükün duvar ağırlığına oranı,  $P/W$ .
- d) Duvarın fiziksel, geometrik ve mekanik özelliklerinin gözönüne alınmasını sağlayan parametre,  $\rho H/E$ .
- e) Duvarın yine geometrik bir özelliği olmasına karşılık etkisi ayrı incelenen duvar yüksekliği,  $L$ .

#### 4.6 Bilgisayar Programları

Bölüm 3.2’de verilen varsayımlara uyan bir kargir dolgu duvarın kendi ağırlığı, düzlemine dik atalet kuvvetleri, düşey atalet kuvvetleri ve düzlemine dik görelî kat ötelenmesinden oluşan yükleme etkileri altında davranışının incelenmesi için geliştirilen yöntemin ana çizgileri Bölüm 3.3 ve Bölüm 3.4’de açıklanmıştır. Bu alt bölümde buraya kadar verilen açıklamalardan yararlanılarak geliştirilen bilgisayar programlarının yapısı ve özellikleri kısaca özetlenmektedir.

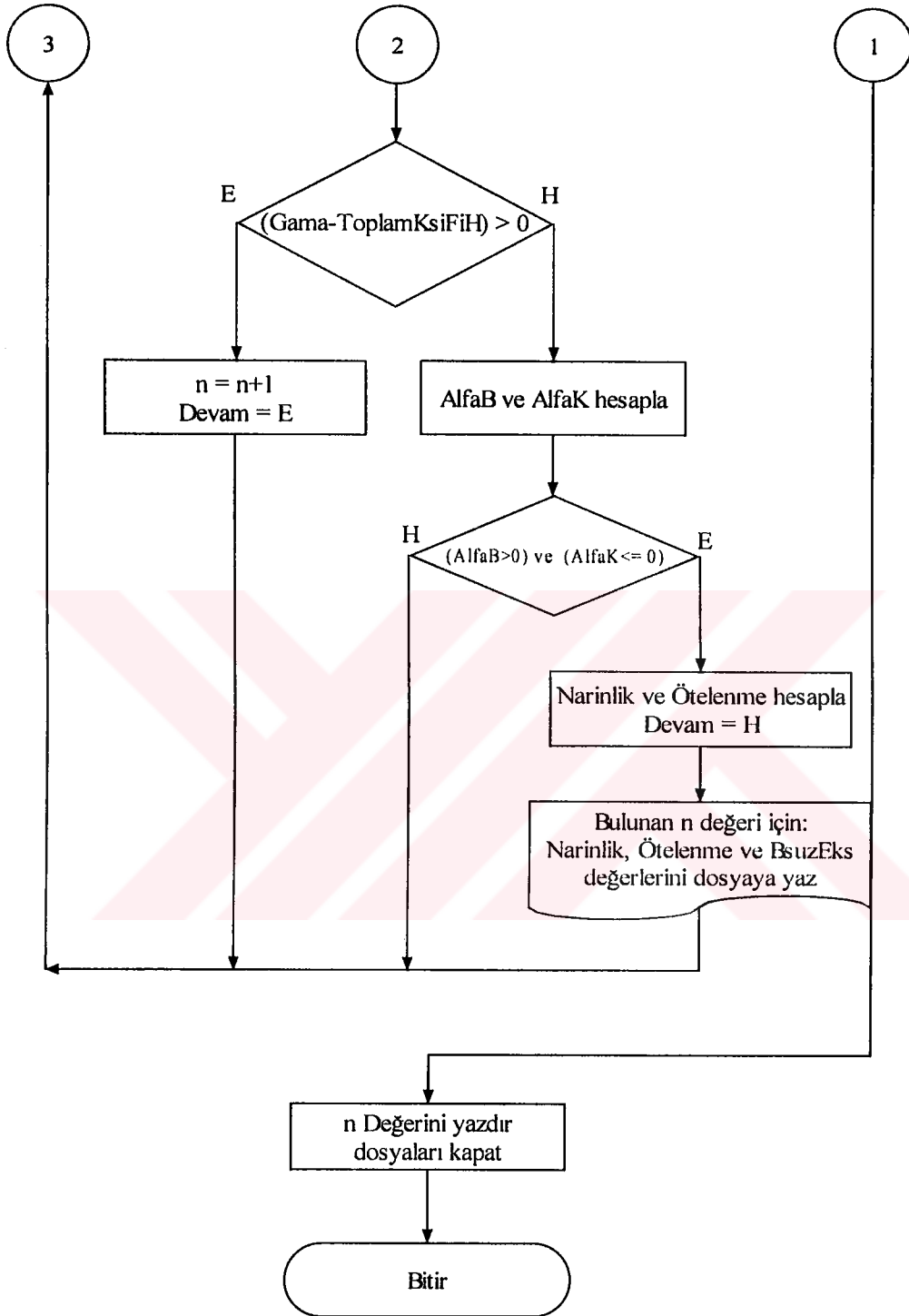
Amaca uygun sonuçlar elde edebilmek için iki ana program yazılmıştır. Bunlar C++ programlama dilinde kodlanmıştır. BİRİNCİ adlı program ile genel olarak yükleme parametrelerinin ve kargir dolgu duvarları karakterize eden fiziksel, geometrik ve mekanik özelliklerle ilgili parametrelerin önemi vurgulanarak, duvarların denge bölgeleri elde edilebilmektedir. Örneğin yükleme durumu  $c_y$ ,  $c_d$  yatay ve düşey deprem katsayıları ve  $P/W$  oranı ile belli olan, birim hacim ağırlığı, kalınlığı ve elastisite modülü belirtilen, dolayısıyla  $\rho H/E$  parametresi belli olan bir dolgu duvarın söz konusu yükleme durumu altında alabileceği en büyük, sınır, narinlik değeri hesaplanabilmektedir. Bu sayede, eldeki bir dolgu duvarın sözkonusu bir yükleme durumunu karşılayabilecek bir durumda olup olmadığı da belirlenebilmektedir. Yükleme parametreleri  $c_y$ ,  $c_d$  ve  $P/W$  ile duvar özelliklerine bağlı  $\rho H/E$  parametresinin değerleri sistematik olarak değiştirilerek bu parametrelerin sonuçlara, yani duvar davranışına olan etkileri belirlenebilmektedir. Bu programın akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir. İKİNCİ 2 adlı program yapı olarak birinci

programın hemen hemen aynısıdır. Bu program ile kalınlığı ve yüksekliği, dolayısıyla narinliği, birim hacim ağırlığı ve elastisite modülü belli olan bir kargir dolgu duvarın,  $P/W$  oranı da belli iken, örneğin yatay deprem katsayısı – yatay ötelenme,  $c_y-\delta$ , ilişkisi belirlenebilmektedir. Bu sayede, söz konusu dolgu duvarın dayanabileceği en büyük yatay atalet kuvveti ve buna karşı yapabileceği yatay ötelenme ve dolayısıyla bir anlamda dayanabileceği katlar arası görelî ötelenme miktarı bulunabilmektedir. Benzer olarak, örneğin bir dolgu duvarın dayanabileceği düzleme dik atalet kuvveti üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisi belirlenebilmektedir. Bu ikinci programın akış diyagramı ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

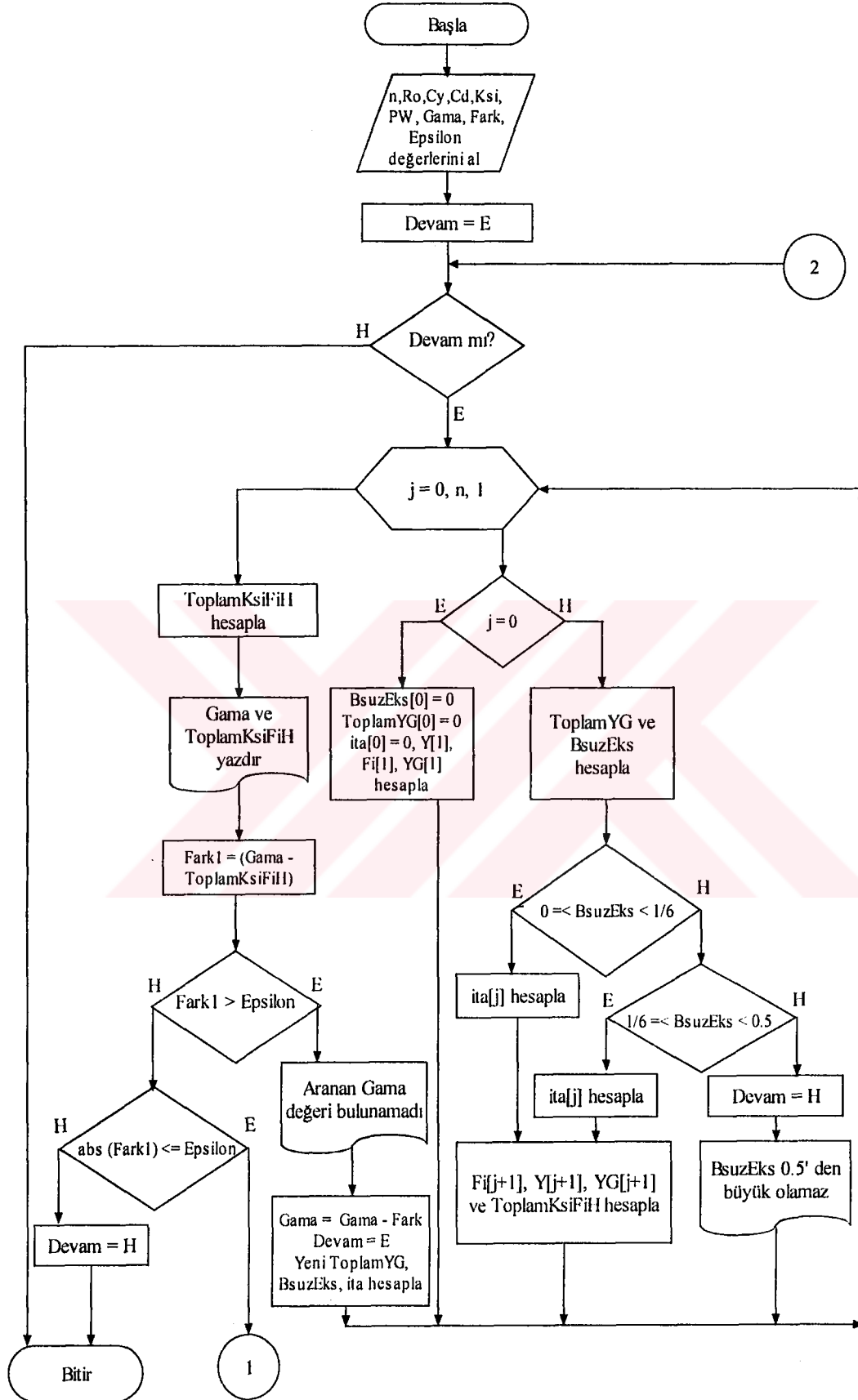
Bu çalışma için geliştirilen ve C++ programlama dilinde kodlanmış olan bu iki programın listesi Ek 2’de verilmektedir.



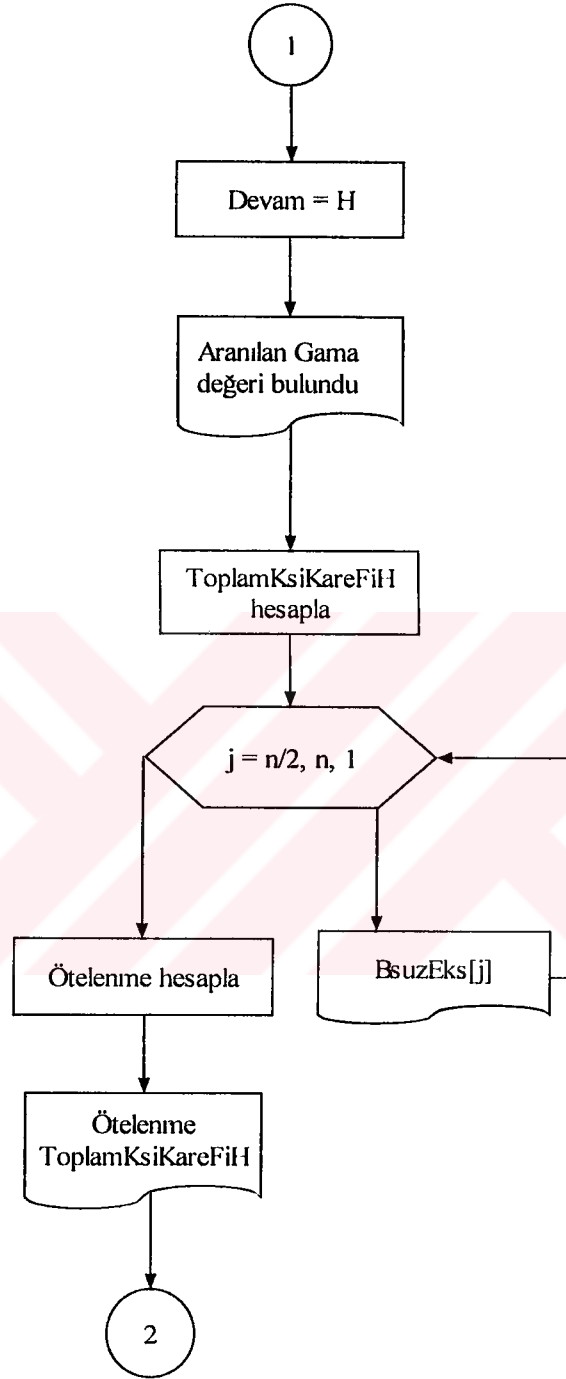




Şekil 4.1 (Devam) BİRİNCİ programının genel akış diyagramı



Şekil 4.2 İKİNCİ 2 programının genel akış diyagramı



Şekil 4.2 (Devam) İKİNCİ 2 programının genel akış diyagramı

## **5. KARGİR DOLGU DUVARLARIN DÜZLEMLERİNE DİK VE DÜŞEY DEPREM ETKİLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARINI ETKİLEYEN BÜYÜKLÜKLERİN İRDELENMESİ**

### **5.1 Genel Açıklamalar**

Bu bölümde ayrıntıları daha önceki bölümlerde verilen hesaplardan elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır. Bu çalışmada yapılan hesaplar kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düşey atalet kuvvetleri ve katlar arası görelî ötelenme etkisinden oluşan birleşik yükleme etkileri altındaki davranışları üzerinde aşağıda sıralanan büyüklüklerin etkilerinin incelenmesini sağlayacak şekilde planlanmıştır:

- a) Duvar düzlemine dik atalet kuvvetlerinin etkisi,
- b) Düşey atalet kuvvetlerinin etkisi,
- c) Duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin etkisi,
- d) Duvarın fiziksel, geometrik ve mekanik özelliklerinin etkisi,
- e) Duvarın geometrik bir özelliği olmasına karşılık ayrı olarak incelenen duvar narinliğinin etkisi.

Bu bölümde ayrıca kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik ötelenme kapasiteleri ve düzlemlerine dik atalet kuvvetine dayanma kapasiteleri üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisi irdelenmiştir. Bunların dışında bu duvarlar düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenerek bu durumda düzlemlerine dik atalet kuvveti- yatay ötelenme ilişkileri araştırılmıştır. Son olarak ise duvarların davranışlarının incelenmesinde hesaba katılmamış bazı büyüklüklerin etkilerinin ne olabileceği irdelenmiştir.

## 5.2 Duvar Düzlemine Dik Atalet Kuvvetlerinin Etkileri

Deprem hareketinin çok eksenli olma özelliğinden dolayı bir depremde yapıların bütün yapısal ve yapısal olmayan elemanları, elektrik ve mekanik donanımları, içindeki eşyalar vs. hepsi eşzamanlı yatay ve düşey etkilere maruz kalırlar. Deprem bütünü bunlar üzerindeki hakim etkisi genellikle yatay etkilere maruz kalırlar. Dolayısıyla yapıdaki dolgu duvarlar üzerinde de depremin hakim etkisi yatay etkiler olacaktır. Dolgu duvarlar üzerindeki yatay etkiler düzlem içi ve düzleme dik olmak üzere iki şekildedir. Bu düzlem içi ve düzleme dik etkiler, düzlem içi ve düzleme dik atalet kuvvetleri ve çerçeve ile dolgu duvar arasında meydana gelen düzlem içi ve düzleme dik etkileşim kuvvetlerinin toplamı şeklindedir. Duvarlar düzlem içi yatay etkilere karşı bu doğrultudaki yüksek kayma ve eğilme rijitliklerinden dolayı önemli sayılabilecek bir dayanıma sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı içinde bulundukları çerçeve ile aralarında etkileşim kuvvetleri oluşur ve çerçeveye belli bir hasar seviyesine kadar dayanım ve rijitlik yönünden önemli katkıda bulunurlar. Duvarların düzlem içi davranışları bu çalışmanın kapsamı dışında olduğundan fazla irdelenmeyecektir. Dolgu duvarlar düzlemlerine dik deprem etkilerine karşı ise bu doğrultudaki küçük eğilme rijitliklerinden dolayı zayıf durumdadırlar. Çevrelerindeki çerçeve elemanlarının yeterince rijit olduğu ve bu elemanların sabit kabul edilebileceği durumlarda, dolgu duvarların içlerinde oluşan düşey ve/veya yatay kemerlenme etkileri sayesinde düzleme dik doğrultuda oldukça büyük yüklere dayanabileceklerinin belirlendiği Bölüm 1.2’de belirtilmişti. Ancak diğer bazı faktörler yanında eğer yapı katlar arası göreceli yatay yerdeğiştirmelerin çok küçük düzeylerde kalacağı kadar rijit değilse, duvar içinde oluşacak zayıf kemerlenme etkileri ile duvarın dayanabileceği düzleme dik yük düşük seviyelerde kalabilir.

Bu çalışmada kargir dolgu duvarların davranışlarının incelenmesine duvar düzlemine dik katlar arası göreceli ötelenme etkisi de dahil edildiğinden, hesap modeli olarak kemerlenme etkisine dayanan bir model değil de, duvarların düzlemlerine dik etkilere bu doğrultudaki küçük eğilme rijitlikleri ile dayandıkları ve dolayısıyla çok daha güvenli tarafta kalan sonuçlar veren bir model kullanılmıştır. Bu model Bölüm 3.4’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Yapılmış olan ilk hesaplarda, duvar düzlemine dik atalet etkilerinin kargir dolgu duvarların davranışları üzerindeki etkisini anlamak amacıyla yatay deprem katsayısı

$c_y$ 'nin seçilmiş dört farklı değeri için narinlik – boyutsuz ötelenme,  $L/H - \delta/H$ , eğrileri  $P/W$  oranının çeşitli değerleri için elde edilmiştir. Hesaplar  $\rho H/E$  parametresinin yine seçilmiş dört farklı değeri için yapılmıştır. Hesaplarda  $c_d = 0$  alınmıştır. Duvar üst kesitinin  $\gamma$  dönmesindeki tedrici artışla kontrol edilen davranış için boyutsuz ötelenmeyi veya taban kesitindeki boyutsuz dışmerkezliği 0.5 yapan  $\gamma$  açısında sınır duruma gelindiği, başka bir deyişle duvarın düzlemi dışına yıkıldığı kabul edilmiştir. Bu husus Bölüm 3.4.8'de açıklanmıştır. Bu amaçla yapılmış hesapların sonuçları Şekil A.1 ~ Şekil A.4'de verilmiştir. Bu şekiller  $\rho H/E$  parametresinin sırasıyla  $0.5 \times 10^{-6}$ ,  $1.0 \times 10^{-6}$ ,  $2.0 \times 10^{-6}$  ve  $3.0 \times 10^{-6}$  değerleri için elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi  $\rho H/E$  parametresinin gözönüne alınacak herhangi bir değerinde, aynı bir  $P/W$  değeri için  $c_y$  yatay deprem katsayısının büyük değerlerine gidildikçe duvar için daha küçük sınır narinlikler, yani maksimum  $L/H$  ordinatları ve bunlara karşı gelen  $\delta/H$  boyutsuz ötelenme değerleri elde edilmektedir. Örneğin  $\rho H/E = 0.5 \times 10^{-6}$  ve  $P/W = 0.3$  için yatay deprem katsayısının 0.02, 0.04, 0.07 ve 0.10 değerleri için bulunmuş olan maksimum  $L/H$  ordinatları sırasıyla 30.50, 17.95, 11 ve 7.88 iken karşı gelen  $\delta/H$  boyutsuz ötelenme değerleri ise 0.091, 0.046, 0.018 ve 0.014 olmaktadır, Şekil A.1.  $c_y = 0.04$  ve  $c_y = 0.10$  yatay deprem katsayıları için elde edilen sınır narinlikler karşılaştırıldığında, deprem katsayısındaki 2.5 kat artış sonucunda sınır narinliğinin yaklaşık 2.5 kat azaldığı görülmektedir.

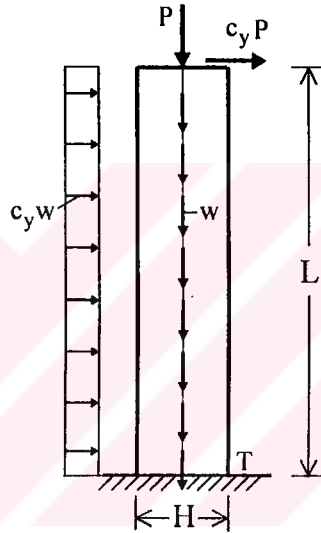
Yatay atalet etkilerinin dolgu duvarların davranışları üzerindeki etkisini biraz daha net görmek için  $\rho H/E$  parametresini pratikte alabileceği değerlerin çok geniş bir aralığı olan  $0 < \rho H/E \leq 5.0 \times 10^{-6}$  arasında alıp, yine yatay deprem katsayısı  $c_y$ 'nin seçilmiş dört değeri için duvar sınır, maksimum, narinliğinin alabileceği değerler için Şekil A.5'deki eğriler elde edilmiştir. Her bir  $c_y$  değerinde  $P/W$  oranının yine çeşitli değerleri için sonuçlar elde edilmiştir. Bu hesaplarda da  $c_d = 0$  alınmıştır.

Şekil A.5'deki eğriler, üzerlerinde belirtilmiş olan yükleme durumları için dolgu duvarların boyutsuz denge bölgelerinin sınırlarını oluşturmaktadır. Örneğin Şekil A.5(c)'de gösterilmiş olan  $c_y = 0.07$ ,  $c_d = 0$ ,  $P/W = 0.1$  değerlerine karşı gelen eğri,  $\rho H/E$  parametresi 0 ile  $5.0 \times 10^{-6}$  arasında olan dolgu duvarlar için söz konusu olabilecek narinlik değerlerinin üst sınırını teşkil etmektedir. Söz konusu yükleme durumu altında, eğrinin altındaki bölgedeki narinlik değerlerine sahip duvarlar dengede, eğrinin kendisi denge bölgesinin sınırı, eğrinin üst kısmına düşen narinlik

değerlerine sahip duvarlar ise dengede olmayacak durumdadır. Her bir eğrinin  $\rho H/E = 0$  apsis değerine karşı gelen ordinatı ise rijit duvar,  $E \rightarrow \infty$ , denge koşulundan elde edilmektedir. Şekil 5.1’de gösterilmiş olan T topuk noktasına göre devirici ve direnen momentlerin dengesi yazıldığında, rijit duvar durumuna karşı gelen ve ( )<sub>0</sub> ile gösterilecek bu sınır narinlik için

$$\left(\frac{L}{H}\right)_{0,\text{maks.}} = \frac{1 + P/W}{c_y \left[1 + 2 \frac{P}{W}\right]} \quad (5.1)$$

değeri elde edilmektedir.



Şekil 5.1 Yüklü dolgu duvar ve T topuk noktası

Şekil A.5’deki eğrilerde, gözönüne alınacak aynı  $P/W$  ve  $\rho H/E$  değerleri için  $c_y$  yatay deprem katsayısının yüksek değerlerine gidildikçe duvar için elde edilmiş olan sınır narinlik değerlerinin azaldığı oldukça net bir şekilde görülmektedir. Örneğin  $P/W = 0.1$  ve  $\rho H/E = 1.5 \times 10^{-6}$  değerleri için  $c_y$  katsayısının 0.02, 0.04, 0.07 ve 0.10 değerleri ile elde edilmiş olan sınır narinlik değerlerinin sırasıyla 30.25, 18.87, 11.95 ve 8.72 olduğu görülmektedir.

Yatay atalet etkilerinin dolgu duvar davranışı üzerindeki baskın etkisi görülmektedir. Dolgu duvar için söz konusu olan diğer bütün parametreler sabit iken yatay atalet etkilerindeki küçük bir artış dahi duvarı dengeli durumdan çıkarıp dengede olmayan bir duruma getirebilecektir.

Yatay atalet etkilerinin duvar davranışı üzerindeki bu baskın etkisi şöyle izah edilebilir: Duvar yatay kesitlerindeki birinci mertebe eğilme momenti yatay kuvvetlerin şiddeti ile doğrusal olarak artar. Dolayısıyla yatay deprem katsayısının büyük değerlerine gidildikçe duvar yatay kesitlerinde gittikçe küçük basınç alanlarına sebep olan büyük eğilme momentleri meydana gelecektir. Bunun sonucunda ise yatay atalet kuvvetlerinin büyük değerlerine doğru duvar için elde edilecek sınır narinlik değerleri düşmüş olacaktır.

İkinci mertebe etkilerden dolayı rijit dolgu duvar durumuna karşı gelen narinlikteki azalmayı daha iyi görmek için

$$\left(\frac{L}{H}\right)_{\text{maks.}} = \frac{1}{k} \left(\frac{L}{H}\right)_{0,\text{maks.}} \quad (5.2)$$

formunda bir bağıntı yazılabilir. Burada  $(L/H)_{0,\text{maks.}}$  (5.1) ifadesiyle verilen rijit duvar narinliğini göstermektedir. (5.2) ifadesindeki “k” katsayısı  $c_y$ ,  $P/W$  ve  $\rho H/E$ ’ye bağlı yani bunların bir fonksiyonu olan bir azaltma faktörüdür. Bu katsayının değişimi ise Şekil A.6’da verilmektedir.  $P/W$ ’nin 0, 0.1, 0.3 ve 0.5 değerleri için elde edilen “k” değerleri birbirine çok yakın olduğu için şekillerde sadece  $P/W$ ’nin 0 değerine karşı gelen eğri gösterilmiş, 0.1, 0.3 ve 0.5 değerlerine karşı gelen eğriler şekil karışmasın diye gösterilmemiştir. Şekilden görüldüğü gibi diğer parametreler aynı iken  $c_y$ ’nin yüksek değerlerine gidildikçe daha küçük “k” azaltma faktörleri elde edilmektedir. Örneğin  $P/W = 0$  ve  $\rho H/E = 2.0 \times 10^{-6}$  değerleri için  $c_y$ ’nin 0.02, 0.04, 0.07 ve 0.10 değerlerine karşı gelen azaltma faktörleri sırasıyla 1.58, 1.24, 1.11 ve 1.06 olarak elde edilmektedir. Bu durum yüksek yatay atalet etkilerinin duvar için zaten ağır bir yükleme durumu oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Böylece duvar davranışı üzerinde yatay atalet kuvvetlerinin hakim etkisi bir kez daha görülmüş olmaktadır.

### 5.3 Düşey Atalet Kuvvetlerinin Etkileri

Yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının incelenmesinde depremin düşey bileşeninin etkisinin çok kere ihmal edildiği, ancak bazı depremlerden sonra yapılan incelemelerin bazı hasar türlerinin büyük ölçüde depremin düşey bileşeninin etkisinden kaynaklandığını gösterdiği Bölüm 3.4.3’de belirtilmişti. Bu çalışma

depremin düşey bileşeninin, duvar üzerindeki diğer etkilerle birlikte duvarların düzlemlerine dik davranışları üzerinde de etkisi olduğunu göstermiştir.

Düşey atalet kuvvetlerinin dolgu duvarların davranışı üzerindeki etkilerinin anlaşılması için yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar Şekil A.7 ~ Şekil A.10'da verilmiştir. Bu şekiller de, daha önce yatay atalet kuvvetlerinin etkisinin görülmesi amacı ile yapıldığı gibi duvarların sınır narinliğinin alabileceği değerleri, dolayısıyla boyutsuz denge bölgelerinin sınırlarını göstermektedir.  $\rho H/E$  parametresi için yine alabileceği değerlerin geniş bir aralığı olan  $0 < \rho H/E \leq 3.0 \times 10^{-6}$  arasındaki değerler kullanılmış,  $P/W$  oranı için ise 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 ve 3.0 değerleri gözönüne alınmıştır. Yapılan hesaplarda duvarların salt düşey atalet etkileri altındaki davranışı değil de belirli büyüklükte yatay atalet etkileri ile birlikte bulunmaları durumu gözönüne alınmıştır. Bu amaçla bu kısımdaki hesaplar için yatay deprem katsayısı  $c_y$ 'nin 0.04 ve 0.07 değerleri kullanılmıştır.

Şekil A.7 ve Şekil A.8 sırasıyla  $c_y$ 'nin 0.04 ve 0.07 değerleri için düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumu için elde edilen sonuçları, Şekil A.9 ve Şekil A.10 ise  $c_y$ 'nin aynı değerleri, ancak düşey atalet kuvvetlerinin yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumu için elde edilen sonuçları göstermektedir. Bu şekillerdeki eğriler, üzerlerinde belirtilmiş olan yükleme durumları için dolgu duvarların boyutsuz denge bölgelerinin sınırlarını oluşturmaktadır. Örneğin Şekil A.7(b)'de gösterilmiş olan  $c_y = 0.04$ ,  $c_d = 0.3$ ,  $P/W = 0.1$  değerlerine tekabül eden eğri,  $\rho H/E$  parametresi 0 ile  $3.0 \times 10^{-6}$  arasında olan duvarlar için söz konusu olabilecek sınır narinlik değerlerinin üst sınırını teşkil etmektedir. Her bir eğrinin  $\rho H/E = 0$  apsis değerine karşı gelen ordinatı yine rijit duvar,  $E \rightarrow \infty$ , denge koşulundan elde edilmektedir. Bu narinlik değeri, duvarın üzerindeki yükleme durumu altında yine topuk noktasına göre direnen ve devirici momentlerin dengesi yazılarak (5.1) bağıntısına benzer şekilde

$$\left(\frac{L}{H}\right)_{0,\text{maks.}} = \frac{(1 \pm c_d) \left[1 + \frac{P}{W}\right]}{c_y \left[1 + 2(1 \pm c_d) \frac{P}{W}\right]} \quad (5.3)$$

olarak elde edilmektedir. Bu ifadede düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru

yönlenmiş olmaları durumu için  $c_d$ 'nin artı işareti, yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumu için ise eksi işareti kullanılmaktadır.

Düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumu için elde edilmiş olan Şekil A.7 ve Şekil A.8'deki eğrilerde, gözönüne alınacak aynı  $c_y$ ,  $P/W$  ve  $\rho H/E$  değerleri için  $c_d$  düşey deprem katsayısının yüksek değerlerine gidildikçe sınır narinlik değerlerinin arttığı, sadece Şekil A.7(f)'de  $\rho H/E$ 'nin büyük değerlerine doğru bunun tersi bir durum olduğu, ancak bunun da sınırlı kaldığı görülmektedir. Örneğin  $c_y = 0.04$ ,  $P/W = 0.1$  ve  $\rho H/E = 1.0 \times 10^{-6}$  değerleri için  $c_d$  katsayısının 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 değerleri ile elde edilmiş olan sınır narinlik değerlerinin sırasıyla 19.44, 20.51, 21.49, 22.33 ve 23.80 olduğu görülmektedir, Şekil A.7(b). Düşey deprem katsayısındaki artışla sınır narinlikte gözlenen bu artış şu şekilde açıklanabilir. Düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumunda duvar kesitlerindeki basınç bölgesi alanını ve dolayısıyla kesitlerin moment taşıma kapasitelerini arttırıcı bir etki meydana getirirler. Bu etki neticesinde ise dolgu duvarlar üzerlerindeki yükleme durumu altında dengelerini kaybetmeden daha yüksek narinlik değerlerine sahip olabilmektedirler.

Düşey atalet kuvvetlerinin yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumu için elde edilmiş olan Şekil A.9 ve Şekil A.10'daki eğrilerde ise gözönüne alınan aynı  $c_y$ ,  $P/W$  ve  $\rho H/E$  değerleri için  $c_d$  düşey deprem katsayısının yüksek değerlerine gidildikçe sınır narinlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin  $c_y = 0.07$ ,  $P/W = 0.3$  ve  $\rho H/E = 1.0 \times 10^{-6}$  değerleri için  $c_d$  katsayısının 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 değerleri ile elde edilmiş olan sınır narinlik değerlerinin sırasıyla 10.76, 10.17, 9.51, 8.77 ve 7 olduğu görülmektedir, Şekil A.10(c). Bu durum ise düşey atalet kuvvetlerinin yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumunda duvar kesitlerindeki basınç bölgesi alanını ve dolayısıyla kesitlerin moment taşıma kapasitelerini azaltıcı bir etki meydana getirmeleri düşüncesiyle açıklanabilir.

Görüldüğü gibi düşey atalet kuvvetleri de kargir dolgu duvarların davranışı üzerinde küçümsenemeyecek bir etkiye sahiptir. Ancak yine görüldüğü gibi bu etki yatay atalet kuvvetlerinin etkisine göre çok daha az önemlidir.

Burada ayrıca şu hususu belirtmekte yarar vardır. Düşey atalet kuvvetlerinin etkisi incelenirken kullanılan düşey deprem katsayıları ile birlikte gözönüne alınmış olan yatay deprem katsayıları oldukça küçük kalmaktadır. Bu durum depremlerin genel

etkisine zıt gibi görünmektedir. Çünkü daha önce belirtildiği gibi depremlerde düşey/yatay maksimum ivme oranları genellikle  $1/2 \sim 2/3$  civarında olmaktadır. Ancak bu oranlar esas alınarak düşey deprem katsayıları seçilip kullanılmış olsaydı bunların davranış üzerindeki etkilerini fark etmek oldukça zor olabilirdi. Bundan dolayı ve olanak tanıdığı için hesapta yüksek düşey deprem katsayıları kullanılmıştır.

#### 5.4 Duvar Üst Kesiti İle Kiriş Tabanı Arasındaki Temas Kuvvetinin Etkisi

Katlar arası görelî ötelenme etkisinin hesapta gözönüne alınmasını sağlayan dolgu duvar üst kesiti ile bu kesitin temas halinde bulunduğu kiriş tabanı arasındaki temas kuvveti diğer parametrelerin etkisi incelenirken doğal olarak gözönüne alınmıştır. Bu temas kuvveti, daha önce belirtildiği gibi genel olarak düşey  $P$  ve yatay  $c_y P$  kuvvetlerinden oluşmakta ve Bölüm 4.3’de açıklanan nedenlerden dolayı  $P$  kuvveti için alması muhtemel olduğu değerlerin geniş bir aralığı gözönüne alınmaktadır.

Daha önce etkileri incelenmiş olan yatay ve düşey atalet kuvvetleri ile ilgili olarak buraya kadar bahsedilmiş bütün şekillerde  $P/W$  oranı da bir parametre olarak görülmektedir. Şekil A.1 ile Şekil A.5 arasındaki veya Şekil A.7 ile Şekil A.10 arasındaki şekillerden herhangi biri gözönüne alındığında, diğer parametreler sabit iken  $P/W$  oranındaki artışın duvarların sınır narinlik değerlerini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Örneğin yatay deprem katsayısı  $c_y$ ’nin 0.04 olarak gözönüne alındığı Şekil A.5(b)’de  $\rho H/E$  parametresinin  $1.0 \times 10^{-6}$  değerinde,  $P/W$  oranının 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0 ve 5.0 değerlerine karşılık olarak elde edilmiş olan sınır narinlik değerlerinin sırasıyla 21.21, 19.44, 17.22, 15.85, 14.00, 11.71 ve 10.88 olduğu görülmektedir. Benzer olarak örneğin yatay deprem katsayısı  $c_y$ ’nin 0.07 olarak gözönüne alındığı Şekil A.8’de  $\rho H/E$  parametresinin  $0.5 \times 10^{-6}$  ve düşey deprem katsayısı  $c_d$ ’nin 0.3 değeri için,  $P/W$  oranının 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 ve 3.0 değerlerine karşılık olarak sınır narinlik için sırasıyla 16.95, 14.84, 12.51, 11.20, 9.54 ve 7.77 değerlerinin elde edilmiş olduğu görülmektedir.

Ayrıca Şekil A.1 ile Şekil A.5 arasındaki şekillerde görüldüğü gibi duvar ağırlığının  $P$  yükü yanında küçük olduğu, yani  $P/W$  oranının büyük olduğu eğriler birbirine daha yakındır. Bu durum  $P/W$  oranının yüksek değerlerine gidildikçe duvarlar için hızla yıkılma durumuna yaklaşılmış olduğunun bir göstergesidir.

Duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvveti Şekil 3.5’de de görüldüğü gibi düşey ve yatay olmak üzere iki kuvvetten oluşmaktadır. Dolayısıyla diğer parametreler sabit iken  $P/W$  oranı büyüdükçe ulaşılabilir sınır narinlik değerinin azalmasının sebebi açıklanırken bu iki kuvvetin etkisinin ayrı ayrı belirtilmesi daha uygun olacaktır.

Depremi düşey bileşeni basitlik maksadıyla hesaba katılmadan irdeleme yapılırsa;  $P$  kuvveti ve dolayısıyla  $c_y P$  yatay kuvveti büyüdükçe, bu yatay kuvvetin oluşturduğu ve duvar tabanına doğru doğrusal olarak değişen eğilme momenti de büyümektedir. Bu büyüyen moment ise kesitlerde daha büyük çekme alanları oluşturmaktadır. Duvar malzemesi çekme almaz varsayıldığından ve dolayısıyla çekme bölgeleri ölü bölgeler olarak kabul edilebileceğinden dolayı, temas kuvvetinin sözkonusu bu  $c_y P$  yatay bileşeninin duvar için ulaşılabilir sınır narinlik değerleri üzerinde ve dolayısıyla duvar dengesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Temas kuvvetinin bu yatay bileşeninin duvar davranışı üzerindeki olumsuz etkisi Bölüm 5.9’da daha net bir şekilde gösterilmektedir.

Temas kuvvetinin düşey bileşeni ise sınır narinlik değerlerine ulaşıncaya kadar duvar kesitlerinin çekirdek bölgesi içinde kaldığı için olumlu bir etkiye sahip olmakta ve ancak bu sınır değerden sonra  $\delta/H > 1/6$  olmaya başlayınca kesitlerde çekme gerilmeleri de oluşturabileceği için olumsuz bir etkiye sahip duruma gelmektedir. Temas kuvvetinin düşey bileşeninin kargir dolgu duvarlar için bir “öngerme etkisi” meydana getirdiği ve bu nedenle duvarların davranışı üzerinde çok olumlu bir etkiye sahip olduğu Bölüm 5.9’da daha açık bir şekilde gösterilmektedir.

Bu kısım için özetle şu söylenebilir: Duvar için diğer bütün parametreler sabit iken  $P/W$  oranı büyüdükçe daha küçük sınır narinlik değerlerine ulaşılması, diğer bir deyişle bu oranın davranış üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olması, hesapta gözönüne alınmış olan temas kuvvetinin  $c_y P$  yatay bileşeninden kaynaklanmaktadır.

## **5.5 Duvarların Fiziksel, Geometrik ve Mekanik Özelliklerinin Gözönüne**

### **Alınmasını Sağlayan $\rho H/E$ Parametresinin Etkisi**

Daha önce belirtilmiş olduğu gibi duvar kalınlığı  $H$ , duvar ortamının birim hacim ağırlığı  $\rho$  ve elastisite modülü  $E$  hesapta ayrı ayrı değil de  $\rho H/E$  parametresi şeklinde

karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden duvarın geometrik (sadece kalınlık), fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkisinin araştırılması bir anlamda bunların toplu halde yer aldığı bu parametrenin etkisinin incelenmesi olarak düşünülebilir. Kalınlık dışında duvar için diğer bir geometrik özellik olan narinliğin etkisi bir sonraki alt bölümde incelenmektedir.

Diğer parametrelerin duvar davranışı üzerindeki etkisi incelenirken  $\rho H/E$  de bir parametre olarak zaten gözönüne alınmıştır. Örneğin yatay atalet kuvvetlerinin davranış üzerindeki etkisini görmek için çizilmiş olan Şekil A.1, Şekil A.2, Şekil A.3 ve Şekil A.4’de bu parametrenin sırasıyla  $0.5 \times 10^{-6}$ ,  $1.0 \times 10^{-6}$ ,  $2.0 \times 10^{-6}$  ve  $3.0 \times 10^{-6}$  değerleri gözönüne alınmıştır. Diğer bütün parametreler sabit iken  $\rho H/E$  parametresindeki artışın daha küçük sınır narinlikler, ancak bunlara karşı gelen daha büyük boyutsuz ötelenme değerleri verdiği bu şekillerden açıkça görülebilmektedir. Örneğin  $c_y = 0.04$ ,  $c_d = 0$ ,  $P/W = 0.3$  için Şekil A.1(b), Şekil A.2(b), Şekil A.3(b) ve Şekil A.4(b)’den görüldüğü gibi elde edilen sınır narinlikler sırasıyla 17.95, 17.22, 16.31 ve 15.76 iken bunlara karşı gelen boyutsuz ötelenmeler 0.046, 0.058, 0.075 ve 0.085 olarak karşımıza çıkmaktadır.  $\rho H/E$  parametresinin pratikte alabileceği değerlerin oldukça geniş bir aralığı için çizilmiş olan Şekil A.5 ve Şekil A.6 ~ Şekil A.10’da bu parametrenin davranış üzerindeki etkisi daha net görülebilmektedir. Örneğin Şekil A.5 incelendiğinde şunlar söylenebilir: Bu şekildeki eğrilerde  $\rho H/E = 0$  değeri, Bölüm 5.2’de belirtildiği gibi rijit duvar durumuna karşı gelmektedir. Yatay deprem katsayısı  $c_y$ ’nin ve  $P/W$  oranının seçilmiş birer değerine karşılık  $\rho H/E$  parametresinin yüksek değerlerine gidildiğinde rijit duvar durumuna karşı gelen ve eğrilerin başlangıç ordinatlarını gösteren sınır narinlik değerleri düşmektedir.  $\rho H/E$ ’nin artışı ikinci mertebe etkilerin, diğer bir deyişle duvar yatay ötelenmelerinin artmasına ve dolayısıyla ulaşılacak sınır narinliklerin azalmasına sebep olduğundan bu parametreyi “duvar esneklik parametresi” olarak adlandırmak mümkündür. Ayrıca seçilmiş olan bir  $P/W$  değeri için duvar tabanındaki birinci mertebe eğilme momenti yatay kuvvetlerin şiddeti ile doğrusal olarak arttığından dolayı, yatay deprem katsayısı  $c_y$ ’nin yüksek değerlerine gidildiğinde  $\rho H/E$  esneklik parametresinin etkisinin daha az farkedilir duruma geldiği ve eğrilerin eğiminin bu yüzden düştüğü söylenebilir. Örneğin  $P/W = 0.1$ ,  $c_y = 0.04$  ve  $\rho H/E = 1.0 \times 10^{-6}$  için  $(L/H)_{maks.}$  ile  $(L/H)_{0,maks.}$  arasındaki oran  $19.44/22.92 \cong 0.85$  iken diğer

parametrelerin aynı, ancak  $c_y$ 'nin 0.10 değeri için bu oran  $8.78/9.17 \cong 0.96$  olmaktadır.

$\rho H/E$  esneklik parametresinde pay kısmında yer alan  $\rho$  ve/veya  $H$ 'daki artışın parametrenin artmasına, paydada yer alan  $E$ 'nin artışının ise parametrenin azalmasına yol açacağı açıktır. Dolayısıyla örneğin  $\rho$  ve  $H$  sabit iken duvar ortamının  $E$  elastisite modülünün artışı ile daha rijit bir duvar elde edileceğinden, yüksek elastisite modülü değerlerine duvarların davranışı üzerinde olumlu etkisi olan bir büyüklük gözüyle bakılmalıdır. Benzer olarak  $H$  ve  $E$  sabit iken duvar ortamının  $\rho$  birim hacim ağırlık değerinin artışı ile daha esnek bir duvar elde edileceğinden, yüksek birim hacim ağırlık değerlerine ise duvarların davranışı üzerinde olumsuz etkisi olan bir büyüklük gözüyle bakılmalıdır.

## 5.6 Duvar Narinliğinin Etkisi

Bu bölümde buraya kadar sunulan sonuçlar bilgisayar programlarından birincisi, BİRİNCİ, kullanılarak elde edilmiştir. Buradan sonraki sonuçlar ise ikinci program, İKİNCİ 2, ile elde edilmiştir.

Duvar narinliğinin davranış üzerindeki etkisini görebilmek için yükseklikleri pratikte karşılaşılabilecek değerlerde olan toplam 22 tane duvar gözönüne alınmış, bu duvarların yatay deprem katsayısı – yatay ötelenme,  $c_y-\delta$ , bağıntıları elde edilmiş ve bu sayede dayanabilecekleri düzlemlerine dik atalet kuvveti ve karşı gelen ötelenme,  $c_{ymaks.} - \delta_{cymaks.}$ , değerleri bulunmuştur. Gözönüne alınan duvarların  $c_y-\delta$  bağıntıları  $P/W$  oranının 0, 0.1, 0.3, 0.5 ve 1.0 değerleri için elde edilmiştir. Bu amaçla yapılan hesapların sonuçları Şekil A.11 ~ Şekil A.16'da verilmiştir. Ayrıca duvarların kalınlık  $H$ , yükseklik  $L$ , narinlik  $L/H$ , hesapta ideal olarak bölündükleri eleman sayısı  $n$ , esneklik parametresi  $\rho H/E$  değerleri ve  $P/W$  oranının 0.1 ve 0.5 değerleri için elde edilmiş olan dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvvetlerini temsil eden yatay deprem katsayısı  $c_{ymaks.}$ , bu değere karşı gelen yatay ötelenme  $\delta_{cymaks.}$  ve bu durumdaki boyutsuz dışmerkezlik  $e/H$  değerleri Tablo 5.1'de verilmektedir. Elastisite modülü  $E$  bütün duvarlar için  $100 \text{ kN/cm}^2$  olarak, birim hacim ağırlığı  $\rho$  ilk 16 duvar için  $5 \text{ kN/m}^3$ , 17, 18, 19 ve 20 numaralı duvarlar için  $10 \text{ kN/m}^3$ , 21, 22 numaralı duvarlar için ise  $15 \text{ kN/m}^3$  olarak seçilmiştir.

Yükseklikleri sırayla 250 cm ve 300 cm olarak alınan 1 ve 2 numaralı duvarlar için 10 cm duvar kalınlığı seçilmiştir. Bunun başlıca amacı “sandviç duvar” olarak adlandırılan ve ısı yalıtımı amacı ile arasına yalıtım malzemesi konularak inşa edilen duvarların bu çalışmadaki modele göre davranışlarını anlayabilmektir. Bu tür duvarlar çerçeve içinde inşa edilmekte ve genellikle dışta 1/2 tuğla kalınlığında içte 1 tuğla kalınlığında yapılmakta, arada ise yalıtım malzemesinin bulunduğu 5 ~ 10 cm kadar bir boşluk bulunmaktadır. Ancak bu iki duvar arasında çoğunlukla hiç bir mekanik bağlantı yapılmamaktadır. Bu durumda özellikle dışta yer alan ve narinliği oldukça yüksek olan 1/2 tuğla duvar yatay atalet kuvvetlerine ve katlar arası görelî ötelenmeye karşı oldukça zayıf bir durumda kalmaktadır. Depremlerde bu tür duvarların düzlemleri dışına yıkıldığına sıkça rastlanmaktadır. Nitekim Şekil 5.2 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi’nden sonra tespit edilmiş böyle bir çok hasardan yalnızca birisini göstermektedir. Narinlik değerleri sırasıyla 25 ve 30 olan 1 ve 2 numaralı duvarlar için bu çalışmadaki hesap modeliyle, katlar arası görelî ötelenme etkisinin teorik olarak hiç olmadığı P/W oranının 0 değeri için bile  $C_{ymaks.}$  değerlerinin sırasıyla 0.035 ve 0.027 olarak elde edilmiş olması bu duvarların düzlemlerine dik deprem etkilerine karşı ne kadar zayıf durumda olduklarını göstermektedir. Kalınlıkları aynı olan bu iki duvardan narin olanının daha az yatay yüke dayanabileceği, buna karşılık biraz daha fazla yatay ötelenme yapabileceği ve



Şekil 5.2 Düzlemleri dışına yıkılmış sandviç duvarlar

dolayısıyla daha büyük katlar arası görelî yatay ötelenmeye dayanabileceği Şekil A.11(a) ve (b)'de de görülebilmektedir.

Tablo 5.1 incelendiğinde 3 ~ 22 numaralı duvarlarda kalınlıkların yapılarda inşa edilen iç ve dış duvar kalınlıklarına uygun olarak 15 cm, 20 cm, 25 cm ve 30 cm olarak seçildiği görülmektedir. Bu duvarlara ait  $c_{\text{maks.}}$  değerleri için Tablo 5.1'e veya ilgili duvar numaralarına karşı gelen şekillere bakıldığında, duvar narinliği arttıkça dayanabileceği en büyük yatay atalet kuvvetinin önemli ölçüde düştüğü görülebilmektedir. Bu durumu daha net olarak görebilmek için yükseklikleri 300 cm,

**Tablo 5.1**  $c_y$ - $\delta$  bağıntıları elde edilen duvarların özellikleri ve P/W oranının seçilen iki değeri için elde edilen  $c_{\text{maks.}}$ ,  $\delta_{\text{maks.}}$  ve e/H değerleri

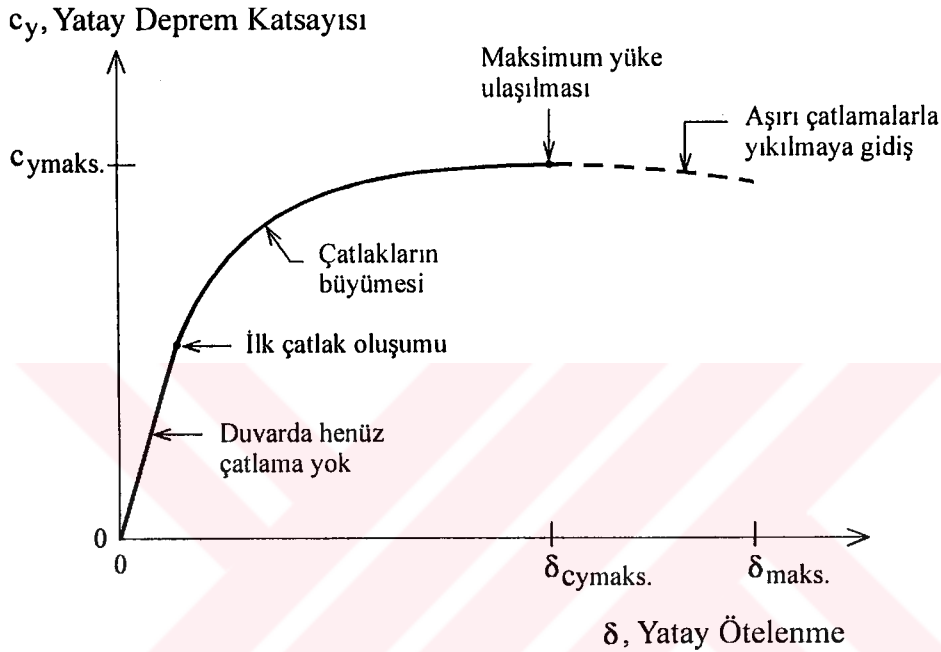
| Duvar No | H (cm) | L (cm) | $\frac{L}{H}$ | n   | $\rho \frac{H}{E} \times 10^6$ | P/W = 0.1          |                              |       | P/W = 0.5          |                              |       |
|----------|--------|--------|---------------|-----|--------------------------------|--------------------|------------------------------|-------|--------------------|------------------------------|-------|
|          |        |        |               |     |                                | $c_{\text{maks.}}$ | $\delta_{\text{maks.}}$ (cm) | e/H   | $c_{\text{maks.}}$ | $\delta_{\text{maks.}}$ (cm) | e/H   |
| 1        | 10     | 250    | 25            | 100 | 0.50                           | 0.031              | 0.77                         | 0.460 | 0.024              | 0.85                         | 0.446 |
| 2        | 10     | 300    | 30            | 120 | 0.50                           | 0.024              | 1.01                         | 0.448 | 0.018              | 1.09                         | 0.430 |
| 3        | 15     | 240    | 16            | 64  | 0.75                           | 0.052              | 0.61                         | 0.471 | 0.041              | 0.67                         | 0.460 |
| 4        | 15     | 300    | 20            | 80  | 0.75                           | 0.040              | 1.07                         | 0.467 | 0.031              | 1.10                         | 0.453 |
| 5        | 20     | 240    | 12            | 48  | 1.00                           | 0.071              | 0.73                         | 0.484 | 0.056              | 0.82                         | 0.477 |
| 6        | 20     | 300    | 15            | 60  | 1.00                           | 0.055              | 0.95                         | 0.473 | 0.043              | 1.07                         | 0.464 |
| 7        | 20     | 350    | 17.5          | 70  | 1.00                           | 0.046              | 1.31                         | 0.469 | 0.035              | 1.38                         | 0.455 |
| 8        | 25     | 250    | 10            | 40  | 1.25                           | 0.087              | 0.86                         | 0.489 | 0.069              | 0.91                         | 0.482 |
| 9        | 25     | 300    | 12            | 48  | 1.25                           | 0.070              | 0.96                         | 0.480 | 0.056              | 1.12                         | 0.473 |
| 10       | 25     | 350    | 14            | 56  | 1.25                           | 0.059              | 1.30                         | 0.476 | 0.046              | 1.47                         | 0.467 |
| 11       | 25     | 400    | 16            | 64  | 1.25                           | 0.050              | 1.54                         | 0.468 | 0.039              | 1.72                         | 0.457 |
| 12       | 30     | 240    | 8             | 32  | 1.50                           | 0.110              | 0.86                         | 0.496 | 0.088              | 0.88                         | 0.489 |
| 13       | 30     | 300    | 10            | 40  | 1.50                           | 0.086              | 1.14                         | 0.488 | 0.068              | 1.16                         | 0.480 |
| 14       | 30     | 360    | 12            | 48  | 1.50                           | 0.070              | 1.48                         | 0.482 | 0.055              | 1.53                         | 0.472 |
| 15       | 30     | 420    | 14            | 56  | 1.50                           | 0.058              | 1.82                         | 0.475 | 0.045              | 1.90                         | 0.463 |
| 16       | 30     | 510    | 17            | 68  | 1.50                           | 0.046              | 2.21                         | 0.462 | 0.035              | 2.33                         | 0.446 |
| 17       | 20     | 240    | 12            | 48  | 2.00                           | 0.069              | 1.02                         | 0.476 | 0.054              | 1.02                         | 0.463 |
| 18       | 20     | 300    | 15            | 60  | 2.00                           | 0.052              | 1.49                         | 0.466 | 0.040              | 1.53                         | 0.450 |
| 19       | 30     | 240    | 8             | 32  | 3.00                           | 0.108              | 1.13                         | 0.490 | 0.086              | 1.17                         | 0.481 |
| 20       | 30     | 300    | 10            | 40  | 3.00                           | 0.083              | 1.39                         | 0.478 | 0.065              | 1.44                         | 0.466 |
| 21       | 20     | 300    | 15            | 60  | 3.00                           | 0.050              | 1.59                         | 0.453 | 0.038              | 1.72                         | 0.436 |
| 22       | 30     | 300    | 10            | 40  | 4.50                           | 0.081              | 1.80                         | 0.472 | 0.063              | 1.84                         | 0.460 |

kalınlıkları 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm ve 30 cm ve dolayısıyla narinlik değerleri 30, 20, 15, 12 ve 10 olan 2, 4, 6, 9 ve 13 numaralı duvarların  $P/W = 0.3$  için elde edilen  $c_y$ - $\delta$  bağıntıları Şekil A.17(a)'da aynı eksen takımı üzerinde gösterilmiştir. Benzer olarak yükseklikleri 240 cm, kalınlıkları sırasıyla 15 cm, 20 cm, 30 cm ve dolayısıyla narinlik değerleri 16, 12 ve 8 olan 3, 5 ve 12 numaralı duvarların yine  $P/W = 0.3$  için elde edilen  $c_y$ - $\delta$  bağıntıları Şekil A.17(b)'de aynı eksen takımı üzerinde gösterilmiştir. Bu şekillerden birine, örneğin Şekil A.17(a)'ya bakıldığında, 13 numaralı duvarın sahip olduğu narinliğin 3 katı narinliğe sahip 2 numaralı duvarın, 13 numaralı duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvvetinin ancak dörtte biri kadar bir atalet kuvvetine dayanabileceği görülebilmektedir. Yine Tablo 5.1'den, kalınlıkları 25 cm,  $\rho$  ve E değerleri, dolayısıyla  $\rho H/E$  parametreleri eşit olan, ancak yükseklikleri 250 cm, 300 cm 350 cm ve 400 cm olan dolayısıyla narinlik değerleri sırasıyla 10, 12, 14 ve 16 olan 8, 9, 10 ve 11 numaralı duvarların  $P/W = 0.5$  için  $c_{y\text{maks.}}$  değerlerine bakıldığında sırasıyla 0.069, 0.056, 0.046 ve 0.039 olduğu görülmektedir.

Duvarların  $c_y$ - $\delta$  grafikleri incelendiğinde, eğimin yüksek ve yaklaşık olarak sabit olduğu bir ilk bölge, bu bölgeyi izleyen ve eğimin sürekli ve hızla azaldığı ikinci bir bölge ve bu bölgeden sonra yaklaşık olarak yatay üçüncü bir bölge ayırt edilebilmektedir. Şekil 5.3'de gösterilmiş olan tipik bir  $c_y$ - $\delta$  eğrisine bakılarak irdeleme yapılırsa; eğimin sabit ve yüksek olduğu ilk bölgenin duvarda henüz çatlamların meydana gelmediği aşamayı gösterdiği, eğimin ve dolayısıyla duvar rijitliğinin düştüğü ikinci bölgenin artan  $c_y$  değerleri ile birlikte duvarda çatlamların başlayıp geliştiği safhaya karşı geldiği ve yatay olarak kabul edilebilecek üçüncü bölgenin ise çatlakların büyüyüp genişlemesi neticesinde duvarda yatay ötelenmenin hızla arttığı aşamayı gösterdiği anlaşılır. Bu üçüncü bölgenin sonunda duvarın taşıyabileceği en büyük yatay yük değerine ulaşılmış olmaktadır.

Duvarların  $c_y$ - $\delta$  eğrilerinin son noktalarının ordinatı duvarların bu çalışmadaki hesap modeli ile elde edilen dayanabilecekleri en büyük yatay deprem katsayılarını göstermesine rağmen, apsis değerleri duvarların yapabilecekleri en büyük yatay ötelenme değerleri değildir. Zaten Tablo 5.1'den de görüldüğü gibi duvarların dayanabilecekleri en büyük yatay deprem kuvveti durumuna karşı gelen boyutsuz dışmerkezlik değerleri 0.5'e çok yakın değerler değildirler. Bölüm 3.4.8'de belirtildiği gibi duvar için yıkılma kriteri taban kesitindeki boyutsuz dışmerkezliğin

veya duvarın boyutsuz ötelenme miktarının 0.5 değerine ulaşması durumu idi. Dolayısıyla duvarlar söz konusu bu son noktadan sonra, azalan  $c_y$  değerleri altında yıkılma kriterine ulaşıncaya kadar biraz daha yatay ötelenme yapabilirler. Bu safhaya Şekil 5.3’de kesik çizgilerle gösterilen alçalan kısım karşı gelmektedir. Ancak burada esas ilgi en büyük  $c_y$  değerleri ve bunlara karşı gelen yatay ötelenmeler,  $\delta_{cymaks.}$ , olduğundan eğrilerin maksimumdan sonraki bu kısımlarını elde etmek için bir hesap yapılmamıştır.



**Şekil 5.3** Kargir dolgu duvarlar için tipik bir düzleme dik atalet kuvveti – yatay ötelenme,  $c_y$ - $\delta$ , grafiği

Aynı kalınlığa ve  $\rho$  ve  $E$  değerlerine, ancak farklı yüksekliklere ve dolayısıyla farklı narinlik değerlerine sahip duvarların dayanabilecekleri en büyük yatay atalet kuvveti durumunda yapmış oldukları yatay ötelenmelere bakıldığında, narinliği yüksek olan duvarların daha fazla yatay ötelenme yaptıkları görülmektedir. Örneğin Tablo 5.1’de kalınlıkları 25 cm, yükseklikleri ise sırasıyla 250 cm, 300 cm, 350 cm ve 400 cm olan 8, 9, 10 ve 11 numaralı duvarların  $P/W = 0.5$  değeri için dayanabilecekleri en büyük yatay atalet kuvveti durumunda yapmış oldukları yatay ötelenme değerlerinin sırasıyla 0.91 cm, 1.12 cm, 1.47 cm ve 1.72 cm olduğu görülmektedir. Dolayısıyla aslında doğal olan şu sonuca rahatlıkla varılabilmektedir: Diğer bütün parametreleri aynı olan duvarlar içinde narin olanlar daha az yatay atalet yüküne dayanabilmelerine karşılık daha fazla yatay ötelenme yapabilmektedirler.

## 5.7 Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Ötelenme Kapasitelerinin İrdelenmesi

Gözönüne alınmış olan 22 duvar için elde edilen  $c_y-\delta$  bilgilerine bakılarak, kargir dolgu duvarların bir binada deprem etkisi ile meydana gelecek görelî kat ötelenmelerine dayanıp dayanamayacakları konusunda da bir fikir edinilebilir.

Dünyadaki bütün çağdaş deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi ülkemiz deprem yönetmeliğinde de, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, kolon ve perde duvarlarda aşırı yatay ötelenmeler dolayısıyla oluşacak ikinci mertbe etkileri sınırlı tutmak için katlar arası yatay ötelenmeler üzerine bir sınır konulmuştur. Bu amaçla sözkonusu yönetmeliğimizin 6.10.1. numaralı alt bölümünde

$$(\Delta_i)_{maks.}/h_i \leq 0.0035 \quad \text{ve} \quad (\Delta_i)_{maks.}/h_i \leq 0.02/R \quad (5.4)$$

ifadeleri yer almaktadır [46]. Burada  $(\Delta_i)_{maks.}$  bir i. kat için görelî kat ötelenmesinin en büyük değerini,  $h_i$  bu katın yüksekliğini ve R taşıyıcı sistem davranış katsayısını göstermektedir. Yönetmelik (5.4) ile verilen iki ifadeden elverişsiz olanının kullanılması öngörmektedir. Bununla birlikte yalnızca ikinci ifadenin sınır durumunda  $(\Delta_i)_{maks.}/h_i \leq 0.02$  haliyle kullanımının da sözkonusu olabileceğini belirtmek gerekir. Burada bu ifade esas alınarak irdelenecektir.

Gereğince projelendirilmiş ve inşa edilmiş bir betonarme çerçevede, kolonların çerçeve içindeki ve çerçeveye dik doğrultudaki ötelenme kapasiteleri çerçeve içindeki dolgu duvarın aynı doğrultulardaki ötelenme kapasitelerinden daha büyüktür. Dolayısıyla böyle bir çerçevede aşırı görelî ötelenmelere gidilirken ilk önce dolgu duvarın hasar görmesi veya denge durumunu kaybedip devrilmesi beklenektir. Bu nedenle duvarın içinde yer aldığı çerçeve kolonlarının alt ve üst uçlarının yer almış olduğu katların görelî ötelenmesi üzerine yönetmelik tarafından konulmuş olan sınırı, çerçeve içindeki dolgu duvarın düzlemine dik yatay ötelenme veya bir anlamda katlar arası görelî ötelenme kapasitesinin bir kontrol kriteri olarak kullanmak da mümkündür. Buna göre gözönüne alınmış olan duvarlar içinde yatay ötelenme miktarları  $(\Delta_i)_{maks.} = 0.02 \times h_i$  değerinden büyük olarak elde edilmiş olanlar için katlar arası görelî ötelenmeler açısından yeterli bir sığaya sahip oldukları hükmü

verilebilir. Ancak bu aşamada bir hususu belirtmekte yarar vardır. Şekil A.11 ile Şekil A.16 arasındaki şekillere bakıldığında  $c_y$ - $\delta$  bağıntılarının  $P/W$ 'nin 0, 0.1, 0.3, 0.5 ve 1.0 değerleri için elde edilmiş olduğu görülmektedir. Ancak “gözönüne alınacak bir duvarın katlar arası görelî ötelenme kapasitesine bakılırken hangi  $P/W$  değerine karşı gelen ötelenme değeri kullanılmalıdır?” diye bir soru sorulabilir. Duvar için alınabilecek  $P/W$  değeri şartlar gözönüne alınarak tahmin edilir ve bu değere karşı gelen ötelenme miktarı kullanılır. Ayrıca şekillere bakıldığında  $P/W$ 'nin çeşitli değerleri için elde edilmiş olan ötelenme miktarlarının zaten birbirinden çok farklı olmadığı da görülmektedir. Tablo 5.2’de gözönüne alınmış olan 22 duvarın  $P/W = 0.3$  için elde edilmiş  $\delta_{cymaks.}$  değerleri ile  $\Delta_{maks.} = 0.02 \times h$  değerleri gösterilmiştir.  $h$  olarak her duvarın kendi yüksekliği alınmıştır. Tablo incelendiğinde

**Tablo 5.2** Gözönüne alınan duvarların  $P/W = 0.3$  değeri için elde edilen  $\delta_{cymaks.}$  değerleri ile  $\Delta_{maks.} = 0.02 \times h$  değerlerinin karşılaştırılması

| Duvar No | H (cm) | L = h (cm) | $\delta_{cymaks.}$ (cm) | $\Delta_{maks.}$ (cm) |
|----------|--------|------------|-------------------------|-----------------------|
| 1        | 10     | 250        | 0.81                    | 5.00                  |
| 2        | 10     | 300        | 1.03                    | 6.00                  |
| 3        | 15     | 240        | 0.65                    | 4.80                  |
| 4        | 15     | 300        | 1.10                    | 6.00                  |
| 5        | 20     | 240        | 0.76                    | 4.80                  |
| 6        | 20     | 300        | 1.01                    | 6.00                  |
| 7        | 20     | 350        | 1.38                    | 7.00                  |
| 8        | 25     | 250        | 0.89                    | 5.00                  |
| 9        | 25     | 300        | 1.02                    | 6.00                  |
| 10       | 25     | 350        | 1.27                    | 7.00                  |
| 11       | 25     | 400        | 1.61                    | 8.00                  |
| 12       | 30     | 240        | 0.92                    | 4.80                  |
| 13       | 30     | 300        | 1.15                    | 6.00                  |
| 14       | 30     | 360        | 1.49                    | 7.20                  |
| 15       | 30     | 420        | 1.74                    | 8.40                  |
| 16       | 30     | 510        | 2.19                    | 10.20                 |
| 17       | 20     | 240        | 1.09                    | 4.80                  |
| 18       | 20     | 300        | 1.51                    | 6.00                  |
| 19       | 30     | 240        | 1.04                    | 4.80                  |
| 20       | 30     | 300        | 1.55                    | 6.00                  |
| 21       | 20     | 300        | 1.65                    | 6.00                  |
| 22       | 30     | 300        | 1.88                    | 6.00                  |

bütün duvarlar için elde edilmiş olan  $\delta_{cymaks.}$  ötelenme değerlerinin bu duvarlar için hesaplanan  $\Delta_{maks.}$  değerlerinden küçük olduğu görülmektedir. Buna göre kargir dolgu duvarların bu çalışmadaki hesap modeli ile elde edilen sonuçlara bakılarak yeterli denebilecek bir düzeyde düzleme dik katlar arası görelî ötelenme kapasitesine sahip oldukları söylenemez. Dolayısıyla gözönüne alınacak bir betonarme binada bulunan kargir dolgu duvarların, binanın özellikle büyük bir depremde maruz kalacağı gerçek deprem yükleri altındaki görelî kat ötelenmelerine dayanamayıp düzlemleri dışına yıkılmasının beklenebileceğini söylemek mümkündür.

### **5.8 Kargir Dolgu Duvarların Dayanabilecekleri Düzleme Dik Atalet Kuvvetleri Üzerinde Düşey Atalet Kuvvetlerinin Etkisi**

Kargir dolgu duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvvetleri üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisini görmek için Tablo 5.1’de özellikleri verilen duvarlardan bazıları ele alınarak bu duvarların  $c_y$ - $\delta$  bağıntıları yine P/W oranının 0, 0.1, 0.3, 0.5 ve 1 değerlerinde,  $c_d$  düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri altında elde edilmiştir.  $c_d$  için gözönüne alınan değerler 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 dir. Burada kısalık maksadıyla sadece bir duvar, 6 numaralı duvar için elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bu amaçla yapılan hesapların sonuçları Şekil A.18 ve Şekil A.19’da verilmiştir. Bu şekiller düşey atalet kuvvetlerinin sırasıyla yukarı ve aşağı doğru yönelmiş olması durumları için elde edilen sonuçları göstermektedir.

Düşey atalet kuvvetlerinin yukarı doğru yönelmiş olmaları durumu için elde edilmiş olan sonuçları gösteren Şekil A.18’e bakıldığında, P/W’nin gözönüne alınacak her değeri için düşey deprem katsayısı  $c_d$ ’nin yüksek değerlerine gidildikçe duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvvetinin azaldığı görülmektedir. Örneğin P/W oranının 0.3 olduğu Şekil A.18(c)’ye bakıldığında  $c_d$ ’nin 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 değerleri için ulaşılmış olan  $c_{ymaks.}$  değerlerinin sırasıyla 0.048, 0.045, 0.042, 0.039 ve 0.031 olduğu görülmektedir. Bu durumun düşey atalet kuvvetlerinin yukarı doğru yönelmiş olmaları durumunda duvar kesitlerinde çekme gerilmeleri meydana getirmeleri ve buna bağlı olarak kesitlerdeki net basınç alanını azaltıcı bir etkiye sahip olmaları ve bu etkilerinin  $c_d$ ’nin yüksek değerlerine doğru daha büyük olmasından dolayı olduğu açıktır. Düşey atalet kuvvetlerinin duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvvetleri üzerindeki etkilerinin P/W oranının

küçük değerlerinde daha belirgin olduğu, bu oranın yüksek değerlerine doğru ise etkilerinin azaldığı Şekil A.18'de açıkça görülebilmektedir. Örneğin P/W'nin 0.1 değerinde  $c_d = 0$  için elde edilmiş olan  $c_{y\text{maks.}}$  değerinin  $c_d = 0.5$  için elde edilmiş olan  $c_{y\text{maks.}}$  değerine oranı  $0.055/0.031 \cong 1.77$  iken P/W'nin 1 değerinde bu oranın  $0.037/0.030 \cong 1.23$  olduğu görülmektedir. Bu durum P/W oranının yüksek değerlerinin duvarlar için zaten ağır bir yükleme durumu oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumu için elde edilmiş olan sonuçları gösteren Şekil A.19'a bakıldığında ise P/W'nin gözönüne alınacak her değeri için düşey deprem katsayısı  $c_d$ 'nin yüksek değerlerine gidildikçe duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvvetinin arttığı görülmektedir. Örneğin P/W oranının 0.1 olduğu Şekil A.19(b)'ye bakıldığında  $c_d$ 'nin 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 değerleri için ulaşılmış olan  $c_{y\text{maks.}}$  değerlerinin sırasıyla 0.055, 0.059, 0.063, 0.067 ve 0.074 olduğu görülebilmektedir. Bu durumun düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumunda duvar kesitlerinde basınç gerilmeleri meydana getirmeleri ve buna bağlı olarak kesitlerdeki net basınç alanını artırıcı bir etkiye sahip olmaları ve bu etkilerinin  $c_d$ 'nin yüksek değerlerine doğru daha büyük olmasından dolayı olduğu açıktır. Bu etkileri bu hal için de yine P/W oranının küçük değerlerinde daha belirgin, büyük değerlerinde ise daha az belirgindir.

Sonuç olarak, bir deprem sırasında düşey ivmelerden kaynaklanan düşey atalet kuvvetlerinin, yukarı doğru etkiyor olmaları durumunda duvar davranışı için olumsuz bir etkiye, aşağı doğru yönlenmiş olmaları durumunda ise davranış üzerinde olumlu bir etkiye sahip oldukları böylece bir kez daha anlaşılmış olmaktadır.

### **5.9 $\rho H/E$ Parametresinin ve P/W Oranının Duvar Davranışı Üzerindeki Etkilerinin Bir Kez Daha İrdelenmesi**

Tablo 5.1'de özellikleri verilen duvarlarla ilgili olarak yapılan hesaplarda  $\rho H/E$  esneklik parametresinin duvar davranışı üzerindeki etkisi bir kez daha incelenebilmiştir. Bu amaçla özel olarak duvarın  $\rho$  birim hacim ağırlık değerinin yüksek seçildiği 17 ~ 22 numaralı duvarlar gözönüne alınmıştır. Bölüm 5.6'da belirtildiği gibi  $\rho$ , 17, 18, 19 ve 20 numaralı duvarlarda  $10 \text{ kN/m}^3$ , 21 ve 22 numaralı

duvarlarda ise  $15 \text{ kN/m}^3$  olarak seçilmiştir. Buna göre Tablo 5.1’de kalınlık ve yükseklikleri, dolayısıyla narinlik değerleri aynı, ancak farklı birim hacim ağırlık değerleri nedeniyle  $\rho H/E$  parametreleri farklı çeşitli duvarlar karşılaştırıldığında şu durum görülebilmektedir: Karşılaştırma örneğin  $P/W$ ’nin 0.1 değeri için yapılsın. Kalınlıkları 20 cm, yükseklikleri ise 240 cm olan 5 ile 17 numaralı dolgu duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvveti değerleri sırayla 0.071 ve 0.069,  $\delta_{\text{cymaks.}}$  yatay ötelenme değerleri ise 0.73 cm ve 1.02 cm’dir. Benzer olarak, kalınlıkları 20 cm, yükseklikleri ise 300 cm olan 6, 18 ve 21 numaralı duvarların  $c_{\text{ymaks.}}$  değerleri sırayla 0.055, 0.052 ve 0.050 iken  $\delta_{\text{cymaks.}}$  yatay ötelenme değerleri 0.95 cm, 1.49 cm ve 1.59 cm’dir. Yine, kalınlıkları 30 cm, yükseklikleri ise 300 cm olan 13, 20 ve 22 numaralı duvarların  $c_{\text{ymaks.}}$  değerleri sırayla 0.086, 0.083 ve 0.081 iken  $\delta_{\text{cymaks.}}$  yatay ötelenme değerleri 1.14 cm, 1.39 cm ve 1.80 cm’dir. Dolayısıyla örneğin 5 ve 17 numaralı duvarlar ele alınırsa,  $\rho H/E$  esneklik parametresindeki 2 kat artışa karşılık  $c_{\text{ymaks.}}$  değerindeki azalmanın  $\sim \%3$  yatay ötelenme değerindeki artışın ise  $\sim \%40$  civarında olduğu görülmektedir.  $P/W$ ’nin yüksek değerlerine gidildiğinde de bu durumun çok fazla değişmediği görülmektedir. Buna göre aynı narinlik değerine sahip duvarlardan  $\rho H/E$  esneklik parametresi büyük olanların düzleme dik biraz daha az atalet yüküne dayanabildiği, ancak daha fazla yatay ötelenme yapabildiği söylenebilir. O halde aynı narinlik değeri için  $\rho H/E$  esneklik parametresindeki artışın taşınabilecek düzleme dik atalet yükünü biraz azalttığı, ancak daha çok yatay ötelenmeyi etkilediği, onu artırdığı sonucu çıkarılabilir.

Bu bölümdeki hesaplarla  $P/W$  oranının da duvar davranışı üzerindeki etkisi bir kez daha görülebilmektedir. Şekil A.11 ile Şekil A.16 arasındaki şekillere bakıldığında  $P/W$  oranının yüksek değerlerine gidildikçe duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet yüklerinin önemli ölçüde azaldığı, buna karşılık yatay ötelenmede çoğunlukla çok az bir artış olduğu görülebilmektedir. Örneğin kalınlığı 30 cm ve yüksekliği 300 cm olan 13 numaralı duvar için  $P/W$  oranının 0, 0.1, 0.3, 0.5 ve 1.0 değerlerine karşılık elde edilmiş olan en büyük yatay deprem katsayıları sırasıyla 0.095, 0.086, 0.075, 0.068 ve 0.060 iken ötelenmeler ise 1.13 cm, 1.14 cm, 1.15 cm, 1.16 cm ve 1.16 cm olmuştur.  $P/W$  oranı büyüdükçe dayanım ve davranış üzerinde olumsuz etki yapması, Bölüm 5.4’de açıklandığı gibi katlar arası görelî ötelenme etkisini analize dahil etmek için öngörülen ve dolgu duvar üst kesiti ile bu kesitin temas halinde olduğu kiriş tabanı arasında olduğu düşünülen temas kuvvetinin yatay bileşeninden

kaynaklanmaktadır. Yine aynı yerde açıklandığı üzere temas kuvvetinin düşey bileşeni  $P$ 'nin duvar davranışı üzerinde olumlu bir etkisi vardır.

Şekil 3.5(b) de gözönünde bulundurularak Tablo 5.1'de ele alınacak herhangi bir duvar için ve yine  $P/W$ 'nin tabloda verilen değerlerinden herhangi biri için elde edilmiş olan  $c_{ymaks.}$  değerine karşı gelen yatay ötelenme değeri ilgili duvarın  $H/6$  çekirdek mesafesi ile karşılaştırıldığında  $\delta_{cymaks.} < H/6$  olduğu kolaylıkla görülebilmektedir. Örneğin 6 numaralı duvar ele alınırsa, bu duvar için  $P/W$ 'nin 0.1 ve 0.5 değerleri için ulaşılmış olan  $c_{ymaks.}$  değerlerine karşı gelen  $\delta$  yatay ötelenmelerinin,  $\delta_{cymaks.}$ , sırasıyla 0.95 cm ve 1.07 cm olduğu görülmektedir. Bu değerlerin her ikisi de  $H/6 = 20/6 = 3.33$  cm değerinden küçüktür. Diğer bütün duvarlarda da bu durumun olduğu görülebilir. Buna göre temas kuvvetinin düşey bileşeni  $P$ 'nin etki çizgisi duvarların en alt kesitlerinde bile çekirdek bölgesi içinde kalmakta ve dolayısıyla bu kuvvet duvarların hiç bir kesitinde çekme gerilmesi oluşturmamakta, yalnızca basınç gerilmeleri meydana getirmektedir. Buradan temas kuvvetinin düşey bileşeni  $P$ 'nin dolgu duvarların düzlemlerine dik dayanımları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacağı açık bir şekilde görülmüş olmaktadır.

Temas kuvvetinin yatay bileşeni  $c_y P$ 'nin davranış üzerindeki olumsuz etkisini buna karşılık düşey bileşen  $P$ 'nin olumlu etkisini daha iyi görmek için  $c_y P$  yatay kuvveti analize dahil edilmeden Tablo 5.1'de özellikleri verilen bir kaç duvar için hesap yeniden yapılmıştır. Hesabı bu şekilde yapabilmek için bilgisayar programında da, İKİNCİ 2, gerekli değişiklikler yapılmıştır. Hesap için 4, 12 ve 16 numaralı duvarlar seçilmiştir. Sonuçlar  $P/W$  oranının 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0 ve 5.0 değerleri için elde edilmiştir. Bu amaçla yapılan hesapların sonuçları Şekil A.20'de gösterilmiştir. Bu şekil herşeyi açıkça gözönüne sermektedir. Örneğin 12 numaralı duvara ait sonuçları gösteren Şekil A.20(b)'ye bakıldığında,  $P/W = 3$  için elde edilmiş olan  $c_{ymaks.}$  değerinin  $P/W = 0.1$  için elde edilmiş olan  $c_{ymaks.}$  değerine oranının  $0.46/0.13 = 3.54$  olduğu görülmektedir. Duvarların yükleme durumunda  $c_y P$  yatay kuvveti varken  $P/W$  oranının yüksek değerlerine gidildikçe duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvvetinin azalmasına karşılık, bu kuvvet yok iken  $P/W$  oranının yüksek değerlerine gidildikçe dayanılabilecek yatay atalet kuvvetinin artması ve bu artışın çok önemli bir miktarda olması, temas kuvvetinin yatay bileşeninin duvarların davranışı üzerinde ne kadar olumsuz bir etkiye, buna karşılık düşey bileşeninin de ne kadar olumlu bir etkiye sahip olduğunu açıkça göstermiş olmaktadır. O halde şu

sonuca rahatlıkla varılabilir ki;  $c_y P$  yatay kuvvetinin analize dahil edilmesi ile gözönüne alınmış olan katlar arası görelî ötelenme etkisi kargir dolgu duvarlar için çok ağır bir yükleme durumu meydana getirebilmektedir. Bunun yanında, katlar arası görelî ötelenme etkisi az olan ve üstteki kiriş ile arasında iyi bir temas sağlanmış ve özellikle kirişten üzerine biraz yük gelmiş,  $P/W > 1.0$ , dolgu duvarların, kiriş ile arasında iyi bir temas sağlanamamış veya özellikle tamamen serbest duran duvarlara,  $P/W \approx 0$ , göre, düzlemlerine dik atalet kuvvetlerine dayanma açısından çok daha iyi bir durumda oldukları önemli sonucuna da varılmaktadır.

#### **5.10 Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Atalet Kuvvetleri Altında Alt ve Üst Kirişler Düzeyinde Basit Mesnetli Olan Düşey Bir Plak Olarak Modellenmesi**

Deprem yer hareketi etkisinde olan ve buna bağılı olarak titreşim hareketi yapan bir betonarme veya çelik yapıda çerçeve gözleri içinde bulunan kargir dolgu duvarların hem düzlem içi hem de düzleme dik titreşimlerini kat döşemelerinin titreşim hareketleri meydana getirir. Kat döşemelerinin titreşim hareketleri ise yapının dinamik özelliklerine bağılı olarak yer seviyesindekinden çok farklıdır. Genel olarak yapıların yer seviyesindeki ivmeleri üst katlara doğru büyüyerek değişir ve en büyük yatay ivmeler üst katlarda meydana gelir. Dolayısıyla bir yapının farklı katlarında bulunan dolgu duvarların maruz kalacakları ivmeler birbirinden farklı olacak ve üst katlardaki duvarlar alt katlardakilerden daha büyük yatay ivmeler etkisinde kalacaklardır. Depremlerden sonra çok katlı binaların alt katlarındaki dolgu duvarlar hâlâ dururken üst katlarındaki duvarların düzlemleri dışına yıkılmış olması durumu için gözlenmiş olan bir çok örnek bu durumu ispatlar niteliktedir.

Şekil 5.4(a) çok katlı bir betonarme yapının bir ara katında bulunan bir dolgu duvarı göstermiş olsun. Duvar düzlemine dik atalet kuvvetleri duvarın altındaki ve üstündeki kat döşemelerinin  $a_i$  ve  $a_{i+1}$  ivmeleri tarafından meydana getirilir. Duvardaki ivmelerin duvar yüksekliği boyunca değişeceği, duvar orta yüksekliğinde en büyük ve döşemeler hizasında en küçük olacağı açık olmasına rağmen [2], duvar yüksekliği boyunca sabit ve döşeme ivmelerinin ortalaması,  $(a_i + a_{i+1})/2$ , olan bir ivme dağılımı gözönüne almak makul ve mümkündür. Sonuçta, dolgu duvarın düzlemine dik atalet kuvvetlerine dayanma gücünün belirlenmesi amacı ile oluşturulacak bir

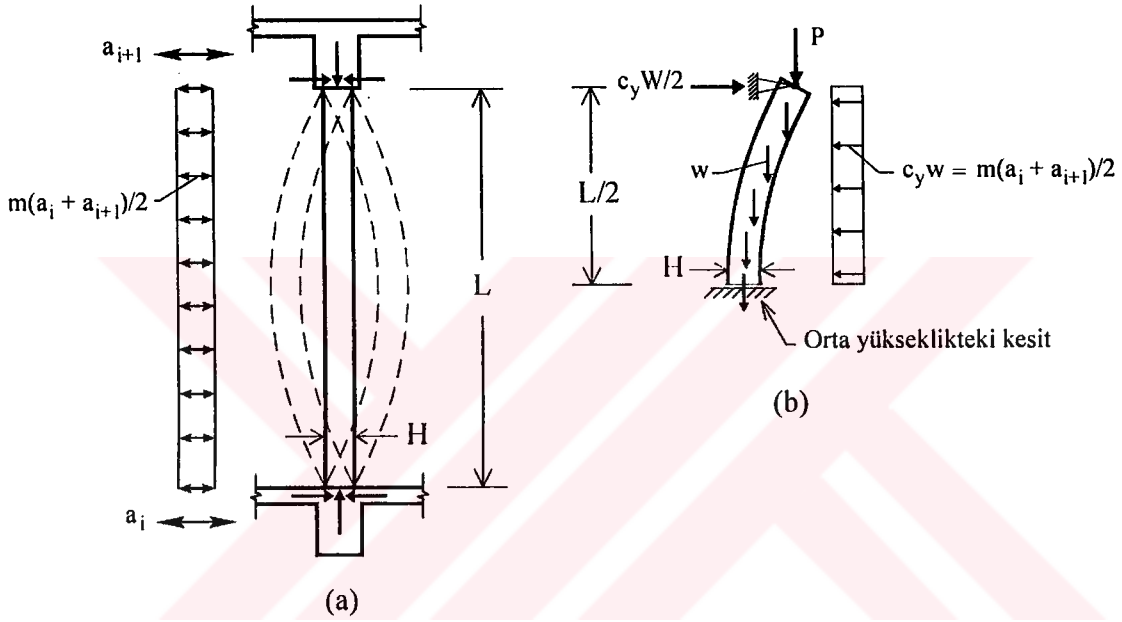
modelde duvar, görelî kat ötelenmesi etkisi de ihmal edilirse veya ihmal edilebilecek kadar küçükse, kirişler veya döşemeler düzeyinde yaklaşık olarak sabit mesnetli olan düşey bir plak olarak da gözönüne alınabilir.

Bu çalışmadaki esas hesap modelinde duvar altta ankastre üstte ise kiriş ile sürekli temas halinde olan ancak serbestçe dönebilen bir konsol eleman olarak gözönüne alınmıştır. Böyle bir modelin kullanılmasında en önemli etken görelî kat ötelenmesi etkisidir. Bu etkinin ise dolgu duvarlar için çok ağır bir yükleme durumu meydana getirdiği Bölüm 5.9’da net bir şekilde görülmüş oldu. Bu nedenle, yatay rijitliği yüksek ve dolayısıyla katlar arası görelî ötelenme etkisinin küçük olduğu yapılarıdaki dolgu duvarlar için ve ayrıca duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri altında altta ve üstte basit bir şekilde mesnetli düşey bir plak olarak gözönüne alınmasının daha gerçekçi olabileceğinin düşünüleceği durumlarda bu alt bölümde tanıtılmakta olan modelin hesap için seçilip kullanılması daha makul olabilir.

Kargir dolgu duvarların altta ve üstte basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmesi durumunda düzlemlerine dik atalet kuvvetleri etkisi altında deforme olmuş şekillerinin Şekil 5.4(a)’da biraz abartılı olarak çizilmiş olan kesik çizgilerle gösterilenler gibi olması beklenebilir. Duvarların bu durum için düzlemlerine dik doğrultuda ne kadarlık bir atalet kuvvetini karşılayabileceklerini bulmak için şekilde görülen simetriden yararlanarak sistemin yarısı gözönüne alınabilir. Bu durumda hesap Şekil 5.4(b)’de gösterildiği gibi orijinal duvarın yarı yüksekliğine sahip düşey bir elemanın hesabına indirgenmiş olmaktadır ki, bu elemanın bu çalışmadaki esas hesap modeli için gözönüne alınmış olan elemanın aynısı olduğu görülmektedir. Bu elemanın Şekil 5.4(b)’deki yükleme durumuna bakılırsa, yine yatay atalet kuvvetlerine eşdeğer statik yatay kuvvetlerin gözönüne alındığı görülmektedir. Üst kesitte ise yine bu kesitin ağırlık merkezinde etkidiği varsayılan düşey P kuvveti ve yatay atalet kuvvetlerine karşı oluşan  $c_y w \ell n/2 = c_y W/2$  yatay tepki kuvveti öngörülmektedir. Yükleme durumundaki bu küçük farklılık dikkate alınıp bilgisayar programında, İKİNCİ 2, gerekli basit değişiklikler yapılarak istenen hesaplar yapılabilir. Bu şekilde ele alınmış olan Şekil 5.4(b)’deki elemanın yükleme durumuna istenirse düşey atalet kuvvetleri de rahatlıkla dahil edilebilir.

Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında alt ve üst kirişler veya döşemeler hizasında basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmesi

halinde en büyük yatay deprem katsayısı – bu katsayıya karşı gelen yatay ötelenme,  $c_{ymaks.}-\delta_{cymaks.}$ , değerlerini elde etmek için örnek olarak yine Tablo 5.1’de özellikleri verilmiş olan duvarlar ele alınmıştır. Bu duvarların  $c_{ymaks.}-\delta_{cymaks.}$  değerleri  $P/W$  oranının 0.5 ve 1.0 değerleri için elde edilmiştir. Bu amaçla yapılan hesapların sonuçları Tablo 5.3’de verilmektedir. Ayrıca 1, 6, 12 ve 16 numaralı duvarlara ait sonuçlar Şekil A.21’de grafik olarak gösterilmiştir. Söz konusu bu tablo ve şekildeki  $\delta$  değerlerinin duvarların orta yüksekliğindeki yatay ötelenme değerlerini gösterdikleri açıktır. Ayrıca Tablo 5.3’de görülen  $e/H$  değerleri de yine duvarların bu kesitlerindeki boyutsuz dışmerkezlilik değerleridir.



**Şekil 5.4** (a) Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetleri etkisinde altta ve üstte basit mesnetli düşey bir plak olarak modellenmesi, (b) Hesap için simetriden yararlanıp duvarın yarısının gözönüne alınması

Tablo 5.3 ve Tablo 5.1 her ikisinde de ortak olan  $P/W = 0.5$  değeri için karşılaştırılırsa şu durumlar görülmektedir: Bütün duvarlar için Tablo 5.3’de verilmiş olan  $c_{ymaks.}$  değerleri Tablo 5.1’dekilerden çok daha büyük, buna karşılık  $\delta_{cymaks.}$  değerleri daha küçüktür. Örnek olarak 3, 6, 12 ve 20 numaralı duvarlar gözönüne alınırsa, bu duvarlar için Tablo 5.3’de verilmiş olan  $c_{ymaks.}$  değerlerinin sırasıyla 0.147, 0.156, 0.299 ve 0.233 olduğu, bu  $c_{ymaks.}$  değerlerine karşı gelen  $\delta_{cymaks.}$  değerlerinin ise 0.452 cm, 0.647 cm, 0.477 cm ve 0.852 cm olduğu görülmekte, aynı duvarlar için Tablo 5.1’de verilmiş olan ilgili  $c_{ymaks.}$  ve  $\delta_{cymaks.}$  değerlerinin ise 0.041, 0.043, 0.088, 0.065 ve 0.67 cm, 1.07 cm, 0.88 cm ve 1.44 cm olduğu

görülebilmektedir. 6 numaralı duvar için iki modelin verdiği sonuçlara bakılırsa, duvarın altta ve üstte basit mesnetli olan düşey bir plak olarak gözönüne alındığı modelin esas modele göre  $0.156/0.043 \cong 3.63$  kat daha büyük bir  $c_{\text{cymaks.}}$  yatay deprem katsayısı değeri verdiği, buna karşılık  $\delta_{\text{cymaks.}}$  değerlerindeki oranın  $0.647/1.07 \cong 0.605$  olduğu görülmektedir. İkinci model ile esas model arasında  $c_{\text{cymaks.}}$  ve  $\delta_{\text{cymaks.}}$  değerlerinde gözlenmiş olan bu belirgin fark şöyle izah edilebilir: Duvarların altta ve üstte basit mesnetli olan düşey bir plak gibi modellendiği durumda hesap için simetriden yararlanıp Şekil 5.4(b)'de gösterilmiş olduğu gibi

**Tablo 5.3** Dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında altta ve üstte basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmesi durumunda, gözönüne alınan duvarlar için elde edilen  $c_{\text{cymaks.}}$ ,  $\delta_{\text{cymaks.}}$  ve  $e/H$  değerleri ( $P/W = 0.5$  ve  $1.0$  değ. için)

| Duvar No | H (cm) | L (cm) | $\frac{L}{H}$ | $\rho \frac{H}{E} \times 10^6$ | P/W = 0.5            |                                |       | P/W = 1.0            |                                |       |
|----------|--------|--------|---------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------|----------------------|--------------------------------|-------|
|          |        |        |               |                                | $c_{\text{cymaks.}}$ | $\delta_{\text{cymaks.}}$ (cm) | $e/H$ | $c_{\text{cymaks.}}$ | $\delta_{\text{cymaks.}}$ (cm) | $e/H$ |
| 1        | 10     | 250    | 25            | 0.50                           | 0.090                | 0.462                          | 0.403 | 0.124                | 0.469                          | 0.420 |
| 2        | 10     | 300    | 30            | 0.50                           | 0.073                | 0.543                          | 0.395 | 0.099                | 0.591                          | 0.412 |
| 3        | 15     | 240    | 16            | 0.75                           | 0.147                | 0.452                          | 0.409 | 0.203                | 0.513                          | 0.430 |
| 4        | 15     | 300    | 20            | 0.75                           | 0.114                | 0.605                          | 0.404 | 0.157                | 0.634                          | 0.423 |
| 5        | 20     | 240    | 12            | 1.00                           | 0.198                | 0.470                          | 0.410 | 0.276                | 0.548                          | 0.433 |
| 6        | 20     | 300    | 15            | 1.00                           | 0.156                | 0.647                          | 0.408 | 0.217                | 0.699                          | 0.429 |
| 7        | 20     | 350    | 17.5          | 1.00                           | 0.131                | 0.730                          | 0.415 | 0.181                | 0.833                          | 0.435 |
| 8        | 25     | 250    | 10            | 1.25                           | 0.239                | 0.501                          | 0.409 | 0.333                | 0.576                          | 0.433 |
| 9        | 25     | 300    | 12            | 1.25                           | 0.197                | 0.619                          | 0.408 | 0.274                | 0.718                          | 0.431 |
| 10       | 25     | 350    | 14            | 1.25                           | 0.167                | 0.816                          | 0.407 | 0.231                | 0.883                          | 0.428 |
| 11       | 25     | 400    | 16            | 1.25                           | 0.144                | 0.891                          | 0.403 | 0.198                | 1.031                          | 0.424 |
| 12       | 30     | 240    | 8             | 1.50                           | 0.299                | 0.477                          | 0.408 | 0.419                | 0.561                          | 0.432 |
| 13       | 30     | 300    | 10            | 1.50                           | 0.238                | 0.643                          | 0.408 | 0.331                | 0.736                          | 0.431 |
| 14       | 30     | 360    | 12            | 1.50                           | 0.196                | 0.818                          | 0.407 | 0.272                | 0.928                          | 0.429 |
| 15       | 30     | 420    | 14            | 1.50                           | 0.165                | 1.023                          | 0.405 | 0.228                | 1.104                          | 0.425 |
| 16       | 30     | 510    | 17            | 1.50                           | 0.133                | 1.328                          | 0.402 | 0.182                | 1.381                          | 0.419 |
| 17       | 20     | 240    | 12            | 2.00                           | 0.194                | 0.628                          | 0.405 | 0.268                | 0.708                          | 0.426 |
| 18       | 20     | 300    | 15            | 2.00                           | 0.151                | 0.804                          | 0.400 | 0.207                | 0.883                          | 0.419 |
| 19       | 30     | 240    | 8             | 3.00                           | 0.295                | 0.629                          | 0.405 | 0.410                | 0.735                          | 0.427 |
| 20       | 30     | 300    | 10            | 3.00                           | 0.233                | 0.852                          | 0.404 | 0.322                | 0.972                          | 0.425 |
| 21       | 20     | 300    | 15            | 3.00                           | 0.148                | 0.938                          | 0.396 | 0.201                | 1.010                          | 0.412 |
| 22       | 30     | 300    | 10            | 4.50                           | 0.229                | 1.051                          | 0.401 | 0.316                | 1.126                          | 0.421 |

esas modelin aynı, ancak yüksekliği onun yarısı kadar olan bir eleman gözönüne alındığı ve ayrıca bu şekildeki elemanın yükleme durumunda esas model yükleme durumunda yatay atalet kuvvetleri ile aynı yönlü olarak gözönüne alınmış olan üst kesite etkiyen yatay tekil kuvvet bu kez onlarla zıt yönlü etkir durumda olan bir mesnet tepkisi olarak gözönüne alınmış olduğu için daha yüksek  $c_{ymaks.}$  değerleri elde edilmiş olması gayet normal ve mantıklıdır.  $\delta_{cymaks.}$  değerlerine gelince; bu yeni model durumunda duvar, düzlemine dik atalet kuvvetlerine karşı daha rijit bir durumdadır. Artan  $c_y$  değerlerine bu rijit duvar çatlamadan epeyce karşı koyar. Ancak  $c_y$ 'nin belli bir değeri ile duvarda bir kez çatlak oluşunca, ki bu çatlağın duvar orta yüksekliğindeki bölgede olması beklenebilir, duvar pek de fazla yatay ötelenme yapmadan çatlak hızla açılır ve duvarın yıkılmasına sebep olur. Tablo 5.3'de görülen  $e/H$  boyutsuz dışmerkezlilik değerlerinin 0.5'e çok yakın olmaması da yukarıdaki düşünceyi doğrular niteliktedir.

Burada, duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında altta ve üstte basit mesnetli olan düşey bir plak gibi modellendiği durum için bir kaç hususu daha açıklamakta yarar vardır. Bu modelde de Şekil 5.4(b)'de görüldüğü gibi üst kesite etkiyen düşey  $P$  kuvveti sabit ve kesitin ağırlık merkezinden etkir bir halde gözönüne alınmıştır. Gerçekte artan düzleme dik atalet etkileri ile duvar eğildiğinde bu kuvvetin hem büyüklüğünün hem de etkime noktasının değişeceği açıktır. Örneğin Şekil 5.4(b)'de gösterilen durumda, duvarın eğilmesi arttıkça üst kesitteki bu düşey kuvvet kesit üzerinde sürekli sola doğru dışmerkezliği artan bir şekilde etkir hale gelecektir. Dolayısıyla bu durum gözönüne alınarak hesap yapılsaydı, diğer bir deyişle dışmerkezlik hesaba katılsaydı Tablo 5.3'deki  $c_{ymaks.}$  değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmiş olurdu. Ayrıca bu modelde duvarların alt ve üst kirişler hizasında basit mesnetli olarak gözönüne alınması yaklaşık bir durumdur. Çünkü problemin gerçekte dinamik olan yapısı gözönüne alınırsa, buralar aslında başta dönmeye karşı tam serbest değildirler ve ancak düzleme dik tersinir atalet kuvvetleri etkisi ile duvarda çok sayıda ve kuvvetli tersinir hareketler, düzleme dik titreşimler, olduktan sonra mafsallıya yakın kabul edilebilecek bir duruma gelirler. Bunda duvar malzemesinin basınç dayanımının da önemli bir rol oynayacağı açıktır. Dolayısıyla Tablo 5.3'deki  $c_{ymaks.}$  değerlerine, bu durum da gözönüne alınarak yine güvenli tarafta kalan değerler gözüyle bakılabilir.

Bölüm 4.3’de belirtildiği gibi ülkemizde bazı betonarme binalar inşa edilirken önce bir katın kolonları yapılıp arasına dolgu duvarlar örülmekte, daha sonra ise duvarların üstü kirişlerin taban kalıbı görevini görecek şekilde kirişlerin betonu dökülmektedir. Böyle durumlarda duvar ile alt ve üst kirişler arasında daha kuvvetli bir bağlantı olacağı muhakkaktır. Bu tür duvarların düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımlarının belirlenmesi amacıyla oluşturulacak bir modelde ise duvarların altta ve üstte yaklaşık olarak ankastre mesnetli olarak gözönüne alınması daha gerçekçi olabilir.

P/W oranının yüksek değerlerine gidildikçe doğal olarak bu alt bölümde tanıtılan model ile de daha yüksek  $c_{y\text{maks.}}$  değerleri elde edilmektedir. Bu durum Tablo 5.3’de P/W’nin 0.5 ve 1.0 değerleri için elde edilmiş olan sonuçlar karşılaştırılarak veya Şekil A.21’deki grafiklere bakılarak rahatlıkla görülebilir. Örneğin 12 numaralı duvara ait sonuçları gösteren Şekil A.21(c)’ye bakıldığında P/W’nin 0.1, 0.5, 1.0 ve 3.0 değerleri için ulaşılmış olan  $c_{y\text{maks.}}$  değerlerinin sırasıyla 0.184, 0.299, 0.419 ve 0.856 olduğu görülebilmektedir. P/W oranındaki artışın duvarların yapabileceği  $\delta_{c\text{maks.}}$  yatay ötelenme değerini de biraz artırdığı Tablo 5.3 ve Şekil A.21’e bakılarak söylenebilir. Böylece duvar üzerindeki düşey yükün kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri altındaki davranışları üzerindeki olumlu etkisi bir kez daha görülmüş olmaktadır.

Sonuç olarak, kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri altında alt ve üst kirişler düzeyinde basit bir şekilde tutulu olan düşey bir plak olarak modellenmesinin, bu çalışmadaki esas model olan duvarların altta ankastre üstte ise kiriş ile basit temas halinde olarak gözönüne alındığı modele göre duvarlar için genel olarak düzleme dik çok daha yüksek atalet kuvveti dayanımları verdiği görülmüş olmakta ve böylece bu modelin örneğin yatay rijitliği yüksek ve dolayısıyla görece kat ötelenmesi etkisinin küçük olduğu yapılardaki dolgu duvarlar için daha gerçekçi bir model olabileceği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca bu model ile üst kirişle arasındaki teması iyi sağlanmış ve özellikle kirişten üzerine biraz düşey yük gelmiş dolgu duvarların, düzlemlerine dik deprem etkilerine karşı, üst kiriş ile arasında iyi bir temas sağlanamamış ve özellikle serbest duran dolgu duvarlara göre çok daha iyi bir durumda oldukları sonucu da kuvvetlenmiş olmaktadır. Literatüre bakıldığında, duvarların bizzat taşıyıcı olduğu yığma kargir yapılarda da, normal boyutlandırılmış ve üzerine makul seviyede düşey yük gelmiş duvarların, taşıyıcı olmayan, diğer bir

deyişle üzerine düşey yük gelmeyen veya çok az yük gelen duvarlara göre çok daha yüksek eğilme momenti taşıma kapasitelerinin olduğu, dolayısıyla düzlem içi ve düzleme dik dayanımlar açısından çok daha iyi bir durumda oldukları görülmektedir [1,2,50-54].

## **5.11 Hesapta Gözönüne Alınmamış Bazı Büyüklüklerin Etkilerinin İrdelenmesi**

### **5.11.1 Genel Açıklamalar**

Bu çalışmada kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetlerinden oluşan birleşik yükleme etkileri altında davranışları incelenirken bazı büyüklükler hesabı zorlaştırdıkları için hesaba dahil edilmemiş, diğer bazıları da ihmal edilmiş, diğer bir deyişle bunlar için bazı kabuller yapılmıştır. Örneğin kiriş tabanı ile duvar üst kesiti arasındaki temas kuvvetinin düşey bileşeninin “e” dışmerkezliği hesabı zorlaştırdığı için hesaba dahil edilmeyen bir büyüklüktür. Analizde brüt özellikli homojen bir ortam olarak varsayılan duvarın sıfır olarak alınan, ancak aslında az da olsa mevcut olan çekme dayanımı ve ezilme olmayacak kadar yüksek olarak alınan, ancak gerçekte sınırlı olan basınç dayanımı ise hakkında kabul yapılmış büyüklüklerdir. Bu alt bölümde, analize dahil edilmemiş veya kendileri için kabul yapılmış bu gibi bazı büyüklüklerin hesapta gözönüne alınmış olsalardı sonuçlara olan etkilerinin ne olabileceği açıklanmaktadır. Bu bölümde ayrıca kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetlerine kemerlenme etkisi ile direniş de kısaca irdelenmektedir.

### **5.11.2 Duvar Üst Kesiti İle Kiriş Tabanı Arasındaki Temas Kuvvetinin Düşey Bileşeninin “e” Dışmerkezliğinin Etkisi**

Bölüm 3.3’de dolgu duvar için hesap modeli kurulurken, duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin düşey bileşeninin gerçekte bir “e” dışmerkezliği ile etkiyeceği, Şekil 3.2(b), ancak kuvvetin bu dışmerkez haliyle gözönüne alınmasının, duvarı eğrilikleri zıt işaretli olan iki bölgeden oluşan bir eleman durumuna getirdiği ve bu durumun da hesabı oldukça zorlaştırdığı için sözkonusu bu dışmerkezliğin hesaba dahil edilmediği, dolayısıyla ihmal edildiği belirtilmiştir.

Bu çalışmadaki hesap modelinde dolgu duvarların üzerlerine gelen ve incelemede gözönüne alınan etkilere düzlemlerine dik doğrultudaki küçük eğilme rijitlikleri ile direnmesi durumu gözönüne alınmıştır. Duvar ortamının çekme dayanımı da sıfır olarak kabul edildiğinden, duvar üzerine gelen etkilere duvar yatay kesitlerinde basınç bölgesi alanını büyütme etkisi yapanlar kesitlerin eğilme momenti taşıma kapasitelerini artırdıklarından dolayı duvar davranışı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptirler. Dolayısıyla eğer duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin düşey bileşeninin “e” dışmerkezliği hesaba dahil edilebilmiş olsaydı duvar davranışı üzerinde olumlu bir etki yaptığı görülmüş olacaktı. Çünkü kolayca anlaşılabilir gibi dışmerkezlik dolayısıyla temas kuvvetinin düşey bileşeninin meydana getireceği  $P \times e$  kadarlık eğilme momenti, örneğin duvar üst kesitine etkileyen temas kuvvetinin yatay bileşeni  $c_y P$ ’nin ve duvar üzerinde düzgün yayılı  $c_y w$  yatay atalet kuvvetinin meydana getirdiği eğilme momentleri ile zıt yönlü olacağından kesitlerdeki net eğilme momentini küçültmüş ve böylece kesit üzerindeki basınç alanını büyütmüş olacaktı. Bunun sonucu olarakta, örneğin seçilmiş  $c_y$ ,  $c_d$  ve  $P/W$  ile duvarın yükleme durumu belli iken ve  $\rho H/E$  esneklik parametresi de belirlenmiş ise duvar için daha büyük sınır narinlik,  $(L/H)_{\text{maks.}}$ , değerlerine ulaşılabilmiş olacaktı. Yine benzer olarak, çalışmadaki bilgisayar programlarından ikincisi ile yapılan hesaplar için gözönüne alınmış ve yüksekliği de seçilmiş, dolayısıyla narinlik değerleri de belli olan dolgu duvarlar için de örneğin daha büyük düzleme dik atalet kuvvetlerini karşılama durumu ortaya çıkacaktı.

Burada bir hususu daha açıklamakta yarar vardır. Yine Bölüm 3.3’de belirtilmiş olduğu gibi duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin düşey bileşeninin bu “e” dışmerkezliğinin değeri bilinmemektedir. Bunun yanında, üzerine gelen etkiler altında duvarın eğilmesi arttıkça Şekil 3.2(a) ve (b)’den de anlaşılacağı üzere temas kuvvetinin düşey bileşeni  $P$  de kesit üzerinde sürekli dışmerkezliği değişen bir şekilde etkir hale gelecektir. Bu nedenle “e” dışmerkezliği hesaba dahil edilecek olsaydı, kısaca açıklanmaya çalışılan bu durumdan dolayı bu parametrenin de yine alması muhtemel olduğu değerlerin bir aralığını gözönüne almak gerekirdi. Söz konusu bu parametre için örneğin duvar kalınlığının 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 katı gibi değerler gözönüne alınabilirdi.

O halde özetle şu söylenebilir: Hesaba dahil edilmemiş, dolayısıyla bir anlamda ihmal edilmiş bir parametre olan “e” dışmerkezliği kargir dolgu duvarların bu

çalışmadaki hesap modeli ile düzlemlerine dik deprem etkileri altındaki davranışları incelenirken gözönüne alınabilmiş olsaydı, davranış üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu görülmesi beklenen bir parametredir.

### **5.11.3 Duvar Ortamının İhmal Edilen Ancak Az da Olsa Mevcut Olan Çekme Dayanımının Etkisi**

Bir kargir dolgu duvarı oluşturan bileşenler olan kargir birim ve harcın her ikisi de gevrek yapıdadırlar. Bu nedenle bu malzemelerin her ikisi ve dolayısıyla duvar düşük çekme dayanımına sahiptir. Zaten bu durum gözönünde bulundurularak duvar ortamının çekme dayanımı sıfır olarak varsayılmış ve hesaplar buna göre yapılmıştır. Dolayısıyla bu varsayım ile elde edilmiş olan sonuçların güvenli tarafta kalmış olacağı açıktır. Çünkü duvar ortamının düşük de olsa mevcut olan çekme dayanımı gözönüne alınmış olsaydı, örneğin elde edilecek sınır narinlik değerleri ve duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvvetleri daha büyük olmuş olurdu. Düşük de olsa çekme dayanımının hesaba katılması ile duvar kesitlerinin daha büyük eğilme momentlerine dayanacağı açıktır. Nitekim “duvar ortamının çekme dayanımı da basınç dayanımı gibi sınırsız varsayılır” ve I. Mertebe Teorisi’ne göre bir hesap yapılırsa, örneğin gözönüne alınmış ve Tablo 5.1’de özellikleri verilmiş olan 22 duvar için elde edilecek  $c_{ymaks.}$  değerleri Tablo 5.4’deki gibi olacaktır. Bu tablodaki değerler P/W oranının 0.3 değeri için elde edilmiştir. Tabloda ayrıca, karşılaştırma maksadıyla, çekme dayanımı sıfır kabul edilerek bu çalışmadaki esas hesap modelinden elde edilen  $c_{ymaks.}$  değerleri ve I. Mertebe Teorisi ile hesabın  $c_{ymaks.}$ ’da sağlamış olduğu artış miktarı da yüzde olarak verilmektedir.

Tablo 5.4’den görüldüğü gibi çekme dayanımının sınırsız kabul edilmesi ile I. Mertebe Teorisi’nden elde edilen değerler bu çalışmadaki hesap modeli ile elde edilenlere göre genel olarak önemli sayılabilecek ölçüde büyüktürler. Gerçekte çekme dayanımının sınırsız olması mümkün değildir. Ancak burada çekme dayanımını böyle varsayıp ona göre hesap yapılması, çekme dayanımının sonuçlara olan etkisini görmek açısından faydalı olmuştur.

Burada diğer bir hususu daha belirtmekte yarar vardır. Kargir dolgu duvarların her iki yüzünde normal olarak bir sıva tabakası vardır. Bu sıva tabakasının da az da olsa bir çekme dayanımı mevcuttur. Sıvanın duvar ortamında en dışta yer alması

dolayısıyla sağlayacağı çekme kuvvetinin moment kolunun büyük olması da olumlu bir faktör olarak düşünülürse sıva tabakasına zayıf bir çekme donatısı gözüyle bakılabilir. Dolayısıyla sıva da gözönüne alınmış olsaydı, duvar davranışı üzerinde az da olsa olumlu bir etki meydana getirdiği görülmüş olacaktı. Bunun yanında, sıvanın dolgu duvarın bir bütünlük içinde çalışmasını sağlayacağını ve duvarın örülmesindeki işçilik kusurlarını bir ölçüde telafi edeceğini de belirtmek gerekir. Depremlerden sonra, sıvalı olan dolgu duvarların sıvasız olanlara göre daha iyi bir davranış sergilediklerinin gözlenmesi bu düşüncelyi doğrular niteliktedir.

**Tablo 5.4** Kargir dolgu duvarlar için bu çalışmadan ve çekme dayanımı sınırsız varsayılarak I. Mertebe Teorisi'nden elde edilen  $c_{y\text{maks.}}$  değerlerinin karşılaştırılması ( $P/W = 0.3$  değeri için)

| Duvar No | H (cm) | L (cm) | $c_{y\text{maks.}}$ (Bu çalışma) | $c_{y\text{maks.}}$ (I.Mert.Teo.) | $c_{y\text{maks.}}$ 'daki artış (%) |
|----------|--------|--------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1        | 10     | 250    | 0.026                            | 0.033                             | 26.9                                |
| 2        | 10     | 300    | 0.021                            | 0.027                             | 28.6                                |
| 3        | 15     | 240    | 0.045                            | 0.051                             | 13.3                                |
| 4        | 15     | 300    | 0.034                            | 0.041                             | 20.6                                |
| 5        | 20     | 240    | 0.062                            | 0.068                             | 9.7                                 |
| 6        | 20     | 300    | 0.048                            | 0.054                             | 12.5                                |
| 7        | 20     | 350    | 0.039                            | 0.046                             | 17.9                                |
| 8        | 25     | 250    | 0.076                            | 0.081                             | 6.6                                 |
| 9        | 25     | 300    | 0.061                            | 0.068                             | 11.5                                |
| 10       | 25     | 350    | 0.051                            | 0.058                             | 13.7                                |
| 11       | 25     | 400    | 0.043                            | 0.051                             | 18.6                                |
| 12       | 30     | 240    | 0.096                            | 0.102                             | 6.3                                 |
| 13       | 30     | 300    | 0.075                            | 0.081                             | 8                                   |
| 14       | 30     | 360    | 0.060                            | 0.068                             | 13.3                                |
| 15       | 30     | 420    | 0.050                            | 0.058                             | 16                                  |
| 16       | 30     | 510    | 0.039                            | 0.048                             | 23.1                                |
| 17       | 20     | 240    | 0.059                            | 0.068                             | 15.3                                |
| 18       | 20     | 300    | 0.045                            | 0.054                             | 20                                  |
| 19       | 30     | 240    | 0.094                            | 0.102                             | 8.51                                |
| 20       | 30     | 300    | 0.072                            | 0.081                             | 12.5                                |
| 21       | 20     | 300    | 0.043                            | 0.054                             | 25.6                                |
| 22       | 30     | 300    | 0.070                            | 0.081                             | 15.7                                |

#### 5.11.4 Duvar Ortamının Aslında Sınırlı Olan Basınç Dayanımının Ezilme Olmayacak Kadar Yüksek Kabul Edilmesinin Etkisi

Bu çalışmadaki hesap modelinde duvar ortamının çekme dayanımı sıfır varsayılmış, basınç kırılması, ezilme, gözardı edilmiş, bunlar yerine çatlama ve duvarın düzlemine dik doğrultudaki küçük yanal rijitliğinden kaynaklanan ikinci mertebe etkiler, yatay ötelenmeler, üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu aslında mantıklı bir yaklaşımdır, çünkü depremlerden sonra gözlenen genel manzara odur ki, kargir dolgu duvarlar daha çok çatlama ve bu çatlamanın gelişmesi sonucu ortaya çıkan denge kaybı sonucunda düzlemleri dışına yıkılmaktadır [2,11,50-52]. Dolayısıyla modelde çatlama ve ikinci mertebe etkiler üzerinde odaklanılmış olması nedeniyle, duvarın dengesini kaybedip düzlemi dışına devrilmesi için kriter olarak taban kesitinde basınç gerilmelerini kontrol etmek yerine, bu kesitte boyutsuz dışmerkezliğin veya duvarın boyutsuz ötelenme miktarının belirli bir sınır değeri aşmaması şartı kullanılmıştı.

Ancak özellikle  $P/W$  oranının yüksek değerlerinin kullanıldığı hesaplarda taban kesitinde oluşan en büyük basınç gerilmesini hesaplayıp, bunu gözönüne alınan duvar ortamının basınç dayanımı ile kıyaslamak da belki ek bir kontrol kriteri olarak düşünülmeliydi. Bu durumda örneğin Şekil 5.3’de gösterilip kısaca irdelenmiş olan tipik yatay deprem katsayısı – yatay ötelenme,  $c_y-\delta$ , eğrisinde maksimum noktayı, yani  $c_{ymaks}$  değerini, bazı duvarlar için ve/veya bazı durumlarda, özellikle  $P/W$  oranının yüksek olduğu durumlarda taban kesitindeki boyutsuz dışmerkezlik değil de duvar ortamının basınç dayanımının kontrol ettiği görülmüş olacaktı. Dolayısıyla buradan hareketle,  $c_{ymaks}$  değerini veya genel olarak davranışını taban kesitindeki boyutsuz dışmerkezlik, diğer bir deyişle denge kaybı kontrol eden duvarlara “hafif düşey yüklü duvarlar”, davranışını malzemesinin basınç dayanımı kontrol eden duvarlara ise “ağır düşey yüklü duvarlar” denebilirdi.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar malzemelerinden özellikle yatay delikli tuğla ve beton briketlerin basınç dayanımı maalesef çoğunlukla düşüktür. Duvar ortamının basınç dayanımının büyük ölçüde kargir birimin basınç dayanımı tarafından kontrol edildiği gözönüne alınırsa, ülkemizde bu tür malzemelerle inşa edilmiş dolgu ve bölme duvarların basınç dayanımlarının çoğunlukla düşük düzeylerde olduğunu söylemek pek de yanlış olmaz. Ülkemizde meydana gelmiş

#### 5.11.4 Duvar Ortamının Aslında Sınırlı Olan Basınç Dayanımının Ezilme Olmayacak Kadar Yüksek Kabul Edilmesinin Etkisi

Bu çalışmadaki hesap modelinde duvar ortamının çekme dayanımı sıfır varsayılmış, basınç kırılması, ezilme, gözardı edilmiş, bunlar yerine çatlama ve duvarın düzlemine dik doğrultudaki küçük yanal rijitliğinden kaynaklanan ikinci mertebe etkiler, yatay ötelenmeler, üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu aslında mantıklı bir yaklaşımdır, çünkü depremlerden sonra gözlenen genel manzara odur ki, kargir dolgu duvarlar daha çok çatlama ve bu çatlamanın gelişmesi sonucu ortaya çıkan denge kaybı sonucunda düzlemleri dışına yıkılmaktadır [2,11,50-52]. Dolayısıyla modelde çatlama ve ikinci mertebe etkiler üzerinde odaklanılmış olması nedeniyle, duvarın dengesini kaybedip düzlemi dışına devrilmesi için kriter olarak taban kesitinde basınç gerilmelerini kontrol etmek yerine, bu kesitte boyutsuz dışmerkezliğin veya duvarın boyutsuz ötelenme miktarının belirli bir sınır değeri aşmaması şartı kullanılmıştı.

Ancak özellikle  $P/W$  oranının yüksek değerlerinin kullanıldığı hesaplarda taban kesitinde oluşan en büyük basınç gerilmesini hesaplayıp, bunu gözönüne alınan duvar ortamının basınç dayanımı ile kıyaslamak da belki ek bir kontrol kriteri olarak düşünülmeliydi. Bu durumda örneğin Şekil 5.3’de gösterilip kısaca irdelenmiş olan tipik yatay deprem katsayısı – yatay ötelenme,  $c_y-\delta$ , eğrisinde maksimum noktayı, yani  $c_{ymaks}$  değerini, bazı duvarlar için ve/veya bazı durumlarda, özellikle  $P/W$  oranının yüksek olduğu durumlarda taban kesitindeki boyutsuz dışmerkezlik değil de duvar ortamının basınç dayanımının kontrol ettiği görülmüş olacaktı. Dolayısıyla buradan hareketle,  $c_{ymaks}$  değerini veya genel olarak davranışını taban kesitindeki boyutsuz dışmerkezlik, diğer bir deyişle denge kaybı kontrol eden duvarlara “hafif düşey yüklü duvarlar”, davranışını malzemesinin basınç dayanımı kontrol eden duvarlara ise “ağır düşey yüklü duvarlar” denebilirdi.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar malzemelerinden özellikle yatay delikli tuğla ve beton briketlerin basınç dayanımı maalesef çoğunlukla düşüktür. Duvar ortamının basınç dayanımının büyük ölçüde kargir birimin basınç dayanımı tarafından kontrol edildiği gözönüne alınırsa, ülkemizde bu tür malzemelerle inşa edilmiş dolgu ve bölme duvarların basınç dayanımlarının çoğunlukla düşük düzeylerde olduğunu söylemek pek de yanlış olmaz. Ülkemizde meydana gelmiş

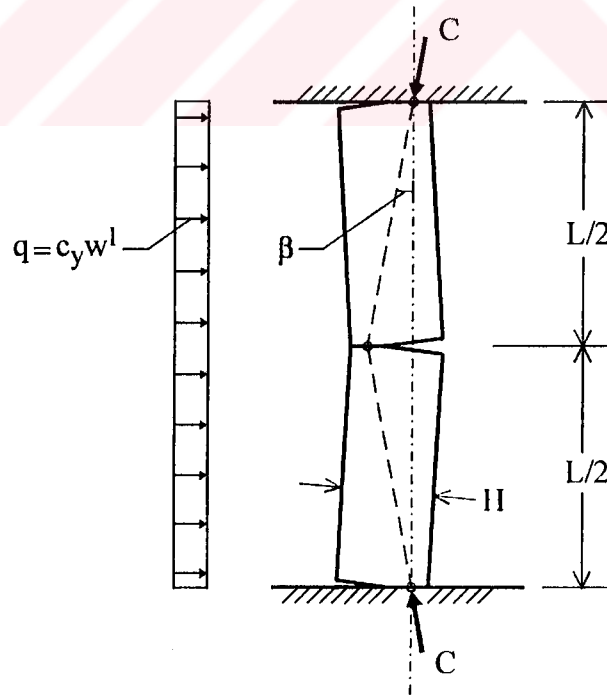
### 5.11.5 Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Atalet Kuvvetlerine Kemerlenme Etkisi İle Direnişi

Bu çalışmadaki esas hesap modelinde kargir dolgu duvarlar tabanda ankastre üstte ise kiriş ile basit temas halinde olarak gözönüne alınmışlardır. Bu model esas alınarak yapılan hesaplarda özetle 0.10 gibi bir yatay deprem katsayısına karşı gelen düzleme dik atalet kuvvetlerinin bile dolgu duvarlar için ağır bir yükleme durumu oluşturabileceği görülmüştür. Bunda duvarların yükleme durumunda gözönüne alınan ve üst kesite etkiyen  $c_p$  yatay kuvveti ile analize dahil edilmiş olan görelî kat ötelenmesinin çok önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bölüm 5.10'da ise görelî kat ötelenmesi etkisi gözardı edilerek dolgu duvarlar düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altında alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmiştir. Bu yeni modelin esas modele göre düzleme dik çok daha yüksek atalet kuvveti dayanımları verdiği görülmüştür. Ancak bu yeni modelin verdiği düzleme dik atalet kuvveti dayanımları bile özellikle büyük depremlerde ve bilhassa çok katlı yapıların üst katlarında bulunan dolgu duvarların maruz kalacakları yatay atalet kuvvetlerinden küçük olabilir. Böyle durumlarda duvarların düzlemleri dışına devrilmesi olayı ile sıkça karşılaşılması yanında, özellikle usulüne uygun inşa edilmiş, diğer bir deyişle etrafındaki çerçeve ile aralarında iyi bir bağlantı sağlanmış duvarların depremleri atlattıkları gözlenmektedir. Bu ikinci durum, yani duvarların devrilmeden kalmaları durumu ancak duvar içinde oluşan kemerlenme etkisi, arching action, ile açıklanabilir [2,9,11].

Bölüm 1.2'de belirtildiği gibi bir çok araştırmacı etrafında sabit bir çerçeve bulunan kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik dayanımlarını araştırmıştır. Çoğu deneysel olan bu çalışmalarda genellikle duvarlar bir hava yastığı yardımı ile düzlemlerine dik düzgün yayılı statik yüklemeye maruz bırakılmıştır. Böyle bir yükleme düzeni ile duvar düzlemine dik atalet kuvvetlerine ve rüzgâr basıncına benzeşim sağlanabilmiştir. Artan düzgün yayılı yükleme ile duvarların hem ilk çatlama dayanımları hem de en büyük dayanımları elde edilmiştir. Bu çalışmalardan çıkan en önemli sonuçlardan biri, duvarların ilk çatlamadan sonra çoğunlukla daha epeyce önemli bir miktarda yük taşıma kapasitelerinin olduğudur. Duvarların bu fazla dayanımlarının duvar içinde oluşan düşey ve/veya yatay kemerlenme etkilerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Yeterince rijit kiriş ve kolonlarla çevrili ve kareye yakın şekilli dolgu duvarlarda, düzleme dik artan düzgün yayılı yükleme altında X

şeklinde bir çatlama durumu gözlenmiş ve böylece duvar içinde hem düşey hem de yatay kemerlenme etkilerinin oluştuğu anlaşılmıştır. Uzunluğu yüksekliğine göre büyük olan ve kareden çok dikdörtgene yakın şekilde olan duvarlarda ise düşey kemerlenme etkisinin oluştuğu, yatay kemerlenme etkisinin ise zayıf kaldığı görülmüştür. Hem düşey hem de yatay kemerlenme etkilerinin oluştuğu duvarların doğal olarak düzleme dik daha yüksek düzgün yayılı yük dayanımına sahip oldukları tespit edilmiştir [9,11,21,24].

Bu deneysel çalışmaların bazılarında sonra dolgu duvarların düzlemlerine dik dayanımlarını belirlemek amacıyla kemerlenme etkisine dayanan analitik modeller önerilmiştir. Bu modellerin çoğu sadece tek doğrultuda kemerlenme, düşey kemerlenme etkisine göre hesap yöntemi sunmuştur. Böylece hem analitik modelin kurulması kolay olmuş hem de elde edilen sonuçların güvenli tarafta kalan değerler olması sağlanmıştır. Ayrıca hesap yönteminin hem dikdörtgen şekilli hem de yaklaşık olarak kareye yakın şekilli dolgu duvarlara uygulanması amacı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.6 düzlemine dik atalet kuvvetleri etkisinde bulunan, alt ve üstünde yeterince rijit sınırlara, yani rijit kirişlere veya döşemelere sahip olan bir kargir dolgu duvarda oluşan bu şekildeki bir mekanizmayı göstermektedir. Analitik



**Şekil 5.6** Düzlemine dik atalet kuvvetleri etkisinde bulunan ve rijit ve sabit sınırları olan bir kargir dolgu duvarda oluşan düşey kemerlenme mekanizması

modellerde, duvarın yükleme etkisi ile şekilde gösterildiği gibi orta yüksekliğinden çatladığı varsayılmakta ve düzlemine dik düzgün yayılı yüklemeye duvar içinde gelişen iç itki kuvvetleri, C, ile direndiği gözönüne alınmaktadır [2,9,11].

Düşey kemerlenme etkisine göre geliştirilmiş en son analitik modellerden birinde [11] kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik düzgün yayılı yük dayanımları için verilen ifade

$$q = 2 \frac{f_m \lambda}{L/H} R_1 R_2 \quad (5.5)$$

şeklindedir. Burada

$q$  : duvarın 1 metrekare'sinin dayanabileceği düzleme dik düzgün yayılı yük,

$f_m$  : duvarın basınç dayanımı,

$L/H$  : duvar narinliği,

$\lambda$  : duvar narinliğine bağlı bir katsayı,

$R_1$  : eğer varsa ve gözönüne alınıyorsa düzlem içi yüklemekten dolayı duvarda meydana gelen hasarın duvarın düzlemine dik dayanımı üzerindeki etkisini gösteren bir katsayı, ve

$R_2$  : duvarın altındaki ve üstündeki kirişlerin eğilme rijitliğinin duvarın düzlemine dik dayanımı üzerindeki etkisini gösteren bir katsayıdır.

Duvar narinliğine bağlı olan  $\lambda$  katsayısı için verilen değerler Tablo 5.5'de gösterilmektedir [11]. Dolgu duvara düzlem içi yükleme yapılmamışsa veya yapıldığı halde duvarda hasar yoksa  $R_1 = 1$  alınmaktadır. Duvarın altındaki ve üstündeki kirişler belli bir değerden daha büyük eğilme rijitliğine sahip iseler  $R_2 = 1$  alınmakta, aksi halde bu rijitliğe bağlı olan bir  $R_2$  ifadesi verilmektedir.

**Tablo 5.5** Dolgu duvarların kemerlenme etkisine dayanan düzlemlerine dik düzgün yayılı yük dayanım formülündeki  $\lambda$  katsayısı

| L/H       | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\lambda$ | 0.129 | 0.060 | 0.034 | 0.021 | 0.013 | 0.008 | 0.005 |

Bölüm 5.6 ve Bölüm 5.10'da gözönüne alınmış olan ve özellikleri Tablo 5.1 ve Tablo 5.3'de verilen dolgu duvarlardan en azından bir tanesinin düzlemine dik

düzgün yayılı yükleme altındaki dayanımını (5.5) bağıntısı ile hesaplamak, bu duvarın kemerlenme etkisine dayanan bir modele göre dayanımının ne kadar olduğunu görmek ve bu çalışmadaki modellerin verdiği sonuçlarla karşılaştırmak açısından faydalı olacaktır. Örnek olarak 6 numaralı duvar gözönüne alınsın. Tablo 5.1'den görüldüğü gibi bu duvarın kalınlığı 20 cm, yüksekliği 300 cm ve dolayısıyla narinliği  $L/H = 15$ 'dir. Bu duvarın örneğin basınç dayanımı  $5.0 \text{ N/mm}^2$  olan G4 sınıfı gazbeton, Ytong duvar bloklarından yapıldığı kabul edilsin. Duvarın basınç dayanımı için bu konudaki bir çalışmadan [55] alınan ortalama basınç dayanımı olan  $f_m = 3 \text{ N/mm}^2 = 0.3 \text{ kN/cm}^2$  değeri kullanılsın.  $L/H = 15$  değeri için Tablo 5.5'den  $\lambda = 0.034$  değeri okunmaktadır. Duvarın düzlem içi yüklemeye maruz bırakılmadığı düşünülerek  $R_1 = 1$  ve alt ve üstünde bulunan kirişlerin yeterince rijit olduğu düşünülerek  $R_2 = 1$  alınırsa, bu duvarın kemerlenme etkisine dayanan düzlemine dik düzgün yayılı yük dayanımı için (5.5) bağıntısından

$$q = 2 \times \frac{0.3 \times 0.034}{15} \times 1 \times 1 = 0.00136 \text{ kN/cm}^2 = 13.6 \text{ kN/m}^2$$

değeri elde edilmektedir. Bu duvar için birim hacim ağırlığının  $\rho = 5 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmış olduğu gözönüne alınırsa duvarın  $1 \text{ m}^2$  sinin ağırlığı için  $w^1 = W/BL = \rho H = 5 \times 0.20 = 1 \text{ kN/m}^2$  değeri elde edilir.  $q = c_y w^1$  formunda yazılabilecek bir bağıntıdan  $c_y$  çekildiğinde  $c_y = q/w^1 = 13.6/1 = 13.6$  gibi bir katsayı elde edilir. Bu katsayı bu duvar için Tablo 5.1'de ve Tablo 5.3'de verilen değerlerle kıyaslanamayacak kadar büyüktür. Bu durum kısaca şu şekilde açıklanabilir: Burada tanıtılmakta olan düşey kemerlenme mekanizması modeli, Bölüm 5.10'da geliştirilmiş olan ve dolgu duvarlar için esas modele göre düzleme dik doğrultuda çok daha yüksek dayanım değerleri vermiş olan modelin bir ileri aşamasıdır. Bölüm 5.10'da kargir dolgu duvarlar düzlemlerine dik atalet kuvvetleri etkisi altında alt ve üst kirişler hizasında basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmişti. Bu modelde, duvar orta yüksekliğine karşı gelen bölgede çatlamanın oluşmasından neredeyse hemen sonra, modeldeki kritere bağlı olarak, duvarın denge durumunu kaybedip yıkıldığı görülmüştü. Ancak duvarın bu aşamadan sonraki davranışı gözönüne alınırsa; duvarın eğilme rijitliği ile yük taşıma durumu ortadan kalkmış olsa dahi, yatay yüke karşı duvar mesnetlerindeki tepki kuvvetleri duvar köşelerine doğru kayarak, Şekil 5.4(b), Şekil 5.6, oluşturdukları kemer, itki, etkisi ile duvarın yüke dayanmasını

devam ettirmektedirler. İşte kemerlenme etkisine dayanan modeller, görelî kat ötelenmesi etkisini ihmal etmelerine rağmen, duvar davranışının ilk çatlamadan sonraki bu kısmını gözönüne aldıkları ve bu aşamadaki duvar davranışını da (5.5) bağıntısından görüldüğü gibi büyük ölçüde duvarın basınç dayanımı kontrol ettiği için sonuç olarak diğer modellere göre çok daha yüksek dayanım değerleri vermeleri gayet mantıklıdır.

Duvar narinliğinin yüksek olmasının duvarların düzlemlerine dik yük dayanımları üzerindeki olumsuz etkisi kemerlenme etkisine dayanan modellerde de görülmektedir. (5.5) bağıntısında  $L/H$  narinliğinin paydada yer alması ve ayrıca pay kısmında yer alan ve Tablo 5.5’de değerleri verilen  $\lambda$  katsayısının narinlik arttıkça küçülmesi bu durumu açık bir şekilde göstermektedir.

Kendisini çevreleyen çerçeve elemanlarının yeterince rijit olmadığı dolgu duvarlarda, duvar düzlemine dik kuvvetlere karşı duvar içinde bir kemerlenme etkisinin oluşması için duvar sınırlarında büyük dönmeler olması gerekmekte, bu durum ise Şekil 5.6’da C ile gösterilmiş olan itki kuvvetlerinin düşeyle yaptığı  $\beta$  açısını küçültmekte ve dolayısıyla duvarın düzlemine dik dayanımını çok büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu durum gözönünde bulundurularak kemerlenme etkisine dayanan çoğu modelde, (5.5) bağıntısında da görüldüğü gibi bir dayanım azaltma faktörü,  $R_2$ , öngörülmektedir. Ayrıca dolgu duvar ile çerçeve elemanları arasında, duvardaki rötreden veya duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasında iyi bir temas sağlanamaması gibi durumlardan kaynaklanan aralıklar da bir kemerlenme etkisi oluşmasını ya tümünden engellemekte ya da duvar sınırlarında büyük dönmelere neden olacağından duvarın düzlemine dik dayanımını önemli ölçüde azaltabilmektedir [2,11,56]. Örneğin Şekil 5.5’de görülen duvarın, üzerindeki kiriş ile arasında iyi bir temas sağlanamamış, dolayısıyla sanki serbest duran bir duvar gibi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda, deprem sırasında düzlemine dik olarak etkiyen atalet kuvvetlerine karşı direnç için yeterli bir kemerlenme etkisi oluşmamış olduğu söylenebilir. Bu duvarın bir betonarme binanın birinci katında bulunan bir dolgu duvar olduğu da belirtilirse, böyle serbest duran duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetlerine karşı ne kadar zayıf durumda oldukları bir kez daha anlaşılmış olur.

O halde şunlar söylenerek bu alt bölüm bitirilebilir: Kargir dolgu duvarların, etrafındaki çerçeve elemanlarının yeterince rijit olması ve bu elemanlarla aralarında

iyi bir temas sağlanmış olması şartıyla, düzlemlerine dik kuvvetlere karşı kemerlenme etkisine dayanan oldukça yüksek bir dayanımları vardır. Bu şartları sağlayan ve basınç dayanımı da iyi olan duvarların büyük depremleri dahi çoğunlukla düzlemleri dışına yıkılmadan atlatmaları, büyük ölçüde, bu duvarlarda iyi bir kemerlenme etkisinin olduğu düşüncesiyle açıklanabilir. Bunun yanında, bu çalışmada gözönüne alınmamış olan düzlem içi deprem etkilerinden kaynaklanan çerçeve ile dolgu duvar arasındaki düzlem içi etkileşim kuvvetlerinin duvarda oluşturduğu diyagonal itki kuvvetlerinin de, duvarda önemli hasara sebep olmayacak düzeyde kalmaları koşuluyla, duvara bir öngerme etkisi vermelerinden dolayı çok önemli ve olumlu katkılarının olduğu açıktır. Ayrıca ve vurgulayarak belirtmek gerekirse, duvarların eğilme rijitliğine dayanan bu çalışmadaki modellerden elde edilen sonuçlara ise dolgu duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri altındaki dayanımları için oldukça güvenli tarafta kalan alt sınırlar gözüyle bakılmalıdır. Buna göre, örneğin üstündeki kiriş ile arasında zayıf bir temas bulunan bir dolgu duvarın düzlemine dik atalet kuvveti dayanımını, görelı kat ötelenmesi etkisinin de ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu bir durumda, duvarın altta ve üstte basit mesnetli düşey bir plak olarak düşünöldüğu Bölüm 5.10'daki modele göre hesaplamak, kemerlenme etkisine dayanan bir modelin vereceği sonuca göre daha güvenli tarafta kalacaktır ve bu böyle bir durum için belki de daha sağlıklı bir hesap şekli olacaktır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kargir dolgu duvarların kendi ağırlıkları, düzlemlerine dik atalet kuvvetleri, düzlemlerine dik katlar arası görelî ötelenme etkisi ve düşey atalet kuvvetlerinden oluşan birleşik yükleme etkileri altındaki davranışlarının incelendiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Ancak hemen belirtmelidir ki, problemin karışıklığından dolayı hesapta ancak belirli büyüklükler gözönüne alınabildiğinden ve bu büyüklükler duvar davranışını gözönüne alınan etkiler altında yeterli yaklaşıklıkla temsil ettiği düşünölen belirli bir modele uydurulduğundan dolayı, sunulan sonuçlar bu gerçeklerin ışığında değerlendirilmelidir.

1. Dolgu duvarların düzlemlerine dik doğrultudaki dayanımları ve davranışları konusunda yapılmış çalışmaların hemen hepsinde ihmal edilmiş bir etki olan katlar arası görelî ötelenme etkisi bu çalışmada gözönüne alınan bir etki olduğu için hesap modeli olarak sözkonusu çalışmaların bir çoğunda kullanılmış olan “kemerlenme etkisi modeli” yerine, duvarların düzlemlerine dik deprem etkilerine bu doğrultudaki küçük eğilme rijitlikleri ile dayandıkları bir model kullanılmıştır. Bu modelde kargir dolgu duvarlar tabanda ankastre üstte ise giriş ile basit temas halinde olan düşey bir konsol eleman olarak gözönüne alınmışlardır. Dolayısıyla bu model kullanılarak elde edilen bu çalışmadaki sonuçların, dolgu duvarların hesapta gözönüne alınan etkiler altındaki davranışları ve dayanımları ile ilgili olarak oldukça güvenli tarafta kalan alt sınırlar olduğu söylenebilir.

2. Kullanılan model yardımıyla duvarların davranışını etkileyen yükleme parametrelerinin ve duvarların hesap için gerekli fiziksel, geometrik ve mekanik özellikleri ile ilgili parametrelerin davranış üzerindeki etkileri incelenebilmiştir. Bu parametrik incelemeler yazılan iki ana bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır.

İlk program yardımıyla yapılan hesaplarda duvar narinliği sınırlandırılmamış ve parametrelerin davranış üzerindeki etkileri duvarlar için ulaşılan sınır narinliklere bakılarak yorumlanmıştır. İkinci program ile yapılan hesaplarda ise bu

çalışmadaki model ile kargir dolgu duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvvetlerinin değerleri elde edilmiş, duvarların geometrik bir özelliği olan duvar narinliğinin etkisi incelenmiş, duvarların düzlemlerine dik ötelenme kapasiteleri irdelenmiş ve ayrıca duvarların dayanabilecekleri düzleme dik atalet kuvvetleri üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisi incelenebilmiştir. Bu ikinci program yardımıyla yapılan hesaplarda bazı parametrelerin etkisi tekrar ve daha net olarak görülebilmektedir. Kargir dolgu duvarların alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak gibi düşünülebileceği durumlar için düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımları yine bu program kullanılarak belirlenmiştir.

3. Duvarların diğer bütün parametreleri sabit iken  $c_y$  yatay deprem katsayısı ile gözönüne alınmış olan düzleme dik atalet kuvvetlerinin büyük değerlerine gidildikçe duvarlar için daha küçük sınır narinlik değerleri elde edilmiştir. Yatay atalet kuvvetlerindeki artış sonucunda, ulaşılan sınır narinlik değerlerindeki düşüş oldukça büyüktür. Örneğin  $P/W = 0.1$  ve  $\rho H/E = 1.5 \times 10^{-6}$  değerleri için  $c_y$  yatay deprem katsayısının 0.02, 0.04, 0.07 ve 0.10 değerleri ile elde edilmiş olan sınır narinlik değerleri sırasıyla 30.25, 18.87, 11.95 ve 8.72 dir, Şekil A.5. Bu durum düzleme dik doğrultudaki büyük atalet kuvvetlerinin bu çalışmadaki hesap modeline göre kargir dolgu duvarlar için ağır bir yükleme durumu oluşturduğunu ve dolayısıyla duvarların dengesi üzerinde baskın bir bozucu etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Narinliği dahil bütün özellikleri belli olan dolgu duvarlar için bu çalışmadaki esas modelin verdiği düzleme dik atalet kuvveti dayanım değerleri oldukça küçüktür ve dolayısıyla güvenli tarafta kalan değerlerdir. Örneğin kalınlığı 20 cm, yüksekliği 240 cm ve  $\rho H/E$  parametresi  $1.0 \times 10^{-6}$  olan bir dolgu duvar için  $P/W$  oranının 0.3 değerinde elde edilmiş olan  $c_{y\text{maks.}}$  değeri 0.062 dir, Şekil A.12(a).

4. Duvarlar için diğer bütün parametreler sabit iken  $c_d$  düşey deprem katsayısı ile gözönüne alınmış olan düşey atalet kuvvetlerindeki değişimin duvarlar için elde edilen sınır narinlik değerlerini etkilediği görülmüştür. Diğer parametreler sabit iken düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru etkiyor olmaları halinde duvarlar için daha büyük sınır narinlik değerleri, yukarı doğru etkiyor olmaları durumunda ise daha küçük sınır narinlik değerleri elde edilmiştir. Örneğin düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlendirilmiş olmaları durumunda  $c_y = 0.04$ ,  $P/W = 0.1$  ve  $\rho H/E = 1.0 \times 10^{-6}$  değerleri için  $c_d$  düşey deprem katsayısının 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 değerleri ile elde

edilmiş olan sınır narinlik değerleri sırasıyla 19.44, 20.51, 21.49, 22.33 ve 23.80 dir, Şekil A.7(b). Düşey atalet kuvvetlerinin yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumunda ise örneğin yine  $c_y = 0.04$ ,  $P/W = 0.1$  ve  $\rho H/E = 1.0 \times 10^{-6}$  değerleri için  $c_d$  düşey deprem katsayısının 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 değerleri ile sırasıyla 19.44, 18.24, 16.89, 15.40 ve 11.92 sınır narinlik değerleri hesaplanmıştır, Şekil A.9(b). Bu durum düşey atalet kuvvetlerinin etkiye yönlerine bağlı olarak kargir dolgu duvarların bu çalışmadaki yükleme durumları altında dengelerini koruyucu veya bozucu bir etki meydana getirebileceğini göstermiştir. Ancak dolgu duvarların dengesi üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisinin yatay atalet kuvvetlerinin etkisine göre çok daha az önemli olduğu görülmüştür.

Düşey atalet kuvvetlerinin, narinliği dahil bütün özellikleri belli olan dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımları üzerinde de doğal olarak etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Dolgu duvarların düzlemlerine dik dayanımları için düşey atalet kuvvetlerinin aşağı doğru yönlenmiş olmaları halinde daha büyük değerler, yukarı doğru yönlenmiş olmaları durumunda ise daha küçük değerler elde edilmiştir.

5. Duvarların davranışlarının belirlenmesinde gözönüne alınan yükleme durumu içinde duvar üst kesiti ile bu kesitin temas halinde olduğu kiriş tabanı arasında mevcut olduğu düşünülen bir temas kuvveti de yer almaktadır. Bu temas kuvvetinin yatay bileşeni sayesinde katlar arası görelî ötelenme etkisi analize dahil edilmiştir. Yapılan hesaplar temas kuvvetinin düşey bileşeninin, diğer bir deyişle duvar üzerindeki düşey yükün dolgu duvarlar için bir “öngerme etkisi” meydana getirdiğini ve dolayısıyla hesapta gözönüne alınan etkiler altında duvarların davranışları ve dayanımları üzerinde çok olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir. Buna karşılık temas kuvvetinin yatay bileşeni sayesinde gözönüne alınmış olan görelî kat ötelenmesi etkisinin ise kargir dolgu duvarlar için çok ağır bir yükleme durumu oluşturduğu ve duvarların davranışlarını çok olumsuz bir şekilde etkilediği görülmüştür.

Bu bulguların ışığında; bir deprem sırasında küçük katlar arası görelî ötelenme etkisinde kalma durumu olan ve üstteki kiriş ile arasında iyi bir temas sağlanmış ve özellikle kirişten üzerine biraz yük gelen dolgu duvarların, depremde büyük katlar arası görelî ötelenme etkisinde kalma durumunda olan, kiriş ile arasında iyi bir temas

sağlanamamış ve özellikle tamamen serbest duran duvarlara göre, düzlemlerine dik atalet kuvvetlerine dayanma açısından çok daha iyi bir durumda oldukları sonucuna varılmaktadır.

6. Duvar kalınlığı  $H$ , duvar ortamının birim hacim ağırlığı  $\rho$  ve elastisite modülü  $E$  hesapta ayrı ayrı değil de  $\rho H/E$  parametresi şeklinde toplu olarak görülmektedir. Duvarların diğer bütün parametreleri sabit iken bu parametredeki artışın duvarlar için daha küçük sınır narinlik değerleri verdiği görülmüştür. Ayrıca narinlik değerleri eşit olan ve düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımları ikinci program yardımıyla hesaplanan duvarlar içinde  $\rho H/E$  parametresi büyük olanların biraz daha az yatay atalet kuvvetine dayanabildiği, buna karşılık daha fazla yatay ötelenme yaptığı ortaya çıkmıştır. Örneğin narinlik değerleri aynı olup özellikleri Tablo 5.1’de verilen ve  $\rho H/E$  parametreleri sırasıyla  $1.5 \times 10^{-6}$ ,  $3.0 \times 10^{-6}$  ve  $4.5 \times 10^{-6}$  olan 13, 20 ve 22 numaralı duvarlar için  $P/W$  oranının 0.1 değerinde elde edilen  $c_{y\max}$  değerleri sırasıyla 0.086, 0.083 ve 0.081 iken karşı gelen  $\delta_{c_{y\max}}$  yatay ötelenme değerleri 1.14 cm, 1.39 cm ve 1.80 cm’dir.

Daha çok duvar yatay ötelenmelerini etkilediği için “duvar esneklik parametresi” olarak adlandırılan  $\rho H/E$  parametresinde pay kısmında yer alan  $\rho$  ve/veya  $H$ ’daki artışın parametrenin artmasına, paydada yer alan  $E$ ’nin artışının ise bu parametrenin azalmasına yol açacağı açıktır. Dolayısıyla örneğin  $\rho$  ve  $H$  sabit iken duvar ortamının  $E$  elastisite modülünün artışı ile daha rijit bir duvar elde edileceğinden, yüksek elastisite modülü değerlerine duvarların davranışları ve dayanımları üzerinde olumlu etkisi olan bir büyüklük gözüyle bakılmalıdır. Benzer olarak  $H$  ve  $E$  sabit iken duvar ortamının  $\rho$  birim hacim ağırlık değerinin artışı ile daha esnek bir duvar elde edileceğinden, yüksek birim hacim ağırlık değerlerine ise duvarların davranışları üzerinde olumsuz etkisi olan bir büyüklük gözüyle bakılmalıdır.

7. Narinliğin duvarların bu çalışmada gözönüne alınan yükleme durumları altındaki davranışları üzerinde oldukça önemli etkisi olan bir parametre olduğu görülmüştür. Narinlik değerleri dışında diğer bütün parametreleri aynı olan dolgu duvarların ikinci program yardımıyla düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımları ve yatay ötelenme miktarları hesaplanmış, narinliği yüksek olanların doğal olarak çok daha az yüke dayanabildiği, buna karşılık daha fazla yatay ötelenme yapabildiği tespit edilmiştir. Örneğin  $\rho H/E$  parametreleri eşit olan, kalınlıkları 25 cm, yükseklikleri ise 250 cm,

300 cm, 350 cm ve 400 cm ve dolayısıyla narinlik değerleri 10, 12, 14 ve 16 olan dört duvar için  $P/W$ 'nin 0.3 değerinde elde edilen  $c_{ymaks.}$  değerleri sırasıyla 0.076, 0.061, 0.051 ve 0.043 iken karşı gelen  $\delta_{cymaks.}$  yatay ötelenme miktarları 0.89 cm, 1.02 cm, 1.27 cm ve 1.61 cm'dir.

Buna göre, örneğin aralarına izolasyon malzemesi konularak iki sıra halinde örülen ve narinlikleri oldukça yüksek olan sandviç duvarların düzlemlerine dik deprem etkilerine karşı çok zayıf bir durumda oldukları söylenebilir. Deprem sırasında bu tür duvarların düzlemleri dışına yıkıldığına sıkça rastlanması bu bulguyu doğrular niteliktedir. Bu nedenle bu tür duvarların yapılmasından mümkün olduğunca kaçınılmalı, yapılmalarının zorunlu olduğu durumlarda ise içte ve dışta yer alan duvarlar arasında mutlaka uygun ve yeterli bir mekanik bağlantı düzenlenmelidir. Ayrıca zorunlu olarak yüksek olması gereken dolgu duvarlarda ise narinliği küçültmek ve depremlerde düzlem dışı devrilme riskini azaltmak için mutlaka ara hatıl düzenlenmelidir.

8. Yatay rijitliği yeterince yüksek, dolayısıyla katlar arası görelî ötelenme miktarı küçük olan betonarme binalardaki dolgu duvarların düzlemlerine dik atalet kuvveti dayanımlarını yine eğilmeye dayanan, ancak daha gerçekçi olacağı düşünülebilecek bir model olan duvarın alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak gözönüne alındığı bir modele göre hesaplamının mümkün olabileceği görülmüştür. Bu modelin duvarlar için verdiği düzleme dik atalet kuvveti dayanım değerlerinin, duvarların düşey bir konsol eleman olarak gözönüne alındığı esas modelin verdiği dayanım değerlerinden çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin Tablo 5.1'de özellikleri verilen 12 numaralı duvar için  $P/W$ 'nin 1.0 değerinde bu yeni modelin verdiği  $c_{ymaks.}$  değeri 0.419 iken esas modelin verdiği değer 0.077 dir. Bu yeni model durumunda da duvara sağlanacak düşey basınç kuvvetinin bir öngerme etkisi yaptığı ve dolayısıyla duvarların düzlemlerine dik atalet kuvvetleri altındaki davranışları ve dayanımları üzerinde çok olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür, Şekil A.21. Ayrıca büyük narinlik değerlerinin davranış üzerindeki olumsuz etkisi bu model durumunda da kendini göstermiştir.

9. Kargir dolgu duvarlar için kemerlenme etkisi modelleri ile hesaplanan düzleme dik atalet kuvveti dayanım değerleri duvarların bu dayanımları için üst sınır değerleri olarak kabul edilebilir. Ancak bir dolgu duvarın düzlemine dik atalet kuvveti

dayanımını kemerlenme etkisi modellerine göre belirlemek için duvarın etrafındaki çerçeve elemanlarının yeterince rijit olması ve duvar ile bu elemanlar arasında iyi bir temas sağlanmış olması şartı bulunduğu unutulmamalıdır. Buna göre, eğer duvar ile çerçeve elemanları arasında iyi bir temas sağlanamamış ise veya örneğin duvardaki rötreden dolayı duvar ile üst kiriş arasındaki mevcut temas zayıflamış ise böyle bir durumda bir deprem sırasında düzlemine dik etkiyecek atalet kuvvetlerine karşı direnç için duvar içinde tam, yeterli bir kemerlenme etkisinin oluşmasını beklemek pek de doğru olmaz. Böyle durumlarda duvarın düzlemine dik atalet kuvveti dayanımını, görelî kat ötelenmesi etkisi de ihmal edilebilecek kadar küçük ise bu çalışmadaki ikinci modele göre hesaplamak daha gerçekçi ve aynı zamanda güvenli tarafta kalan sonuçlar verecek bir hesap şekli olacaktır. Benzer şekilde, örneğin serbest durduğu kabul edilebilecek bir dolgu duvarın düzlemine dik atalet kuvveti dayanımını ise bu çalışmanın esas modeline göre hesaplamak daha makul olacaktır.

**10.** Bu çalışmada bazı büyüklükler analizi zorlaştırdıkları için hesaba dahil edilmemiş, diğer bazıları da etkilerinin az olacağı düşüncesiyle ihmal edilmiştir. Örneğin dolgu duvar üst kesiti ile bu kesitin temas halinde olduğu kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin düşey bileşeninin “e” dışmerkezliği analizi zorlaştırdığı için hesaba dahil edilmeyen bir büyüklüktür. Hesapta sıfır olarak alınan, ancak az da olsa mevcut olan çekme dayanımı ise ihmal edilmiş bir büyüklüktür. Dolgu duvarların gözönüne alınan etkilere düzlemlerine dik doğrultudaki küçük eğilme rijitlikleri ile dayandıkları bir modelin kullanıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar için daha hassas değerlerin bulunmak istendiği durumlarda bu gibi büyüklüklerin de hesapta gözönüne alınması gereklidir.

Ayrıca duvar ortamının ezilme olmayacak kadar yüksek varsayılan basınç dayanımının da sınırlı alınıp hesaplarda bu haliyle kullanılması elde edilecek sonuçların daha sağlıklı olmasında etkili olacaktır.

**11.** Bir deprem sonrasında dolgu duvar hasarlarını izleyerek yapının zayıflıklarını ortaya koymak mümkündür. Dolgu duvar hasarlarını bu elemanların değil yapının zayıflığı olarak yorumlamak daha doğrudur. Çünkü depreme karşı iyi tasarlanmış bir çerçeve sisteminde kat ötelenmeleri sınırlandırıldığı için çerçevenin deprem sırasında belirlenmiş sınırlar içinde esnemesi dolgu duvarlarda çoğunlukla hasara yol açmaz. Ancak aşırı esneyen zayıf çerçevelerde ilk hasar görecektir elemanlar kargir dolgu

duvarlar olacaktır. Durum bu olmasına karşılık ve yapı tasarımında taşıyıcı elemanlar olarak dikkate alınmamalarına rağmen, dolgu duvarların bir deprem sırasında ister düzlem içi ister düzleme dik etkilerden dolayı hasar görüp yıkılmalarını yapının küçümsenemeyecek bir rijitlik ve dayanım desteğinin ortadan kalkması şeklinde değerlendirmek mümkündür. Ayrıca bu duvarların yıkılmasının can ve mal kaybına sebep olabileceği de açıktır. Dolayısıyla dolgu duvarların bu çalışmada ilgilenilen düzlemlerine dik deprem etkilerine karşı dayanım ve davranış yönünden iyi bir durumda olabilmeleri için binanın katlar arası görelî ötelenmeler yeterince küçük kalacak kadar yatay rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanmış olması yanında, bu duvarların yapımı ile ilgili olarak TS 2510'da ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'de verilen kurallara da uyulması gereklidir. Bunlarla birlikte, bu çalışmadan elde edilen sonuçların da uygulama için faydalı olması beklenmektedir. Ayrıca proje ve yapım kontrollerinde bu tür elemanlar gözardı edilmemelidir. Duvarlarda kullanılan kargir birimlerin dayanımlarının yeterince yüksek olması yanında, mümkün olduğu kadar hafif olmalarına dikkat edilmelidir. Örnekte kullanılan harcın yönetmeliklerde öngörülen özelliklere sahip olmasına özen gösterilmelidir. Bunların yanında, dolgu duvarın bir bütünlük içinde çalışmasını sağlayacak ve duvarın örülmesindeki işçilik kusurlarını bir ölçüde telâfi edecek sıva yapımı da önem kazanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Tomaževič, M.**, 1999. Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings, Imperial College Press, London.
- [2] **Paulay, T. and Priestley, M. J. N.**, 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley and Sons, New York.
- [3] **Wakabayashi, M.**, 1986. Design of Earthquake Resistant Buildings, McGraw Hill, New York.
- [4] **Flanagan, R. D. and Bennett, R. M.**, 1999. In-Plane Behavior of Structural Clay Tile Infilled Frames, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **125(6)**, 590-599.
- [5] **Madan, A., Reinhorn, A. M. and Mander, J. B.**, 1997. Modeling of Masonry Infill Panels for Structural Analysis, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **123(10)**, 1295-1302.
- [6] **Saneinejad, A. and Hobbs, B.**, 1995. Inelastic Design of Infilled Frames, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **121(4)**, 634-650.
- [7] **Buonopane, S. G. and White, R. N.**, 1999. Pseudodynamic Testing of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frame, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **125(6)**, 578-589.
- [8] **Fardis, M. N., Bousias, S. N., Franchioni, G. and Panagiotakos, T. B.**, 1999. Seismic Response and Design of RC Structures with Plan-Eccentric Masonry Infills, *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.*, **28**, 173-191.
- [9] **Flanagan, R. D. and Bennett, R. M.**, 1999. Bidirectional Behavior of Structural Clay Tile Infilled Frames, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **125(3)**, 236-244.
- [10] **Benedetti, D. and Benzoni, G. M.**, 1984. A Numerical Model for Seismic Analysis of Masonry Buildings: Experimental Correlations, *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.*, **12**, 817-831.
- [11] **Abrams, D. P., Angel, R. and Uzarski, J.**, 1996. Out-of-Plane Strength of Unreinforced Masonry Infill Panels, *Earthquake Spectra*, Journal of Earthquake Engineering Research Institute, **12(4)**, 825-844.
- [12] **McDowell, E. L., McKee, K. E. and Sevin, E.**, 1956. Arching Action Theory of Masonry Walls, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **82(ST2)**, 915-933.
- [13] **McKee, K. E. and Sevin, E.**, 1959. Design of Masonry Walls for Blast Loading, ASCE Transactions, **124**, Paper No.2988.

- [14] **Hendry, A. W.**, 1973. The Lateral Strength of Unreinforced Brickwork, *The Structural Engineer*, **51(2)**, 43-50.
- [15] **West, H. W. H., Hodgkinson, H. R. and Web, W. F.**, 1973. Lateral Load Test on Walls with Different Boundary Conditions, *Proceedings of Third International Brick Masonry Conference*, Essen, Germany, 180-186.
- [16] **Wilton, C. and Gabrielsen, B.**, 1973. Shock Tunnel Tests of Preloaded and Arched Wall Panels, URS Report 7030-10, URS Research Co., San Mateo, California.
- [17] **Lefter, J. and Colville, J.**, 1974. Reinforcing Existing Buildings to Resist Earthquake Forces, *Proceedings of CENTO Symposium on Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, November.
- [18] **Gabrielsen, B. L. and Kaplan, K.**, 1977. Arching in Masonry Walls Subjected to Out-of-Plane Forces, *Proceedings of National Workshop on Earthquake Resistant Masonry Construction*, National Bureau of Standards, NBS Science Series No.106, September.
- [19] **Anderson, C.**, 1984. Arching Action in Transverse Laterally Loaded Masonry Wall Panels, *The Structural Engineer*, **62B(1)**, 12-23.
- [20] **Anderson, C.**, 1985. Tests on Walls Subjected to Uniform Lateral Loading and Edge Loading, *Proceedings of the Seventh International Brick Masonry Conference*, Melbourne, Australia, February 1985, 889-899.
- [21] **Drysdale, R. G. and Essawy, A. S.**, 1988. Out-of-Plane Bending of Concrete Block Walls, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **114(1)**, 121-133.
- [22] **Dawe, J. L. and Seah, C. K.**, 1990. Out-of-Plane Resistance of Concrete Masonry Infilled Panels, *Journal of the Canadian Society of Civil Engineering*, January, 854-864.
- [23] **Fowler, J. J.**, 1994. Analysis of Dynamic Testing Performed on Structural Clay Tile Infilled Frames, *MS Thesis*, University of Tennessee, Knoxville, Tenn.
- [24] **Lee, J. S., Pande, G. N., Middleton, J. and Kralj, B.**, 1996. Numerical Modelling of Brick Masonry Panels Subject to Lateral Loadings, *Computers & Structures*, **61(4)**, 735-745.
- [25] **TS-2510**, 1977. Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [26] **Gülkan, P. and Sözen, M. A.**, 1997. A Displacement-Based Procedure for Determination of Seismic Vulnerability of Buildings, *First Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, İstanbul, Turkey, March 1997, 83-100.

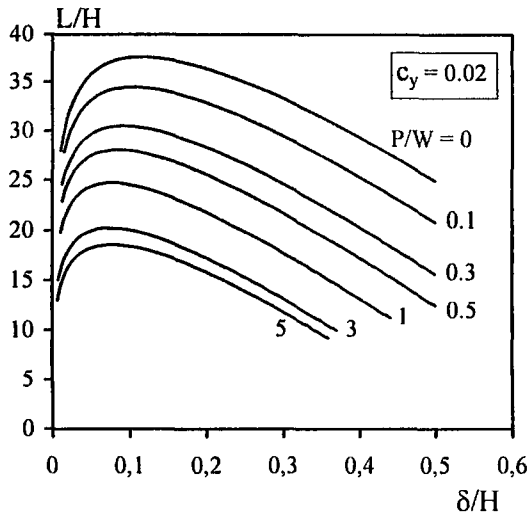
- [27] **TS-2848**, 1977. Kargir Duvar Harçları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [28] **Bayülke, N.**, 1993. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- [29] **Ali, S. and Page, A. W.**, 1988. Finite Element Model for Masonry Subjected to Concentrated Loads, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **114(8)**, 1761-1784.
- [30] **Sahlin, S.**, 1971. Structural Masonry, Printice-Hall, Inc., New Jersey.
- [31] **Akman, M. S.**, 1990. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [32] **McNary, W. S. and Abrams, D. P.**, 1985. Mechanics of Masonry in Compression, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **111(4)**, 857-870.
- [33] **Biolzi, L.**, 1988. Evaluation of Compressive Strength of Masonry Walls by Limit Analysis, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **114(10)**, 2179-2189.
- [34] **McAfee, P.**, 1998. Stone Buildings, The O'Brien Press Ltd., Dublin.
- [35] **Hamid, A. A. and Drysdale, R. G.**, 1988. Flexural Tensile Strength of Concrete Block Masonry, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **114(1)**, 50-66.
- [36] **Drysdale, R. G. and Hamid, A. A.**, 1984. Tension Failure Criteria for Plain Concrete Masonry, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **110(2)**, 228-244.
- [37] **TS-705**, 1969. Fabrika Tuğlaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [38] **TS-4563**, 1985. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Yatay Delikli, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [39] **TS-4377**, 1985. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Düşey Delikli Hafif, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [40] **TS-453**, 1988. Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [41] **TS-406**, 1976. Duvarlar İçin Beton Briketler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [42] **La Mendola, L. and Papia, M.**, 1993. Stability of Masonry Piers Under Their Own Weight and Eccentric Load, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **119(6)**, 1678-1693.
- [43] **Papazoglou, A. J. and Elnashai, A. S.**, 1996. Analytical and Field Evidence of the Damaging Effect of Vertical Earthquake Ground Motion, *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.* **25**, 1109-1137.

- [44] **Report on 1995 Kobe Earthquake**, 1999. INCEDE, ERS and KOBEnet, *Institute of Industrial Science University of Tokyo*, Tokyo, Japan.
- [45] **İnan, M.**, 1996. Cisimlerin Mukavemeti, İ.T.Ü Vakfı Yayınları, No: 25, İstanbul.
- [46] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1998. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- [47] **Önalp, A.**, 1982. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, K.T.Ü, Yayın No: 187, Trabzon.
- [48] **Ytong Donatısız (Blok) Yapı Malzemeleri ve Donatılı Yapı Elemanları Kataloğu**, 1998. Türk Ytong Sanayi A. Ş.
- [49] **Yorulmaz, M. ve Atan, Y. T.**, 1971. Çeşitli Forme Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Nümunelerinin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları, İ.T.Ü Matbaası, İstanbul.
- [50] **Orton, A.**, 1992. Structural Design of Masonry, Longman Group UK Ltd., London.
- [51] **Gülkan, P. ve Sucuoğlu, H.**, 1988. Kırsal Yapılarda Deprem Hasarlarının Tayini, *Deprem Araştırma Bülteni*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Sayı: 62, 5-44.
- [52] **Yokel, F. Y., Mathey, R. G. and Dikkers, R. D.**, 1971. Strength of Masonry Walls Under Compressive and Transverse Loads, *National Bureau of Standards*, Building Science Series, No.34.
- [53] **Bruneau, M.**, 1994. State-of-the-Art Report on Seismic Performance of Unreinforced Masonry Buildings, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **120(1)**, 230-251.
- [54] **Karantoni, F. V. and Fardis, M. N.**, 1992. Computed Versus Observed Seismic Response and Damage of Masonry Buildings, *J. Struct. Engrg.*, ASCE, **118(7)**, 1804-1821.
- [55] **Alakoç, C. A., Özcebe, G. ve Sucuoğlu, H.**, 1999. Gazbeton Duvarların Davranışı ve Mekanik Özellikleri, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongre ve Sergisi*, ODTÜ, Ankara, 24-26 Kasım, s. 131-146.
- [56] **Sucuoğlu, H. and Erberik, A.**, 1997. Performance Evaluation of A Three-Storey Unreinforced Masonry Building During the 1992 Erzincan Earthquake, *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.*, **26**, 319-336.

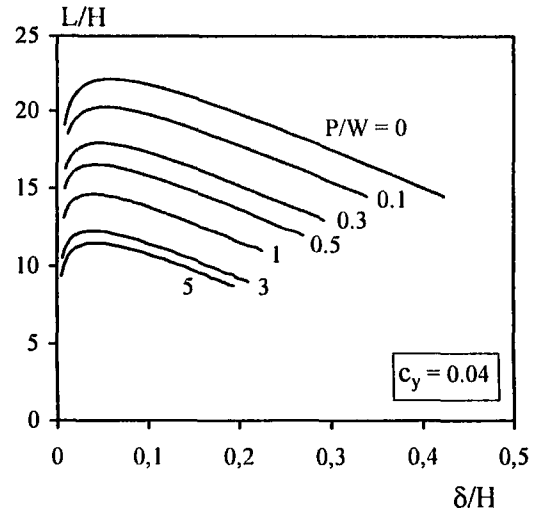
## **EK 1**

### **5. BÖLÜM'DEKİ PARAMETRİK İNCELEMELERE AİT GRAFİKLER**

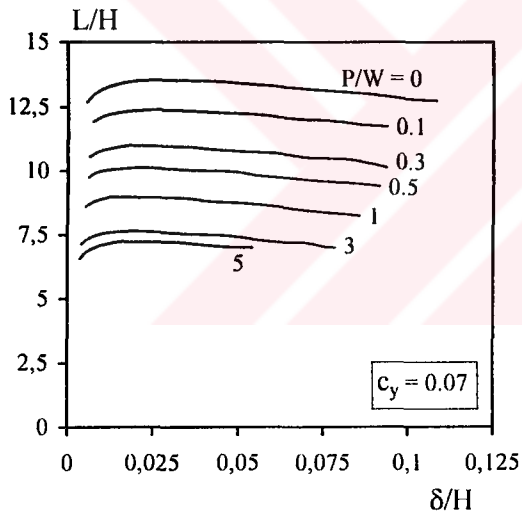




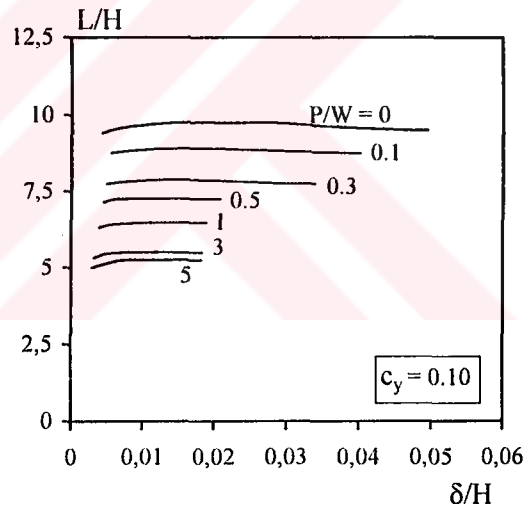
(a)



(b)

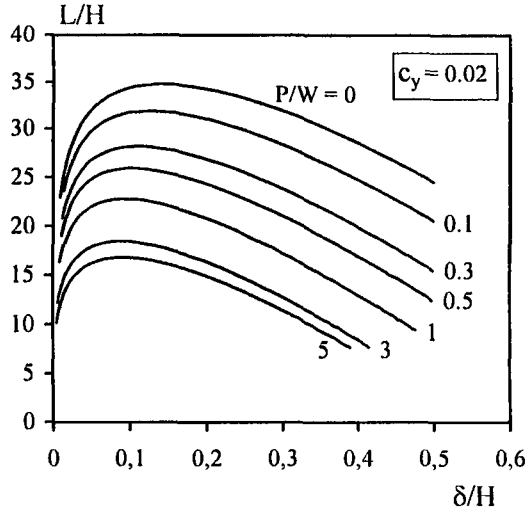


(c)

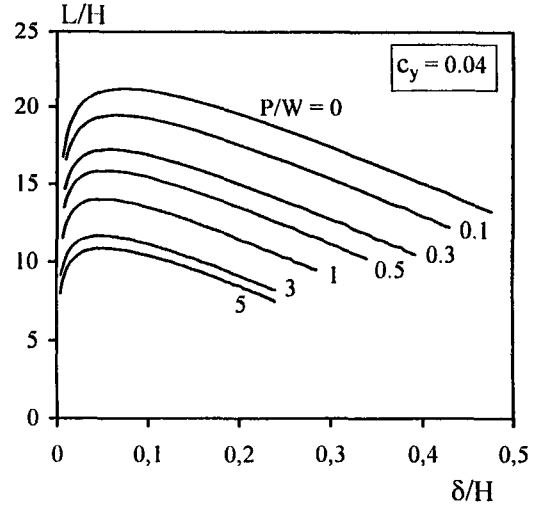


(d)

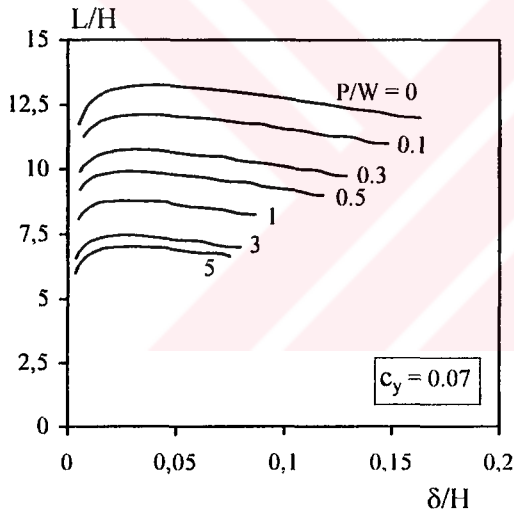
**Şekil A.1**  $P/W$  oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 0.5 \times 10^{-6}$ ,  $c_d = 0$ )



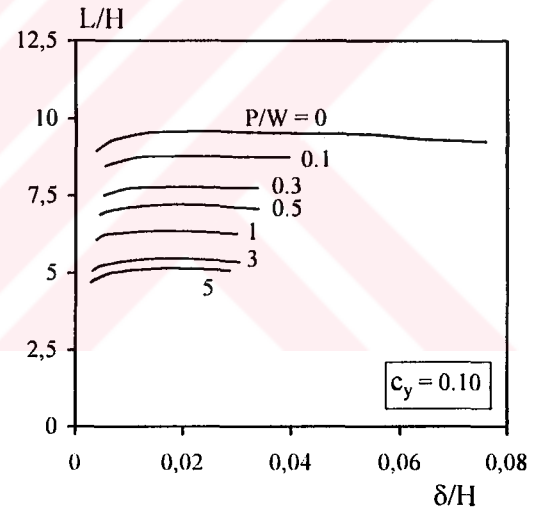
(a)



(b)

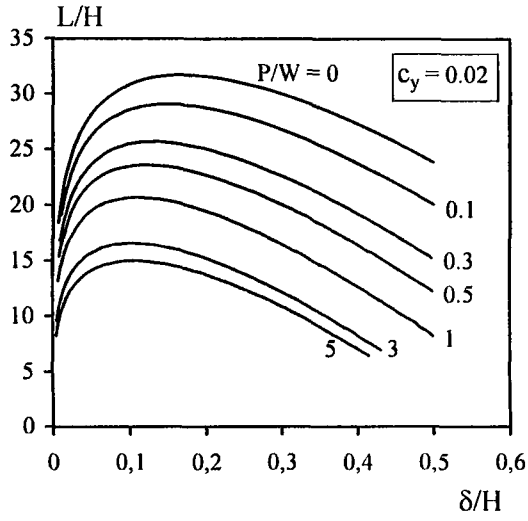


(c)

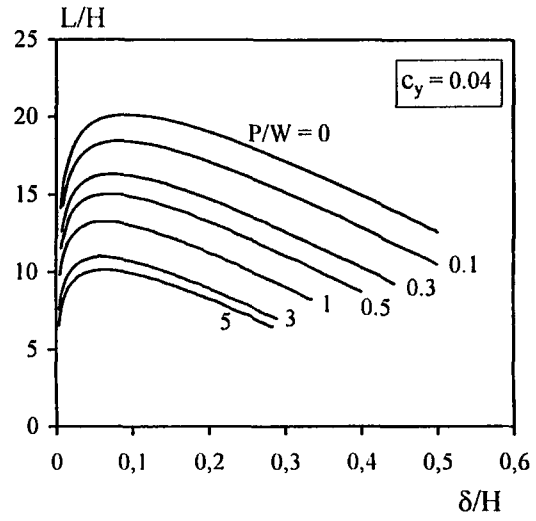


(d)

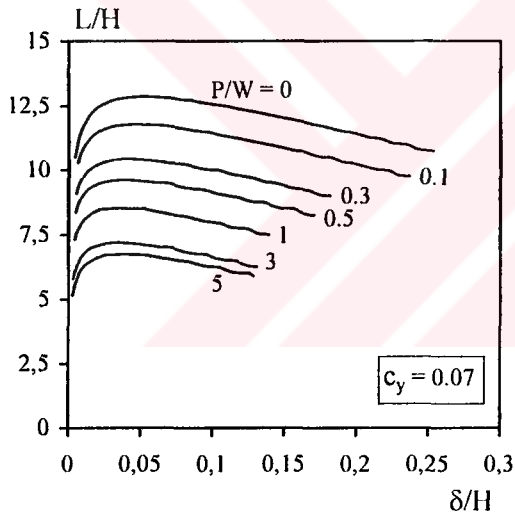
**Şekil A.2** P/W oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 1.0 \times 10^{-6}$ ,  $c_d = 0$ )



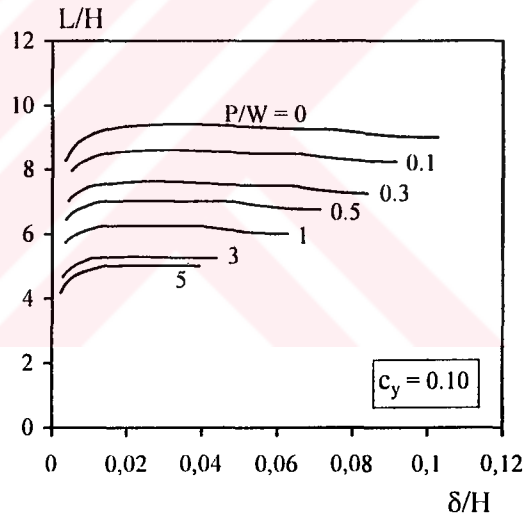
(a)



(b)

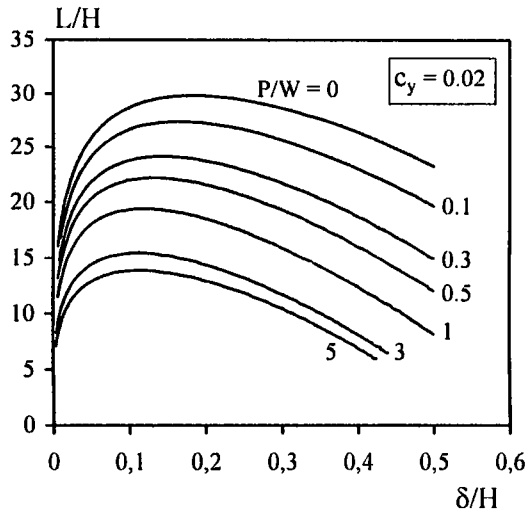


(c)

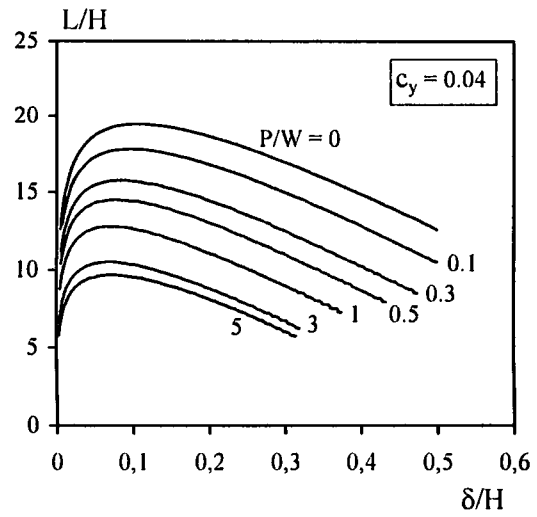


(d)

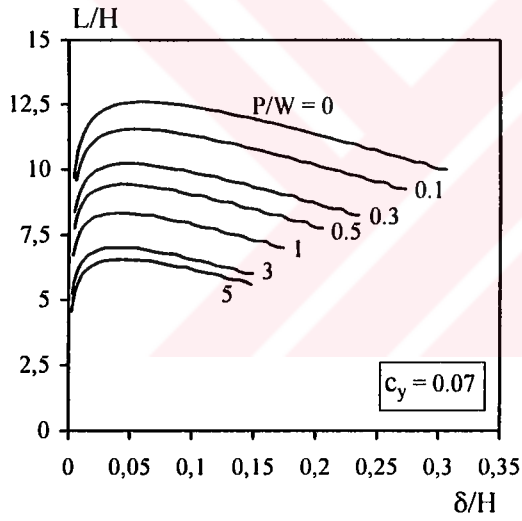
**Şekil A.3**  $P/W$  oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 2.0 \times 10^{-6}$ ,  $c_d = 0$ )



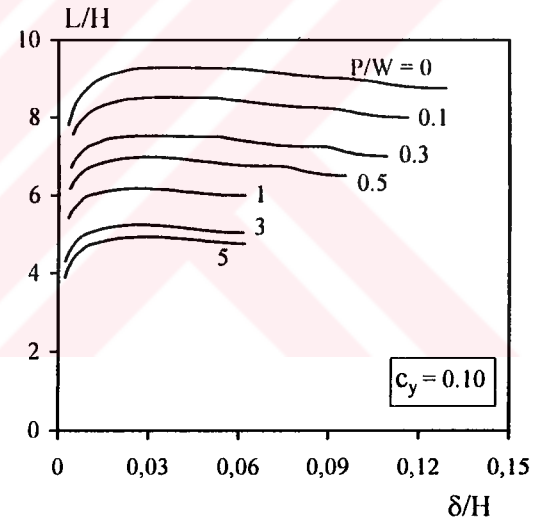
(a)



(b)

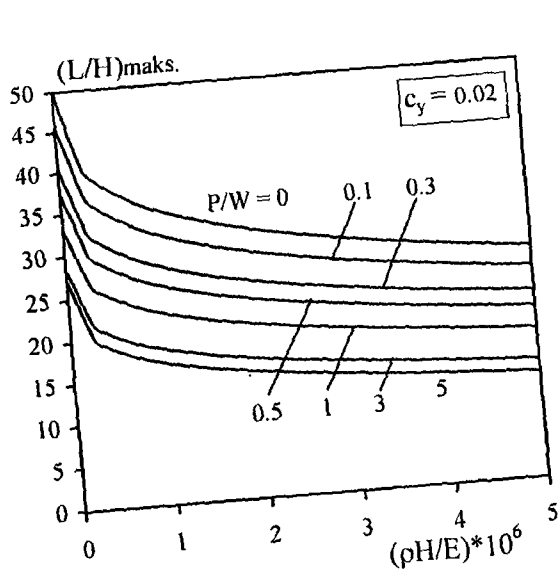


(c)

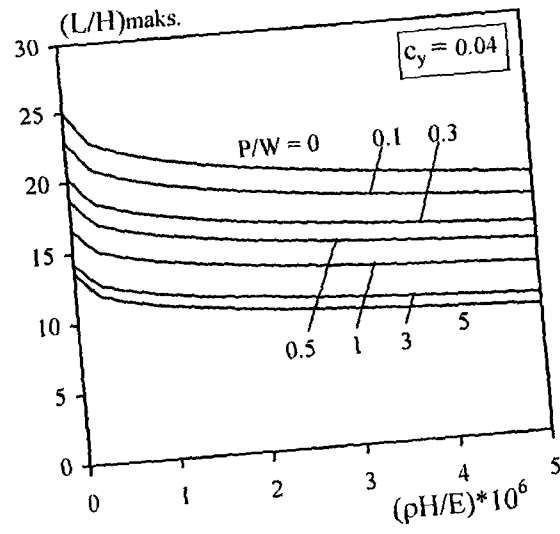


(d)

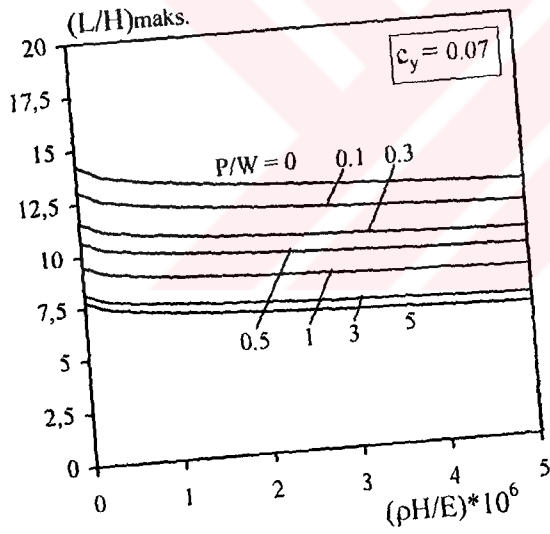
**Şekil A.4**  $P/W$  oranının bazı değerleri altında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik-boyutsuz ötelenme eğrileri ( $\rho H/E = 3.0 \times 10^{-6}$ ,  $c_d = 0$ )



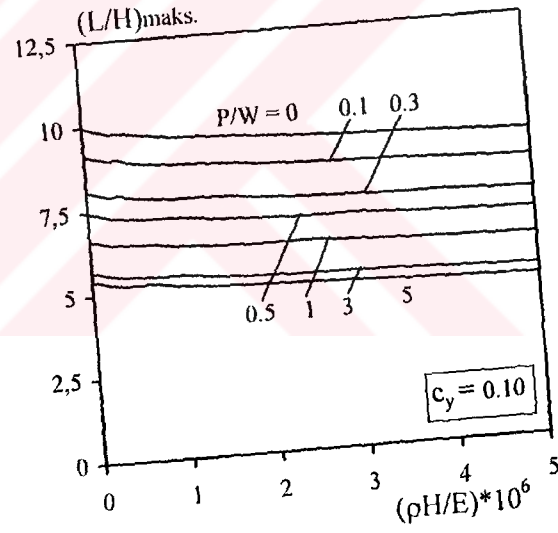
(a)



(b)

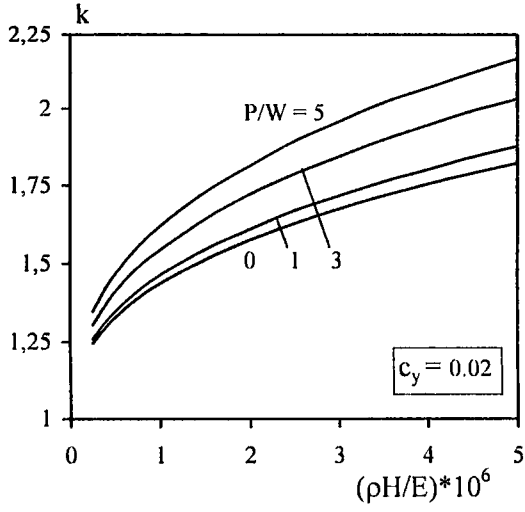


(c)

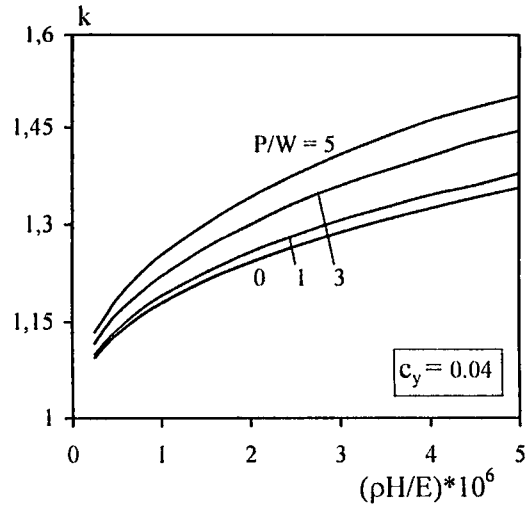


(d)

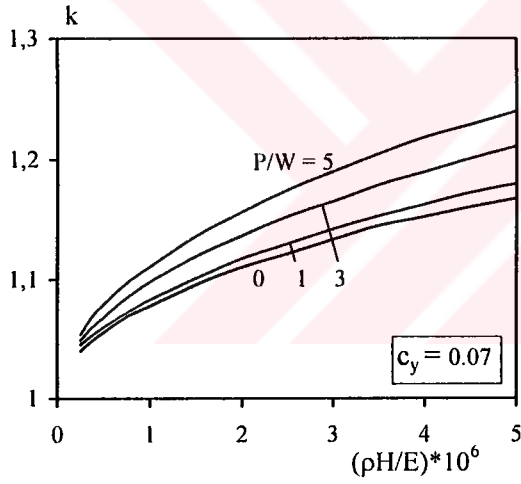
**Şekil A.5**  $P/W$  oranının bazı değerleri altında ve  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07, (d) 0.10 değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler ( $c_d = 0$ )



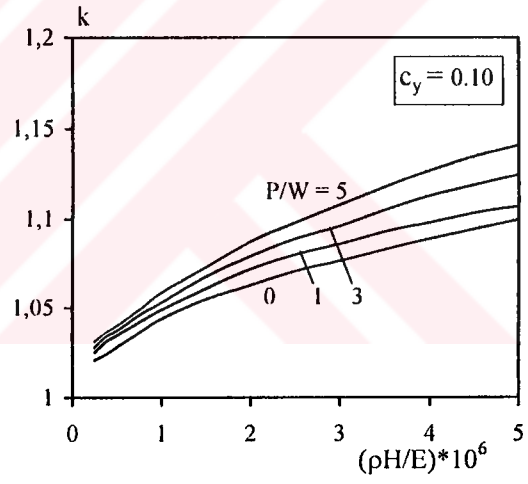
(a)



(b)

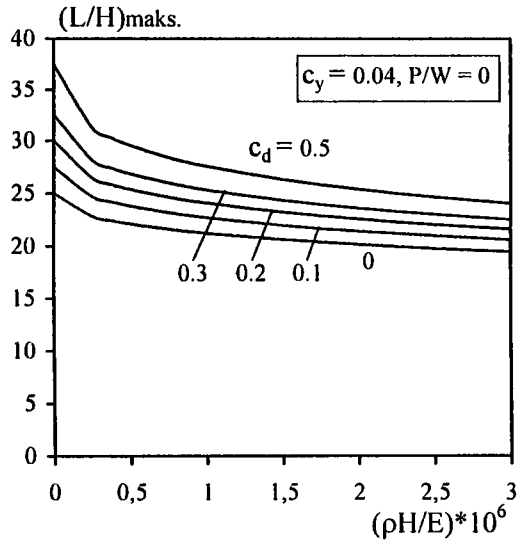


(c)

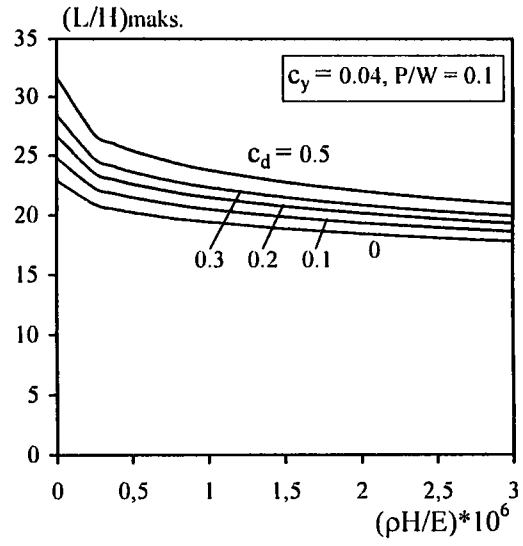


(d)

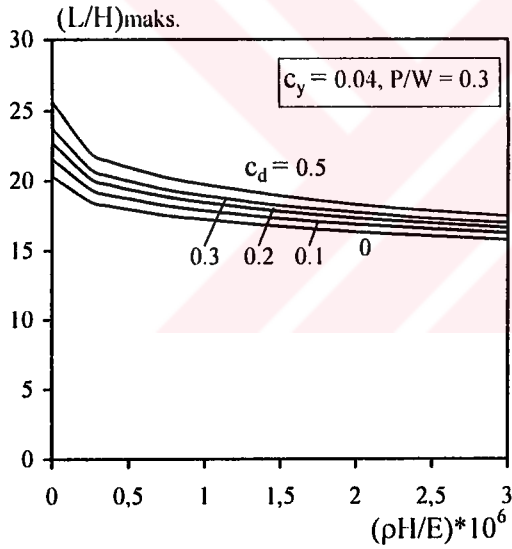
**Şekil A.6** İkinci mertbe etkiler nedeniyle rijit dolgu duvar durumuna karşı gelen narinlikteki azalmayı gösteren,  $P/W$  oranının bazı değerleri altında ve  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında, yatay deprem katsayısının (a) 0.02, (b) 0.04, (c) 0.07 ve (d) 0.10 değerleri için elde edilen narinlik azaltma faktörü ( $c_d = 0$ )



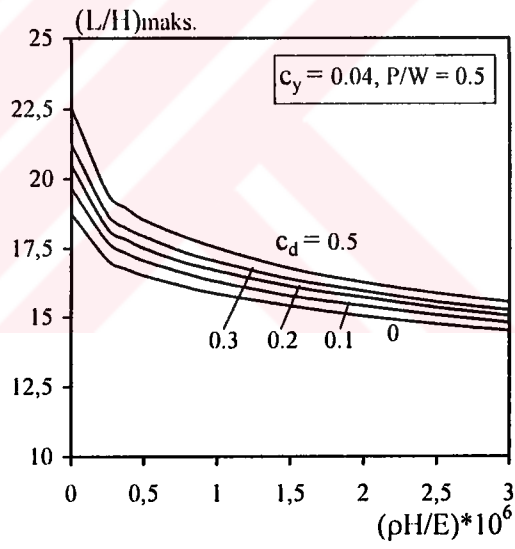
(a)



(b)

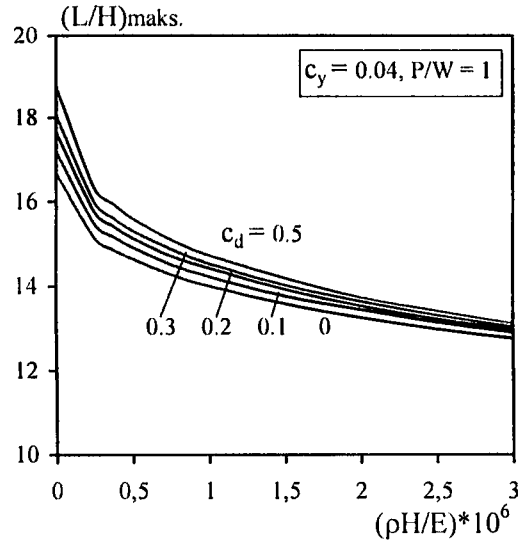


(c)

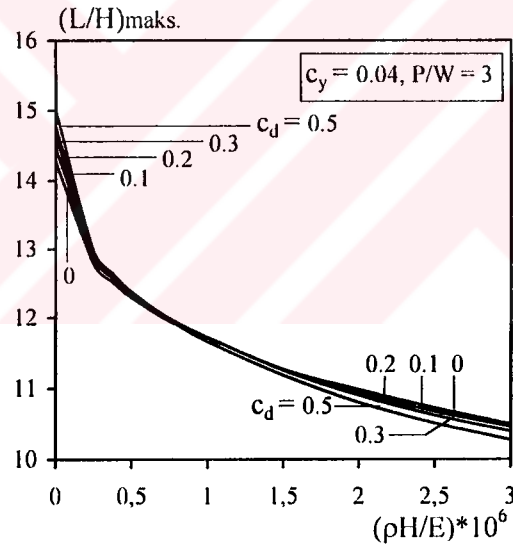


(d)

**Şekil A.7** Yatay deprem katsayısının 0.04 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3 ve (d) 0.5 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönelmiş)

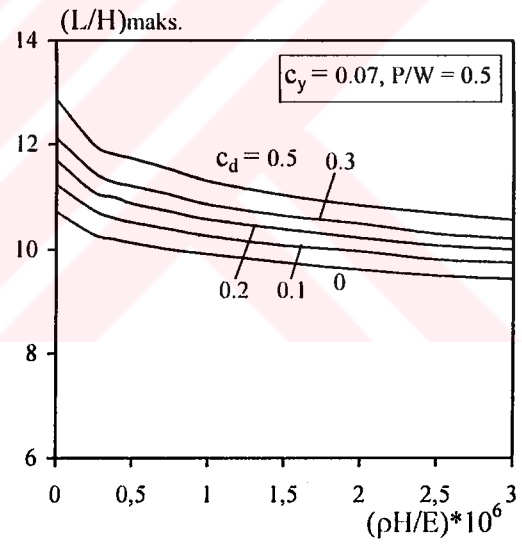
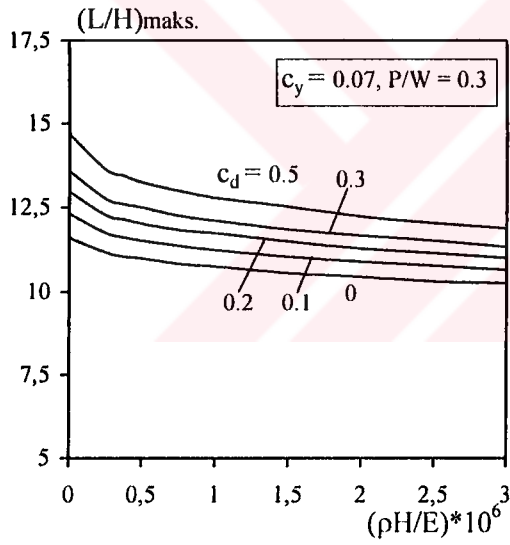
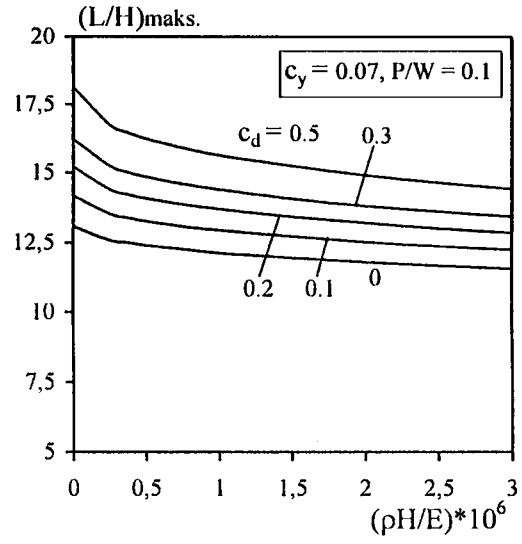
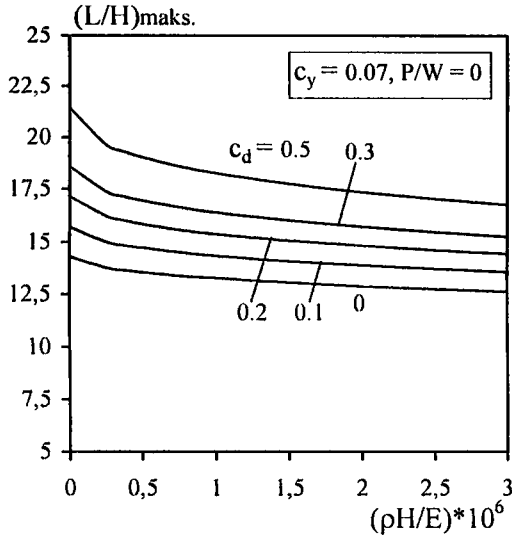


(e)

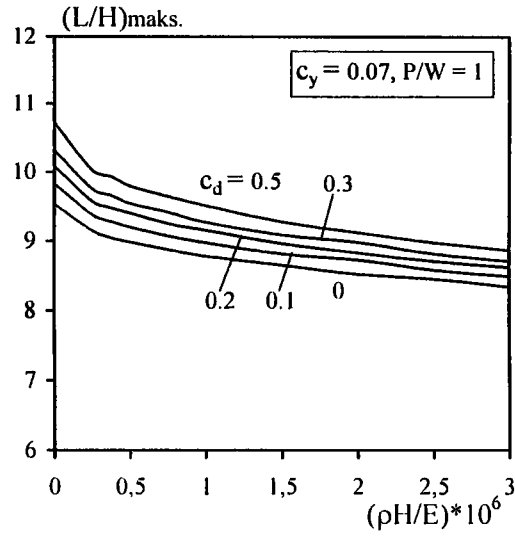


(f)

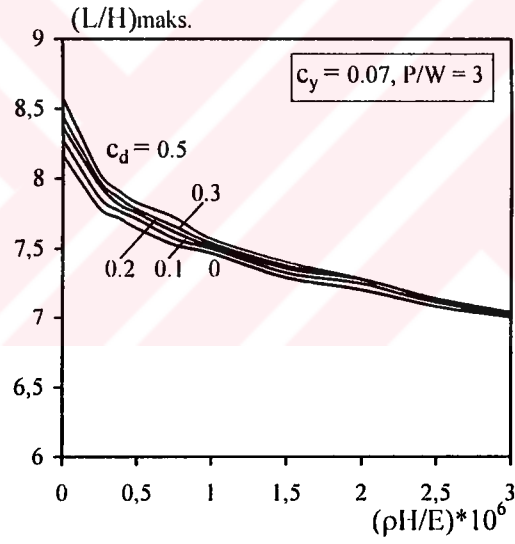
**Şekil A.7 (Devam)** Yatay deprem katsayısının 0.04 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönelmiş)



**Şekil A.8** Yatay deprem katsayısının 0.07 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3 ve (d) 0.5 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönelmiş)

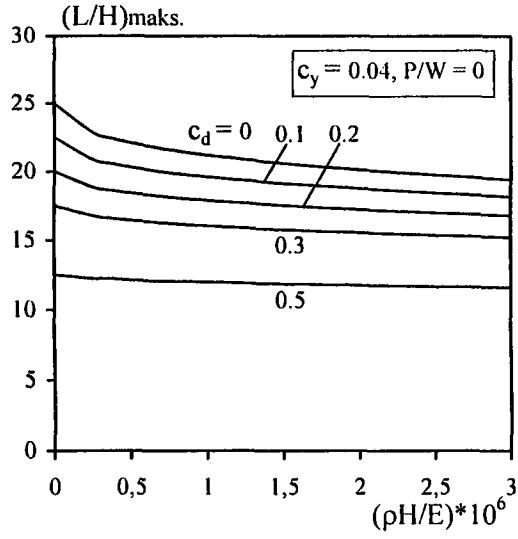


(e)

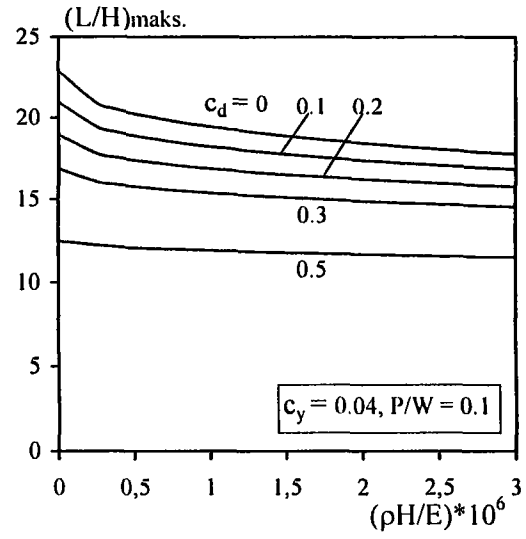


(f)

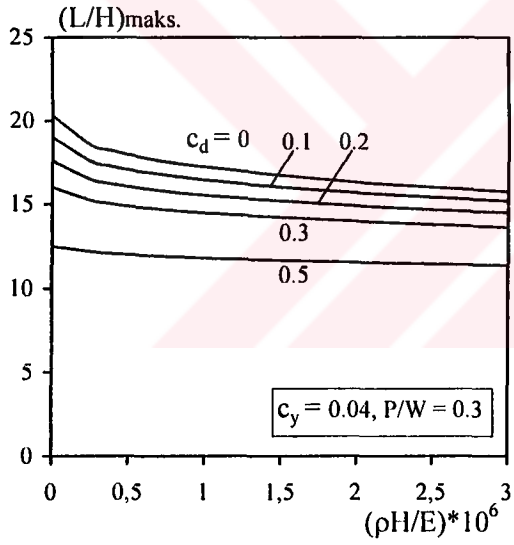
**Şekil A.8** (Devam) Yatay deprem katsayısının 0.07 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönlenmiş)



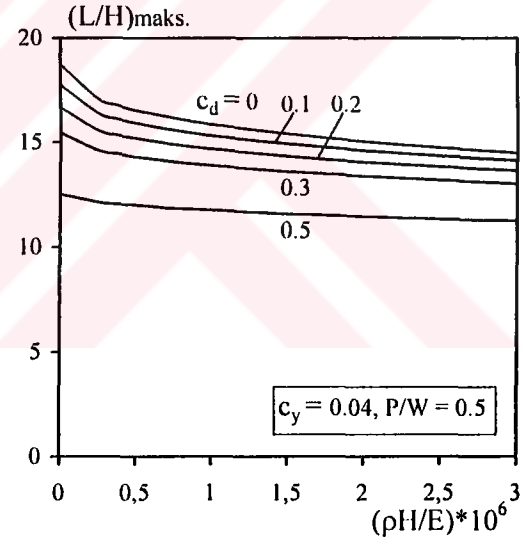
(a)



(b)

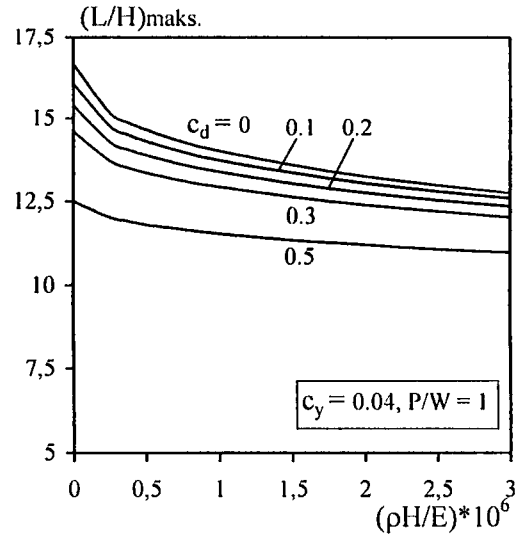


(c)

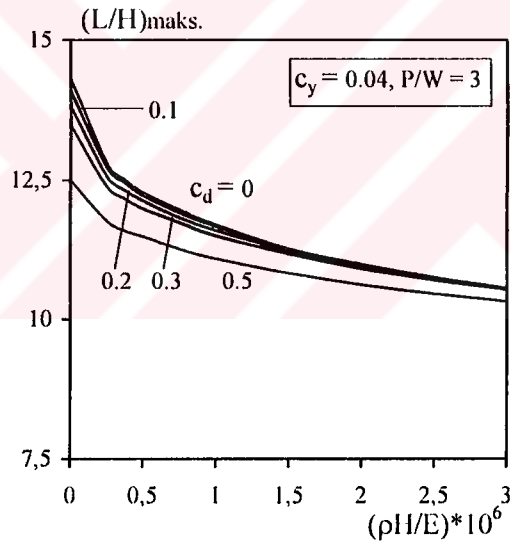


(d)

**Şekil A.9** Yatay deprem katsayısının 0.04 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3 ve (d) 0.5 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönelmiş)

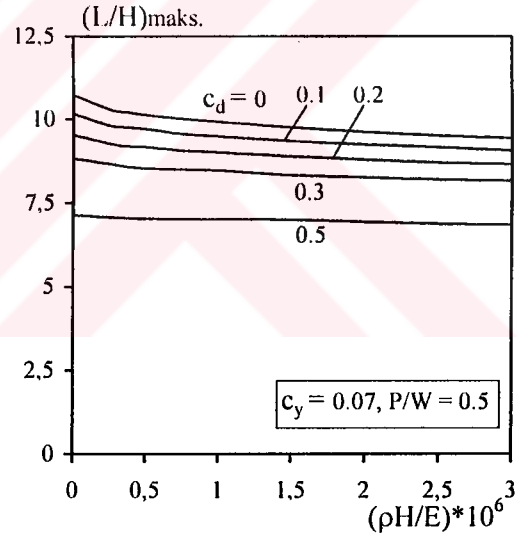
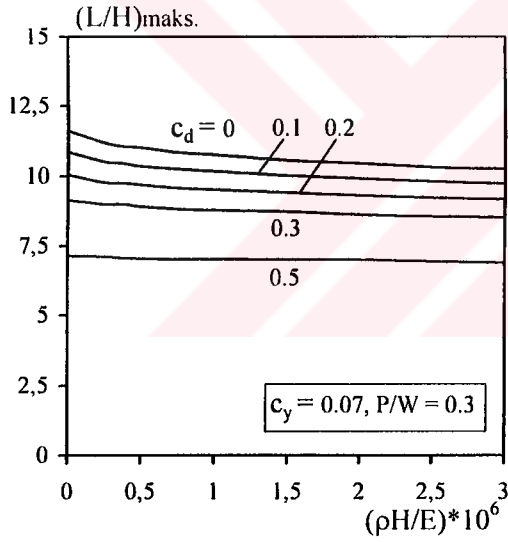
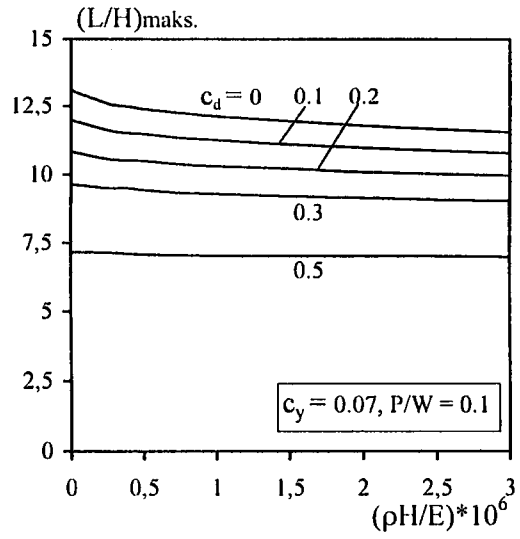
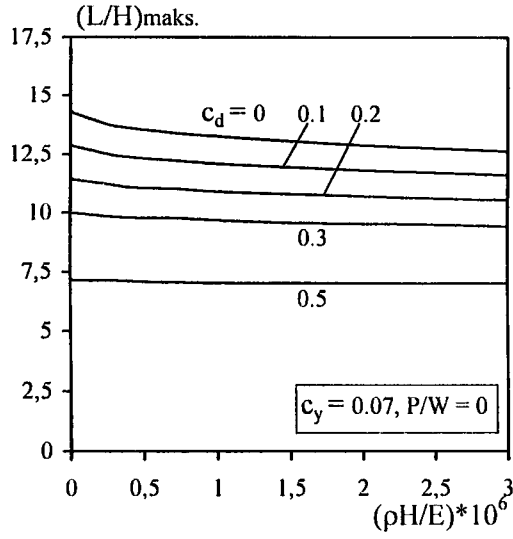


(e)

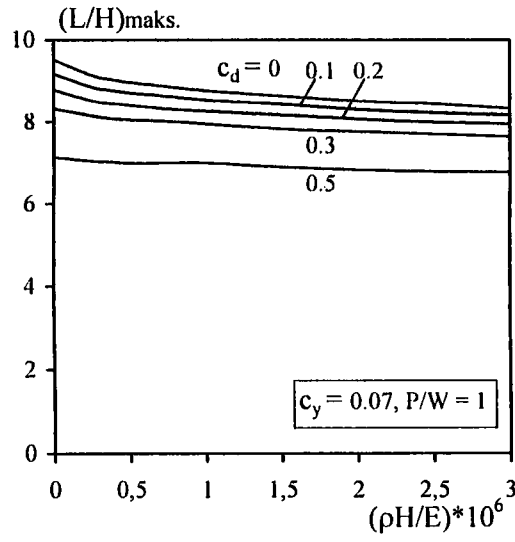


(f)

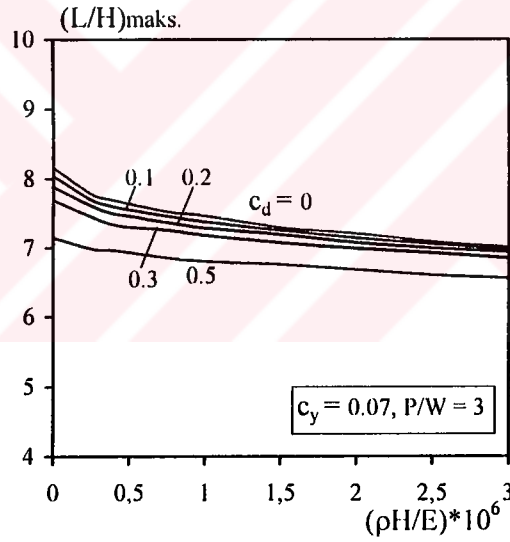
**Şekil A.9** (Devam) Yatay deprem katsayısının 0.04 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönlendirilmiş)



**Şekil A.10** Yatay deprem katsayısının 0.07 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3 ve (d) 0.5 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönelmiş)

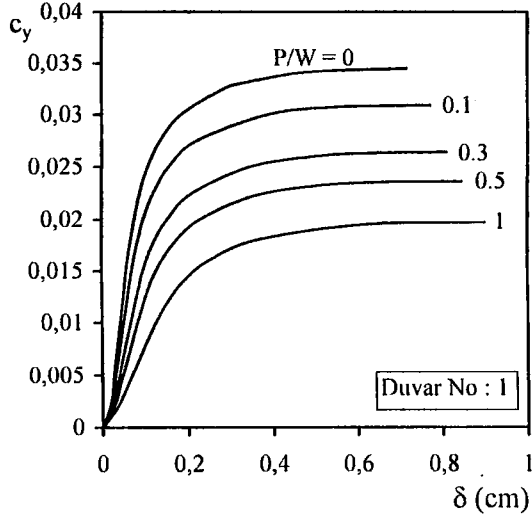


(e)

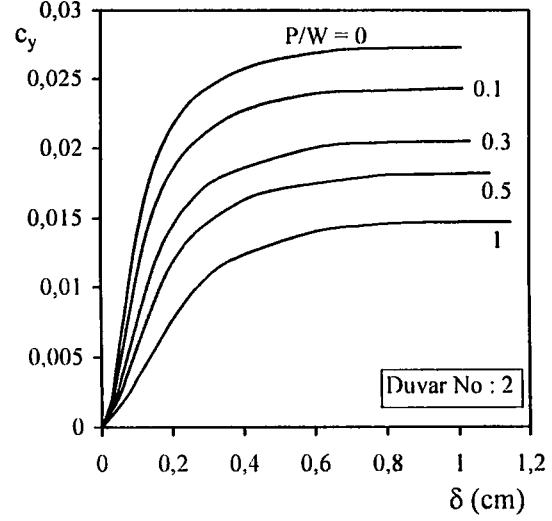


(f)

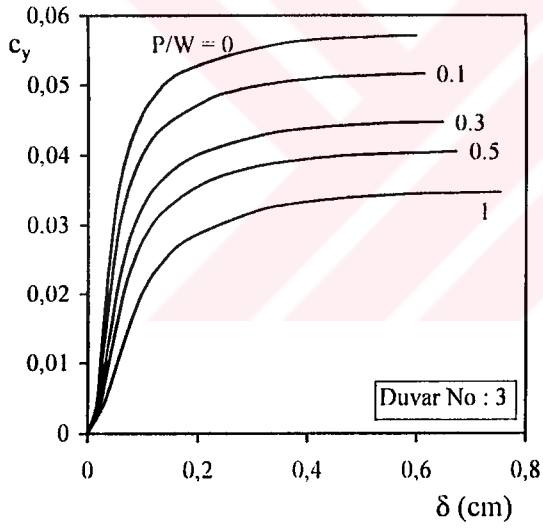
**Şekil A.10** (Devam) Yatay deprem katsayısının 0.07 değerinde,  $\rho H/E$  parametresinin geniş bir aralığında ve  $P/W$  oranının (e) 1.0 ve (f) 3.0 değerleri altında, düşey deprem katsayısının çeşitli değerleri için dolgu duvar narinliğinin aldığı sınır değerler (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönlendirilmiş)



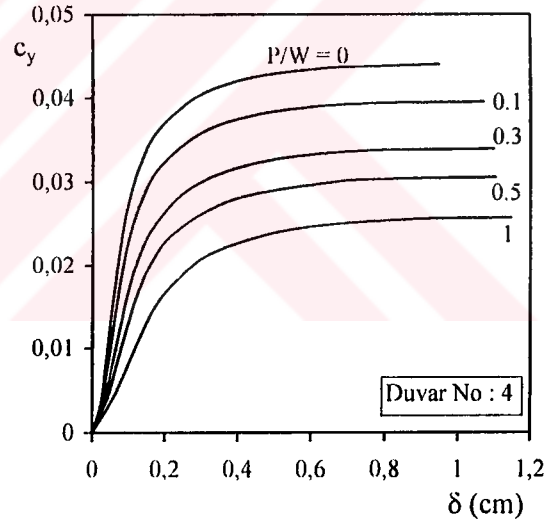
(a)



(b)

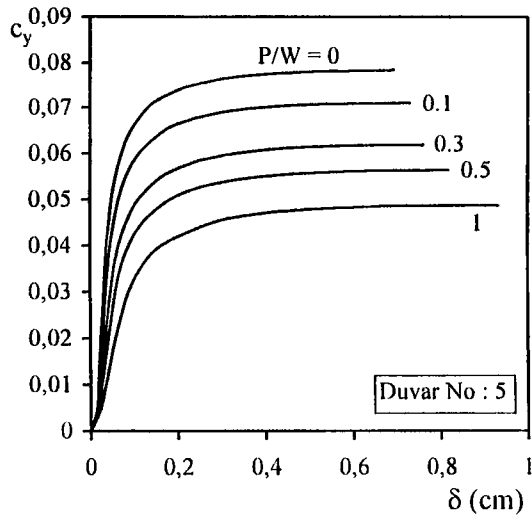


(c)

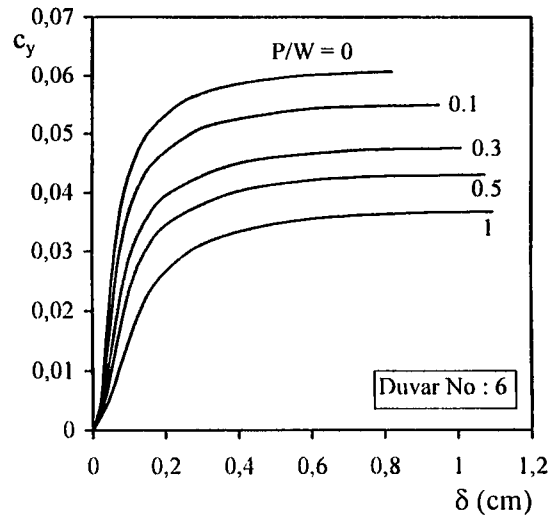


(d)

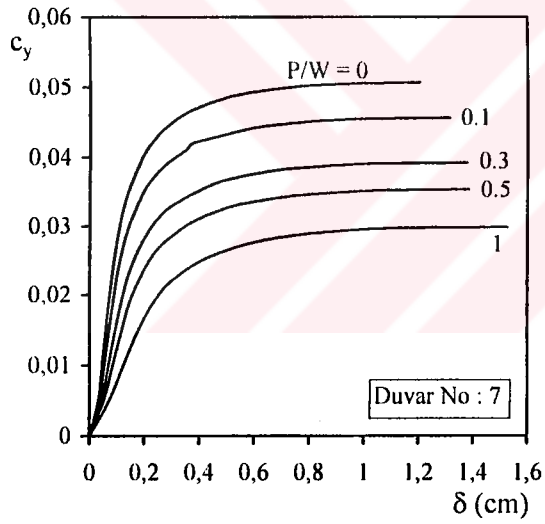
**Şekil A.11** Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 1, (b) 2, (c) 3 ve (d) 4 numaralı duvarların  $P/W$  oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )



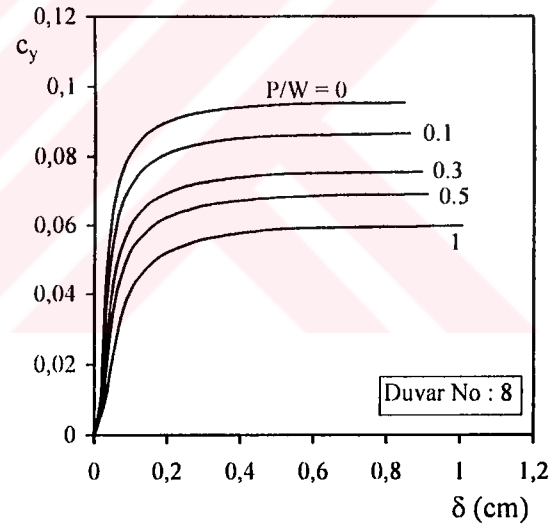
(a)



(b)

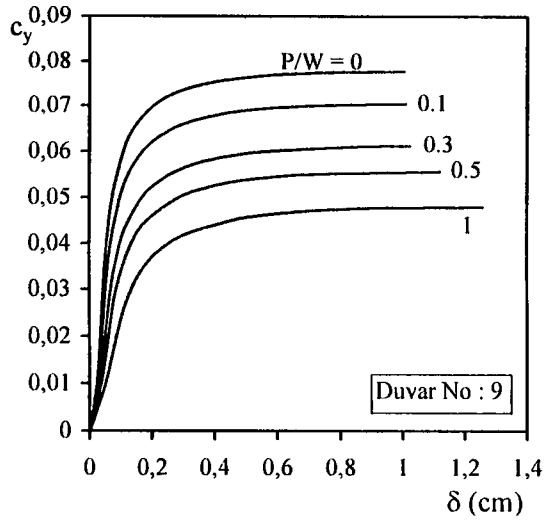


(c)

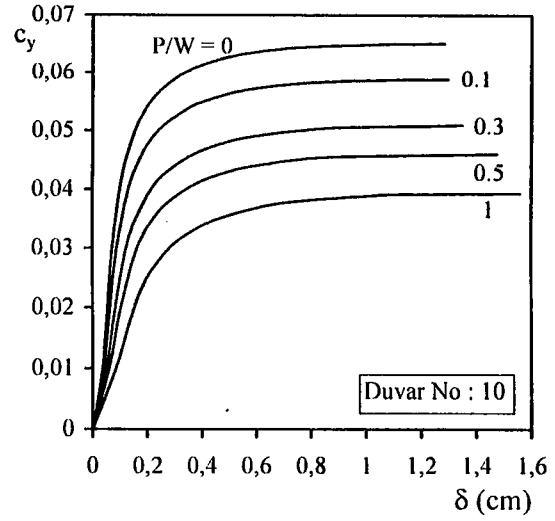


(d)

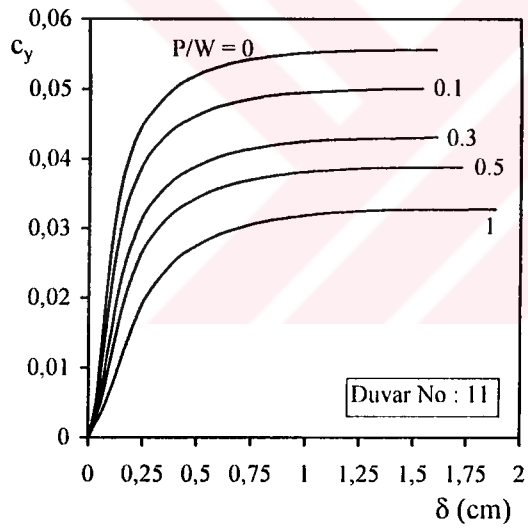
**Şekil A.12** Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 5, (b) 6, (c) 7 ve (d) 8 numaralı duvarların  $P/W$  oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )



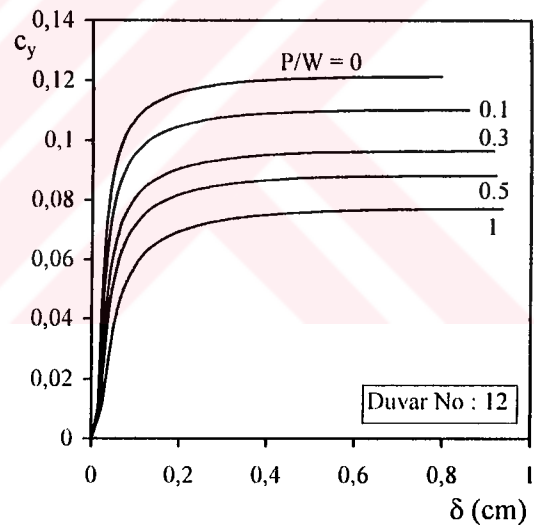
(a)



(b)

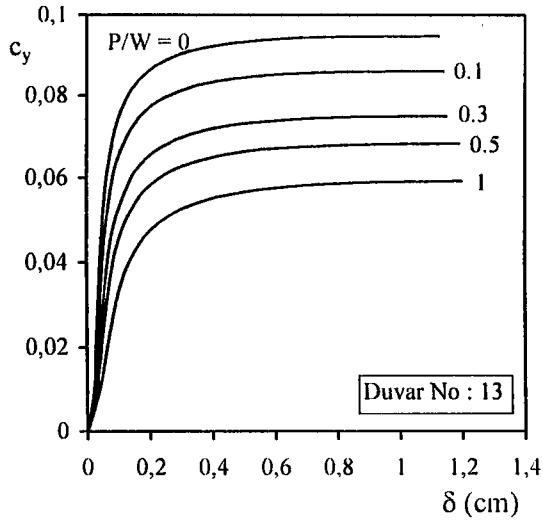


(c)

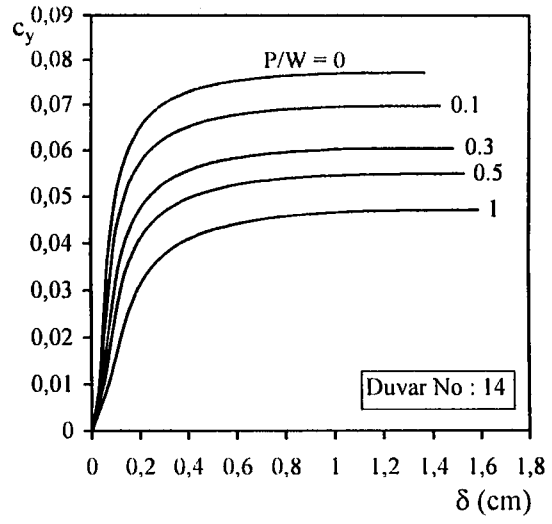


(d)

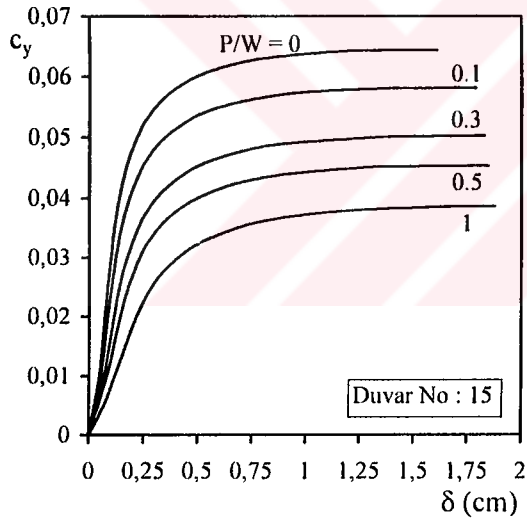
**Şekil A.13** Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 9, (b) 10, (c) 11 ve (d) 12 numaralı duvarların  $P/W$  oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )



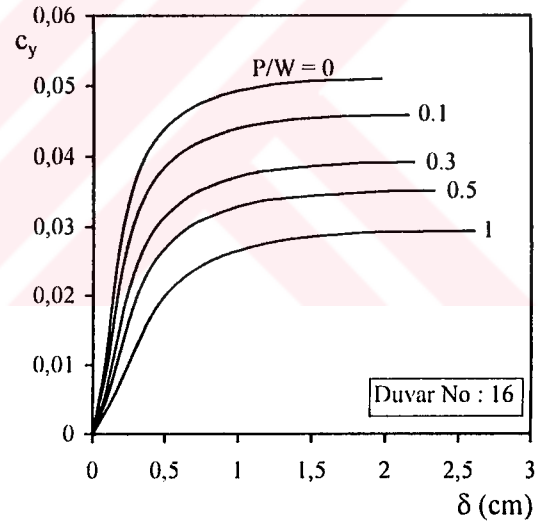
(a)



(b)

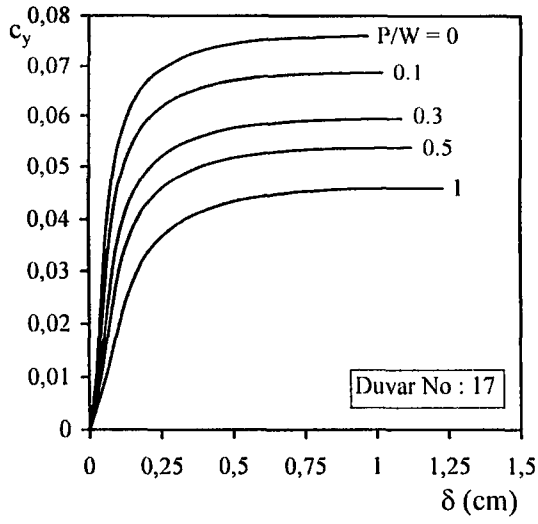


(c)

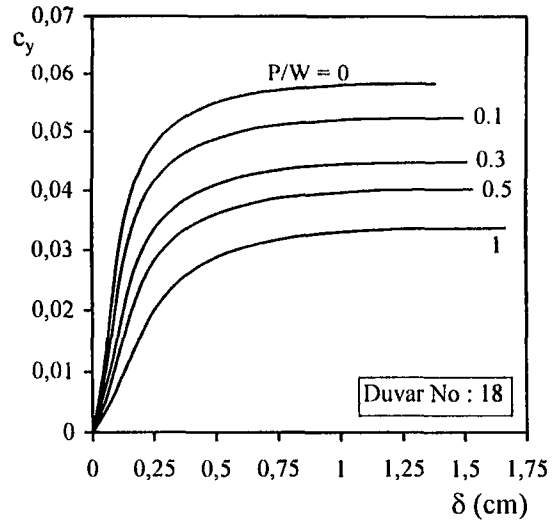


(d)

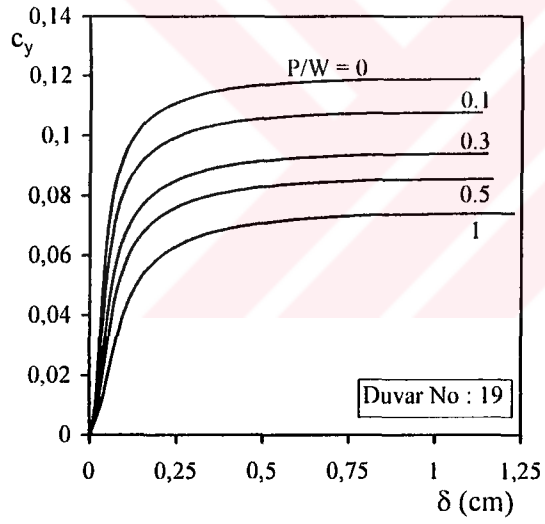
**Şekil A.14** Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 13, (b) 14, (c) 15 ve (d) 16 numaralı duvarların  $P/W$  oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )



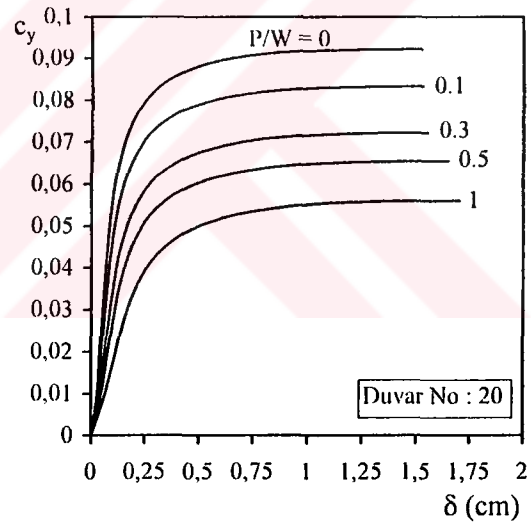
(a)



(b)

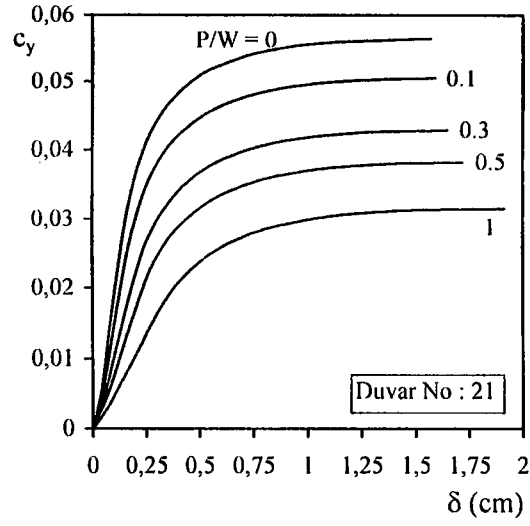


(c)

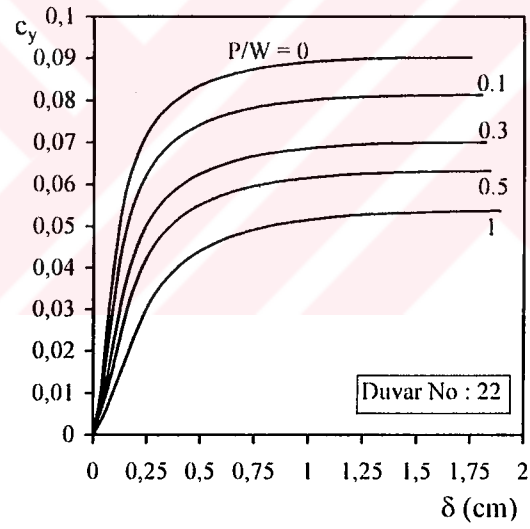


(d)

**Şekil A.15** Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 17, (b) 18, (c) 19 ve (d) 20 numaralı duvarların  $P/W$  oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )

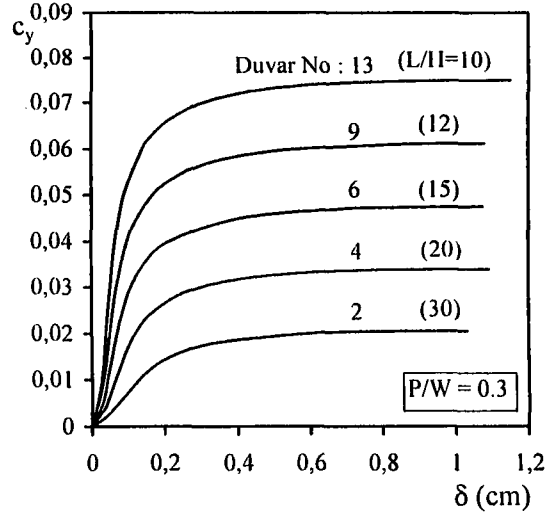


(a)

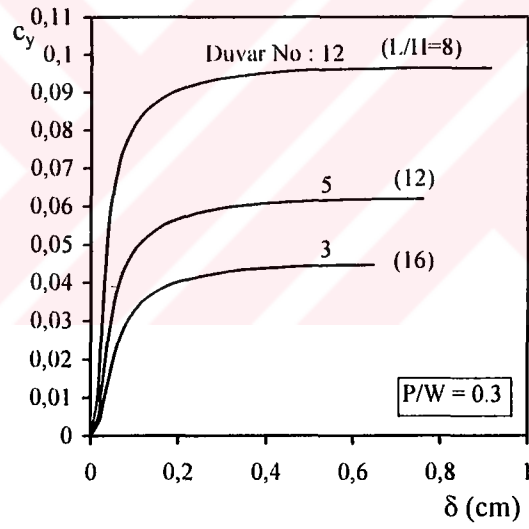


(b)

**Şekil A.16** Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 21 ve (b) 22 numaralı duvarların  $P/W$  oranının çeşitli değerleri için elde edilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )

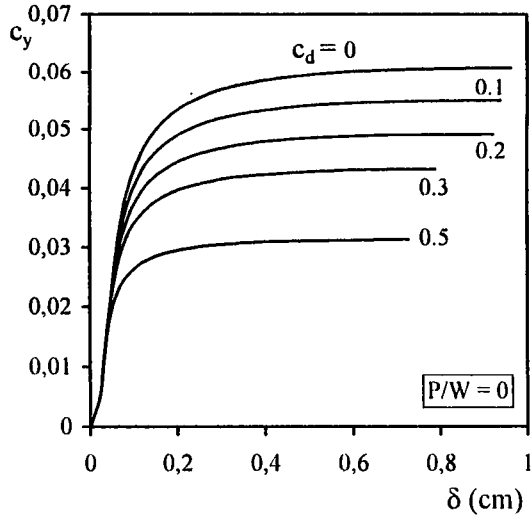


(a)

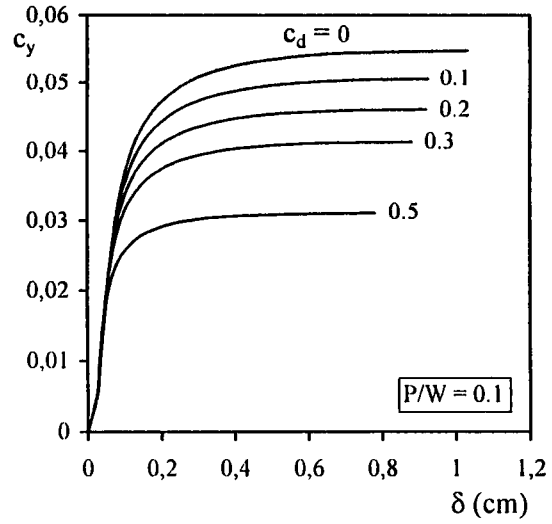


(b)

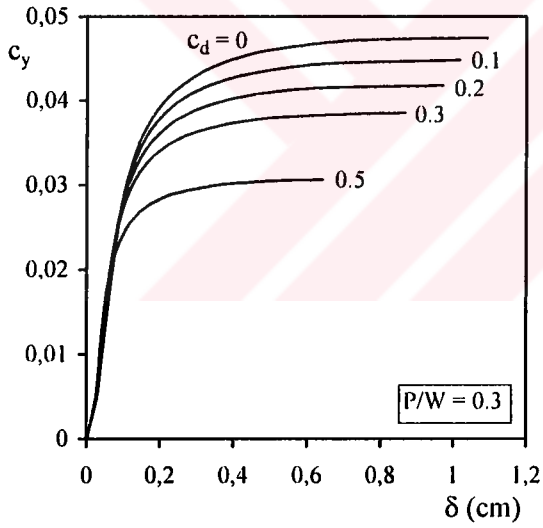
**Şekil A.17** Tablo 5.1’de özellikleri verilen ve yükseklikleri eşit, ancak narinlik değerleri farklı olan (a) 2, 4, 6, 9, 13 ve (b) 3, 5, 12 numaralı duvarların  $P/W = 0.3$  değeri için yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrilerinin aynı eksen takımı üzerinde karşılaştırılması ( $c_d = 0$ )



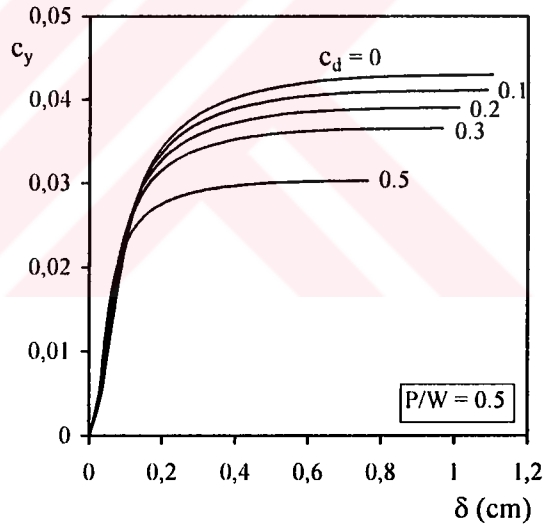
(a)



(b)

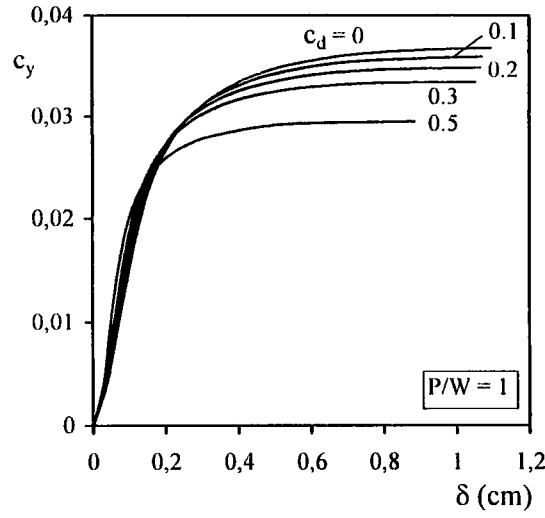


(c)



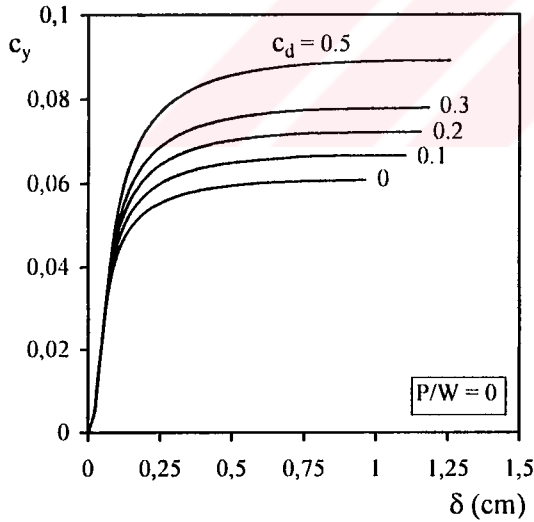
(d)

**Şekil A.18** Tablo 5.1’de özellikleri verilen 6 numaralı duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvveti üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisini gösteren ve  $P/W$  oranının (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.3 ve (d) 0.5 değerleri için çizilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönelmiş)

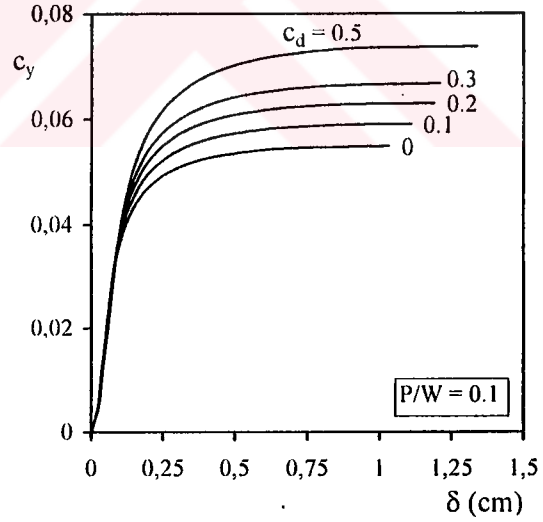


(e)

**Şekil A.18** (Devam) Tablo 5.1’de özellikleri verilen 6 numaralı duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvveti üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisini gösteren ve  $P/W$  oranının (e) 1.0 değeri için çizilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri (düşey atalet kuvvetleri yukarı doğru yönelmiş)

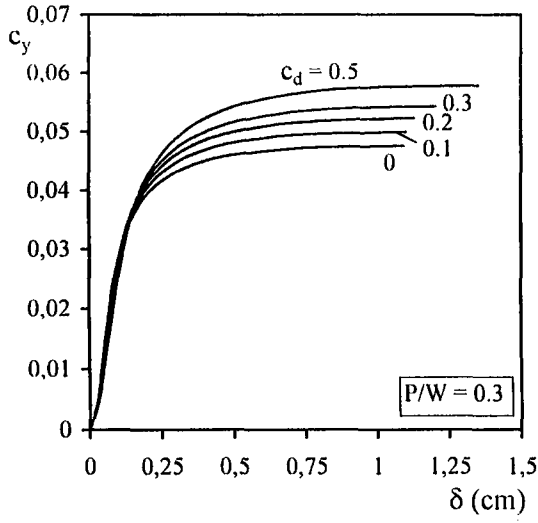


(a)

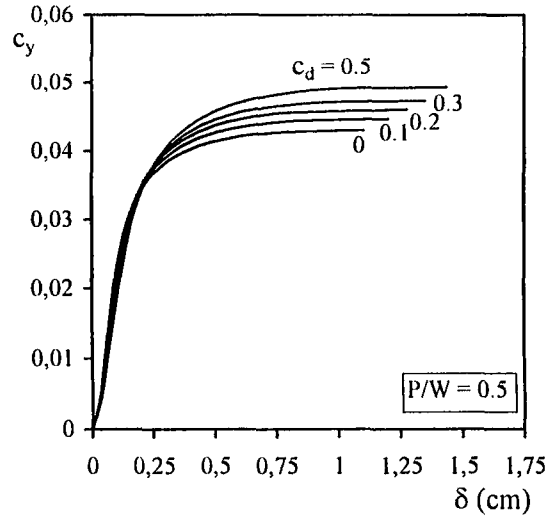


(b)

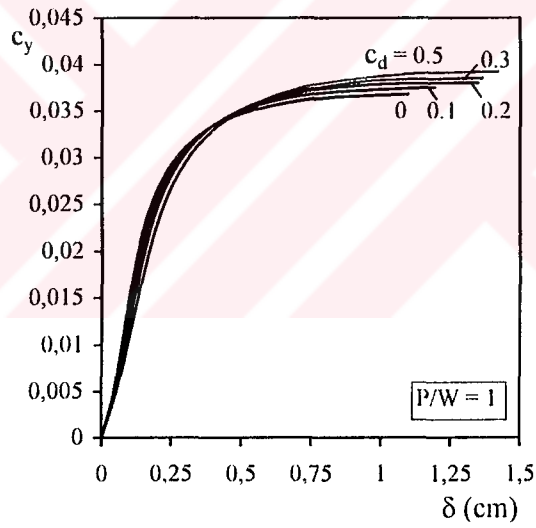
**Şekil A.19** Tablo 5.1’de özellikleri verilen 6 numaralı duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvveti üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisini gösteren ve  $P/W$  oranının (a) 0 ve (b) 0.1 değerleri için çizilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönelmiş)



(c)

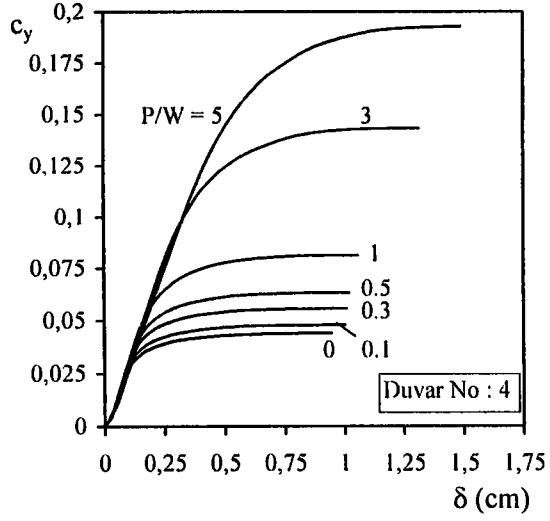


(d)

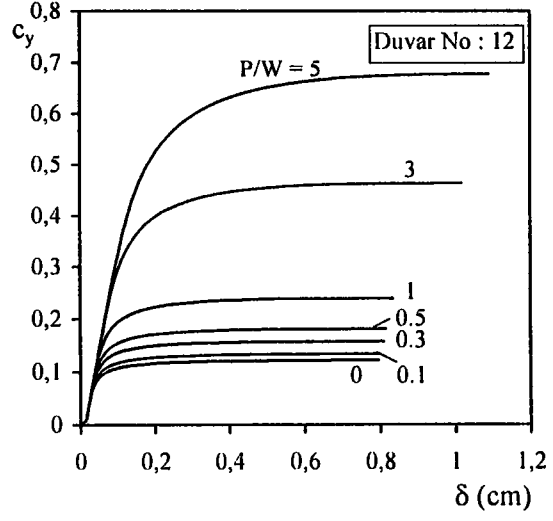


(e)

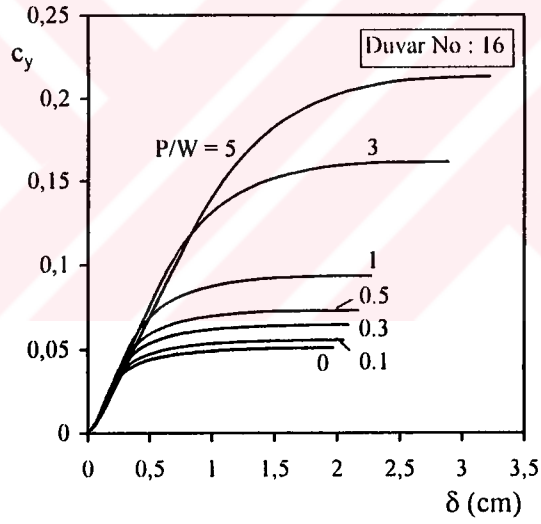
**Şekil A.19** (Devam) Tablo 5.1’de özellikleri verilen 6 numaralı duvarın dayanabileceği yatay atalet kuvveti üzerinde düşey atalet kuvvetlerinin etkisini gösteren ve  $P/W$  oranının (c) 0.3, (d) 0.5 ve (e) 1.0 değerleri için çizilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri (düşey atalet kuvvetleri aşağı doğru yönlendirilmiş)



(a)

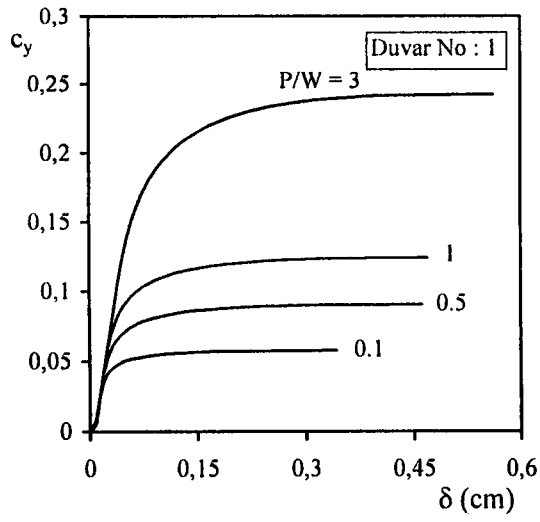


(b)

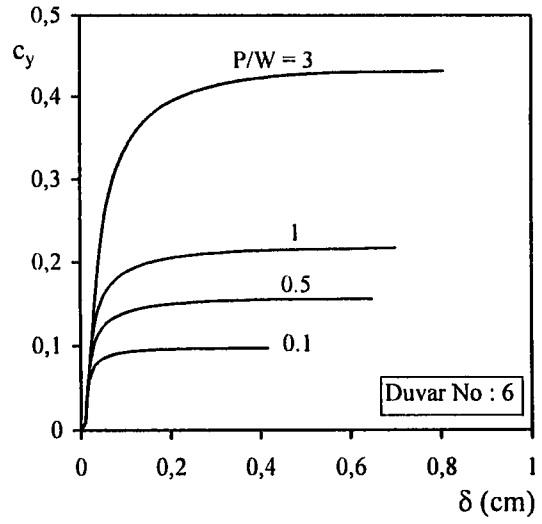


(c)

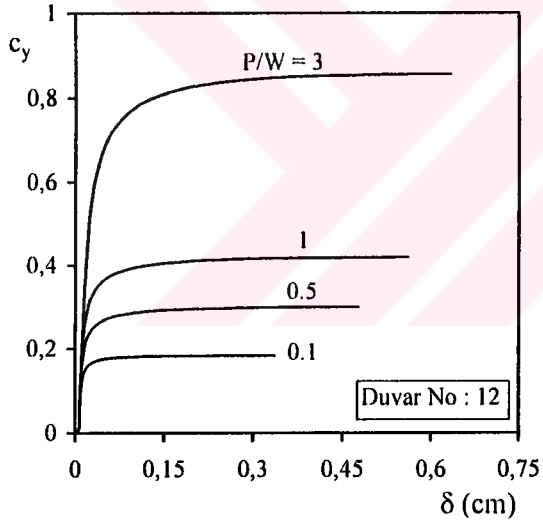
**Şekil A.20** Dolgu duvar üst kesiti ile kiriş tabanı arasındaki temas kuvvetinin yatay bileşeni analize dahil edilmeden Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 4, (b) 12 ve (c) 16 numaralı duvarlar için  $P/W$  oranının bazı değerleri altında çizilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )



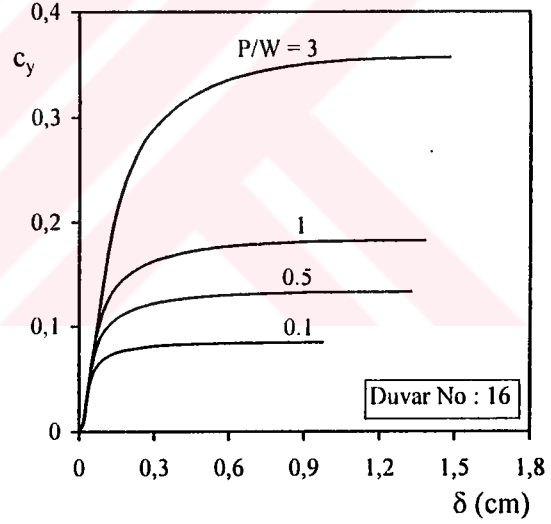
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil A.21** Kargir dolgu duvarların düzlemlerine dik yatay atalet kuvvetleri altında alt ve üst kirişler düzeyinde basit mesnetli olan düşey bir plak olarak modellenmesi durumunda, Tablo 5.1’de özellikleri verilen (a) 1, (b) 6, (c) 12 ve (d) 16 numaralı duvarlar için  $P/W$  oranının bazı değerleri altında çizilen yatay deprem katsayısı–yatay ötelenme eğrileri ( $c_d = 0$ )

## ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Elazığ'da doğan M. Arif Gürel, ilk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamlamıştır. 1988 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi'nden 1992 Haziran döneminde mezun olmuştur. 1993 yılı Şubat döneminde Elazığ Fırat Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine başlamış, aynı yıl Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak girmiştir. Haziran 1995'de yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır.

Halen, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görevine devam etmektedir.

