

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **İSTİNAT DUVARLARININ DEPREM SIRASINDA DAVRANIŞI**

İnş.Müh. H. Cem YENİDOĞAN

**F.B.E. Geoteknik Anabilim Dalında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:** Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN

İSTANBUL, 2006

## İÇİNDEKİLER

|                                                                 | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                             | v     |
| KISALTMA LİSTESİ.....                                           | vii   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                              | viii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                           | xii   |
| ÖNSÖZ .....                                                     | xiii  |
| ÖZET .....                                                      | xiv   |
| ABSTRACT .....                                                  | xv    |
| 1. GİRİŞ .....                                                  | 1     |
| 2. İSTİNAT DUVARI TİPLERİ .....                                 | 2     |
| 2.1 Genel Bilgiler .....                                        | 2     |
| 2.2 Kütle Olmayan İstinat Duvarları .....                       | 2     |
| 2.3 Kütle İstinat Duvarları .....                               | 3     |
| 2.3.1 Esnek Tip Ağırlık Duvarları.....                          | 5     |
| 2.3.1.1 Kaya Dolgu Duvarlar.....                                | 5     |
| 2.3.1.2 Tel Örgü Duvarlar .....                                 | 6     |
| 2.3.1.3 Kafes Tip Duvarlar .....                                | 7     |
| 2.3.1.4 Donatılı Zemin Duvarları.....                           | 8     |
| 2.3.2 Rijit Tip Ağırlık Duvarları .....                         | 9     |
| 2.3.2.1 Ağırlık İstinat Duvarları.....                          | 9     |
| 2.3.2.2 Konsol İstinat Duvarları.....                           | 10    |
| 2.3.2.3 Payandalı İstinat Duvarları.....                        | 11    |
| 2.4 Rijit Tip Duvarların Ön boyutlandırılması.....              | 11    |
| 2.4.1 Ağırlık Duvarları için Ön Boyutlandırma.....              | 11    |
| 2.4.2 Konsol İstinat Duvarlarında Ön Boyutlandırma .....        | 12    |
| 2.4.3 Payandalı İstinat Duvarları.....                          | 13    |
| 3. İSTİNAT DUVARLARINA ETKİYEN YANAL TOPRAK BASINÇLARI....      | 15    |
| 3.1 Genel Bilgi .....                                           | 15    |
| 3.2 Yanal Toprak Basıncı .....                                  | 15    |
| 3.2.1 Sükunetteki Yanal Toprak Basıncı.....                     | 16    |
| 3.2.2 Aktif Toprak Basıncı .....                                | 17    |
| 3.2.2.1 Rankine Aktif Toprak Basıncı Teorisi.....               | 17    |
| 3.2.2.2 Eğimli Dolgular İçin Rankine Active Toprak Basıncı..... | 19    |

|         |                                                                                                          |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2.3 | Coulomb'un Aktif Toprak Basıncı Teorisi .....                                                            | 20 |
| 3.2.3   | Pasif Toprak Basıncı.....                                                                                | 21 |
| 3.2.3.1 | Pasif Rankine Yanal Toprak Basıncı.....                                                                  | 21 |
| 3.2.3.2 | Eğimli Dolgular İçin Rankine Pasif Toprak Basıncı .....                                                  | 23 |
| 3.2.3.3 | Coulomb Pasif Yanal Toprak Basıncı .....                                                                 | 23 |
| 3.3     | Kohezyonlu Zeminler .....                                                                                | 25 |
| 3.3.1   | Kohezyonlu Zeminlerde Aktif Toprak Basıncı .....                                                         | 25 |
| 3.3.2   | Kohezyonlu Zeminlerde Pasif Toprak Basıncı .....                                                         | 27 |
| 3.4     | Kendini Tutabilen Zemin Yığınları .....                                                                  | 29 |
| 3.5     | Zemin Yüzeyinin Yüklenmesi.....                                                                          | 31 |
| 3.6     | Coulomb'un Toprak Basıncı Hesabında Kullandığı Göçme Düzlemiyle ilgili Yorumlar .....                    | 34 |
| 4.      | İSTİNAT DUVARLARININ ÜZERİNE ETKİYEN KUVVETLER.....                                                      | 36 |
| 4.1     | Ağırlık İstinat Duvarlarının Üzerine Gelen Kuvvetler .....                                               | 36 |
| 4.2     | Payandalı İstinat Duvarları.....                                                                         | 38 |
| 4.3     | Sürşarj Yükünden Dolayı Duvarların Üzerine Gelecek Yanal Toprak Basıncı....                              | 41 |
| 4.3.1   | Çizgisel Yük.....                                                                                        | 41 |
| 4.3.2   | Şerit Yük .....                                                                                          | 42 |
| 5.      | İSTİNAT DUVARLARININ STABİLİTESİ.....                                                                    | 44 |
| 5.1     | Ötelenmeye Karşı Güvenlik .....                                                                          | 44 |
| 5.2     | Dönmeye Karşı Güvenlik.....                                                                              | 49 |
| 5.3     | Taşıma Gücü Yönünden Güvenlik .....                                                                      | 52 |
| 5.4     | Yüzeysel Temeller için Güvenli Taşıma Gücü .....                                                         | 54 |
| 5.5     | Birleşimler.....                                                                                         | 57 |
| 5.6     | Drenaj Önlemleri .....                                                                                   | 57 |
| 5.7     | Dolgu Malzemesi.....                                                                                     | 60 |
| 6.      | DEPREM KOŞULLARINDA İSTİNAT DUVARLARININ DAVRANIŞLARI VE HESAP YÖNTEMLERİ.....                           | 61 |
| 6.1     | Giriş .....                                                                                              | 61 |
| 6.2     | İstinat Duvarlarında Göçme Türleri.....                                                                  | 62 |
| 6.3     | İstinat Duvarları Üzerine Gelen Statik Basınçlar .....                                                   | 63 |
| 6.4     | İstinat Duvarlarının Dinamik Tepkileri .....                                                             | 64 |
| 6.5     | Dinamik Etkilerin Belirlenmesi.....                                                                      | 65 |
| 6.5.1   | Yarı-Statik Yöntemler.....                                                                               | 65 |
| 6.5.2   | Mononobe-Okabe (M-O) Yöntemi (1929) .....                                                                | 66 |
| 6.5.3   | Seed ve Whitman Yöntemi(1970) .....                                                                      | 69 |
| 6.5.4   | Steedman-Zeng(1990) Yöntemi .....                                                                        | 69 |
| 6.6     | Rijit İstinat Duvarlarda Depremler Sırasında Meydana Gelen Deplasmanları Esas Alan Yöntemler .....       | 71 |
| 6.6.1   | Richards ve Elms Yöntemi (R-E yöntemi,1979).....                                                         | 72 |
| 6.6.2   | Whitman-Liao Yöntemi(1985).....                                                                          | 74 |
| 6.7     | Hareketi Engellenmiş İstinat Duvarları .....                                                             | 76 |
| 6.8     | İstinat Duvarlarının Dinamik Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesabı ve Plaxis7.2 Programı ..... | 78 |

|                |                                                                                                                      |     |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.9            | Yarı-Statik Yöntemlerin Yönetmeliklerdeki Yeri .....                                                                 | 79  |
| 6.9.1          | Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik .....                                                        | 79  |
| 6.9.2          | Eurocode 8-Bölüm 5.....                                                                                              | 80  |
| 6.9.2.1        | Analiz Yöntemleri .....                                                                                              | 80  |
| 6.9.2.2        | Basitleştirilmiş Yöntemler: Yarı-statik yöntemler .....                                                              | 80  |
| 6.9.2.3        | Dayanma Yapılarında Sismik Etkilerin Dikkate Alınması .....                                                          | 81  |
| 7.             | İSTİNAT DUVARLARININ DİNAMİK ANALİZİ SONUÇLARI .....                                                                 | 83  |
| 7.1            | İstinat Duvarlarının Yarı-Statik Yöntemlerle Analizi .....                                                           | 83  |
| 7.2            | Ağırlık İstinat Duvarlarının Davranışının Dinamik Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi.....                       | 89  |
| 7.2.1          | Ağırlık Duvarlarının Plaxis7.2’de Yapılan Analizlerden Elde Edilen Deplasman Seviyeleri ve Gerilme Dağılımları ..... | 89  |
| 7.3            | Konsol İstinat Duvarlarının Deprem Yükleme Etkisinde Davranışının Dinamik Analizi.....                               | 96  |
| 8.             | SONUÇLAR VE TAVSİYELER.....                                                                                          | 109 |
| KAYNAKLAR..... |                                                                                                                      | 112 |
| EKLER.....     |                                                                                                                      | 115 |
| ÖZGEÇMİŞ.....  |                                                                                                                      | 127 |

## SİMGE LİSTESİ

|                      |                                                                               |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $P_a$                | Aktif toprak itkisi                                                           |
| $P_p$                | Pasif toprak itkisi                                                           |
| $P_{ae}$             | Depremli durumda oluşan toprak itkisi                                         |
| $p_a$                | Aktif toprak basıncı                                                          |
| $p_p$                | Pasif toprak basıncı                                                          |
| $p_{ae}$             | Depremli durumda oluşan toprak basıncı                                        |
| $z$                  | Bir zemin kütlesinin içinde yer alan düşey yönde zemin yüzeyine olan mesafesi |
| $Z_c$                | Çekme çatlağı derinliği                                                       |
| $\Delta P_a$         | Depremden dolayı oluşan ilave aktif toprak itkisi                             |
| $\Delta P_p$         | Depremden dolayı oluşan ilave pasif toprak itkisi                             |
| $R$                  | Bir noktada oluşan toplam yatay ve düşey kuvvetlerin bileşkesi                |
| $H_H$                | Arka ampatman uzunluğu                                                        |
| $H_T$                | Ön ampatman uzunluğu                                                          |
| $H$                  | İstinat duvarı yüksekliği                                                     |
| $\alpha$             | Deprem yönetmeliğinden alınacak katsayı                                       |
| $\beta$              | Dolgunun yatayla yaptığı açı                                                  |
| $\beta$              | Duvar arka yüzeyinin düşeyle yaptığı açı                                      |
| $P_o$                | Duvar arkasındaki zemin üzerinde bulunan üniform yükleme                      |
| $\delta$             | Duvar ile dolgu zemini arasındaki sürtünme açısı                              |
| $\sigma_v$           | Düşey zemin gerilmesi                                                         |
| $\sum V$             | Toplam düşey kuvvetler                                                        |
| $C'$                 | Düzeltilmiş kohezyon katsayısı                                                |
| $e$                  | Eksantrisite                                                                  |
| $d$                  | İstinat duvarı konsol üst başlık kalınlığı                                    |
| $c$                  | kohezyon                                                                      |
| $\sigma_1$           | Mohr dairesinde büyük asal gerilme                                            |
| $\sigma_3$           | Mohr dairesinde küçük asal gerilme                                            |
| $K_o$                | Sükunetteki toprak basıncı katsayısı                                          |
| $S_c, S_q, S_\gamma$ | Şekil faktörleri                                                              |
| $N_c, N_q, N_\gamma$ | Taşıma kapasitesi faktörleri                                                  |
| $D_f$                | Temel kalınlığı                                                               |
| $M_o$                | Temel ortasına göre toplam moment                                             |
| $B$                  | Temel taban genişliği                                                         |
| $q_{mak}$            | Temel tabanında oluşan en büyük gerilme                                       |
| $q_{min}$            | Temel tabanında oluşan en küçük gerilme                                       |
| $q_{mak}$            | İstinat duvarının ayak bölümünde oluşan gerilme                               |
| $q_{topuk}$          | İstinat duvarının topuk bölümünde oluşan gerilme                              |
| $\mu$                | Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı                          |
| $k_h$                | Yatay ivme katsayısı                                                          |
| $k_v$                | Düşey ivme katsayısı                                                          |
| $\gamma$             | Zeminin birim hacim ağırlığı                                                  |
| $\sigma_{em}$        | Zemin emniyet gerilmesi                                                       |
| $\phi$               | Zemin içsel sürtünme açısı                                                    |
| $W$                  | Zemin kamasının ağırlığı                                                      |
| $A$                  | deprem pik ivme değeri                                                        |
| $V_{max}$            | Deprem pik hız değeri                                                         |
| $N$                  | Deprem eşik ivme değeri                                                       |

|                   |                                                                                |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $\Sigma M_r$      | Devrilmeye direnen kuvvetlerin momentleri toplamı                              |
| $\Sigma M_d$      | Duvarı devirmeye çalışan kuvvetlerin momentleri toplamı                        |
| $M_{net}$         | Duvarın devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin devirmeye çalışan kuvvetler farkı |
| $\Sigma F_r$      | Duvarın kaymasına karşı koyan kuvvetler                                        |
| $\Sigma F_d$      | Duvarın kaymasına neden olan kuvvetler                                         |
| $q$               | Sürşarj yükü                                                                   |
| $I$               | Atalet Momenti                                                                 |
| $F_{s(kayma)}$    | Kayma için güvenlik sayısı                                                     |
| $F_{s(dönme)}$    | Dönme için güvenlik sayısı                                                     |
| $F_{s(taş.gücü)}$ | Taşıma gücü için güvenlik sayısı                                               |
| $q_a$             | Zeminin güvenli taşıma gücü değeri                                             |

**KISALTMA LİSTESİ**

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| R-E    | Richards ve Elms yöntemi             |
| M-O    | Mononobe-Okabe Yöntemi               |
| NAVFAC | Naval Facilities Engineering Command |
| TDY    | Türkiye Deprem Yönetmeliği           |
| AKO    | Aşırı Konsolidasyon Oranı            |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Kütle olmayan istinat duvarları.....                                                                                               | 3  |
| Şekil 2.2 Beton kütle duvar çeşitleri, genel boyutları ve yük diyagramları (Navfac,1982).....                                                | 4  |
| Şekil 2.3 Basit kütle duvarlar .....                                                                                                         | 5  |
| Şekil 2.4 Kaya dolgu duvarlar(Hunt,1986) .....                                                                                               | 6  |
| Şekil2.5 Metal sandık tipi duvarlar(Hunt,1986).....                                                                                          | 7  |
| Şekil2.6 Kafes tipi duvarlar (Hunt,1986).....                                                                                                | 7  |
| Şekil 2.7 Donatılı Zemin Duvarlar .....                                                                                                      | 8  |
| Şekil2.8 Granüler ve iyi drenajlı zeminlerde aktif toprak basıncı için gerekli dolgu geometrisi<br>(Bowles,1974).....                        | 9  |
| Şekil 2.9 Rijit istinat duvarı tipleri.....                                                                                                  | 10 |
| Şekil 2.10 Ağırlık istinat duvarlarında ön boyutlandırma.....                                                                                | 12 |
| Şekil 2.11 Konsol istinat duvarında ön boyutlandırma(Hool ve Kine,1944).....                                                                 | 13 |
| Şekil 2.12 Payandalı istinat duvarlarında ön boyutlandırma (Bowles,1974).....                                                                | 14 |
| Şekil3.1 Rankine aktif toprak basıncının yayılışı.....                                                                                       | 18 |
| Şekil3.2 Coulomb aktif toprak basıncı.....                                                                                                   | 20 |
| Şekil 3.3 Pasif Rankine yanal toprak basıncı .....                                                                                           | 22 |
| Şekil 3.4 Coulomb pasif toprak itkisi ve duvara etkiyen kuvvetler.....                                                                       | 24 |
| Şekil3.5 Kohezyonlu zeminde aktif toprak basıncı .....                                                                                       | 26 |
| Şekil3.6 Kohezyonlu zeminlerde zemin üzerinde yükleme olmadığı durumda aktif toprak<br>basıncı (Juminikis, 1964).....                        | 27 |
| Şekil3.7 Pasif toprak basıncında etkiyen kuvvetler (Bowles, 1974) .....                                                                      | 28 |
| Şekil3.8 Kohezyonlu zeminlerde pasif toprak basıncı ( Bowles, 1974) .....                                                                    | 29 |
| Şekil3.9 Kohezyonlu zeminlerde gerilme çatlakları (Bowles,1974) .....                                                                        | 30 |
| Şekil3.10 Aktif toprak basıncı dağılımı .....                                                                                                | 31 |
| Şekil3.11 Eğimli bir dolguya sahip zemin yüzeyinin yüklenmesi .....                                                                          | 32 |
| Şekil 3.12 Dolgunun eğimsiz olması durumunda zemin yüzeyinin yüklenmesi.....                                                                 | 33 |
| Şekil 3.13 Zemin yüzeyi yüklenmiş bir istinat duvarında yanal toprak basınç diyagramı<br>(Bowles, 1974).....                                 | 33 |
| Şekil 3.14 Duvarın sürtünmesi dikkate alındığında aktif ve pasif toprak basıncı için kayma<br>düzleminin doğası (Das,1999) .....             | 34 |
| Şekil 4.1 İstinat duvarlarındaki kuvvetler (a) Coulomb analizi (b)Rankine Analizi Ağırlık<br>İstinat Duvarlarının Üzerine Gelen Yükler ..... | 37 |

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil4.2 Konsol istinat duvarındaki kuvvetler (a) Tüm sistemde, (b) Konsolda (c) Ön Ampatmanda (d) Arka ampatmanda (Bowles,1974) ..... | 37 |
| Şekil4.3 Konsol istinat duvarında aktif toprak basıncı ve taban basıncı (Bowles, 1974).....                                            | 38 |
| Şekil4.4 Payandalı istinat duvarının analizi .....                                                                                     | 39 |
| Şekil4.5 Payandalı istinat duvarları için yatay yönde eğilme momentleri (Bowles,1974).....                                             | 40 |
| Şekil4.6 Huntingtan'a göre düşey momentlerin dağılışı (Bowles, 1974).....                                                              | 40 |
| Şekil4.7 Çizgisel yükün duvara etkisi.....                                                                                             | 42 |
| Şekil 4.8 Şerit yükün duvara etkisi .....                                                                                              | 43 |
| Şekil5.1 İstinat duvarının taban boyunca kaymaya karşı kontrolü.....                                                                   | 47 |
| Şekil5.2 Radyeye dış yapılması halinde sürtünme uzunluğunun ve pasif basıncın artışı.....                                              | 47 |
| Şekil5.3 Eğimli topuğa sahip istinat duvarları ve gerilme dağılımı(Das, 1999) .....                                                    | 48 |
| Şekil 5.4 A katsayısı değerleri(Das, 2002).....                                                                                        | 49 |
| Şekil5.5 Dönme tahkiklerinde Rankine teorisine göre oluşan kuvvetler(Das, 1999).....                                                   | 51 |
| Şekil5.6 En büyük ve en küçük zemin gerilmelerinin dağılımı .....                                                                      | 52 |
| Şekil 5.7 Stabilite kontrollerinde taşıma gücü kapasitesi kontrolü(Das,1999) .....                                                     | 53 |
| Şekil 5.8 Taşıma gücü modeli .....                                                                                                     | 55 |
| Şekil 5.9 İstinat duvarlarında çeşitli birleşimler.....                                                                                | 57 |
| Şekil 5.10 Su seviyesinin temel altında olması durumunda uygulanabilecek drenaj sistemi ..                                             | 58 |
| Şekil 5.11 Yer altı suyunun temel üstünde olması durumunda uygulanabilecek drenaj sistemi                                              | 59 |
| Şekil 5.10 Yer altı suyunun temel üstünde olması durumunda uygulanabilecek drenaj sistemi                                              | 59 |
| Şekil 6.1 Depremler sırasında yarı-statik yöntemlere göre etkiyen kuvvetler .....                                                      | 67 |
| Şekil 6.2 Seed ve Whitman'a göre deprem sırasında oluşan Pae basıncının etkime noktası...                                              | 69 |
| Şekil 6.4 Esnek olmayan duvar modeli.....                                                                                              | 77 |
| Şekil6.5 Değişik geometri ve poisson oranlarındaki zeminler için $F_p$ boyutsuz eşik faktörü(Kramer, 1996) .....                       | 77 |
| Şekil 6.6 Değişik geometri ve poisson oranlarındaki $F_m$ boyutsuz moment faktörü (Kramer,1996).....                                   | 77 |
| Şekil 7.1 İstinat duvarı parametreleri.....                                                                                            | 84 |
| Şekil 7.2 Yükseklik-aktif toprak itkisi değişimi .....                                                                                 | 85 |
| Şekil 7.3 İçsel sürtünme açısı değişiminin toprak itkisi üzerine etkisi .....                                                          | 86 |
| Şekil 7.4 Duvar arka yüzeyi açısının değişiminin toprak itkisine etkileri .....                                                        | 86 |
| Şekil 7.5 Dolgunun yüzeyinin eğiminin toprak itkisine etkisi .....                                                                     | 87 |
| Şekil 7.6 Duvar-zemin sürtünme açısının aktif toprak itkisine etkisi.....                                                              | 87 |

|                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 7.7 İzin verilebilir deplasman seviyesinin toprak itkisi üzerine etkisinin iki farklı yöntemle incelenmesi.....                                                                    | 88  |
| Şekil 7.8 R-E yöntemine göre aynı izin verilebilir deplasman seviyesi için yedi farklı sismik bölgede gözlenebilecek toprak itkisi.....                                                  | 88  |
| Şekil 7.9 İstinat duvarının deplasmanı incelenirken dikkate alınan noktalar.....                                                                                                         | 90  |
| Şekil 7.10 Plaxis7.2’de yapılan analizlerde duvar yüksekliğine bağlı olarak ağırlık duvarlarının deplasman seviyelerinde meydana gelen değişimler ( $V_s=150\text{m/sn}$ ).....          | 90  |
| Şekil 7.11 $H=6\text{m}$ olan ağırlık duvarı için zeminin rijitliğine bağlı olarak deplasman seviyelerinde meydana gelen değişimler.....                                                 | 91  |
| Şekil 7.12 $H=6\text{m}$ olan istinat duvarı arkasında $t=2\text{sn}$ ’de oluşan toprak basıncı dağılımı .....                                                                           | 92  |
| Şekil 7.13 $H=6\text{m}$ olan istinat duvarı arkasında $t=4\text{sn}$ ’de oluşan toprak basıncı dağılımı .....                                                                           | 92  |
| Şekil 7.14 $H=6\text{m}$ olan istinat duvarı arkasında $t=6\text{sn}$ ’de oluşan toprak basıncı dağılımı .....                                                                           | 93  |
| Şekil 7.15 $H=6\text{m}$ olan istinat duvarı arkasında $t=8\text{sn}$ ’de oluşan toprak basıncı dağılımı .....                                                                           | 93  |
| Şekil 7.16 $H=6\text{m}$ olan istinat duvarı arkasında $t=10\text{sn}$ ’de oluşan toprak basıncı dağılımı.....                                                                           | 94  |
| Şekil 7.17 $H=6\text{m}$ olan istinat duvarı arkasında duvar yüksekliğine bağlı değişen maksimum toprak basıncı dağılımı .....                                                           | 94  |
| Şekil 7.18 $V_s=250\text{ m/sn}$ olan zeminde yer alan ağırlık duvarında El Centro Depreminin farklı pik ivme değerlerine sahip kayıtlarında oluşan deplasmanlar ( $H=3\text{m}$ ) ..... | 96  |
| Şekil 7.19 $H=6\text{m}$ olan konsol istinat duvarı sonlu elemanlar modeli.....                                                                                                          | 97  |
| Şekil 7.20 El Centro(1940) $p_g=0.313\text{g}$ depremi uygulandıktan sonra deforme olmuş model( $H=6\text{m}$ ) .....                                                                    | 98  |
| Şekil 7.21 Deprem sonrası zeminde oluşan en büyük efektif gerilmelerin gölgelendirilerek gösterilmiş hali ( $H=6\text{m}$ ) .....                                                        | 98  |
| Şekil 7.22 Deprem sonrası zeminde oluşan relatif kayma gerilme dağılımlarının gölgelendirilerek gösterilmiş hali( $H=6\text{m}$ ) .....                                                  | 99  |
| Şekil 7.23 Duvar perdesinde efektif normal gerilmelerinin dağılımı ( $H=6\text{m}$ ).....                                                                                                | 99  |
| Şekil 7.24 Duvar perdesinde oluşan en büyük kayma gerilmelerinin dağılımı( $H=6\text{m}$ ) .....                                                                                         | 100 |
| Şekil 7.25 $H=6\text{m}$ olan konsol duvar için eğilme momentlerinin dağılımı.....                                                                                                       | 100 |
| Şekil 7.27 $H=6\text{m}$ olan konsol duvar için eksenel kuvvetlerin dağılımı.....                                                                                                        | 101 |
| Şekil 7.28 $H=7.5\text{m}$ olan konsol duvarın zemininde oluşan efektif normal gerilme dağılımı                                                                                          | 102 |
| Şekil 7.29 $H=7.5\text{m}$ olan konsolun zemininde oluşan kayma gerilmeleri dağılımı.....                                                                                                | 102 |
| Şekil 7.30 $H=7.5\text{ m}$ olan duvarda oluşan eğilme momentleri dağılımı .....                                                                                                         | 103 |
| Şekil 7.31 $H=7.5\text{m}$ olan konsol duvarın kesme kuvvetlerinin dağılımı .....                                                                                                        | 103 |

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 7.33, 7.34, 7.35,7.36 ve 7.37’de ise 9m yüksekliğinde bir konsol istinat duvarı için oluşacak zemin gerilmeleri ve kesit tesirleri gösterilmiştir..... | 104 |
| Şekil 7.33 H=9m olan konsol duvarın deprem sonrası zeminde oluşan efektif gerilme dağılımı                                                                   | 104 |
| Şekil 7.34 H=9m olan konsol duvar modeli için zeminde oluşan kayma gerilmeleri.....                                                                          | 105 |
| Şekil 7.36 H=9m olan konsol duvar için kesme kuvveti diyagramı.....                                                                                          | 106 |
| Şekil 7.37 H=9m olan duvarda oluşan aksenal kuvvetlerin diyagramı .....                                                                                      | 106 |
| Şekil 7.38 Elastoplastik Davranış Gösteren Konsol Duvarın Deprem Sırasında Yapmış Olduğu Deplasmanlar.....                                                   | 108 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 5.1 Zeminlerin içsel sürtünme açıları ile betonarme plak arasındaki $\mu$ sürtünme katsayıları .....                                                            | 45  |
| Çizelge 6.1 ATC 1978'e göre zemin türlerine göre değişen $A_a$ ve $A_v$ katsayıları .....                                                                               | 73  |
| Çizelge 6.2 ATC 1978'e göre sismisite indisi.....                                                                                                                       | 74  |
| Çizelge 6.3 Yatay ivme katsayısının hesabı için $r$ çarpanı değerleri .....                                                                                             | 81  |
| Çizelge 7.1 Whitman-Liao(1985) yöntemine göre hesaplanan eşik ivme ve deprem sırasında oluşan toprak itkisi değerleri .....                                             | 91  |
| Çizelge 7.2 Richards-Elms(1979)yöntemine göre hesaplanan eşik ivme ve deprem sırasında oluşan toprak itkisi değerleri .....                                             | 91  |
| Çizelge 7.3 Plaxis7.2 yardımıyla maksimum toprak basınçları için bulunan toprak itkisinin M-O yönteminden bulunan toprak itkisiyle karşılaştırılması.....               | 95  |
| Çizelge 7.4 Plaxis 7.2 yardımıyla El-Centro(1940) deprem kaydı kullanılarak konsol duvarlar için bulunan eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetler ..... | 107 |
| Çizelge 7.5 Yarı-statik yöntemlerden M-O yöntemi kullanılarak konsol istinat duvarları için elde edilen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri.....                      | 107 |

## ÖNSÖZ

Hazırlanmış olan bu yüksek lisans tezinde geoteknik mühendisliğinin önemli konulardan biri olan istinat duvarları, zemin mekaniğinin en temel kavramlarından toprak basınçlarının hesaplanması, istinat duvarlarının stabilite şartları, günümüzde de ıstık tutulması gereken konulardan birisi olan istinat duvarlarının depremler sırasında göstereceğı davranışların açıklanılmasına çalışılmıştır. Dinamik koşullar incelenirken detaylı bir şekilde inceleme yapmak amacıyla sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Yapmış olduğum çalışmalarında benden hiçbir desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Kutay Özaydın'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım boyunca bana yol gösteren Prof. Dr. Sönmez Yıldırım, Yrd. Doç Dr. Mehmet Berilgen, Dr. Murat Tonaroğlu ve geoteknik anabilim dalında yer alan değerli hocalarıma, her zaman desteklerini hissettiğim değerli dostlarıma ve bu uzun süreçte sabırlı bir şekilde desteklerini her zaman bana hissettirip bana güç veren aileme teşekkür ederim.

## ÖZET

Zeminlerin tutulması geoteknik mühendisliğinin en eski problemlerinden birisidir. İstinat duvarlarının üzerine etki eden statik ve dinamik toprak basınçlarının üzerinde ikiyüz yıldan beri çalışılmaktadır. Statik yanal toprak basıncı teorilerinden Coulomb(1776) ve Rankine(1857) istinat duvarı tasarımlarının temelini oluşturmaktadır. İstinat duvarları sismik yüklerin statik koşullara göre beklenenden daha fazla olmasından dolayı göçme riski ile karşılaşabilmektedir. Statik koşullarda dahi karmaşık olan istinat duvarlarının üzerine etkiyen toprak basınçlarının büyüklüğü ve dağılımı sismik yüklemeler etkisinde daha karmaşık bir hal almaktadır. Mevcut sismik tasarım yöntemleri genellikle statik toprak basıncı teorilerinin genişletilmiş versiyonlarıdır. Halen bu tasarım yöntemlerinin doğruluğunun araştırılması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Bu tezin hazırlanmasının amacı istinat duvarlarının sismik tasarımında kullanılan yarı-statik yöntemlerin irdelenmesi ve istinat duvarlarının deprem sırasında verecekleri tepkilerin ve davranışların araştırılmasıdır. Tezde bölüm 2’de istinat duvarı tipleri ve uygulama alanları anlatılmaktadır. Bölüm 3’te istinat duvarlarının üzerine etkiyen yanal toprak basıncı tipleri ve yanal toprak basınçlarının hesaplanmasında kullanılan en yaygın yaklaşımlar anlatılmaktadır. Bölüm 4’te istinat duvarlarının üzerine etkiyen kuvvetler bu kuvvetlerin toprak basınçlarında meydana getireceği değişimlere değinilmektedir. Bölüm 5’de ise istinat duvarları için uygulanması gereken stabilite tahkikleri anlatılmaktadır. Bölüm 6’da istinat duvarlarının deprem sırasında gösterebileceği davranışlar ve istinat duvarlarının üzerine etkiyen toprak basınçlarının yarı-statik yöntemlerle bulunulması sunulmaktadır. Bu bölüm içinde yarı-statik yöntemlerin temelini oluşturan Mononobe-Okabe yöntemi sunulduktan sonra bu yöntemden sonra geliştirilmiş olan diğer yöntemler kronolojik sırasına göre açıklanılmaya çalışılmıştır. Ayrıca istinat duvarlarının tasarlanmasında dikkate alınan kuvvetler dışında, duvarların yapacağı deplasmanlar ve duvar tasarımı üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Bölüm 7’de ise yarı-statik yöntemlerle birlikte sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen dinamik davranış analizi ile yarı-statik yöntemlerden elde edilen sonuçların sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Dayanma yapıları, yanal toprak basınçları, istinat duvarlarının stabilitesi, ivme katsayısı, yarı-statik yöntemler, sonlu elemanlar yöntemi

## ABSTRACT

Retaining of soils is one of the oldest problems of geotechnical engineering. The static and dynamic lateral earth pressures exerted on retaining structures have been studied for more than two hundred years. The static lateral earth pressure theories of Coulomb(1776) and Rankine(1857) form the basis for the design of most retaining structures. Retaining walls possess the risk of failure due to seismic loads which may be greater than the anticipated static loads. Determination of the the magnitude and the distribution of lateral earth pressure are complicated even for the static cases and under the influence of seismic loading, they are usually more complex. Existing seismic design methods are essentially extensions of static lateral earth pressure theories. Presently, verification of these design methods for earthquakes are incomplete and highly desirable.

The main purpose of this thesis is to discuss the determination of acceleration coefficients used in pseudo-static analysis methods and to understand the responses and behaviours of retaining structures during earthquakes. In part 2 of the dissertation various types of retaining structures and their application fields are explained. In part 3 of the dissertation, kinds of lateral earth pressure that may act on retaining structures and most common approaches to calculate the lateral pressures are explained briefly. Furthermore, external forces that act on retaining structures and the effects of those forces on lateral earth pressure are presented in part 4. In part 5, the stability checks that have to be applied to all kinds of retaining structures are explained. In part 6, the behaviour of retaining structures during earthquakes and the lateral earth pressures calculated with the help of pseudo-static methods are explained. M-O method which is the baseline of the pseudo-static methods are discussed in detail and the development of pseudo-static methods are briefly explained in a chronological order. Furthermore, the displacement based design methods used for retaining structures, in addition to force based design methods are discussed. In part 7, the results of pseudo-static methods on typical retaining walls and the results of dynamic response analysis performed using finite element methods are presented and compared.

**Key Words :** Retaining Structures, lateral earth pressure, stability of retaining structures, acceleration coefficient, pseudo-static methods, finite element method

## 1. GİRİŞ

Eğimli arazilerde zemini tabii şev açısından daha büyük açılarda tutmak amacıyla, kayma ve göçme ihtimali olan zeminlerin yıkılmasını önlemek için, binalarda bodrum duvarları oluşturmak için, köprülerde kenar ayaklar inşaa etmek için, kıyıların erozyon ve taşkınlara karşı korunması için düşey veya düşeye yakın açılarla inşaa edilen yapılara istinat duvarı denilmektedir.

İstinat duvarlarının birçok tipi mevcuttur. Bu tip yapılar ağırlık tipi duvarlar, yarı ağırlık tipi duvarlar, konsol duvarlar, payandalı, ters payandalı, kafes tipi ve sandık tipi duvarlar olarak adlandırılmaktadır.

İstinat duvarlarının statik ve dinamik durumlar için tasarımları yapılabilmektedir. Statik durumlarda istinat duvarlarının üzerine gelen toprak basınçları Rankine ve Coulomb teorileri yardımıyla kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Ancak dinamik koşullar altında duvarların üzerine etkiyen kuvvetlerin tespit edilmesi statik durumlara nazaran oldukça zordur. Bu tip durumlarda analizlerin doğru bir şekilde yapılabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mononobe-Okabe tarafından Coulomb'un kayan kama teorisinin genişletilmiş bir versiyonu olarak sunulan yöntem kendisinden sonra geliştirilen yarı-statik yöntemler için bir başlangıç noktası olmuştur. Yarı-statik yöntemlerde üzerinde durulması gereken en önemli nokta ivme katsayısının seçiminin doğru bir şekilde yapılmasıdır. Bu şekilde çözümler yapılırken depremin çevrimsel etkisi aslında göz önüne alınmamakta ve deprem sırasında istinat duvarına gelen kuvvetler sanki bir statik kuvvetmiş gibi etkitilmektedir.

Bilgisayar teknolojisinde meydana gelen büyük gelişmeler sonucu hesaplanması zor ve uzun süre alan durumların çözümlenebilmesi ile birlikte sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan bilgisayar programları yardımıyla önemli projeler için istinat duvarlarını deprem sırasında göstereceği davranışlarının analizi depremin çevrimsel etkileri de dikkate alınarak yapılmaya başlanmıştır. Ne kadar hesap süresi, geçmişe göre azalmış olsada yarı-statik yöntemlerle kıyaslandığında çok daha fazla zaman almaktadır. Bu nedenlerden dolayı sonlu elemanlarla yapılan çözümler genellikle büyük projeler ve akademik çalışmalar için uygulanmaktadır.

Bu tezin yazılma amaçlarından birisi ise mevcut yarı-statik yöntemleri kullanarak elde edilen çözümler ile sonlu elemanlar programlarıyla elde edilen sonuçları karşılaştırarak ivme katsayısı değerinin seçimine ve yarı-statik yöntemlerden çıkan sonuçlara ışık tutmaktır.

## 2. İSTİNAT DUVARI TIPLERİ

### 2.1 Genel Bilgiler

Zeminlerin tutulması geoteknik mühendisliğinin en eski problemlerinden birisidir. Zemin mekaniğinde ilk ortaya çıkan ve zemin mekaniğinin en temel prensiplerini oluşturan kavramlar zamanla geliştirilerek istinat duvarlarının tasarımının, rasyonel bir şekilde geliştirilmesi için kullanılmıştır. Bu konuyla ilgili birbirinden farklı yaklaşımlar ise zamanla geliştirilerek başarıyla uygulamaya konulmuştur.

İstinat duvarları üzerinde üç çeşit yanal toprak basıncı etkiği varsayılmaktadır. İstinat duvarlarının aynı zamanda depremler sırasında meydana gelecek toprak basınçlarını emniyetli bir şekilde zemine iletmesi gerekmektedir. İstinat duvarlarının toprak basınçlarını zemine iletirken duvarda meydana gelebilecek büyük çatlaklara, kırılmalara, devrilme, kayma ve duvarın tabanında yer alan zeminin göçmesi gibi durumlara karşı gereken emniyete de sahip olması bir zorunluluktur.

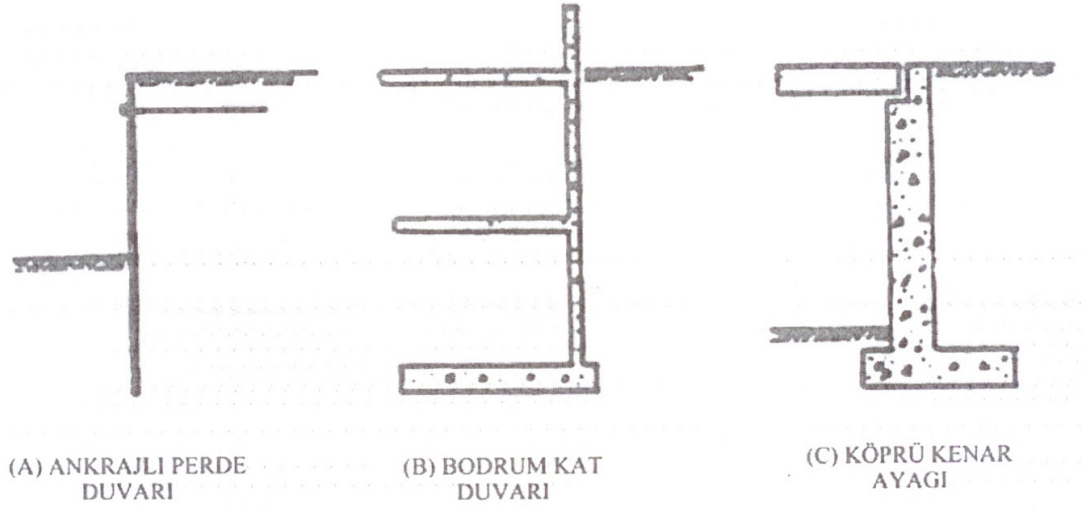
Dikkate alınacak bu durumlarla birlikte duvar tipinin seçimi, istenilen duvar yüksekliği, kullanılacak dolgu malzemesi, yer altı su seviyesinin konumu, duvarın inşaatı için kullanılacak malzeme, duvarın kullanım amacı ve seçilen güvenlik sayısına göre farklılık göstermektedir.

Zeminde oluşabilecek yanal toprak basınçları için geliştirilen teorilere göre değişik tipte istinat duvarları tasarlanabilmektedir. Genel bir bakış açısıyla istinat duvarlarını şu şekilde sınıflandırabiliriz.

- Kütle olmayan istinat duvarları
- Kütle istinat duvarları

### 2.2 Kütle Olmayan İstinat Duvarları

Bu tip duvarların hareketlerine hiçbir şekilde izin verilmez. Bodrum duvarları, köprü ayakları ve ankrajlı duvarlar bu tip duvarları oluşturmaktadır.



Şekil 2.1 Kütle olmayan istinat duvarları

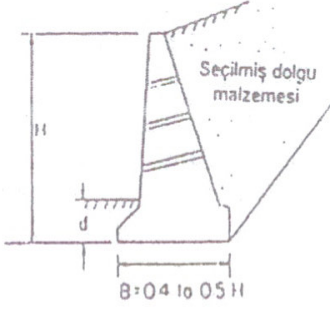
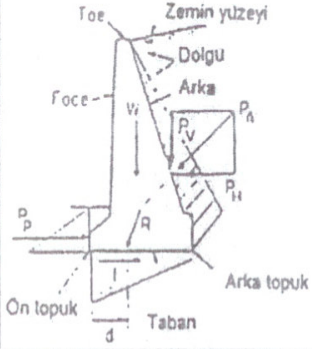
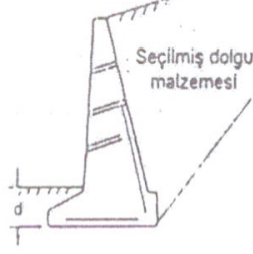
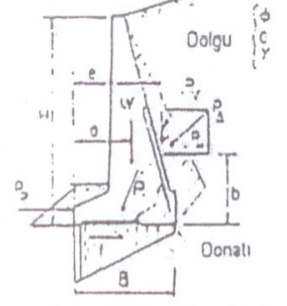
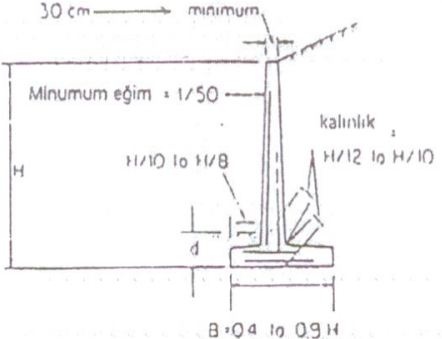
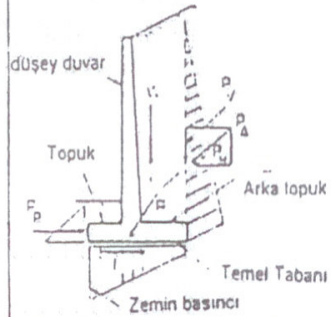
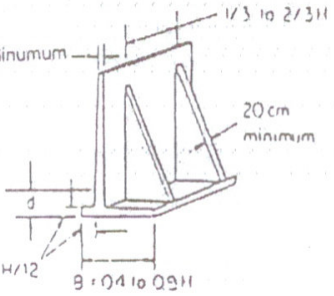
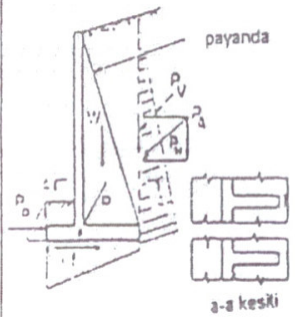
### 2.3 Kütle İstinat Duvarları

Bu tip duvarları ağırlık duvarları, yarı ağırlık duvarları, konsol duvarlar ve payandalı duvarlar oluşturur. Ağırlık duvarlarında stabilite kendi ağırlıkları yardımıyla sağlanmaktadır. Duvar gövdesi değişik şekil ve kombinasyonlarla inşa edilebilir. Yapının gövdesi, beton kütle, betonla birlikte zemin veya sadece zemin şeklinde oluşturulabilir. Bu tip duvarların hepsi üst kısımlarında serbest durumda olup, deplasman yapmaya müsait durumdadırlar. Bu yüzden aktif toprak basıncı kolaylıkla oluşabilmektedir.(Navfac,1982)

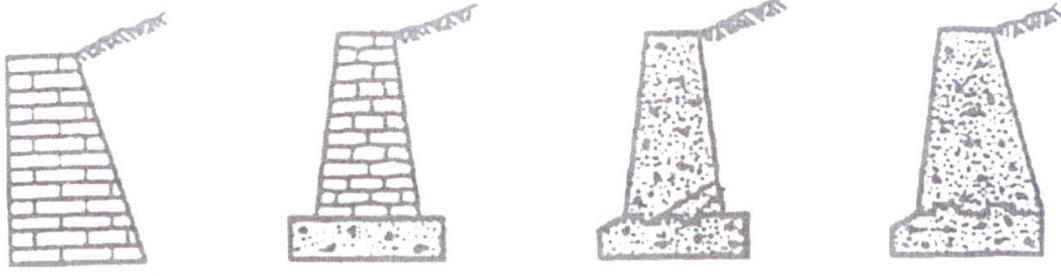
Kütle istinat duvarları

- Esnek tipte ağırlık duvarları
- Rijit tipte ağırlık duvarları

olarak iki grupta toplanabilir

| Duvar Tipi          | Minumum boyutlar                                                                                                                                                                                                                                                                     | Yük diyagramı                                                                                                                                                                             |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tam ağırlık duvarı  |  <p>Seçilmiş dolgu malzemesi</p> <p><math>B = 0.4 \text{ to } 0.5 H</math></p>                                                                                                                      |  <p>Toe</p> <p>Zemin yüzeyi</p> <p>Dolgu</p> <p>Arka</p> <p>On topuk</p> <p>Taban</p> <p>Arka topuk</p> |
| Yarı ağırlık duvarı |  <p>Seçilmiş dolgu malzemesi</p> <p><math>d = 60 \text{ cm minimum}</math></p>                                                                                                                      |  <p>Dolgu</p> <p>Arka</p> <p>On topuk</p> <p>Taban</p> <p>Arka topuk</p>                               |
| Konsol Duvar        |  <p>30 cm minimum</p> <p>Minumum eğim = 1/50</p> <p><math>H/10 \text{ to } H/8</math></p> <p><math>H/12 \text{ to } H/10</math></p> <p>kalınlık</p> <p><math>B = 0.4 \text{ to } 0.9 H</math></p> |  <p>düşey duvar</p> <p>Topuk</p> <p>Arka topuk</p> <p>Temel Tabanı</p> <p>Zemin basıncı</p>           |
| Payandalı duvar     |  <p>30 cm Minimum</p> <p><math>H/12</math></p> <p><math>B = 0.4 \text{ to } 0.9 H</math></p> <p>20 cm minimum</p>                                                                                 |  <p>payanda</p> <p>Arka</p> <p>On topuk</p> <p>Taban</p> <p>Arka topuk</p> <p>a-a kesiti</p>          |

Şekil 2.2 Beton kütle duvar çeşitleri, genel boyutları ve yük diyagramları (NAVFAC,1982)



Şekil 2.3 Basit kütle duvarlar

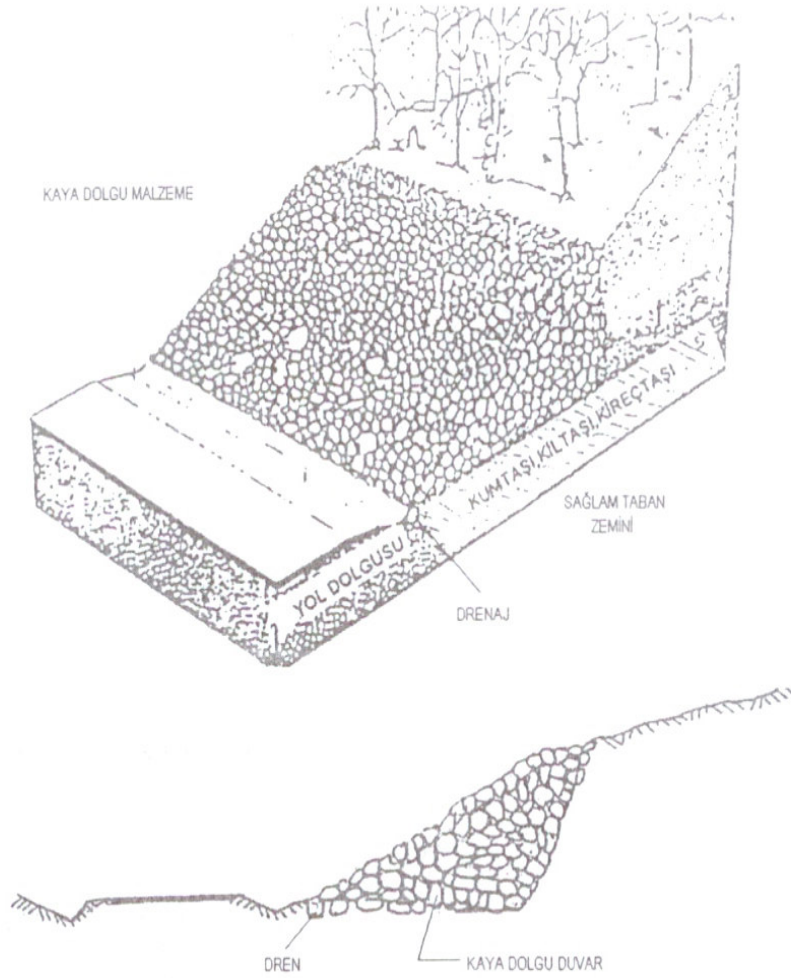
### 2.3.1 Esnek Tip Ağırlık Duvarları

Bu gruba giren duvarlar pozitif eğim drenajı sağlamada ve oturma toleransı açısından avantajlara sahiptirler. Bu gruba giren duvarlar şu şekilde sıralanabilirler.

- Kaya dolgu duvarlar
- Tel örgü duvarlar
- Kafes tipi duvarlar
- Donatılı zemin duvarları

#### 2.3.1.1 Kaya Dolgu Duvarlar

Büyük kaya parçaları ile inşa edilirler. Topuk yerinin uygunluğuna göre hareket eden şevlerin stabilitesinde kullanılırlar. Kaya dolgu duvarlar Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Kaya dolgu duvarlar(Hunt,1986)

### 2.3.1.2 Tel Örgü Duvarlar

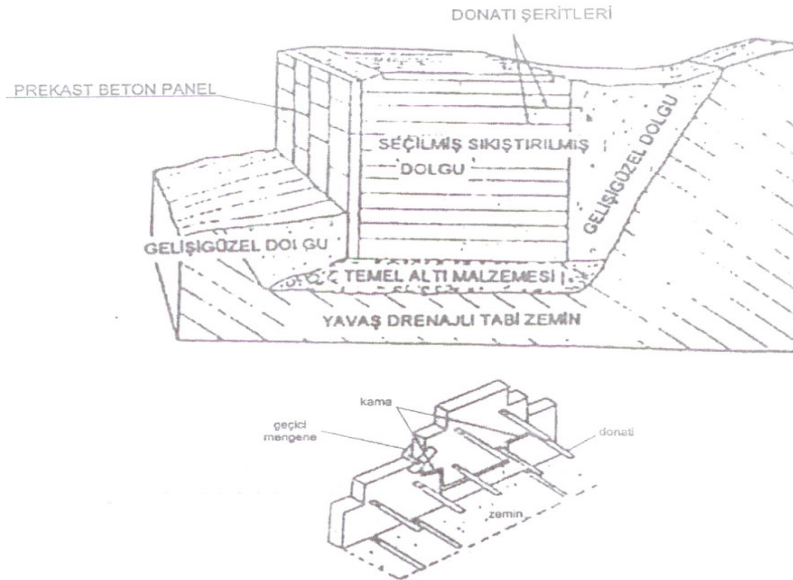
Bu tipte olan duvarlar, içi kaya veya çakıl dolu metal blokların birbirine bağlanması ile inşa edilirler. Metal bloklar genellikle 1m\*1m boyutunda olup 2m'ye kadar varabilen uzunluklara sahiptirler. Bu tip duvarlarda tüm yapının stabilitesi hesaplanırken, her bir bloğun stabilitesi de ayrı ayrı kontrol edilmelidir. Duvar yüzü bu tarz bir duvarda 6°'ye kadar geriye yatırılabilir. Maksimum yükseklik 10m civarındadır. Duvarın ön ve/veya arka yüzü basamaklı olabilmektedir.



### 2.3.1.4 Donatılı Zemin Duvarları

Genellikle geosentetik veya galvanizli çelikten yapılmış şerit veya çubukların çekme gerilmelerini karşılamak için dolgunun içine gömülmesiyle inşa edilebilmektedir. Şeritlerde galvaniz yerine alüminyum, plastik veya biyolojik ayrışma yapmayan örgüler de kullanılabilir. Bu çubuk veya şeritler dış yüzeyde ince elemanlarla birleştirilirler. Yapılan işlemin amacı yüzeyi tutabilmektir. Bu elemanlar dayanıklılık, estetik, yanal toprak basınçlarını karşılamak ve her noktadaki gerekli mukavemet bakımından çoğunlukla prefabrike betondan yapılmaktadır (Şekil2.7).

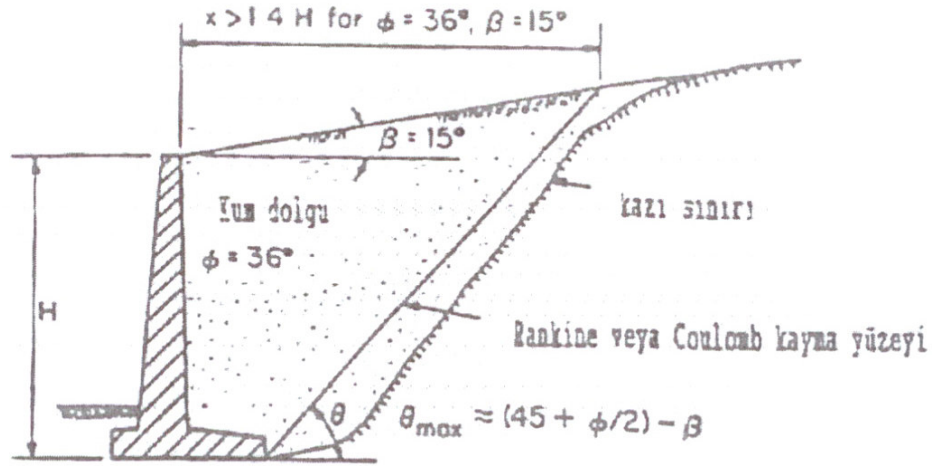
Donatılar gerekli zemin sürtünmesini sağlayabilmek için yeterli uzunluk ve genişliğe sahip olmalıdırlar. Bu uzunluklar genellikle yapı yükseliğinin 0.8-1.2 katı arasında değişmektedir. Gerekli sürtünmenin elde edilebilmesi için dolgunun içsel sürtünme açısının minimum değeri 25 derece olmalıdır. Bunun dışında kullanılan dolgu malzemesinin %25'lik kısmı No:200 elekten geçmelidir. Bu duvarlar yüksekliği 10-12m arasında değişen istinat duvarları için hemen hemen en ekonomik olanıdır (Lee ve Diğerleri, 1973).



Şekil 2.7 Donatılı Zemin Duvarlar

### 2.3.2 Rijit Tip Ağırlık Duvarları

Beton kütle duvarlar genellikle iyi bir performans gösterirler. Fakat potansiyel kayma düzleminin iyi granüler dolgu içinde oluşmasını sağlamak amacıyla büyük miktarda kazı ve dolgu gerekebilir (Şekil2.8).



Şekil2.8 Granüler ve iyi drenajlı zeminlerde aktif toprak basıncı için gerekli dolgu geometrisi (Bowles,1974)

Etkin drenaj mutlaka sağlanmalıdır. Drenaj deliklerinin her an tıkanması söz konusu olduğu için belirli zaman aralıklarında bakımı yapılmalıdır. Rijit tip istinat duvarları aşağıdaki gösterildiği gibi üç ana grupta incelenebilir.

#### 2.3.2.1 Ağırlık İstinat Duvarları

Ağırlık istinat duvarları en eski, en yaygın ve tasarımı en basitçe yapılabilen istinat duvarı çeşididir. Bu duvarlar kagir veya betondan üretilebilmektedir. Bu tipte yapılmış istinat duvarların stabilitesini kendi ağırlıkları ve kalınlıkları sağlamaktadır. Yeterince kalın olarak üretildikleri için eğilmeden kaynaklanan bir göçme tipi göstermezler. Ağırlık duvarlarının hareketi, rijit blok ötelenmesi ve/veya dönmesi şeklinde olabilmektedir. Bu gruba giren duvarlarda, duvarın yüksekliğinin artışlarına bağlı toprak basıncında meydana gelecek artışlardan dolayı duvarın ağırlığının da arttırılması gerekmektedir. Bu artış ise büyük miktarda malzeme kullanımına ve çok büyük taban genişliğine neden olacaktır. Bu yüzden bu tip duvarların 4-4.5m'den daha yüksek yapılması ekonomik açıdan yaklaşıldığında uygun

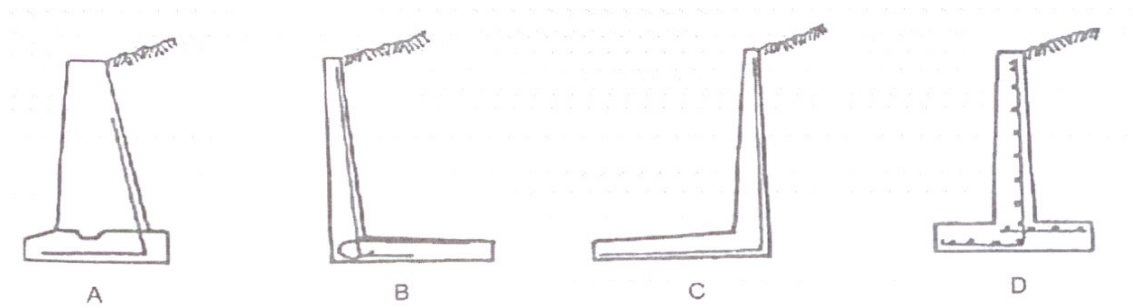
görülmemektedir.

Ağırlık istinat duvarlarının kritik bölgelerinde, (gövdenin temele bağlandığı noktalar vb.) aşırı çekme kuvvetlerini karşılamak için bir miktar donatı konulabilmektedir.

Bu şekilde donatı koyularak üretilen istinat duvarlarına yarı-ağırlık istinat duvarları denilmektedir.(Önalp,1983)

### 2.3.2.2 Konsol İstinat Duvarları

Genellikle düşey bir gövde ve bir taban plağından oluşmaktadırlar. Gövdenin kalınlığı ağırlık duvarlarına göre daha incedir. Bu duvarlarda emniyet duvara uygun bir şekil verilerek sağlanabilir. Duvar yüksekliğinin 4-4.5m'den daha fazla olması durumunda 8m yüksekliğe kadar ekonomik olabilmektedir. Bu durumun sebebi ise duvarın konsol taban plağı birleşiminde yeterli mukavemetin sağlanması gerekliliğidir. Gövdenin taban plağı üzerindeki yeri, ekonomik bir çözüm elde etmek, gövdenin önünde veya arkasında taban plağı yapılıp yapılmaması (arsa sınırı, nehir kenarı olması gibi koşullara bağlı olarak) ve duvarın arkasındaki zeminin kohezyonu gibi şartlara bağlıdır.



Şekil 2.9 Rijit istinat duvarı tipleri

Şekil 2.9'da gösterilen D tipinde, temel plağı ön ve arka ampatmanlardan (ayak ve topuk) meydana gelmiştir. Topuk üzerindeki zeminin ağırlığı duvarın kaymaya karşı direncinde önemli rol oynar. Yine bu ağırlık ve duvarın ağırlığının bileşkesinin, taban plağı ortasına yakalaşması uygun olacaktır. Bileşke kuvvet, tam radye genişliğinin ortasına tesir ettirilebilirse, gerilme yayılımının üniform olması sağlanır. Bu sayede hem toprak basıncı

küçülmüş olur hem de oturma riski olan zeminlerde radye uçlarındaki farklı oturma ile oluşabilecek dönmeler engellenmiş olur. Bu anlatılanların sonucu olarak oturma riski yüksek olan zayıf zeminlerde ve killi zeminlerde uygun çözümler sunar.

Şekil2.9’da gösterilen C tipindeki duvarın ölü ağırlığı azdır. Bu nedenle duvar yüksekliğinin büyük olması durumunda duvarın kaymasını önlemek zordur. Bu tip duvarlar kohezyonu çok fazla olan zeminlerde kullanılabilir. Topuk kazısının büyük olması ve maliyetin artması durumunda bu tip duvarlar kullanılması tercih edilebilir.

Konsol istinat duvarlarında belirtilen özel durumların olmaması halinde en yaygın kullanılan Şekil 2.9’da gösterilen D tipi konsol duvardır.

### **2.3.2.3 Payandalı İstinat Duvarları**

Konsol istinat duvarlarında konsolun yüksek olması ve zemin basıncının yüksek olması durumunda taban plağı ile konsolu bağlayan payandalara ihtiyaç vardır. Payandalar eğilme momentlerinin ve kesme kuvvetlerinin karşılanmasında büyük rol oynar. Payanda ayak veya topukta yapılmasına göre farklı davranış gösterir. Payandanın topukta yapılması çekme gerilmesine, ayakta yapılması ise basınca karşı çalışmasına neden olur. Bu tip duvarlar 8-12m arasında ekonomik olmaktadır(Bowles,1984).

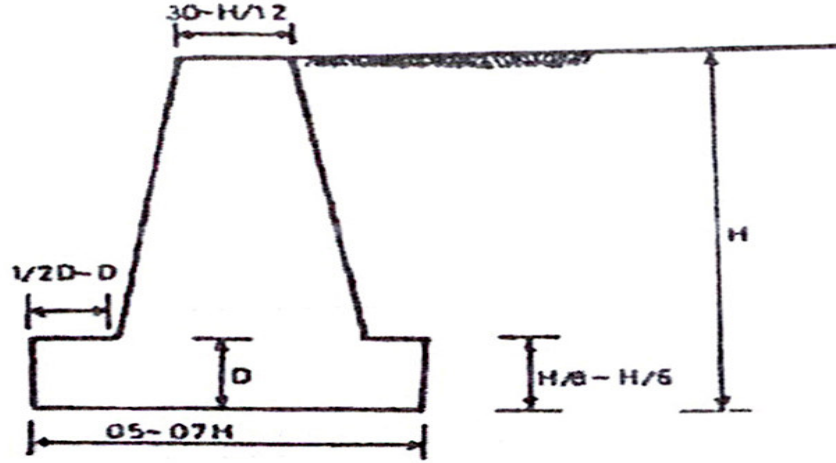
## **2.4 Rijit Tip Duvarların Ön boyutlandırılması**

İstinat duvarlarının tasarlanmasına başlamadan önce ön boyutlandırma için oranlama yapmak gerekmektedir. Oranlamadan kastedilen tasarıma başlamadan önce duvarın belirli bölgelerinde boyutlandırmada bazı kabullerin yapılmasıdır. Böylece stabilitenin kontrol edilmesi için elimizde bir duvar olacaktır. Eğer stabilite kontrollerinden sonra istenmeyen sonuçlar elde edilirse de kabul edilen oranlara göre yeni bir boyutlandırmaya gidilebilmektedir. Ağırlık duvarları ve konsol duvarlarda yapılabilecek oranlama ile ilgili detaylı bilgiler aşağıdaki belirtilen duvar çeşitlerinin önboyutlandırma başlıkları altında açıklanmıştır.

### **2.4.1 Ağırlık Duvarları için Ön Boyutlandırma**

Ağırlık istinat duvarlarının boyutlandırılması için gerekli başlangıç değerleri Şekil 2.10’da gösterilmiştir. Bu tip duvarlar hatırlanacağı gibi betondan üretilmekteydi. Ancak yüksek

kalitede beton kullanılmasına gerek yoktur(Hool ve Kine, 1944).



Şekil 2.10 Ağırlık istinat duvarlarında ön boyutlandırma

#### 2.4.2 Konsol İstinat Duvarlarında Ön Boyutlandırma

Gerekli ön boyutlandırmalar Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Konsol istinat duvarlarında konsol üst başlık kısmının en küçük değeri, kütle ağırlığının ve konsolun direncinin gerçek güvenlik sınırı içinde kalması için minimum 30 cm alınmalıdır(Hool ve Kine,1944). Ayrıca konsol ön yüz eğimi de en az %2 olmalıdır. Ön ve arka yüz eğimi tasarlayan kişiye ve sistemin stabilitesine göre belirlenir. Arka ve ön ampatman genişlikleri  $2B/3$  ve  $B/3$  oranında alınmalıdır. Bu değerler stabilitenin sağlanması için değiştirilebilir.Bu konuyla ilgili Bowles aşağıdaki formülü vermiştir.

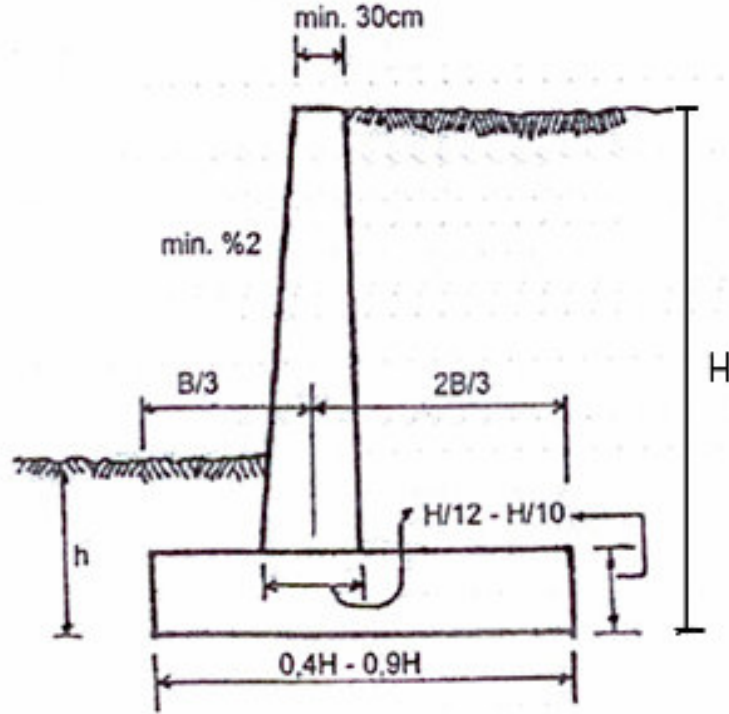
$$HT = \frac{H^2 * Ka}{4 * (m + HH)} + \frac{HH}{2} - \frac{3HH^2}{4 * (m + HH)}$$

m = Konsol üst başlık kalınlığı

HT = Ön ampatman uzunluğu

HH = arka ampatman uzunluğu

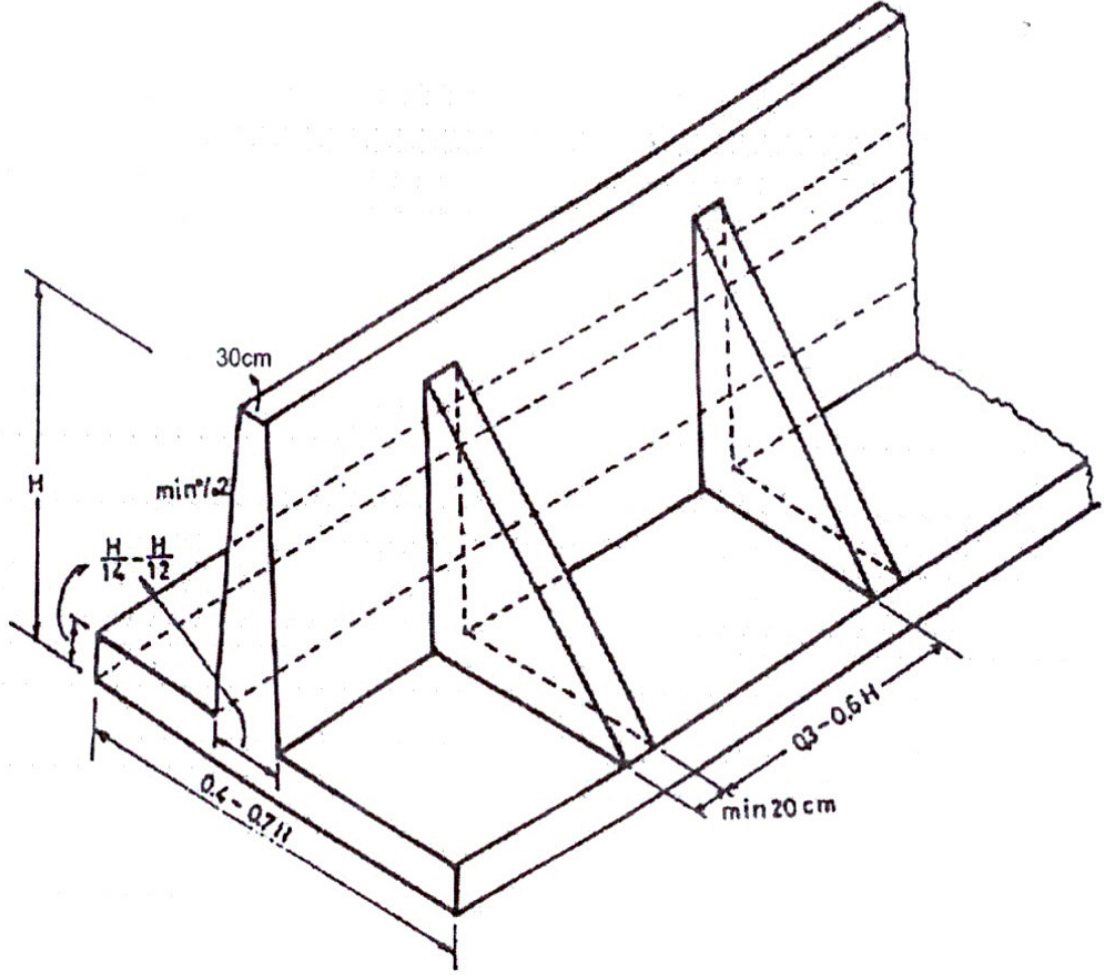
HH ve HT değerleri deneme yanılma yöntemiyle bulunabilir (Bowles,1974).



Şekil 2.11 Konsol istinat duvarında ön boyutlandırma(Hool ve Kine,1944)

### 2.4.3 Payandalı İstinat Duvarları

Bu tip için gerekli ön boyutlandırma Şekil 2.12 de verilmiştir. Dikkatli olunması gereken bir nokta bu yapılan boyutlandırmanın bir ön boyutlandırma olmasıdır. Konsol üst kısmı yine 30 cm'den az olmamalıdır. Bu duvarlar kullanılacaksa yüksekliğin 8-12m arasında olduğu duvarlar için uygulanmalıdır. Payanda araları ise  $0.3H-0.6H$  arasında değişebilmektedir. Tahkikler sonucunda bir sorun gözüküyorsa ön ampatman olmadan da inşa edilebilir.



Şekil 2.12 Payandalı istinat duvarlarında ön boyutlandırma (Bowles,1974)

### 3. İSTİNAT DUVARLARINA ETKİYEN YANAL TOPRAK BASINÇLARI

#### 3.1 Genel Bilgi

Zemin tabakaları içinde hem kendi ağırlıklarından hem de üzerlerine uygulanan yükten dolayı gerilmeler oluşmaktadır. Zeminlerde belirli bir z derinliği için düşey gerilmeler hesaplanabilmektedir. Ancak zeminlerde sadece düşey gerilmeler oluşmamaktadır. Düşey gerilmelere bağlı olarak zeminlerde yanal gerilmeler de oluşmaktadır. Oluşan bu yanal gerilmeler yardımıyla da istinat yapılarına etkiyen yanal toprak basınçları bulunabilmektedir.

#### 3.2 Yanal Toprak Basıncı

Düşey ve düşeye yakın eğimlerde olan zeminlerin tutulması veya desteklenmesi için istinat duvarlarının kullanılması bir çözüm yöntemi olarak sunulmaktadır. Yapılacak istinat duvarlarının tasarımının doğru bir şekilde yapılması için duvara etkiyecek yanal toprak basıncının doğru tahmin edilmesi önemlidir. Duvar arkasında oluşacak yanal toprak basıncı bazı faktörlerin fonksiyonudur. Bu faktörler şunlardır:

- a) İstinat duvarı tipi ve duvarın hareketinin miktarı
- b) Zeminin kayma mukavemeti parametreleri
- c) Zeminin birim hacim ağırlığı
- d) Zeminin drenaj koşulları

Zemin kütlelerini tutan istinat duvarlarının maruz kalabileceği üç sınır değer vardır.

- Duvarın hiçbir şekilde hareketine izin verilmemesi durumunda, duvarın maruz kalacağı sükunetteki toprak basıncı
- Duvarın dolgudan dışarı doğru hareketiyle zeminin mobilize olması sağlandıktan sonra meydana gelen aktif toprak basıncı
- Duvarın dolguya doğru yeterli miktarda hareket etmesiyle zeminin mobilize olması sağlandıktan sonra alabileceği pasif toprak basıncı

Aktif basınç, toprak basıncının alabileceği minimum değer olup duvarın dolgudan uzaklaşmasıyla oluşur ve göçme anında meydana gelir. Pasif basınç ise zeminde oluşan en büyük gerilme olup, zeminin kabarmasıyla göçme meydana gelmektedir. Aktif ve pasif zemin basıncıyla ilgili Coulomb (1776) ve Rankine (1857) teorileri, zemin dolgusunun içinde kırılma yüzeyi meydana gelinceye kadar yatay yönde zeminlerin yeterli miktarda hareket

etmesine dayanır.

### 3.2.1 Sükunetteki Yanal Toprak Basıncı

Ele alınan istinat duvarının hiçbir şekilde hareket etmesine izin verilmiyorsa belirli bir derinlikte oluşacak yanal toprak basıncının hesaplanması için önce düşey gerilmenin bulunması gerekmektedir.

$$\sigma_v = q + \gamma * z \quad (3.1)$$

q= sürşarj yükü

$\gamma$ = zeminin birim hacim ağırlığı

z= duvar arkası zemin yüzünden derinlik

Gerek zeminin kendi ağırlığından dolayı gerekse uygulanan dış yüklerden dolayı zeminde yanal gerilmeler ortaya çıkacaktır. Bulunan düşey gerilmeler yardımıyla yanal gerilmeler aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir. Ko katsayısı boyutsuz bir parametredir ve zeminin cinsi, gerilme tarihçesi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

$$\sigma_h = Ko * \sigma_v' + u \quad (3.2)$$

Ko = sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısı

u = hidrostatik su basıncı

Bu katsayının belirlenmesiyle ilgili literatürde çeşitli yaklaşımlar vardır. Kısaca sunulan yaklaşımlar aşağıda gösterilmiştir.

Kumlar için

$$Ko = 1 - \sin \phi \text{ (Jacky, 1944)} \quad (3.3)$$

Normal konsolide killer için

$$Ko = 0.95 - \sin \phi \text{ (Brooker ve Ireland, 1965)} \quad (3.4)$$

$$Ko = 0.4 + 0.007 * (PI) \quad PI = 0-40 \text{ (Brooker ve Ireland, 1965)} \quad (3.5)$$

$$Ko = 0.64 + 0.001 * (PI) \quad PI = 40-80 \text{ (Brooker ve Ireland, 1965)} \quad (3.6)$$

Aşırı Konsolide Killer için

$$K_{o(ak)} = K_{o(nk)} * \sqrt{AKO} \quad (\text{Broker ve Ireland, 1965}) \quad (3.7)$$

### 3.2.2 Aktif Toprak Basıncı

#### 3.2.2.1 Rankine Aktif Toprak Basıncı Teorisi

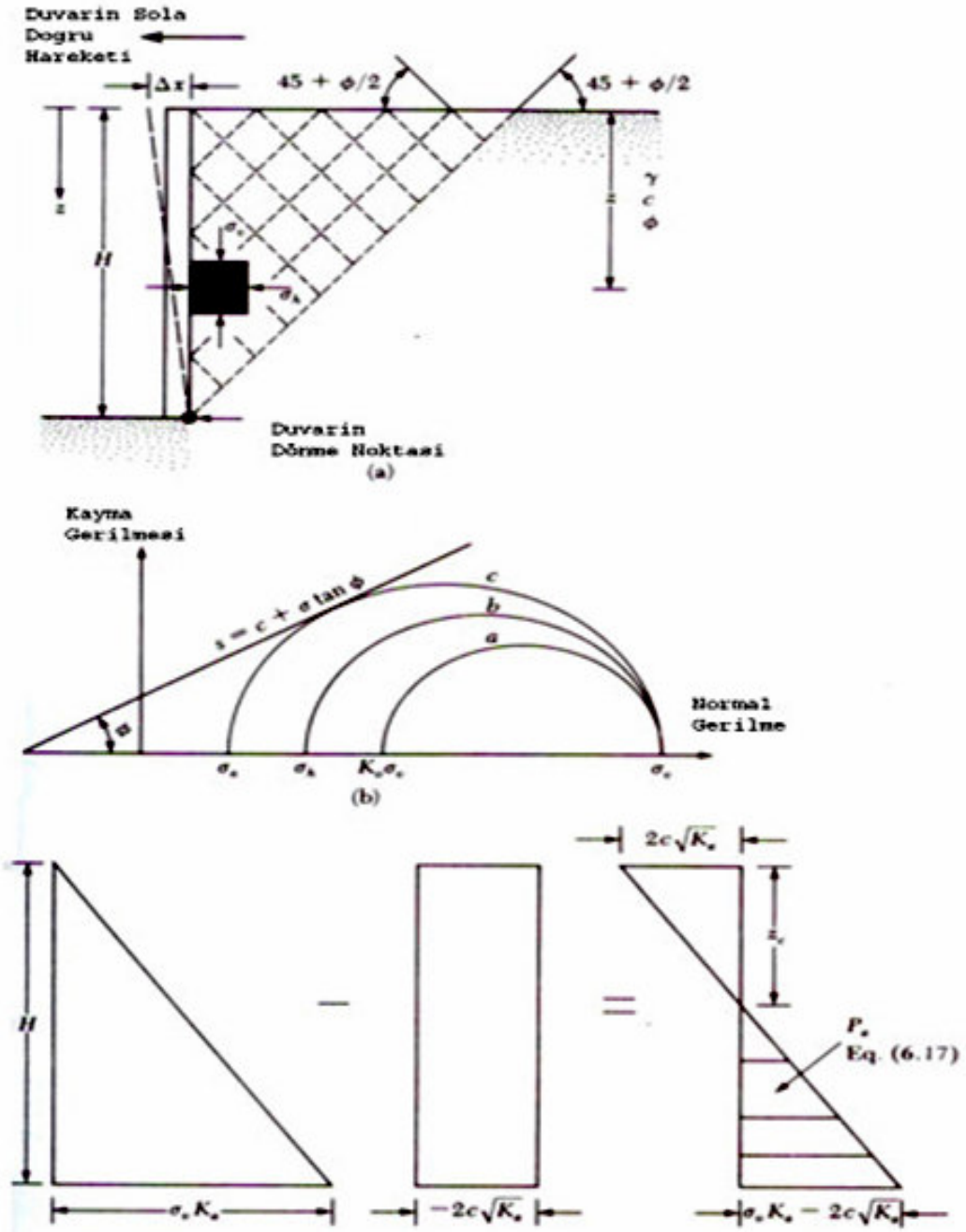
Sükunetteki zeminlerde oluşan yanal toprak basınçları hatırlanacağı gibi duvarın hiçbir şekilde hareket etmemesine bağlıdır. Ancak duvar dolgudan dışarı doğru  $\Delta x$  kadar hareket ettiğinde duvarın herhangi bir noktasındaki yanal toprak basıncında bir düşüş meydana gelecektir. Bu durumda oluşan yanal toprak basıncına, aktif yanal toprak basıncı denilmektedir. Rankine(1857), duvarı sürtünmesiz kabul etmekte ve  $\Delta x > 0$  olduğundan  $K_o * \sigma_v$  sükunetteki toprak basıncından daha küçük bir değer alan yanal toprak basıncı oluştuğunu söylemektedir.

Bu durum Mohr Gerilme Dairesinde incelenirse (Şekil3.1b) a eğrisi duvarın deplasman yapmadığı durumu (Sükunetteki Toprak Gerilmeleri), b eğrisi  $\Delta x > 0$  durumunu, c eğrisi ise sürekli artırılan  $\Delta x$ 'in belirli bir değerinde Mohr göçme zarfına değmesiyle oluşan aktif toprak basıncını göstermektedir. Şekil 3.1'de görüleceği gibi  $\sigma_a$  değeri yanal aktif toprak gerilmesini ifade etmektedir. Ayrıca zemin kütleindeki kayma çizgileri yatayla  $\pm(45+\Phi/2)$ 'lik bir açı yapmaktadır.

Mohr Columb göçme zarfı

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (3.8)$$

Bağıntısı ile ifade edilmektedir.



Şekil3.1 Rankine aktif toprak basıncının yayılımı

Olayı daha açık anlamak için göçme zarfına değen Mohr Çemberinin asal gerilmeleri arasındaki ilişkiyi veren denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$\sigma_1 = \sigma_3 * \tan^2(45 + \phi/2) + 2 * c * \tan(45 + \phi/2) \quad (3.9)$$

Şekil 3.1’de gösterilen c eğrisi için  $\sigma_1 = \sigma_v$  ve  $\sigma_3 = \sigma_a$ ’dır

Denklem 3.9’da bu değerler yerlerine konulursa aşağıdaki bağıntılar ortaya çıkmaktadır.

$$\sigma_a = \sigma_v * Ka - 2 * c * \sqrt{Ka} \quad (3.10)$$

Ka değerine aktif Rankine toprak basıncı katsayısı denilmektedir.

$$Ka = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (3.11)$$

Aktif zemin basıncının derinlikle değişimi Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Derinlikle birlikte zeminde oluşan çekme gerilmeleri azalmakta ve Zc gibi bir derinlikte bu değer sıfır olmaktadır.

$$Zc = 2 * c * \sqrt{Ka} \quad (3.12)$$

Zc şeklinde isimlendirilen bu derinliğe genelde çekme çatlağı derinliği denilmektedir. Çekme çatlakları oluşmadan önce duvarın birim uzunluğuna gelen toplam aktif Rankine kuvvetleri aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$Pa = 1/2 * \gamma * H^2 * Ka - 2 * c * H * \sqrt{Ka} \quad (3.13)$$

Ancak bu çatlaklar oluştuğundan sonra Pa aşağıdaki formülle bulunabilmektedir.

$$Pa = 1/2 * (H - Zc) * (\gamma * H * Ka - 2c\sqrt{Ka}) \quad (3.14)$$

### 3.2.2.2 Eğimli Dolgular İçin Rankine Active Toprak Basıncı

Eğer kullanılan dolgu granüler bir zemin ve duvarda sürtünmesiz kabul edilirse, yataya göre  $\alpha$  açısı yapan dolgular için aktif zemin basıncı katsayısı farklı bir şekilde hesaplanmaktadır. Ka değeri bağıntı 3.15’te hesaplandıktan sonra daha önce açıklandığı gibi Pa değeri hesaplanabilir.

$$Ka = \cos \alpha * \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}} \quad (3.15)$$



Duvarın birim uzunluğuna gelen Pa kuvvetini bulmak amacıyla önce Ka, aktif toprak basıncı katsayısı bulunur. Daha sonra da bulunan değer, bağıntı 3.17'ye yerleştirilir.

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2(\beta) * \sin(\beta - \delta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) * \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.16)$$

$$P_a = 1/2 * \gamma * H^2 * K_a \quad (3.17)$$

$\beta$ = Duvarın arka yüzünün düşeyle yaptığı açısı

$\alpha$ = dolgunun yatayla yaptığı açısı

$\gamma$ = zeminin birim hacim ağırlığı

$\delta$ = Duvarın sürtünme açısı

$\Phi$ =Zeminin İçsel Sürtünme Açısı

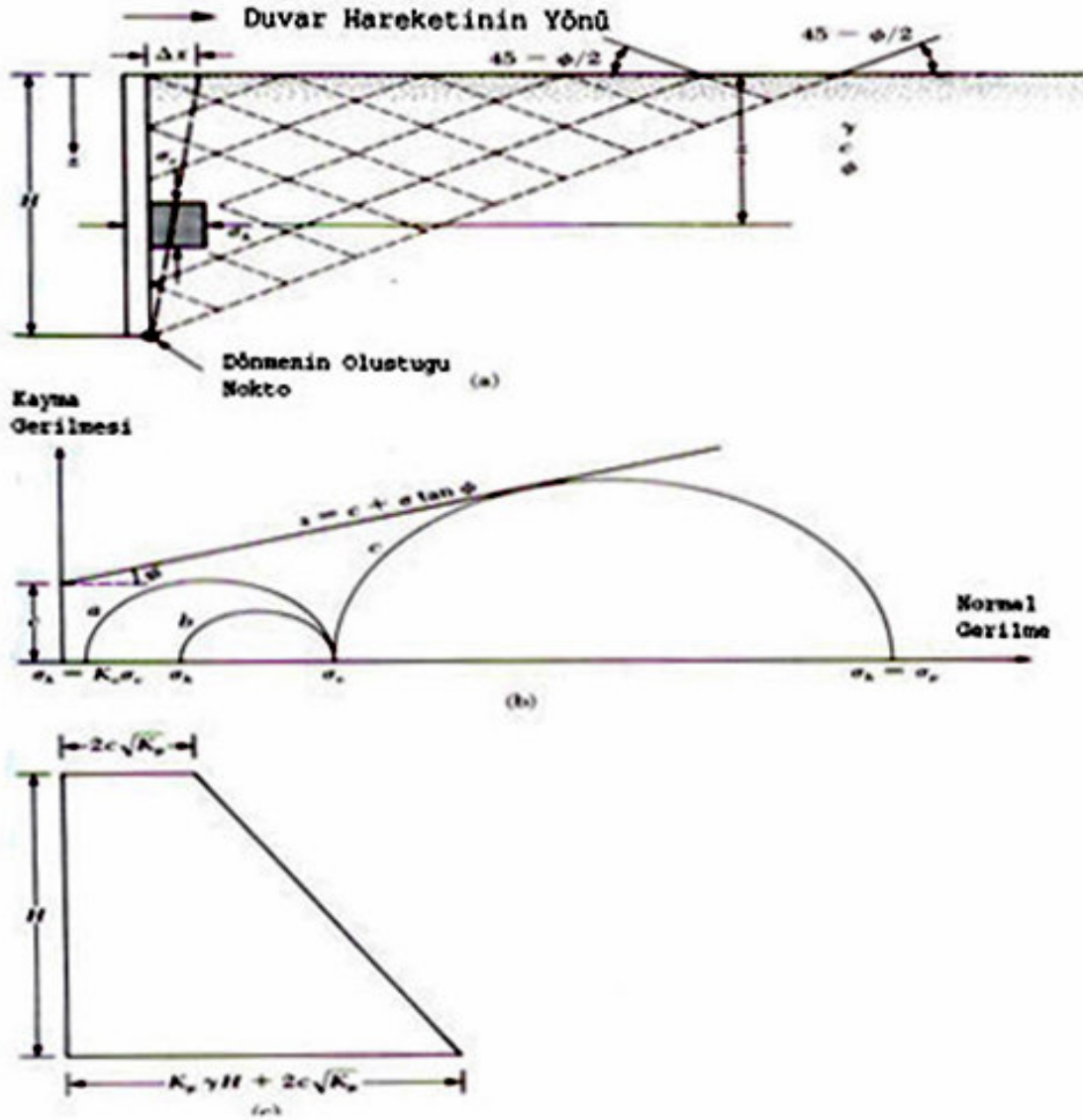
Eğer dolgunun üzerinde üniform bir sürşarj yükü mevcutsa öncelikle  $\gamma_{eq}$  bulunmalı ve denklemin içine yerleştirilmelidir. Deprem sırasında meydana gelecek toprak basınçları aktif toprak basınçları kabul edilmektedir ve Mononobe-Okabe tarafından bu basıncın hesaplanması için bir yöntem geliştirilmiştir.

### 3.2.3 Pasif Toprak Basıncı

#### 3.2.3.1 Pasif Rankine Yanal Toprak Basıncı

Pasif toprak basıncının Rankine Teorisine göre hesaplanmasında duvarın sürtünmesiz olduğu kabul edilmektedir. Zeminin pasif yanal basınçları aktif ve sükunetteki toprak basınçlarından daha büyük değerler almaktadır. Başka bir deyişle zeminde oluşacak en büyük yanal toprak basıncı pasif yanal toprak basıncıdır ve z derinliğinde bir zemin ele alındığında bu zeminin sükunetteki yanal gerilmesi,  $\sigma_h = K_o * \sigma_v$  ve düşey gerilmesi  $\sigma_v = \gamma * z$ 'dir. Zemin dolguya doğru  $\Delta x$  kadar bir hareket yaptığında ise oluşacak yanal toprak basıncı sükunetteki durumdan daha fazla olacaktır.  $\Delta x$  değeri sürekli arttırılmaya devam edilirse belli bir değerde oluşacak Mohr çemberi göçme zarfına değecektir ve bu durumda yanal toprak basıncı pasif Rankine yanal toprak basıncını oluşturan, yanal gerilme değerini alacaktır. Şekil 3.3'te gösterilen a eğrisi sükunetteki durumu, b eğrisi duvarın  $\Delta x$  kadar hareket ettiğindeki gerilme durumunu, c eğrisi

ise belirli bir  $\Delta x$  değerinde ulaşılacak nihai gerilme değerlerini göstermektedir.  $K_p$  değerine pasif yanal toprak basıncı katsayısı denilmektedir.



şekil 3.3 Pasif Rankine yanal toprak basıncı

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \tan^2(45 + \phi/2) + 2 \cdot c \cdot \tan(45 + \phi/2) \quad (3.18)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) \quad (3.19)$$

$$P_p = 1/2 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p + 2c \cdot \sqrt{K_p} \quad (3.20)$$

### 3.2.3.2 Eğimli Dolgular İçin Rankine Pasif Toprak Basıncı

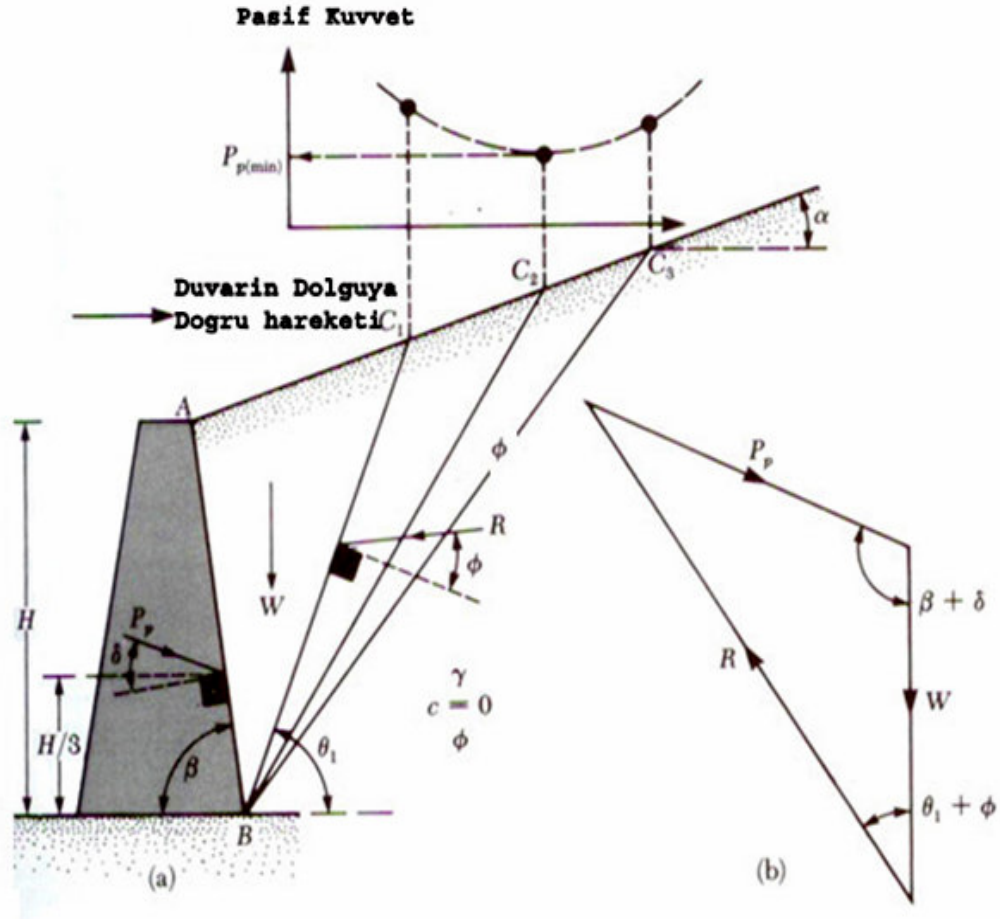
Eğer kullanılan dolgu granüler bir zemin ve duvarda sürtünmesiz kabul edilirse, yataya göre  $\alpha$  açısı yapan dolgular için pasif toprak basıncı katsayısı farklı bir şekilde hesaplanabilmektedir.  $K_p$  değeri bağıntı 3.21’de hesaplandıktan sonra daha önce açıklandığı gibi  $P_p$  değeri hesaplanabilir.

$$K_p = \cos \alpha * \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}} \quad (3.21)$$

### 3.2.3.3 Coulomb Pasif Yanal Toprak Basıncı

Coulomb (1776), Rankine gibi pasif toprak basınçlarını da hesaplamıştır. Hatırlanacağı gibi Coulomb’un sunduğu yöntem granüler zeminler için duvarın sürtünmesini dikkate alınarak yapılan bir hesaplamaydı. Akif toprak basıncında izlenen yöntem adapte edilerek pasif toprak basınçları için de izlenebilir. Bu durumda etkiyen kuvvetleri Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

- 1)Zemin kamasının ağırlığının hesaplanması
- 2)Bileşke kuvvet R’nin hesaplanması.
- 3)Duvarın birim uzunluğuna gelen yanal pasif toprak itkisinin hesaplanması ( $P_p$ ).  $P_p$  duvarın arka yüzüne çizilen normaliyle  $\delta$  kadar açı yapacaktır.



Şekil 3.4 Coulomb pasif toprak itkisi ve duvara etkiyen kuvvetler

Sistemin dengede olduğunu göstermek amacıyla Şekil 3.4b'deki gibi bir kuvvet üçgeni çizilebilir.

Duvarın birim uzunluğuna gelen  $P_p$  kuvvetini bulmak amacıyla önce  $K_p$ , pasif toprak basıncı katsayısı bulunur. Daha sonra da bulunan değer, bağıntı 3.24'e konulur.

$$K_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2(\beta) * \sin(\beta + \delta) * \left[ 1 - \frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi * \alpha)}{\sin(\beta + \delta) * (\alpha + \beta)} \right]^2} \quad (3.23)$$

$$P_p = 1/2 * \gamma * H^2 * K_p \quad (3.24)$$

$\beta$  = Duvarın arka yüzünün düşeyle yaptığı açı

$\alpha$ = dolgunun yatayla yaptığı açı

$\gamma$ = zeminin birim hacim ağırlığı

$\delta$ = Duvarın sürtünme açısı

$\Phi$ =Zeminin İçsel Sürtünme Açısı

### 3.3 Kohezyonlu Zeminler

Yanal toprak basıncı, daha önce değinildiği gibi zemin parametreleri, içsel sürtünme açısı, dolgunun eğimi, duvarın arkasının yaptığı açı ve duvar-zemin sürtünme açısı kullanılarak aktif ve pasif toprak basıncı katsayılarına bağlı olarak hesaplanır. Sadece kohezyona sahip bir zeminde herhangi bir noktadaki gerilme durumu kırılma yüzeyini etkilemez. Bu sebepten dolayı kohezyonlu zeminlerdeki toprak basıncının duvar arkasına yaklaşık olarak granüler zeminlerde toprak basıncının hesaplandığı şekilde yapılması uygun olmaktadır.

#### 3.3.1 Kohezyonlu Zeminlerde Aktif Toprak Basıncı

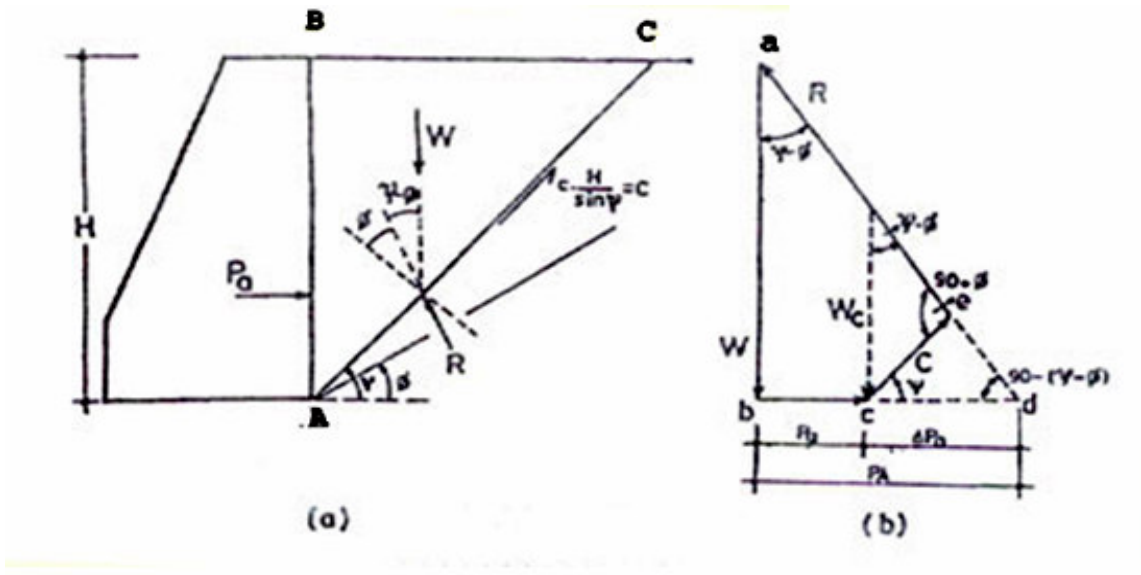
Kohezyonun kırılma yüzeyindeki etkisi üniform ve sabit kabul edilmektedir. Zemindeki kohezyon, toprak basıncını azaltıcı bir rol oynamakla beraber, duvar arkası dik ve sürtünmesiz, dolgunun yüzeyi eğimsiz olduğunda aktif toprak basıncının duvar arkasında normalle yaptığı açı sıfır olmaktadır.

Kohezyonlu zeminlerde zemin kamasının kayma direnci, zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyona bağlıdır. (Şekil3.5)

Şekil3.5'te kaymaya hazır zemin kamasında etkili kuvvetler abcea kapalı poligonunda görülmektedir. Kohezyon olmasaydı poligon abd'den oluşacaktı. Şekil3.5'te görüldüğü gibi ce kohezyon etkisi, poligon alanını daraltmaktadır. Bu nedenle gerçek aktif basınç

$$P_a = P_{a0} - \Delta P_a$$

Olacaktır. Formülde yer alan  $\Delta P_a$  kohezyonun etkisini göstermektedir (Bowles, 1974).



Şekil3.5 Kohezyonlu zeminde aktif toprak basıncı

$$\Delta Pa = 2 * c * H * \tan(45 - \phi / 2) = 2 * cH * \sqrt{Ka} \quad (3.25)$$

Kohezyonlu zeminde birim uzunluğa gelen toplam aktif toprak basıncı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Pa = PA - \Delta Pa = 1/2 * \gamma * H^2 * Ka - 2 * c * H * \sqrt{Ka} \quad (3.26)$$

Granüler zeminlerde bulunan aktif toprak basıncı AC kırılma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılan çifte kohezyon tarafından azaltılır.

Kohezyonlu toprak basıncı belirli bir derinlikte sıfır değerine ulaşır. Bu durumda

$$Pa = PA - \Delta Pa = 0$$

$$PA = \Delta Pa$$

$$1/2 * \gamma * H^2 * Ka = 2 * c * H * \sqrt{Ka}$$

$$H = Hc = \frac{4 * c}{\gamma * \sqrt{Ka}} \quad (3.27)$$

olur. Hc kritik yükseklik değerini vermektedir. Hc kritik yükseklik, zeminin birim hacim ağırlığına, içsel sürtünme açısına, kohezyona ve duvar geometrisine bağlıdır.

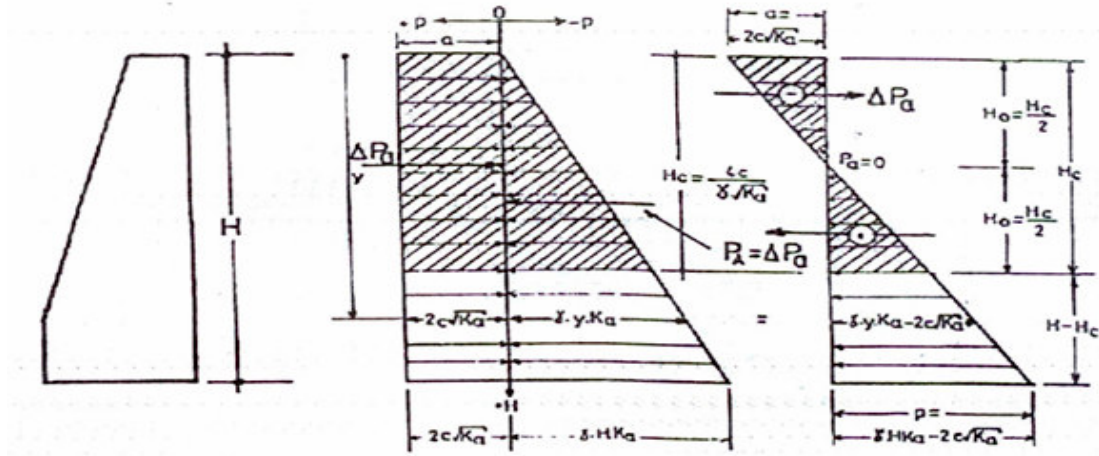
Genel olarak kohezyonlu zeminlerde, duvar tabanındaki kuvvet (zeminin üzerinde herhangi bir yük yokken)

$$p_a = \gamma * y * K_a - 2 * c * \sqrt{K_a} \quad (3.28)$$

olur. Bağıntı 3.28'de yer alan  $y$  değeri sıfır ile  $H$  yükseklik değeri arasında değişen bir değer almaktadır ve ikinci ifade ise sabit bir değerdir.

Eğer zemin üzerinde üniform bir  $p_o$  yüklemesi varsa, oluşacak aktif toprak basıncı aşağıdaki gibi bulunabilir (Bowles,1974)

$$P_a = 1/2 * \gamma * H^2 * K_a - 2 * c * \sqrt{K_a} + p_o * H * K_a \quad (3.29)$$



Şekil3.6 Kohezyonlu zeminlerde zemin üzerinde yükleme olmadığı durumda aktif toprak basıncı (Juminikis, 1964)

### 3.3.2 Kohezyonlu Zeminlerde Pasif Toprak Basıncı

Kohezyonlu zeminlerde aktif toprak basıncı için uygulanan yaklaşım aynen pasif toprak basıncı içinde uygulanırsa

$$P_p = P_p + \Delta P_p \quad (3.30)$$

ifadesi bulunur. Kohezyonlu zeminlerde toplam pasif toprak basıncı ise aşağıdaki gibi ifade

edilebilir.

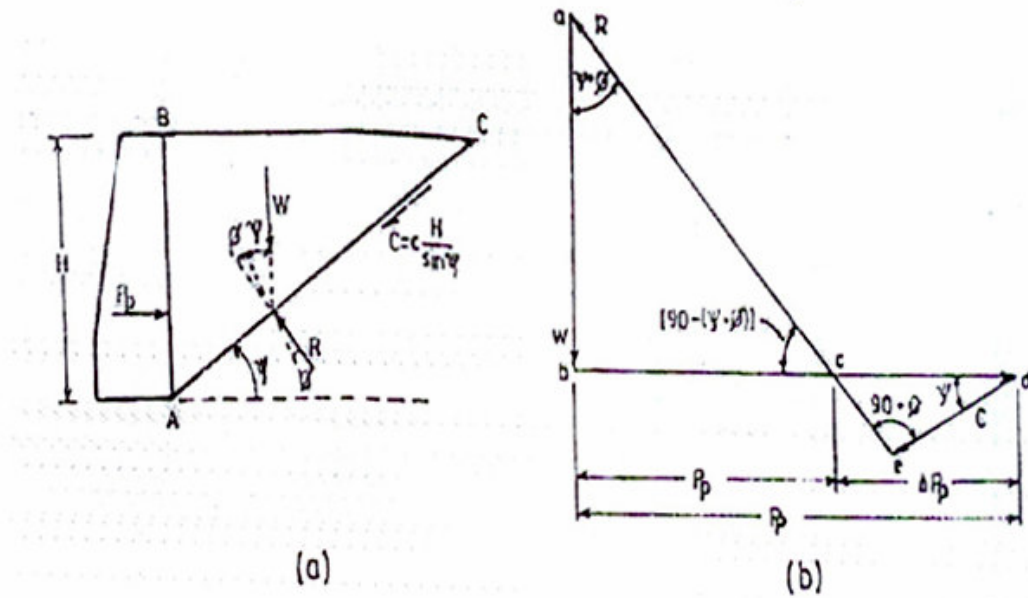
$$P_p = 1/2 * \gamma * H^2 * K_p + 2 * c * \sqrt{K_p} \quad (3.31)$$

Pasif toprak basıncı Şekil 3.7'de görüldüğü gibi (zemin üzerinde herhangi bir yükleme yokken) trapez bir basınç alanına sahiptir. Herhangi bir y derinliğinde kohezyonlu zeminler için pasif toprak basıncı;

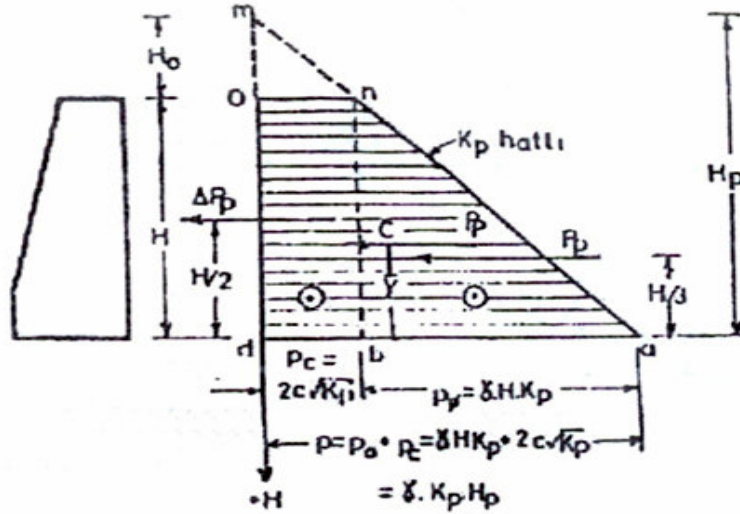
$$p_p = \gamma * y * K_p + 2 * c * \sqrt{K_p} \quad (3.32)$$

olarak bulunur. Eğer zemin üzerinde herhangi bir  $p_o$  gibi bir yükleme mevcut ise  $P_p$  pasif toprak itkisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Bowles,1974)

$$P_p = 1/2 * \gamma * H^2 * K_p + 2 * c * \sqrt{K_p} + p_o * H * K_p \quad (3.33)$$



Şekil3.7 Pasif toprak basıncında etkiyen kuvvetler (Bowles, 1974)



Şekil3.8 Kohezyonlu zeminlerde pasif toprak basıncı ( Bowles, 1974)

### 3.4 Kendini Tutabilen Zemin Yığınları

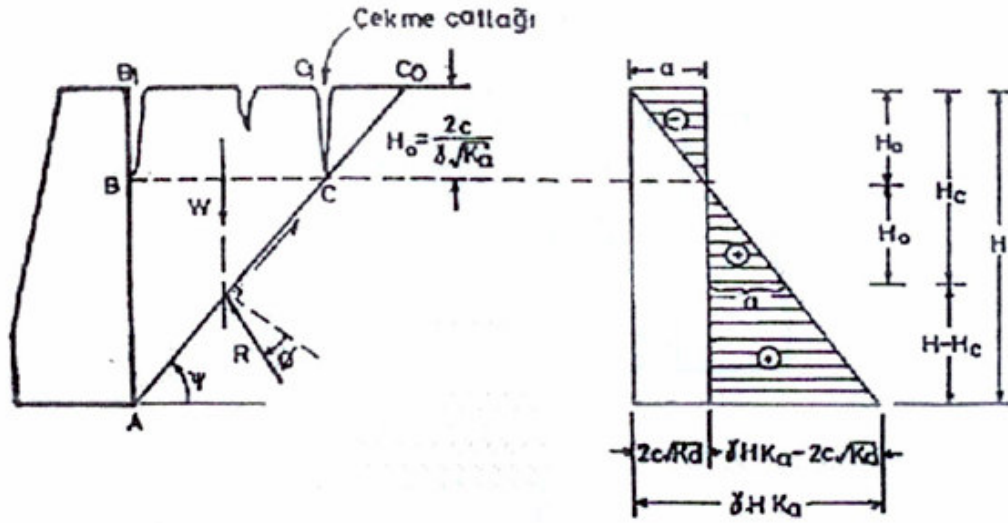
Granüler zeminler desteklenmeden düşey bir konumda duramazlar. Zeminlerin kohezyon özellikleri zeminlerin desteklenmeden düşey konumda kalmasını sağlar.

Kohezyonlu bir zemin  $H_0$  gibi bir yükseklikte hiçbir desteğe gerek duymadan düşey konumda durabilir ve  $H_c=2H_0$  yüksekliğinde toplam aktif toprak basıncı ise sıfır olmaktadır. Bu durum Şekil 3.9'da gösterilmektedir.  $H_c$  kritik yüksekliği bağıntı 3.27 yardımıyla kolayca bulunabilmektedir.

Kritik derinlik zemin özelliklerine en çok da kohezyona bağlıdır. Eğer zeminin birim hacim ağırlığı ve içsel sürtünme açısı biliniyorsa, belirli bir  $H$  yüksekliğinde serbestçe kalabilmesi için gerekli kohezyon değeri

$$c = \frac{\gamma^* H^* \sqrt{Ka}}{4} \quad (3.35)$$

olarak hesaplanabilir.



Şekil3.9 Kohezyonlu zeminlerde gerilme çatlakları (Bowles,1974)

Kohezyonlu zeminlerde meydana gelen çekme çatlaklarının en büyük derinlik değeri  $H_0 = H_c/2$  değeridir (Şekil 3.9).

Çekme çatlakları Şekil 3.9'da görülen  $AC_0$  kırılma yüzeyinde,  $CC_0$  miktarı kadar bir azalmaya neden olur (Jumikis, 1964).

Herhangi bir y derinliğinde aktif toprak basıncı değerleri

$$p = p_a - p_c = \gamma * y * Ka - 2 * c * \sqrt{Ka} \quad (3.36)$$

olarak bulunur. Formüldeki  $p_c$  değeri H yüksekliğine bağlıdır ve aşağıdaki gibi değişim gösterir.

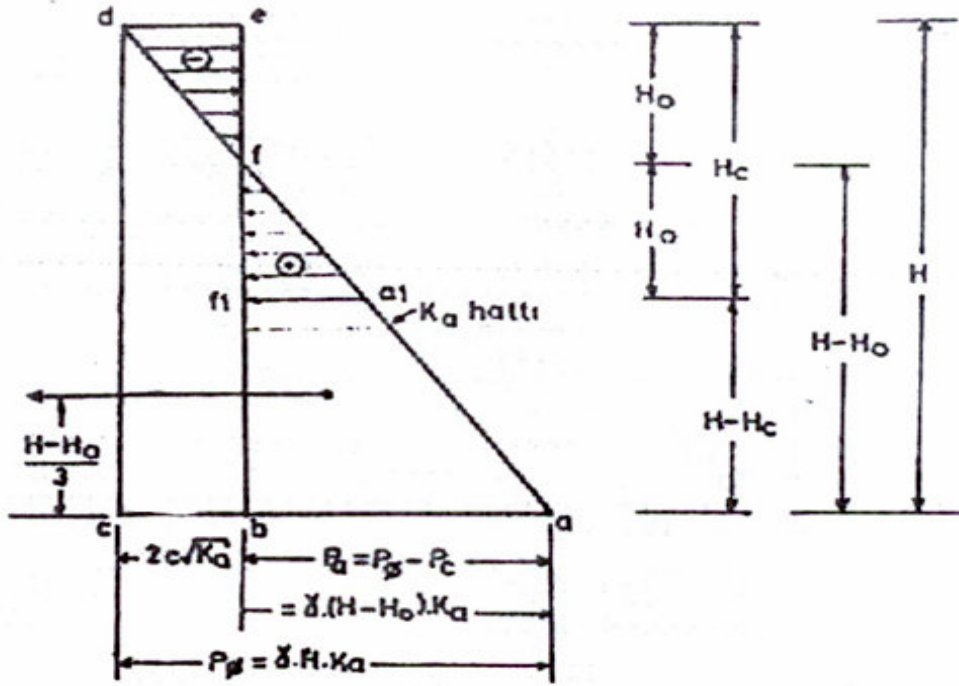
$$H=0; \quad p_c = 2 * c * \sqrt{Ka}$$

$$H=H_0; \quad p_c = 0$$

$$H=H_c; \quad p_c = 2 * c * \sqrt{Ka}$$

Şekil 3.10'a göre toplam aktif toprak basıncı ise aşağıdaki gibidir;

$$Pa = 1/2 * P * (H - H_0) = 1/2 * \gamma * (H - H_0)^2 * Ka \quad (3.37)$$



Şekil3.10 Aktif toprak basıncı dağılımı

Teorik olarak  $H$  yüksekliği, kritik yükseklikten az ise, bu yükseklikteki kohezyonlu zemin yığının herhangi bir istinat duvarı tarafından desteklenmeden düşey pozisyonda kalabilir.

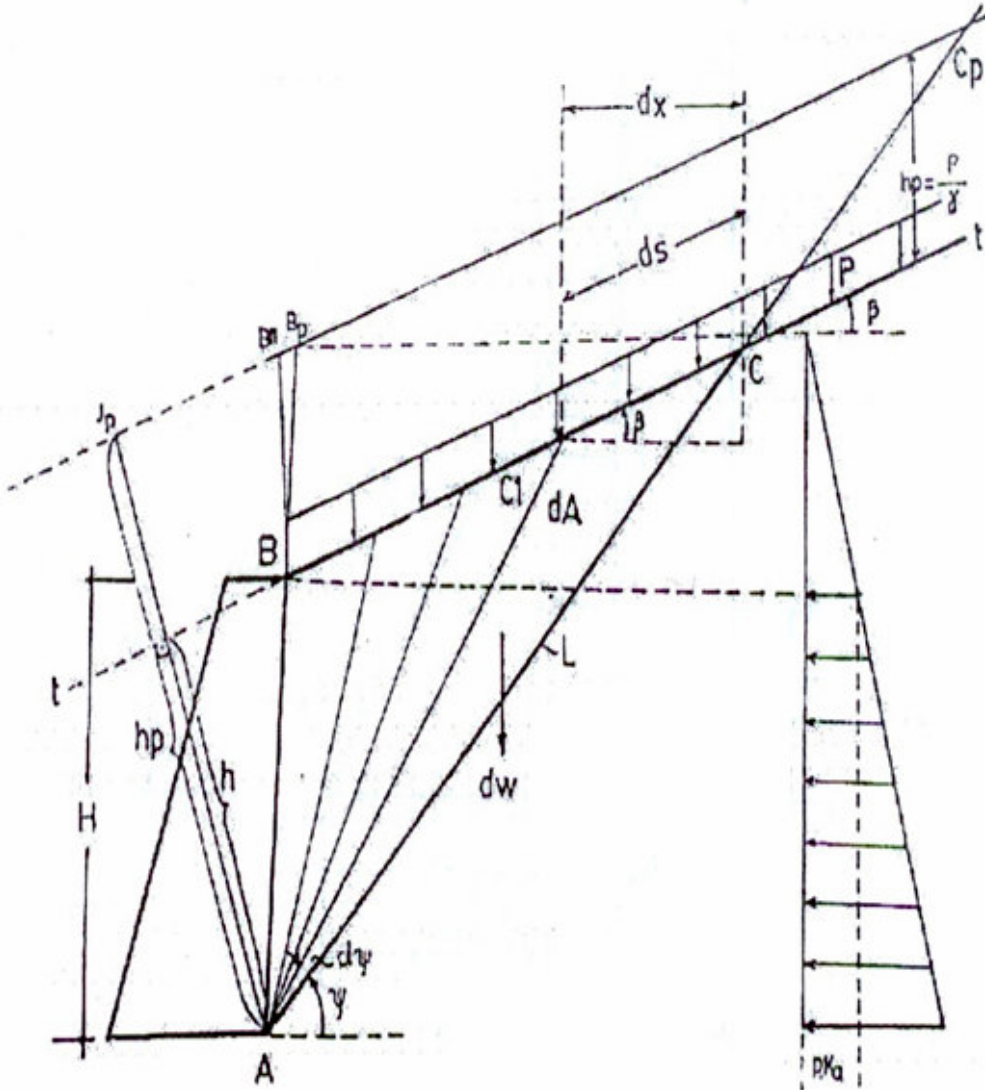
Fakat  $H$  yüksekliğinde, zemin ile duvar arasında aderans olmayacağı düşünülürse, güvenli tarafta kalmak için bu kısım da aktif toprak basıncına dahil edilmelidir. Bu durumda toplam aktif toprak basıncı aşağıdaki gibi olur (Bowles,1974).

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2cH\sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (3.38)$$

### 3.5 Zemin Yüzeyinin Yüklenmesi

İstinat yapılarıyla tutulan bir zemin kütesinin üzerine artı bir yük gelmesi( kazı yapan bir makine, yaya yolu,binalar, tren hattı, otoyol vb.) yanal basınçların artmasına ve stabilitenin bozulmasına neden olur. Bu tarz durumlarda istinat duvarı projelendirilirken bu yüklemenin hesaba katılması şarttır.

Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13’de duvar arkası zemin yüzeyinin değişik yüklenme durumları için oluşacak yanal toprak basıncı dağılımları gösterilmiştir.

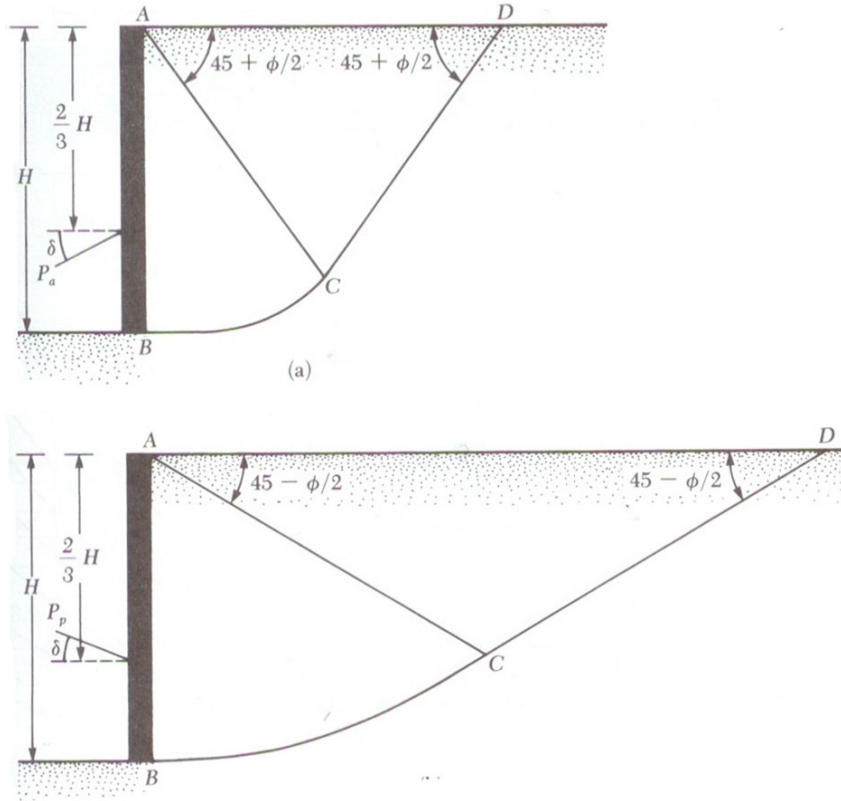


Şekil3.11 Eğimli bir dolguya sahip zemin yüzeyinin yüklenmesi



### 3.6 Coulomb'un Toprak Basıncı Hesabında Kullandığı Göçme Düzlemiyle ilgili Yorumlar

Coulomb'un aktif ve pasif toprak basıncının hesaplanması için kullandığı yöntem bu bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yapılan analizlerde temel kabul, göçme yüzeyinin düzlemsel olduğudur. Fakat sürtünmenin dikkate alındığı duvarlarda, arazide oluşan kayma yüzeylerinin yapılan kabuller gibi olmadığı gözlenmektedir. Zemin kütleğinde gerçek kayma düzleminin doğası gereği aktif ve pasif toprak basıncı için Şekil 3.14(a) ve 3.14(b)'de. sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Duvarın sürtünmesi dikkate alındığında aktif ve pasif toprak basıncı için kayma düzleminin doğası (Das,1999)

Kayma düzleminin Şekil 3.14'de gösterildiği gibi  $BC$  arasında eğri,  $CD$  arasında düz olduğu görülmektedir.

Zeminlerde gerçek kayma düzlemi aktif toprak basınçları için Coulomb'un basınç teorisine

göre kabul edilenden bir farklılık gösterse de aslında sonuçlar birbirinden çok farklı değildir. Fakat pasif toprak basıncı durumunda,  $\delta$  değerinde bir artış oluşunca, Coulomb teorisine göre yapılan çözümlerde  $P_p$  değeri için artan bir hata oranı gözlenmektedir. Bu hata oranı da tasarım yapılırken mühendisleri güvenli olmayan tarafa doğru çekmektedir. Çünkü  $P_p$  değerleri zeminin direncinden daha büyük olmaktadır

#### 4. İSTİNAT DUVARLARININ ÜZERİNE ETKİYEN KUVVETLER

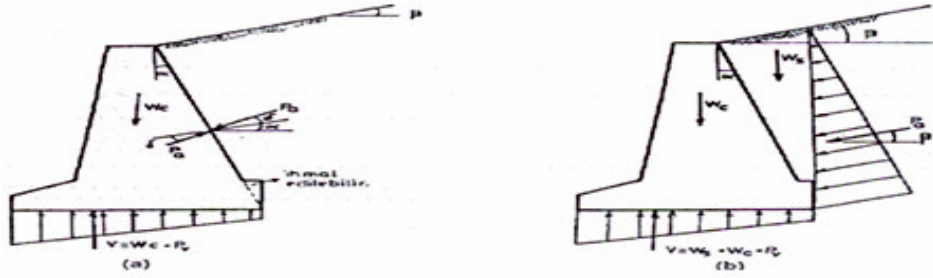
İstinat duvarlarının üzerine etkiyen kuvvetler istinat duvarının birim uzunluğu esas alınarak hesaplanmaktadır. Fakat payandalı istinat duvarlarında hesap uzunluğu iki birleşim yeri veya bir payandayı içerecek şekilde hesaplanır.

##### 4.1 Ağırlık İstinat Duvarlarının Üzerine Gelen Kuvvetler

Coulomb ve Rankine teorilerine göre ağırlık istinat duvarlarının üzerine gelen yükler Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Duvarın arkasında yer alan dolgunun koşulları Rankine teorisinden farklı ise yani duvar ile zemin arasında bir sürtünmenin olması ve dolgunun yatayla  $\alpha$  açısı yapması durumunda, Coulomb teorisine göre hesap yapılmak istenirse kaymaya hazır bir zemin kütesinin varlığı kabul edilmiş olunur ve duvar arkasında etkiyen Pa kuvveti normalle sürtünme açısı  $\delta$  kadar bir farkla etki etmektedir. Rankine teorisine göre duvarın düşey ve sürtünmesiz, ayrıca dolgunun yatay konumda olması durumunda, hem düşey hem de yanal gerilmeler birer asal gerilme olup duvar arkasındaki göçmeye ulaşıldığında düşey gerilme büyük asal gerilme, aktif gerilme ise küçük asal gerilme değerindedir. Duvar arkasında yer alan dolgunun belirli bir eğime sahip olması durumunda ise yanal toprak basınçları Ka değiştirilmiş aktif toprak basıncı katsayısı yardımıyla hesaplanır. Rankine göre aktif toprak basıncının normalle yaptığı açı, dolgunun yatayla yaptığı açıya yani  $\alpha$  açısına eşittir. Düşey kuvvet R ise temel üzerindeki tüm düşey kuvvetlerin toplamıdır. Bu R düşey bileşke kuvvetinin uygulama noktasının sistemin ekseninden olan uzaklığına ise eksantrisite denilmektedir. Eksantrisite değeri 4.2 bağıntısı yardımıyla bulunabilmektedir. X terimi sistemin ağırlık merkezini, e ise eksantrisite değerini göstermektedir. Eksantrisite değerinin B/6 değerini, R kuvvetinin uygulama noktası olan x değerinin ise B/2’yi geçmemesi istenmektedir. (Özden, Trupia, Eren, Öztürk, 1995)

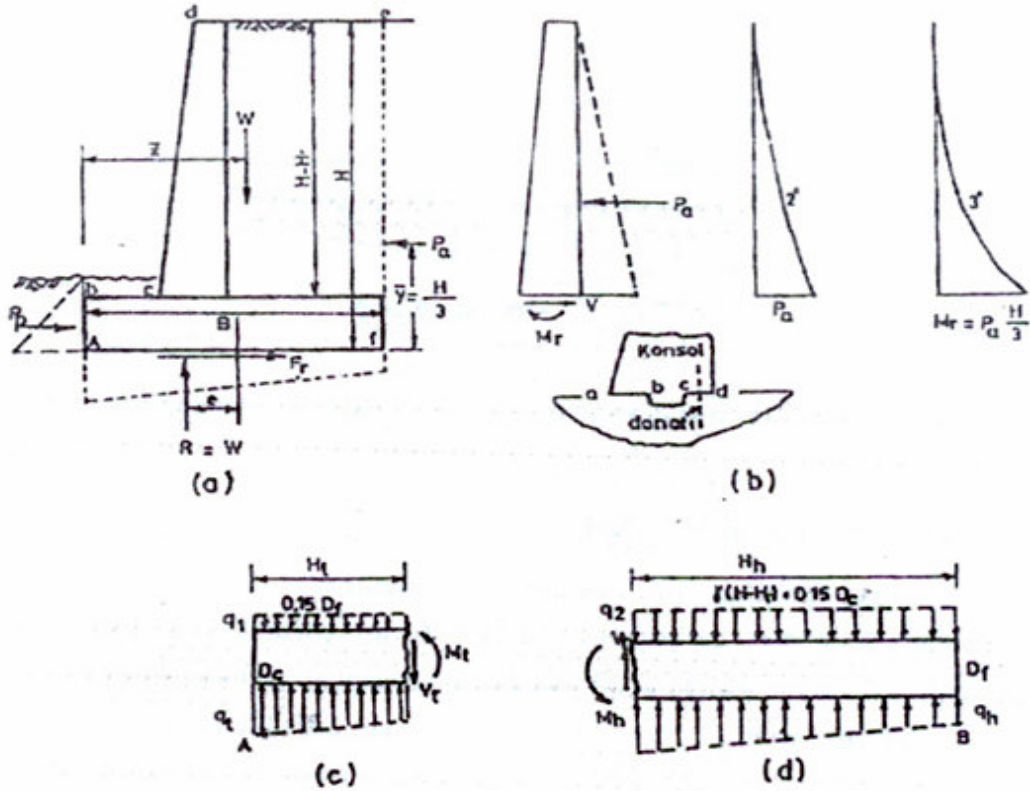
$$X = \frac{\sum M_{(NET)}}{R} \quad (4.1)$$

$$e = \frac{B}{2} - X \quad (4.2)$$



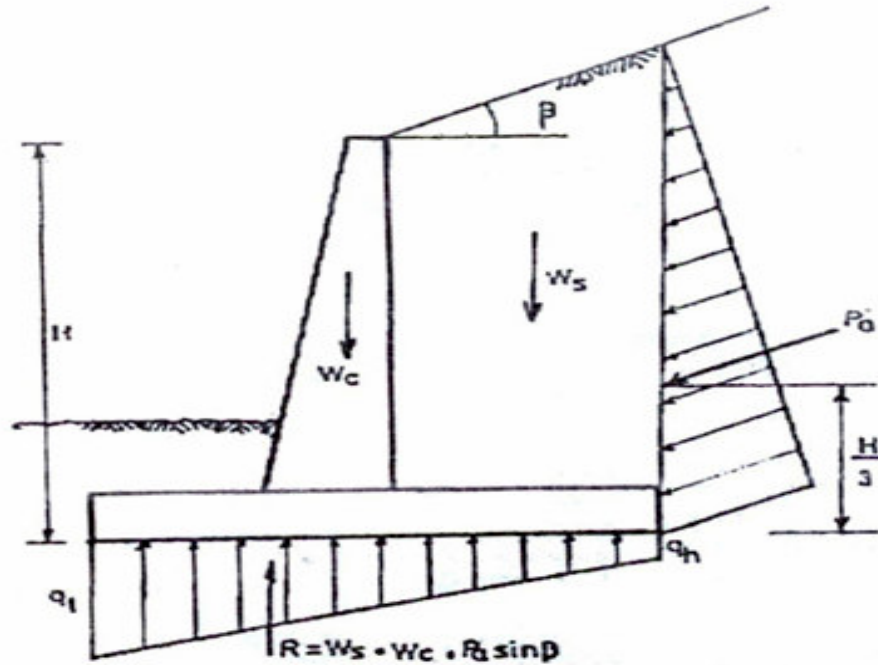
Şekil 4.1 İstinat duvarlarındaki kuvvetler (a) Coulomb analizi (b) Rankine Analizi Ağırlık İstinat Duvarlarının Üzerine Gelen Yükler

Konsol istinat duvarına gelen yükler Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. 6m civarındaki konsol istinat duvarlarının projelendirilmesinde Rankine, 6m'nin üzerindeki konsol istinat duvarlarının projelendirilmesinde ise Coulomb hesap tekniğinin kullanılması uygun görülmektedir (Bowles, 1974).



Şekil 4.2 Konsol istinat duvarındaki kuvvetler (a) Tüm sistemde, (b) Konsolda (c) Ön Ampatmanda (d) Arka ampatmanda (Bowles, 1974)

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de görülen ampatman üzerinde bulunan zeminden dolayı meydana gelen pasif basınç genellikle ihmal edilebilir. Kaymaya karşı büyük bir direnç sağlanmasına karşın, herhangi bir inşaat veya benzer bir sebeple zemin uzaklaştırıldığı takdirde duvar stabilitesi bozulacaktır.



Şekil4.3 Konsol istinat duvarında aktif toprak basıncı ve taban basıncı (Bowles, 1974)

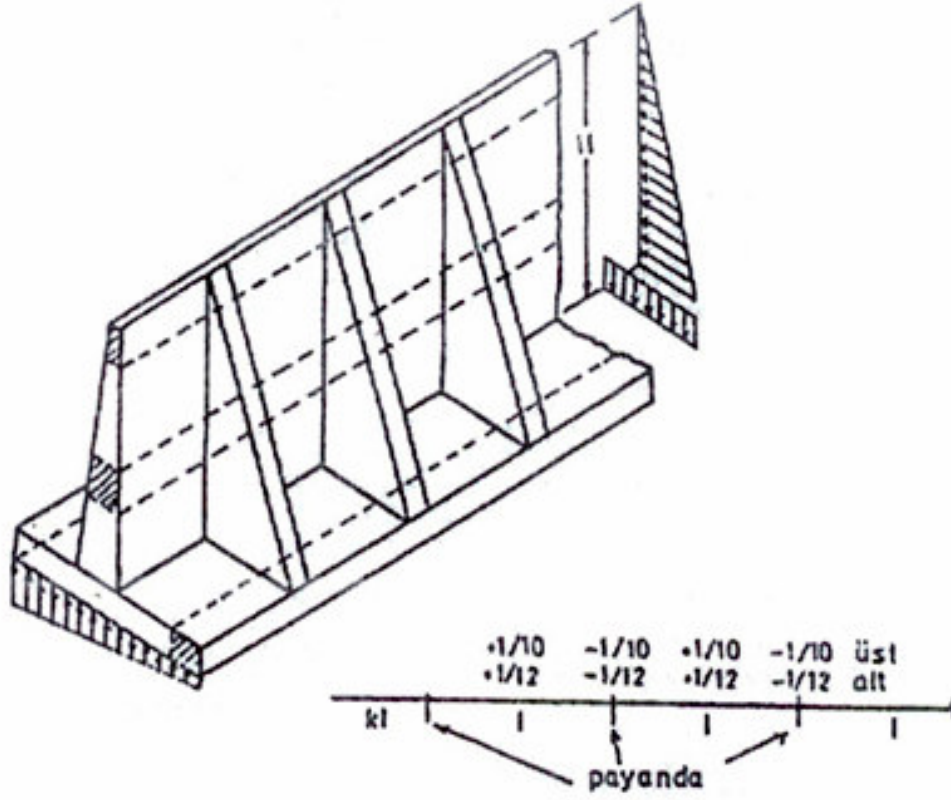
## 4.2 Payandalı İstinat Duvarları

Bu tür istinat duvarlarının hesapları plak teorisine göre yapılabilir. Çözüm yapılırken payanda ağırlığı ihmal edilebilir. Şekil 4.4’de payandalı istinat duvarının maruz kaldığı kuvvetler gösterilmiştir. Aynı şekilde çeşitli parçaların (konsolun üstünde, ortasında, ve radyede) taralı olduğu görülmektedir. Çözüm yöntemi bu parçaları kiriş olarak kabul eder. Buradaki basınç diyagramı üçgen şeklinde olacaktır. Her parça eşdeğer kiriş olarak esas alınarak, elde edilen moment dağılımından, eğilme momentleri hesaplanabilir. Kiriş kabul edilen parçacıklarda oluşan momentler aşağıdaki gibi ifade edilir.

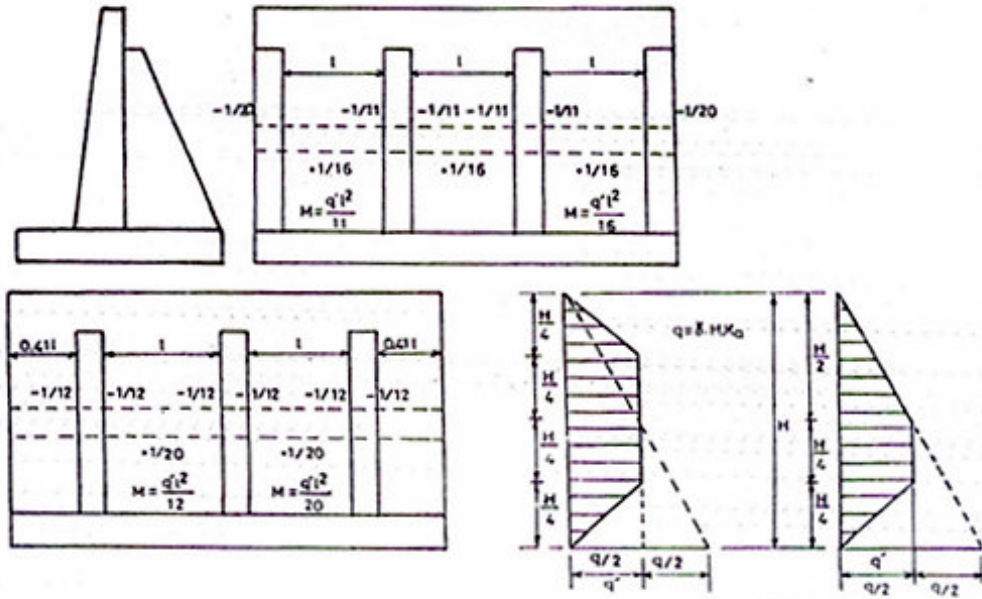
$$M = \frac{q^* l^2}{10} \quad (\text{Konsol üst kısmında}) \quad (4.3)$$

$$M = \frac{q^* l^2}{12} \quad (\text{Konsolun radyeye yakın yerinde}) \quad (4.4)$$

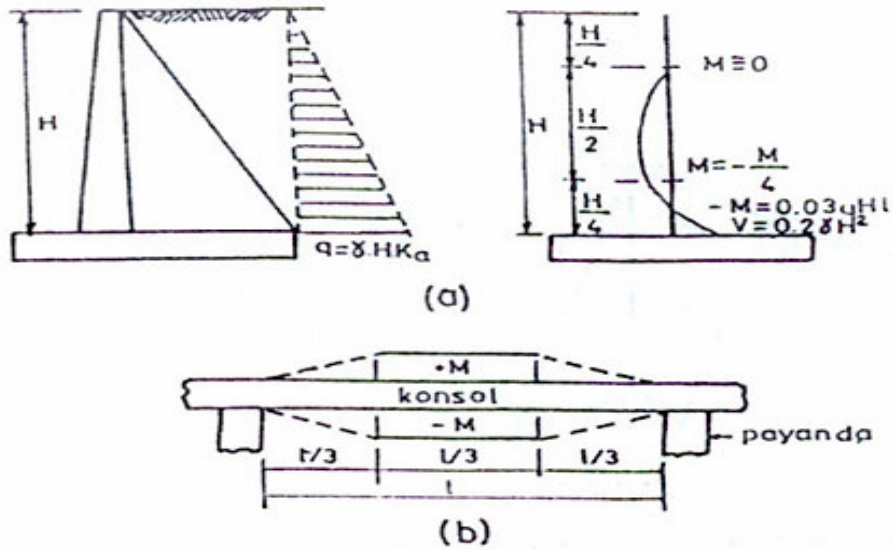
$$M = \frac{q^* l^2}{10} \quad (\text{Arka ampattmanın bütün birim parçalarında}) \quad (4.5)$$



Şekil4.4 Payandalı istinat duvarının analizi



Şekil4.5 Payandalı istinat duvarları için yatay yönde eğilme momentleri (Bowles,1974)



Şekil4.6 Huntingtan'a göre düşey momentlerin dağılışı (Bowles, 1974)

Bu tür istinat duvarlarında ön ampırtman bir konsol kiriş gibi, arka ampırtman ise sürekli kiriş

gibi davranır. Payandalar ise bir T kiriş gibi davranırlar. Kirişlerin ağırlıklarının yüksek değerlere ulaşmasına karşın oluşan gerilmeler düşüktür. Bu nedenle de analiz edilmelerine gerek duyulmaz. Payandalar momentten oluşan basınca karşı mukavemet gösterirler ve yalnızca basınçta kiriş gibi davranırlar. Gerilme donatısı da yatay olarak uzanarak konsol ile payandayı birbirine bağlar. Payandanın eğilimi gerilmelerin gerektirdiği donatıya göre belirlenir.

### 4.3 Sürşarj Yükünden Dolayı Duvarların Üzerine Gelecek Yanal Toprak Basıncı

Duvar arkası aktif zemin itkisinin yanı sıra zemin üzerine etkiye olasılığı olan çizgisel veya şerit bir yükün duvara yapacağı etki, elastisite kuramı yoluyla aşağıdaki gibi bulunabilir(Yıldırım, 2002).

#### 4.3.1 Çizgisel Yük

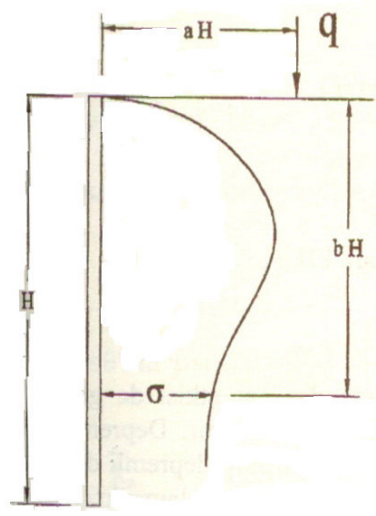
Elastisite teorisine göre  $q$  büyüklüğündeki çizgisel yük yükün istinat duvarında  $z$  derinliğinde yaratacağı gerilme bağıntı 4.6'da olduğu gibi bulunabilir.

$$\sigma = \frac{2q}{\pi * H} * \frac{a^2 * b}{(a^2 + b^2)^2} \quad (4.6)$$

Zeminler mükemmel şekilde bir elastik ortam olmadığından bazı sapmalar olması beklenmektedir. Bu durumu dikkate alarak gerekli düzeltmeler yapıldığında bağıntı aşağıdaki formları alabilmektedir.

$$\sigma = \frac{4q}{\pi * H} * \frac{a^2 * b}{(a^2 + b^2)} \quad a > 0.4 \quad (4.7)$$

$$\sigma = \frac{q}{H} * \frac{0.203b}{(0.16 + b^2)} \quad a \leq 0.4 \quad (4.8)$$



Şekil4.7 Çizgisel yükün duvara etkisi

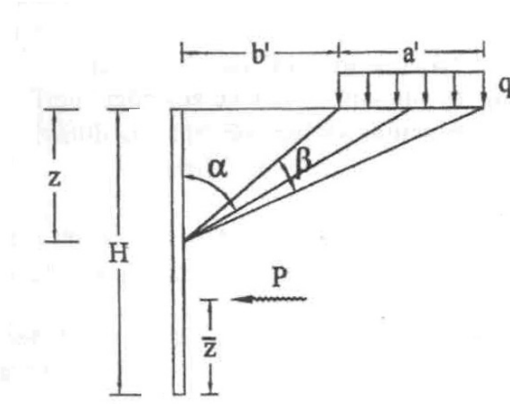
#### 4.3.2 Şerit Yük

$$\sigma = \frac{2q}{H} (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha) \quad (4.9)$$

Toplam itki bağıntı 4.10 yardımıyla bulunabilir.

$$P = \frac{q}{90} [H(\theta_2 - \theta_1)] \quad (4.10)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{b'}{H} \right) \quad (4.11)$$



Şekil 4.8 Şerit yükün duvara etkisi

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{a' + b'}{H} \right) \quad (4.12)$$

Toplam itkinin tabandan uzaklığı  $\bar{z}$  için bağıntı 4.13'ten yararlanılır.

$$\bar{z} = H - \frac{1}{2 * H * (90 - \theta_2)} * (H^2 (\theta_2 - \theta_1) + (R - Q) - 57.30 * a' H) \quad (4.13)$$

$$R = (a' + b')^2 * (90 - \theta_2) \quad (4.14)$$

$$Q = b'^2 (90 - \theta_2) \quad (4.15)$$

## 5. İSTİNAT DUVARLARININ STABİLİTESİ

İstinat duvarlarının stabilitesinin kontrolü için aşağıdaki adımlar takip edilebilir.

- 1) İstinat duvarının devrilme (dönme) kontrolü
- 2) İstinat duvarının tabanındaki ötelenmeden dolayı kaynaklanabilecek göçmenin kontrolü
- 3) İstinat duvarının tabanındaki taşıma gücü kapasitesinin göçmeye karşı kontrolü
- 4) İstinat duvarının yapacağı oturmanın kontrolü
- 5) Genel stabilitenin kontrolü

Bu bölümde istinat duvarlarının stabilite kontrollerinde yapılması gereken dönme , ötelenme ve taşıma gücü kapasitesi kontrollerine değinilecektir.

### 5.1 Ötelenmeye Karşı Güvenlik

İstinat duvarlarında kaymaya karşı güvenliğinin kontrolü, duvarın kaymasına neden olan kuvvetlerin, duvarın kaymasına karşı koyan kuvvetlere oranı şeklinde hesaplanmaktadır. Bu değerlendirmeyi yaparken kullanmamız gereken kuvvetler kısaca aşağıda açıklanmıştır.

1) Duvarın kaymaya zorlanması durumunda, karşı koyan kuvvetler

- İstinat duvarının ağırlığı
- Topuğun üzerinde bulunan zemin kütesinin ağırlığı
- Aktif toprak basıncının düşey bileşeni
- Tabanda bulunan zeminle istinat duvarı arasındaki adhezyondan doğan mukavemet
- Eğer dikkate alınırsa ön ampatmanda oluşan pasif basınç

2) Duvarın kaymasına neden olan kuvvetler

- Aktif toprak basıncının yatay bileşeni

Güvenlik sayısı olarak, granüler zeminlerde en az 1.5 kullanılır ve depremin meydana gelebileceği durumlar için bu sayı granüler zeminler için en az 1.1 alınır (Yıldırım, 2002). Kohezyonlu zeminler için pratikte kaymaya karşı güvenlik sayısı deprem sırasında 1.3 alınabilir. Kaydırmaya karşı koyan kuvvetlerden ilk üçü duvar zemin sürtünme açısı ile çarpılır. İstinat duvarlarının tasarımında duvar-zemin arasındaki sürtünme açısı değeri genellikle  $\Phi/2$  ile  $2/3\Phi$  arasında kabul edilir. Sonuçta bu değer aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\mu = \tan(2/3\phi) \quad (5.1)$$

Ayrıca aşağıdaki çizelgeden de faydalanılabilir.

Çizelge 5.1 Zeminlerin içsel sürtünme açıları ile betonarme plak arasındaki  $\mu$  sürtünme katsayıları

| Zemin cinsi                                                | $\Phi$ | $\mu$   |
|------------------------------------------------------------|--------|---------|
| İnce tataneler ihtiva etmeyen çok geçirgen kum veya çakıl  | 33-40  | 0.5-0.6 |
| Siltle karışık kum veya çakıl, geçirgenliği düşük zeminler | 25-35  | 0.4-0.5 |
| Siltli kum, çok killik kum veya killi çakıl                | 23-30  | 0.3-0.4 |
| Orta sertlikte çakıl                                       | 25-35  | 0.2-0.4 |

Tabanda bulunan zeminlerin cinsi kohezyonlu ise duvar ile arasında oluşacak adhezyondan dolayı kaymaya karşı bir direnç meydana getirecektir. Oluşabilecek bu direnç duvarın tabanının uzunluğu ile zeminin kohezyonunun çarpımı ile hesaplanır. Yalnız temel kazısının zeminde oluşturacağı değişikliklerden dolayı, zeminin kohezyonu azaltılmalıdır. Oluşabilecek bu azaltılmış kohezyonu  $c_a$ , aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz (Özden, Turupia, Eren, Öztürk, 1995).

$$c_a = \frac{2c}{3} - \frac{2c}{4} \quad (5.2)$$

Taban plağının altında yer alan zeminler için kayma mukavemeti aşağıdaki gibi hesaplanır

$$s = \sigma * \tan \delta + ca \quad (5.3)$$

$\delta$  = Zemin ile taban plağı arasında sürtünme açısı

$ca$  = Zemin ile taban arasındaki adhezyon katsayısı

Duvarın birim uzunluğu için duvarın kaymasına direnen en büyük kuvvet duvarın tabanındaki plak boyunca şu şekilde çıkarılabilir.

$$R' = s * (alan) = s * (B * 1) = B * \sigma * \tan \delta + B * c_a \quad (5.4)$$

$$B * \sigma = \sum V \quad (5.5)$$

$$R' = (\sum V) * \tan \delta + B * c_a \quad (5.6)$$

Ayrıca Şekil 5.1'de gözüken Pp kuvvetide yatayda kaymaya karşı direnen kuvvetlerden biridir. Dolayısıyla Pp'nin içinde bulunduğu bağıntılardan biri aşağıda gösterilmiştir.

$$\sum F_{R'} = (\sum V) * \tan \delta + B * c_a + Pp \quad (5.7)$$

Daha önce yukarıda da söylendiği gibi kaymaya neden olan tek kuvvet sadece aktif kuvvetin (Pa) yatay bileşenidir.

$$\sum F_D = Pa * \cos \alpha \quad (5.8)$$

Yukarıda açıklanan değerler yardımıyla ötelenmeye karşı güvenlik aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$FS_{(kayma)} = \frac{(\text{Kaymaya karşı koyan kuvvetler})}{(\text{Kaymaya neden olan kuvvetler})} \quad (5.9)$$

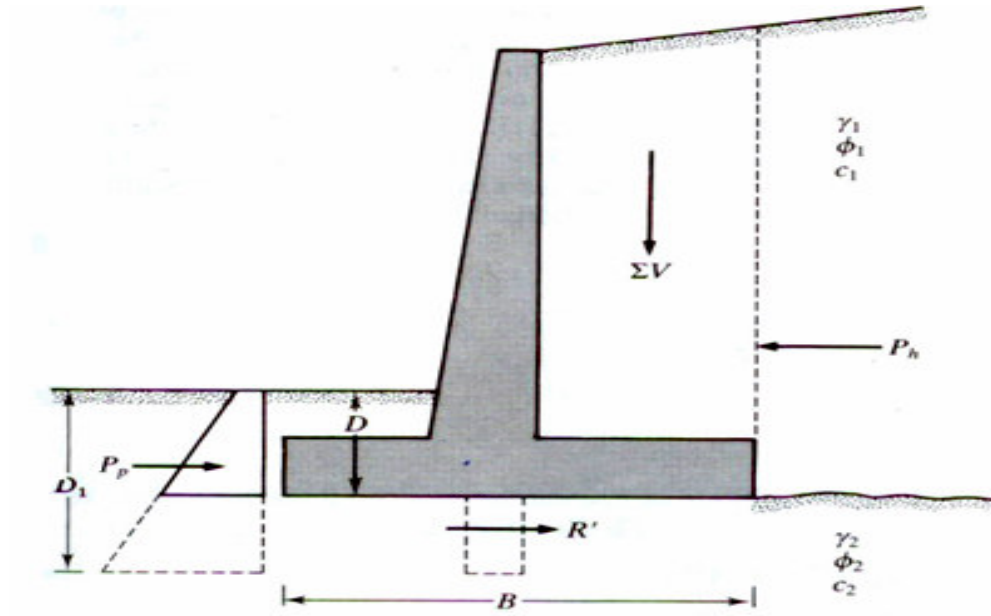
5.9 bağıntısının açık şekli şöyledir.

$$FS_{(kayma)} = \frac{(\sum V) * \tan \delta + B * c_a + Pp}{Pa * \cos \alpha} \quad (5.10)$$

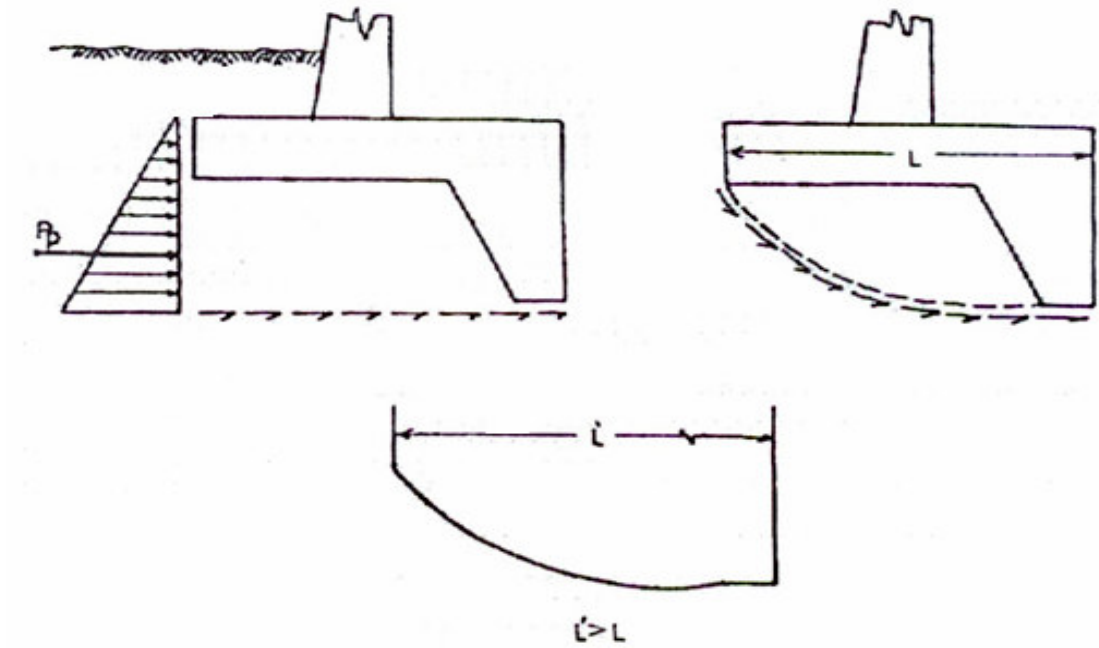
$$FS_{(kayma)} = \frac{(\sum V) * \tan(k_1 * \phi_2) + B * k_2 * c_2 + Pp}{Pa \cos \alpha} \quad (5.11)$$

Bazı durumlar için kaymaya karşı güvenliği artırmak amacıyla istinat duvarlarına dış yapılabilir. Dış yapmanın amacı sürtünme kuvvetini arttırarak pasif toprak basıncından faydalanmaktır. Fakat duvara etkiyen aktif toprak basıncının artması da yapılan çözümle

birlikte ortaya çıkan bir dezavantajdır.

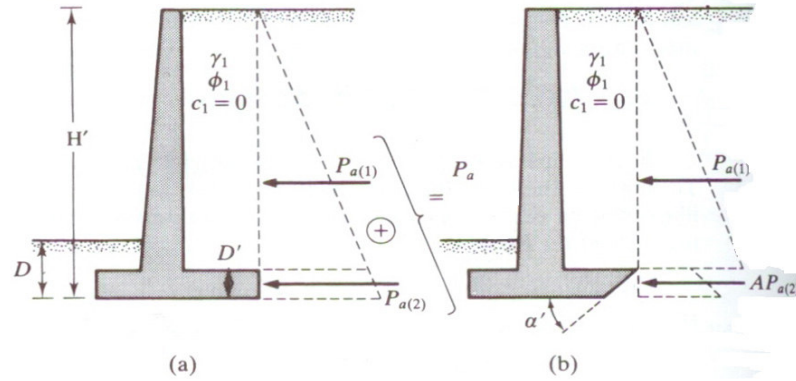


Şekil5.1 İstinat duvarının taban boyunca kaymaya karşı kontrolü



Şekil5.2 Radyeye dış yapılması halinde sürtünme uzunluğunun ve pasif basıncın artışı

Diş yapılması dışında  $F_{s(kayma)}$  değerinin artırılması için yapılabilecek diğer bir çözüm de aktif toprak basıncı,  $P_a$  değerini düşürmektir. Bunu yaratmak ise Elman ve Terry (1988) tarafından geliştirilen yöntemle mümkün olmaktadır. Önerilen yöntem yatay granüler dolgu malzemesiyle sınırlandırılmıştır. Şekil 5.3'te gösterildiği gibi toplam aktif toprak basıncı  $P_{a1}$  ve  $P_{a2}$  değerlerinin toplamıdır. Eğer topuk bölgesinde bir eğim yapılırsa  $P_{a2}$  toprak basıncında bir azalma ortaya çıkacaktır.



Şekil 5.3 Eğimli topuğa sahip istinat duvarları ve gerilme dağılımı (Das, 1999)

$$P_a = P_{a(1)} + A * P_{a(2)} \quad (5.12)$$

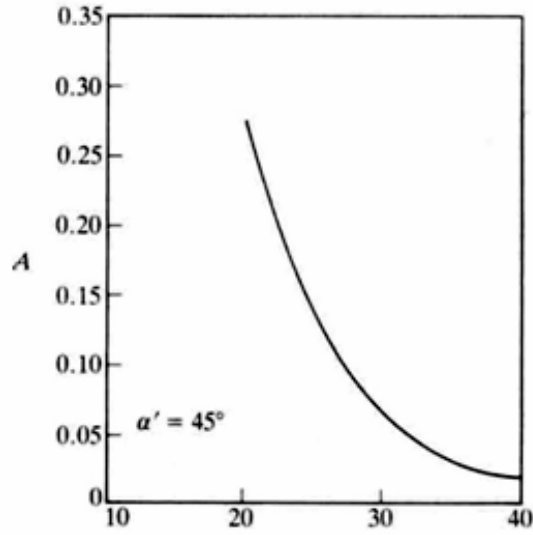
$$P_{a(1)} = 1/2 * \gamma_1 * K_a * (H' - D')^2 \quad (5.13)$$

$$P_{a(2)} = 1/2 * \gamma_1 * K_a * [H'^2 - (H' - D')^2] \quad (5.14)$$

Şekil 5.4(b)'de gösterilen aktif toprak basıncı değeri aşağıdaki bağlantı yardımıyla bulunabilir.

$$P_a = 1/2 * \gamma_1 * K_a * (H' - D')^2 + A/2 * \gamma_1 * K_a * [H'^2 - (H' - D')^2] \quad (5.15)$$

Burada formülde yer alan A değeri Şekil 5.4'ten bakılarak değeri tespit edilir.



Şekil 5.4 A katsayısı değerleri(Das, 2002)

İstinat duvarının topuğuna eğim verilmesi bazı durumlarda oldukça faydalıdır.

Deprem sırasında aşağıdaki ilave kuvvetlerin dikkate alınması gerekir

- Depremden dolayı oluşan ilave aktif toprak basıncı
- Deprem etkisiyle duvar kütlelerinin oluşturduğu yanal itki

## 5.2 Dönmeye Karşı Güvenlik

Bir istinat duvarında dönmeye karşı güvenlik sayısı, ön ampatman alt ucuna göre alınan momentlerden, dönmeye karşı direnen momentlerin toplamının , duvarı döndürmeye çalışan kuvvetlere oranıdır. Granüler zeminlerde bu değer en az 2 olması yeterlidir. Fakat depremli yükleri altında bu değer 1.3 alınması uygundur(Yıldırım,2002). Dönme tahkikinde kullanılan momentlere yol açan kuvvetler aşağıda sıralanmıştır.

- Aktif zemin basıncının yatay bileşeni
- İstinat duvarının ağırlığı
- Topuk üzerindeki zeminin ağırlığı
- Göz önüne alınırsa ön ampatmanda oluşan pasif zemin basıncı

Dönmeye karşı güvenlik aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$F_{S(dönme)} = \frac{\sum Mr}{\sum Mo} \quad (5.16)$$

$\sum Mo$ = Duvarın ayağında, duvarı döndürmeye çalışan kuvvetlerin momentleri toplamı

$\sum Mr$ = Duvarın ayağında, duvarın dönmesine engel olan kuvvetlerin momentlerinin toplamı

$$\sum Mo = Ph * \frac{H'}{3} \quad (5.17)$$

$$Ph = Pa * \cos \alpha \quad (5.18)$$

Duvarın dönmesine direnen kuvvetler olarak duvarın kendi ağırlığı ve arka ampatmanda topuğun üzerinde yer alan zeminin ağırlığı yer almaktadır. Bu kuvvetlere ek olarak aktif toprak basıncının düşey bileşeni olan  $P_v$ 'de katkıda bulunmaktadır.

$$P_v = Pa * \sin \alpha \quad (5.19)$$

Deprem kuvvetlerinin etkiyebileceği durumlar için de ötelenme güvenliğinde bahsedilen ve depremde oluşabilecek yüklerin oluşturduğu momentler de dikkate alınır. Şekil 5.5'te konsol ve ağırlık duvarlarının üzerine topuktan başlayan AB düşey düzlemi boyunca etkiyen Rankine aktif toprak basıncı gösterilmektedir.  $P_p$  olarak gösterilen Rankine pasif toprak basıncının büyüklüğü bağıntı 5.17'deki gibi bulunabilmektedir.

$$P_p = 1/2 * K_p * \gamma_2 * D^2 + 2 * c_2 * \sqrt{K_p} * D \quad (5.20)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) \quad (5.21)$$

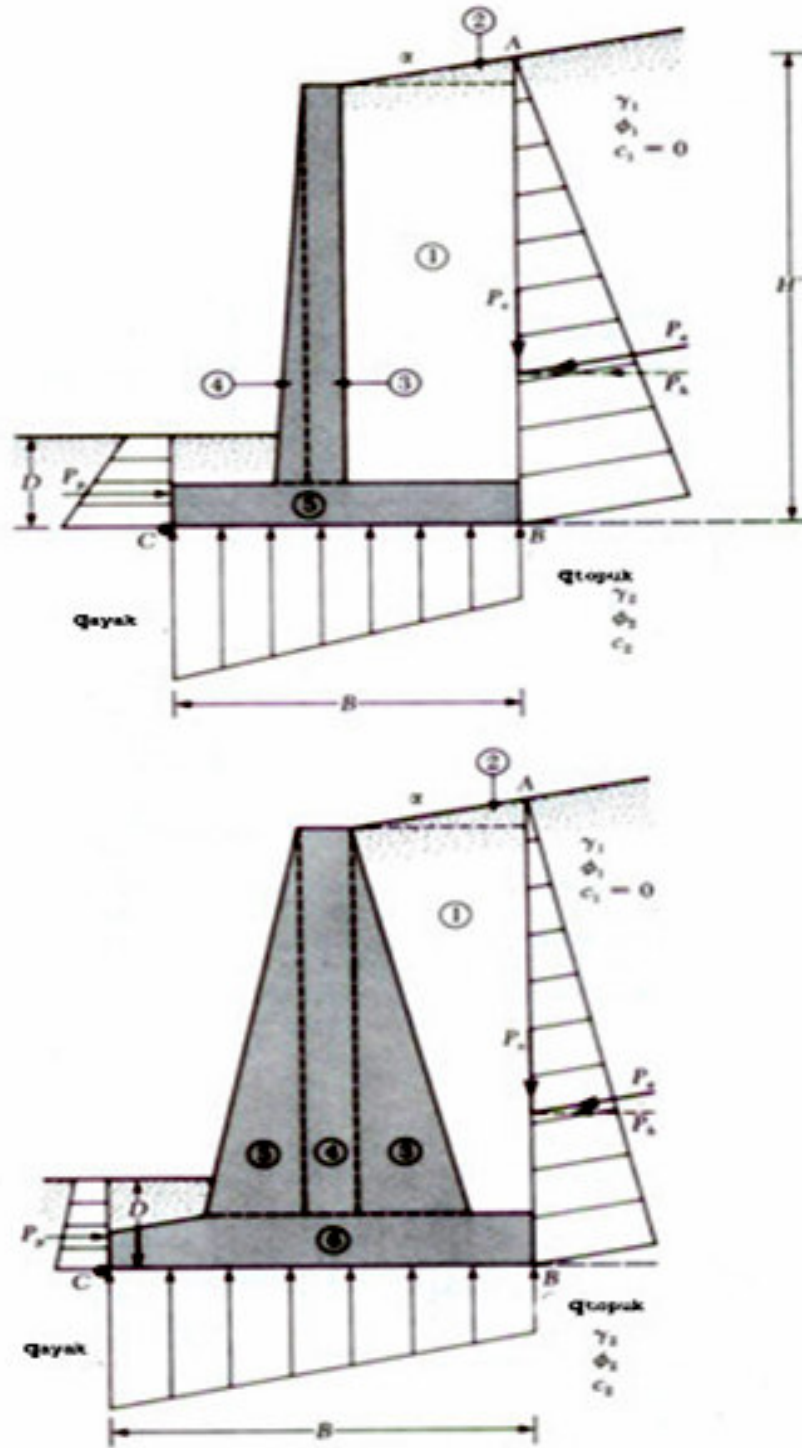
$\gamma_2$ = Topuğun önünde ve taban plağının altında yer alan zeminin birim hacim ağırlığı

$K_p$ =Rankine pasif toprak basıncı katsayısı

$\phi_2$ = Zeminin içsel sürtünme açısı

$c_2$ = Zeminin kohezyonu

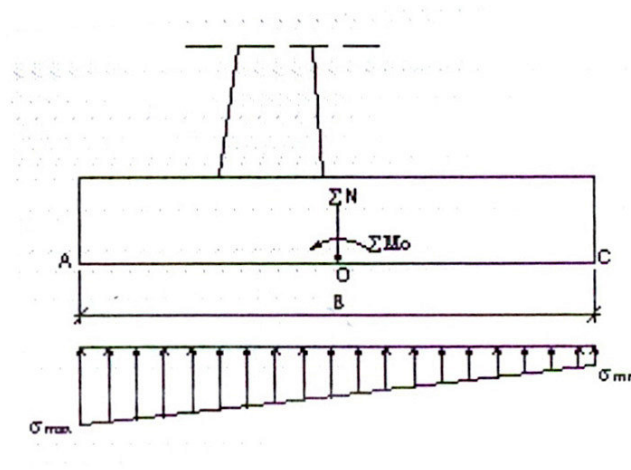
İstinat duvarının dönmesine neden olabilecek kuvvet sadece aktif toprak basıncının yatay bileşenidir. Bağıntı 5.18 yardımıyla bulunabilir.



Şekil5.5 Dönme tahkiklerinde Rankine teorisine göre oluşan kuvvetler(Das, 1999)

### 5.3 Taşıma Gücü Yönünden Güvenlik

Tabanda istinat duvarından zemine iletilen düşey basıncın zeminin nihai taşıma kapasitesine göre kontrol edilmesi gerekmektedir. İstinat duvarlarında, ön ampatmanda en büyük, arka ampatmanda ise en küçük zemin basıncı değerleri oluşur. Aşağıdaki şekilde bu durum gösterilmektedir.



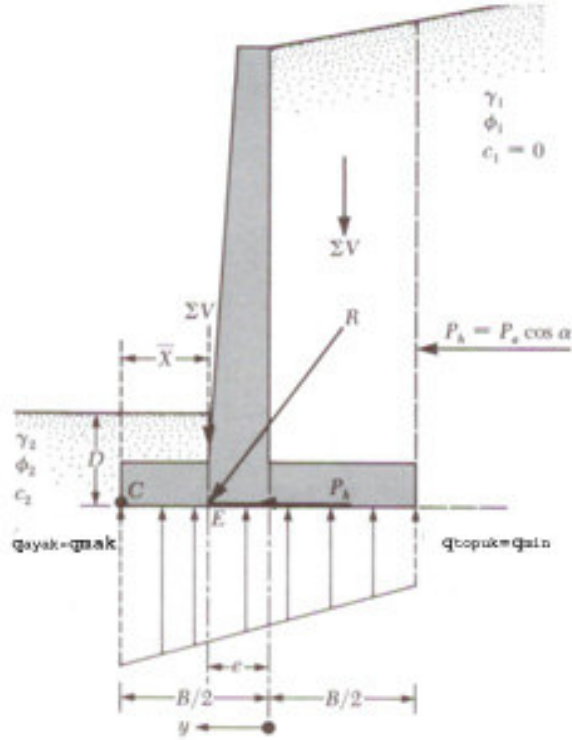
Şekil5.6 En büyük ve en küçük zemin gerilmelerinin dağılımı

Burada  $\sum V$  düşey yüklerin toplamını,  $M_o$  ise taban plağının ortasına göre alınan toplam momenti göstermektedir. Deprem durumunda toplam moment ve toplam kuvvet için depremden oluşan ilave yüklerin etkisi dikkate alınacaktır.

Kuvvetlerin oluşturduğu net moment bağıntı 5.22'de gösterilmektedir.  $\sum M_o$  duvarın dönmesi için çalışan kuvvetlerin momentleri toplamı,  $\sum M_r$  ise duvarın dönmesine engel olan kuvvetlerin yarattığı momentlerin toplamıdır.

$$\sum M_{net} = \sum M_r - \sum M_o \quad (5.22)$$

Bileşke kuvveti  $R$  taban plağındaki  $E$  noktasında etkimektedir. Şekil 5.7’de görülen  $CE$  bağıntı 5.23’teki gibi bulunur. Dolayısıyla bileşke  $R$ ’nin yapmış olduğu eksantrisite bağıntı 5.24 yardımıyla bulunur.



Şekil 5.7 Stabilité kontrollerinde taşıma gücü kapasitesi kontrolü(Das,1999)

$$CE = X = \frac{M_{net}}{\sum V} \quad (5.23)$$

$$e = \frac{B}{2} - X \quad (5.24)$$

İstinat duvarının taban plağının altındaki basınç dağılımı mekaniğinin aşağıda gösterilen temel prensiplerinden birini kullanarak bulunabilmektedir.

$$q = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_{net} * y}{I} \quad (5.25)$$

$$\sum M_{net} = (\sum V) * e \quad (5.26)$$

$I = 1/12 * (1) * (B^2) =$  Birim uzunluk için taban kısmının atalet momentine eşittir.

En büyük ve en küçük basınçların bulunması için  $y$  değerinin yerine  $B/2$  uzunluğu girilmelidir.

$$q_{mak} = q_{ayak} = \frac{\sum V}{B * 1} + \frac{e * (\sum V) * B / 2}{(1/12) * (B^3)} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (5.27)$$

$$q_{min} = q_{topuk} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (5.28)$$

$\sum V$  'nin içinde zeminin ağırlığı da alınmış durumdadır ve eksantrisite değeri,  $(e)$   $B/6$  değerinden daha büyük olursa  $q_{min}$  değeri negatif bir değer alacaktır. Bu durumun bir sonucu olarak da topuk kısmının sonuna doğru çekme gerilmeleri oluşacaktır. Çekme gerilmelerinin bu bölgede etkimesi istenmeyen bir durumdur. Çünkü zeminlerin çekme dayanımları oldukça düşüktür. Tasarım sırasında yapılan analizlerde  $e > B/6$  olması durumunda duvarın boyutlarının oranları tekrar gözden geçirilerek yeni bir hesap yapılmalıdır.

Stabilitenin sağlanması için, zeminin en büyük taban gerilmesinin ( $q_{mak}$ ) zeminin güvenli taşıma gücü,  $q_a$  değerinden küçük olması gereklidir.

#### 5.4 Yüzeysel Temeller için Güvenli Taşıma Gücü

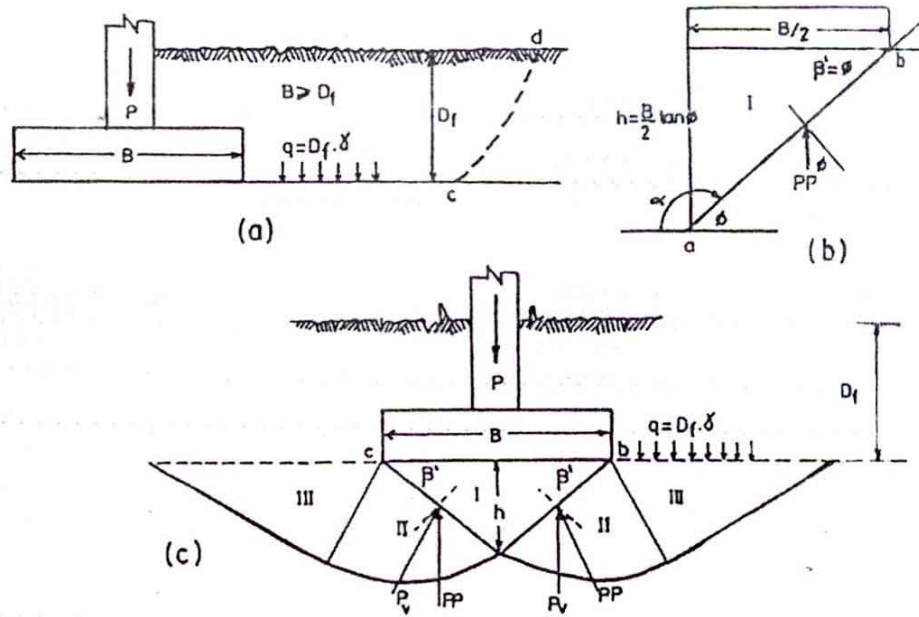
İstinat duvarlarının taban stabilitesi tahkikleri yapılırken, zeminin güvenli taşıma gücünün bilinmesi gerekmektedir. Bir temelin taşıma gücü zeminde göçme meydana gelmeden, kayma dayanımı aşılmadan zemine aktarabileceği en büyük gerilme olarak tanımlanabilir. Temel zeminin sıkılığına veya sertliğine bağlı olarak başlıca 3 tür göçme mekanizması gözlemlenmektedir. Bunlar

- 1) Genel göçme
- 2) Yerel göçme
- 3) Zımbalama göçmesi

Göçme mekanizmaları için ilk analitik çözümler Terzaghi(1943) tarafından şerit temeller için geliştirilmiştir. Terzaghi taşıma gücü eşitliklerinde gerek varsayımlar, gerekse dikkate

alınmayan eğiklik, eksantrik yükleme gibi etkiler yapılan daha geniş kapsamlı çalışmalar sonucu geliştirilen eşitlikler ile dikkate alınabilmektedir ve bu eşitlikler “Genel Taşıma Gücü Eşitlikleri” adı altında bilinmektedir.

$$qu = cNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + \frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (5.29)$$



Şekil 5.8 Taşıma gücü modeli

İstinat duvarları için zeminin taşıma gücü kapasitesi incelenirken  $F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$  şekil faktörleri sürekli temel gibi düşünülerek bu değerlerin tümü 1 olarak alınabilir.

$Nc, Nq, N_\gamma, \phi$  içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörleri olup bunlardan  $Nc, Nq$  her taşıma gücü eşitliklerinde ortaktır.  $N_\gamma$  için değişik öneriler olup eşitlik buna göre adlandırılmaktadır.

$$Nq = \tan^2(45 + \phi/2) * e^{\pi \tan \phi} \text{Reissner(1924)} \quad (5.30)$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi \quad \text{Prandtl(1921)} \quad (5.31)$$

$$N_\gamma = 2(Nq + 1) \tan \phi \quad \text{Vesic(1973)} \quad (5.32)$$

$$N\gamma = (Nq - 1) \tan(1.4\phi) \quad \text{Meyerhof(1963)} \quad (5.33)$$

$$N\gamma = 1.5(Nq - 1) \tan \phi \quad \text{Hansen(1970)} \quad (5.34)$$

Derinlik faktörleri için Hansen(1970) tarafından yapılan öneriler aşağıda gösterilmektedir.

$$\frac{Df}{B} \leq 1 \text{ için } F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{Df}{B} \quad (5.35)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{Df}{B} \quad (5.36)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (5.37)$$

$$\frac{Df}{B} > 1 \text{ için } F_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left( \frac{Df}{B} \right) \quad (5.38)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left( \frac{Df}{B} \right) \quad (5.39)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (5.40)$$

Derinlik faktörleri için Meyerhof'un önerileri aşağıda verilmiştir

$$F_{cd} = 1 + 0.2 \frac{Df}{B} \quad F_{\gamma d} = F_{qd} = 1 \quad (5.41)$$

$$F_{cd} = 1 + 0.2 \frac{Df}{B} \tan(45 + \phi) \quad F_{\gamma d} = F_{qd} = 1 + 0.1 \frac{Df}{B} \tan(45 + \phi / 2) \quad \phi > 10 \quad (5.42)$$

Derinlik faktörlerinde eksantrik yük etkimesi durumunda gerçek temel genişliği B ve gerçek temel uzunluğu L kullanılacaktır.

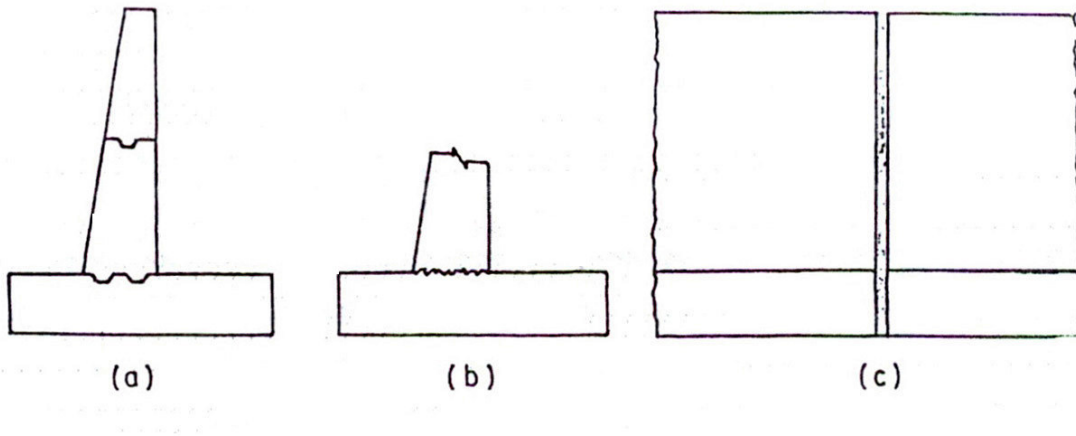
Eğilimlik faktörleri için aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir.

( $\phi > 0$ ) Hanna ve Meyerhof(1981)

$$F_{ci} = F_{qi} = (1 - \beta / 90)^2 \quad F_{\gamma i} = (1 - \beta / f)^2 \quad (5.43)$$

### 5.5 Birleşimler

İstinat duvarları inşa edilirken kalıp ve aşırı deformasyonlardan dolayı beton dökümü tek seferde yapılmaz . Bundan dolayı soğuk derz denilen birleşim yerleri oluşturulur. Bu birleşim yerlerinde kesme kuvvetinin karşılanması ve farklı zamanda dökülen betonun birbiriyle kenetlenmesi için dişler oluşturulur(Şekil 5.9a). Bunun dışında yeni betonun geleceği bölge temizlendikten sonra pürüzlendirilebilir(Şekil 5.9b).



Şekil 5.9 İstinat duvarlarında çeşitli birleşimler

İkinci tip derzler ise ısı değişiminden ve oluşabilecek farklı oturmalarından dolayı duvar sürekliliğini bölerek oluşturulan derzlerdir(Şekil 5.9c). Bu bölgelerde donatı kullanılmaz ve bu boşluklar strapor veya bitümlü sünger ile doludur(Bowles, 1974).

### 5.6 Drenaj Önlemleri

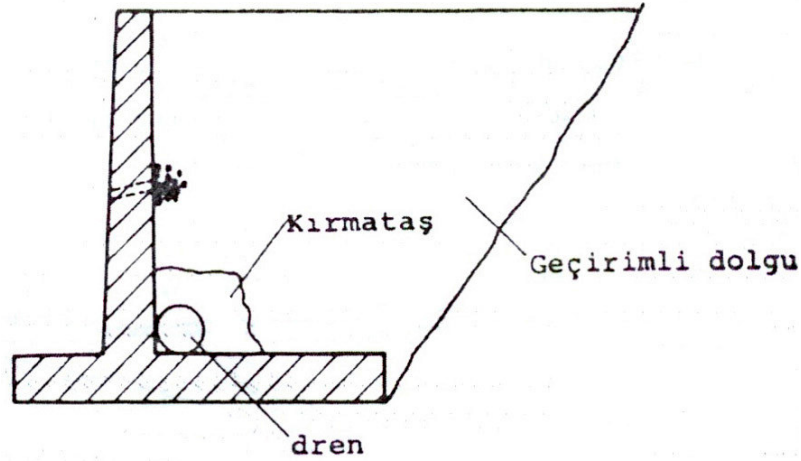
İstinat duvarlarında ortaya çıkan en önemli problemlerden birisi de drenajın sağlanmasıdır. Duvarın arkasında yer alan dolguya sızan yağmur suları bu bölgeden uzaklaştırılmadığında bu bölgede biriken sulardan dolayı duvarın üzerine önemli miktarda bir hidrostatik basınç etkiyebilir. Daha öncede bahsedilmiş limit durumlar için emniyetli durumdan uzaklaşmış olunabilir.

Yeraltı su seviyesinin duvarın taban seviyesinin üzerinde yer alması durumunda ise başka bir tehlike daha ortaya çıkmakta ve kapilaritenin etkisiyle taban seviyesinden daha yüksek

seviyelere çıkan boşluk suyunun donması sonucu hacimde bir genişleme meydana gelmekte ve duvarın üzerine etkiyen itkide bir artış oluşturmaktadır.

Duvarın güvenliği için uygulanacak drenaj sistemi alınacak suyun miktarına, duvar arkasında yer alan dolgu malzemesinin cinsine ve yeraltı su seviyesinin konumuna bağlıdır.

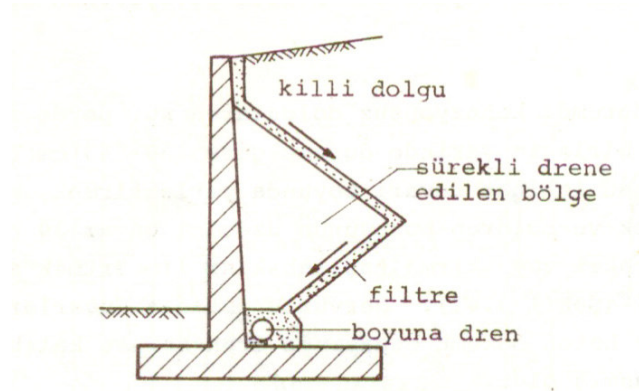
İstinat duvarları tasarlanırken yeraltı su seviyesinin duvarın taban seviyesinin altında olduğu düşünülerek tasarlanmakta, yeraltı su seviyesinin konumunun bu şekilde olmasıyla duvarın güvenliğinde yaratabileceği problemler önlenmeye çalışılmaktadır. Su perde ile arka ampatmanın birleşim yerinde duruma göre 30~40cm çapında, istinat duvarı boyunca giden gerekli eğimi sağlanmış drenaj boruları ile uzaklaştırılabilir. Ayrıca dren borusunun üstü de en az 30 cm çakıl veya kırma taş tabakasıyla kapatılmalıdır(Şekil 5.10). Nervürlü istinat duvarlarında,nervürlerde beton dökümü sırasında dren boruları kalıba konularak geçiş sağlanmalıdır.



Şekil 5.10 Su seviyesinin temel altında olması durumunda uygulanabilecek drenaj sistemi

Duvar yüksekliği büyük olan duvarlarda drene edilecek suların çok olması halinde duvarda barbakan denen su sızdırma delikleri de ayrıca konulabilmektedir. Barbakanların çapı 15 cm civarındadır. Yatayda barbakanların aralıkları 3-5 m arasındadır. Bu deliklerin arkasında da  $0.50 \text{ m}^3$  kadar bir hacimde kırma taş veya çakıl bölge teşkil edilmelidir.

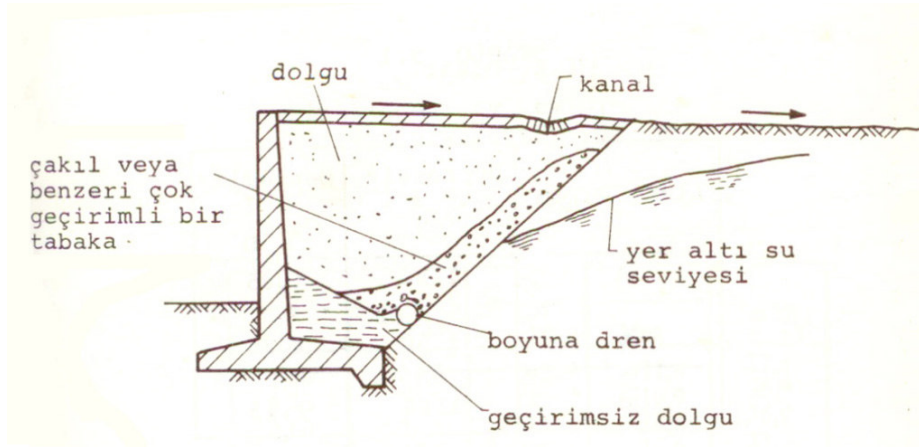
Killi dolgularda yalnız boyuna dren kullanılır. Burada suyu duvarın üzerinden alıp duvar arkasından uzaklaştırarak aşağı indiren ve sonra boyuna drene getiren dirsek şeklinde bir filtre tabakası gereklidir. Bu durum şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Yer altı suyunun temel üstünde olması durumunda uygulanabilecek drenaj sistemi

Mümkün olan yerlerde duvarın arkasında yer alan zemini geçirimsiz ve duvarın arkasına doğru eğimli bir tabaka ile kaplayarak yağmur sularını duvardan uzaklaştırma ve bir kanalda toplayarak uzaklara atılmasına gayret edilmelidir.

Yeraltı su seviyesinin temel seviyesi üstünde olması durumunda uygulaması başarılı sonuç vermiş bir drenaj tipi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Yer altı suyunun temel üstünde olması durumunda uygulanabilecek drenaj sistemi

### **5.7 Dolgu Malzemesi**

İstinat duvarının arkasında yer alacak dolgu malzemesi çok mecbur kalınmadıkça iri daneli kohezyonsuz malzemelerden seçilmelidir. Bu şekilde kohezyonun belirsizliğinden kurtulunmuş ve iyi bir drenaj sağlanması olanağı temin edilmiş olunur.

Dolgu aşırı derecede sıkıştırılmamalıdır. Duvar arkasındaki itki duvar boyunca üniform kalmalı ve duvarın çok ufak bir hareketiyle aktif bir etki meydana gelebilmelidir.

## 6. DEPREM KOŞULLARINDA İSTİNAT DUVARLARININ DAVRANIŞLARI VE HESAP YÖNTEMLERİ

### 6.1 Giriş

İstinat duvarlarının en önemli yapım amacı zeminler veya kayalar için yanal bir destek oluşturmaktır. Bazı durumlarda ise düşey yüklerin desteklenmesi için kullanılmaktadır. Bu tip durumlara verilecek en güzel örnekler bodrum katı duvarları ve köprü kenar ayaklarıdır.

Depremler sırasında statik durumlara göre hesaplanandan daha büyük miktarda aktif toprak basınçları istinat duvarlarına etkimektedir. Böyle durumlarda istinat duvarlarının stabilitesinin analiz edilebilmesi için çeşitli hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler iki grupta toplanabilirler. Bu konuda ilk geliştirilen yöntemler duvarlara gelen dinamik kuvvetleri belirli kabullerle yaklaşık olarak hesaplayan ve eşdeğer bir statik kuvvet olarak dikkate alan yarı-statik yöntemler olarak bilinmektedir. Diğer yaklaşımlar ise duvar ve zeminin dinamik davranışını analiz etmek için yararlanılan sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasıdır. Bu yöntemler kullanılırken dolgunun doğrusal olmayan çözümlerine ağırlık verilerek analizler de yapılabilir.

Depremlerin etkileri gözönüne alınarak yapılan istinat duvarı tasarımları, göçme modunda iki ana katagoride incelenebilir.

- 1) Ağırlık duvarları, stabilite için duvarın kendi ağırlığını kullanmaktadır. Göçme durumu ötelenme ve/veya devrilme şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Bu tip duvarlarda iç kuvvetler ikinci derece öneme sahiptir ve bu duvarlar yaptıkları deplasmanlara göre tasarlanmaktadır.
- 2) Konsol, payandalı ve ankrajlı duvarların tasarımında ise kırılma veya yapısal bileşenlerinden birinin akmasıyla birlikte bir göçme meydana gelebilmektedir. Bu tip duvarlarda eğilme davranışı özel bir önemle incelenmelidir. Genelde ağırlık duvarlarından daha az miktarda deplasman yapmalarına izin verilmektedir.

Yapılan çoğu analizlerde dolgu malzemesi olarak kuru, kohezyonsuz zeminler tercih edilmektedir. Bunun nedeni dolguda kullanılacak bu tip zeminin davranışının daha rahat modellenebilmesinden ve suyun meydana getirebileceği karmaşık durumların drenaj yapılarak uzaklaştırılabilmesinden kaynaklanmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi literatürde çeşitli çözüm yöntemleri mevcuttur ve bunlara

değinmeden önce istinat duvarlarının depremder sırasında gösterdiği davranışları incelemek sunulan yöntemlerin anlaşılması açısından daha faydalı olacaktır.

## 6.2 İstinat Duvarlarında Göçme Türleri

İstinat duvarlarının tasarlanması için öncelikle göçme modelini tanımlamak ve hangi koşullar altında ortaya çıkacağını bilmek gerekir. İstinat duvarlarına statik durumda etkiyen kuvvetler, duvarın kütesinden ileri gelen cisim kuvvetleri, toprak basınçları ve dış kuvvetlerdir. Düzgün bir şekilde standartlara uygun olarak tasarlanmış bir istinat duvarı zeminlerin kayma mukavemeti değerlerine ulaşmadan başarılı bir şekilde statik koşullarda belirtilen kuvvetlerin dengesini sağlamaktadır. Fakat bir deprem sırasında, atalet kuvvetleri ve zeminlerin mukavemetlerinde ortaya çıkan değişimlerden dolayı kuvvetlerin dengesinde değişimler ortaya çıkabilmekte ve bu durumun bir sonucu olarak kalıcı deformasyonlar oluşabilmektedir. Kalıcı deformasyonlar fazla miktarda olursa ötelenme, dönme, eğilme veya başka mekanizmalarla göçmeler ortaya çıkabilmektedir. Hangi deformasyon seviyelerinin aşırı olduğu sorusu ise bazı koşullara bağlıdır ve bu sorunun en doğru cevabı incelenen duruma göre özel olarak değerlendirilmelerden geçmektedir.

Ağırlık duvarlarında göçme genellikle ötelenme, dönme gibi rijit gövde mekanizmalarıyla veya toplam duraysızlıkla ortaya çıkmaktadır. Ötelenme yatay kuvvetlerin dengesi sağlanamadığında, diğer bir deyişle ortaya çıkan yatay toprak basıncı değerlerinin duvarın tabanındaki ötelenmeye direnen kuvvetleri aşmasıyla ortaya çıkmaktadır. Dönmeden kaynaklanan göçmeler, moment dengesinin sağlanmamasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Duvarın tabanında zeminin taşıma gücünün aşılmasından kaynaklanan göçme durumları da incelenmelidir. Ayrıca ağırlık duvarlarında, arkasında veya tabanında yer alan zeminlerden dolayı toplam duraysızlığa bağlı hasarlar da oluşabilmektedir. Bu tarz göçmeler şev stabilitesinden kaynaklanan göçmeler olarak da isimlendirilebilir. Kompozit duvar sistemleri, mekanik olarak stabilize edilmiş duvarlar da aynı göçme türlerini gösterebilmekte ve ayrıca bu tarz duvarlar içsel mekanizmalardan dolayı duvarın çeşitli elemanlarında ortaya çıkacak kesme kuvvetleri, çekme kuvvetlerine bağlı göçmeler de gösterebilmektedir.

Konsol istinat duvarlarında, ağırlık duvarlarında görülen mekanizmalara bağlı göçmeler ve ek olarak eğilmeden dolayı göçmeler de ortaya çıkabilmektedir. Konsol duvarlardaki eğilme momentleri ve üzerine gelen toprak basınçları geometriye, rijitliğe, duvar-zemin sisteminin

mukavemetine bağlıdır. Eğer gerekli eğilme momentleri denge durumundaki değerleri aşarsa eğilmeden kaynaklanan göçmeler ortaya çıkmaktadır. Duvarın sünekliği eğilmeden kaynaklanan göçmelerde deformasyon seviyelerini etkileyebilir. Ankrajlı duvarlarda yetersiz penetrasyondan dolayı ayak bölümünden duvar dışarı doğru atılabilir. Ankrajlı duvarlar konsol duvarlarda olduğu gibi göçme noktası farklı olmasına rağmen eğilmeden kaynaklanan göçmeler gösterilmektedir. Göçme noktasının farklılığı da, eğilme momenti değerinin büyüklüğünden kaynaklanmaktadır.

### 6.3 İstinat Duvarları Üzerine Gelen Statik Basınçlar

İstinat duvarlarının sismik davranışı yer sarsıntısı sırasında gelişen toplam yanal toprak basıncına bağlıdır. Burada bahsedilen toplam yanal toprak basıncı, depremden önceki yer çekiminden kaynaklanan statik basınçları ve geçici olarak değişerek etkiyen depremden kaynaklanan dinamik basınçları içerir. Sonuçta duvarın göstereceği davranış toplam gerilmenin içinde yer alan hem statik hem de dinamik basınçlardan etkilendiğinden dolayı statik toprak basınçlarına kısaca burada da değinilecektir.

İstinat duvarı üzerine etkiyen statik toprak basınçları kuvvetli bir şekilde duvar ve zeminin hareketinden etkilenmektedir. Aktif toprak basınçları duvarın arkasında yer alan dolgudan uzaklaşmasıyla gelişmekte ve zeminde uzama şeklinde yanal bir deformasyon oluşmaktadır. Duvar yeterince hareket edince, arkasında yer alan zemin tamamen mobilize olmakta ve duvara minimum toprak basıncı diğer bir deyişle aktif toprak basıncı etkimektedir. Genel olarak kohezyonsuz zeminlerde, özel bir şekilde mesnetlenmemiş duvarlarda ufak bir duvar hareketiyle aktif toprak basıncının oluşması sonucunda tasarım temel olarak aktif toprak basıncına bağlı olarak yapılmaktadır. Ama yanal deplasmanın sınırlandırıldığı, ankrajlı duvarlar, bodrum duvarları, köprü ayakları gibi yapılarda gelişen toprak basınçları minimum toprak basıncından daha fazla olmaktadır. Pasif toprak basınçları ise duvarın zemine doğru hareket etmesiyle ortaya çıkmakta ve tamamen mobilize olduğunda en büyük (pasif) toprak basıncı duvarın üzerine etkimektedir. Birçok istinat duvarının stabilitesi baskın bir şekilde etkiyen aktif toprak basıncıyla diğer tarafta etkiyen pasif toprak basınçlarının dengesiyle sağlanmaktadır.

Statik koşullar altında bile yapı-zemin etkileşiminden dolayı duvarın üzerine etkiyen kuvvetlerin ve deformasyonların tahmini oldukça karmaşıktır. İstinat duvarları genel olarak

deformasyondan çok duvarın üzerine etkiyen kuvvetler ve bunlara direnen kuvvetler tahmin edilerek, yüksek bir güvenlik sayısıyla küçük deformasyonlara izin verilebilir şekilde tasarlanmaktadır. Basitleştirilmiş yöntemlerle duvara etkiyen statik kuvvetler belirlenebilmektedir. Bu yöntemler kısaca yanal toprak basıncının detaylı bir şekilde üçüncü bölümde anlatılmıştır.

#### 6.4 İstinat Duvarlarının Dinamik Tepkileri

İstinat duvarlarının deprem sırasında gösterdiği davranışlar istinat duvarı tiplerinden en basit olanı için bile oldukça karmaşıktır. Kramer (1996) yapılan laboratuvar deneylerinden ve arazide yapılan araştırmalar ve gözlemlerden aşağıdaki sonuçlara dikkat çekmektedir.

- 1) Duvarlar ötelenme ve dönme hareketinden kaynaklanan deplasmanlar yapabilmektedir. Duvarın yapacağı relatif hareket miktarı duvarın tasarımına bağlıdır. Değişik tipteki duvarlarda ve koşullara bağlı olarak, ötelenme veya dönme hareketlerinden biri diğerinden daha fazla öneme sahip olabilmekte veya her iki hareketin de dikkate alınması gereken koşullar istinat duvarlarının analizi sırasında tasarımcının karşısına çıkabilmektedir (Nadim ve Whitman(1984) , Siddhartan(1992)).
- 2) Duvara etkiyen dinamik toprak basıncının büyüklüğü ve dağılımı, duvarın yaptığı hareketin çeşidine göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin bu hareket, tabanda ötelenme ya da duvarın topuğunda veya tepe noktasında dönme hareketi şeklinde olabilir(Sherif(1982), Sherif ve Fang(1984)).
- 3) En büyük yanal toprak basıncı duvarın yaptığı dönme ve ötelenme hareketlerinin dolguya doğru olması sırasında ortaya çıkmaktadır. Minimum toprak basıncı ise duvarın dolgudan uzaklaşmasıyla aktif koşullarla birlikte ortaya çıkmaktadır.
- 4) Yanal toprak basınçlarının dağılımında meydana gelen değişimler duvarın deplasman yapmaya başlamasıyla birlikte ortaya çıkmaktadır. Belirlenen toprak basıncının uygulama noktası, yapılan deplasmana bağlı olarak aşağıya ve yukarıya doğru hareket etmektedir. En yüksek etkiye noktasına, duvar dolguya doğru hareket ettiğinde, duvar tabanından en az yüksekliğe ise dolgudan dışarı doğru hareket ettiğinde ulaşılmaktadır.
- 5) Steedman ve Zeng (1990) dinamik toprak basıncı değerlerinin duvarın ve dolgunun depreme vereceği tepkilerden etkilendiğini ve duvar-zemin sisteminin doğal frekansına yakın değerlerde oldukça büyük artışlar gösterdiğini

söylemektedir(Nadim,1982). Duvar-zemin sisteminin doğal frekansına yakın değerlerde kalıcı duvar deplasmanlarında artış gözlenmektedir.

- 6) Güçlü sarsıntılar sona erdikten sonra rezidüel toprak basınçları duvarda kalıcı olarak kalabilir (Whitman 1990)

## 6.5 Dinamik Etkilerin Belirlenmesi

### 6.5.1 Yarı-Statik Yöntemler

İstinat duvarlarının tasarımında en yaygın olarak kullanılan yöntemler yarı-statik analizlerdir. Bu yöntemler ayrıca şev stabilitesi analizlerinde de kullanılabilir. Bu yöntemlerin en büyük avantajları kolay anlaşılabilir olmaları ve uygulanmasının kolay olmasıdır. Şev stabilitesi analizlerinde olduğu gibi depremin çevrimsel etkisi göz ardı edilerek statik bir ek kuvvet duvarın üzerine etkililmektedir. Belirtilen yanal toprak itkisinin, zemin kamasının merkezinde etkidiği kabul edilebilir. Etkiyecek yarı-statik yanal kuvvet denklem 6.1 yardımıyla basitçe hesaplanabilmektedir. Pae deprem sırasında duvara etkiyen yanal toprak itkisini ifade etmektedir. İstinat duvarı analizlerinde birim uzunluk kabulüyle düzlemsel olarak çözümler elde edilmektedir.

$$Pae = m * a = \frac{W}{g} * a = w * \frac{a_{max}}{g} = k_h * W \quad (6.1)$$

a = ivme

m = Zemin kamasının toplam kütlesi

g = yerçekim ivmesi

W = Zemin kamasının toplam ağırlığı

a<sub>mak</sub> = Deprem sırasında etkiyen pik ivme değeri

k<sub>h</sub> = Yatay ivme katsayısı

Dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir nokta depremler sırasında oluşabilecek atalet kuvvetlerinin sadece yatay olarak değil düşey olarak da etkimekte olmasıdır. Fakat standart olarak uygulanan yarı-statik yöntemlerde genellikle düşey etkiler dikkate alınmamaktadır. Bunun nedenlerinden biri aktif zemin kamasına etkiyen düşey atalet kuvvetlerinin istinat

duvarlarının tasarımında oldukça önemli bir etkisinin olmamasıdır. Buna ek olarak söylenebilecek diğer bir nokta ise depremlerin oluşturdukları düşey ivmelerin pik değerlerinin, yatay ivmelerin pik değerlerinden daha düşük olmasıdır.

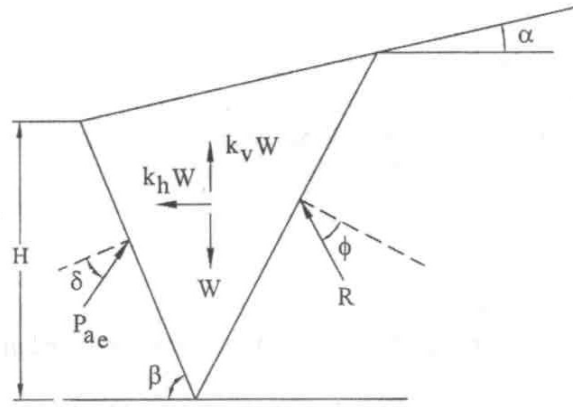
Yarı-statik yöntemlerde bilinmeyenler yalnızca aktif zemin kaması ağırlığı ve  $k_h$  ivme katsayısıdır.  $P_{ae}$  kuvveti istinat duvarı tabanının  $2/3H$  kadar yukarısından uygulanabilir.

### 6.5.2 Mononobe-Okabe (M-O) Yöntemi (1929)

Depremler sırasında istinat duvarlarında oluşabilecek yanal toprak basınçlarının belirlenmesinde kullanılan ilk yöntemlerden biri Mononobe ve Okabe tarafından önerilmiştir. Önerilen yöntem incelenen dolgunun atalet kuvvetlerinin hesaba dahil edilmesi ile birlikte Coulomb kayan kama teorisinin genişletilmiş bir çeşididir. Aktif koşullar altında M-O yöntemi aşağıda yer alan kabüllere dayanmaktadır.

1. Dolgu kuru, kohezyonsuz, homojen ve uniform içsel sürtünme açısına sahip rijit bir malzemedir.
2. Duvar yeterli miktarda hareket ederek, potansiyel kayma düzlemi boyunca minimum aktif toprak basıncının oluşması için tüm kayma mukavemetinin mobilize olmasına neden olmaktadır.
3. Dolgu üzerinde yer alan potansiyel kayma yüzeyi topuk doğrultusunda uzanan bir düzlemdir.
4. Duvarların sonlandıkları yerlerdeki etkilerin gözardı edilebilmesi için yeterli uzunlukta olmaları gerekmektedir.

Yapılan bu kabüller ele alınan tasarım probleminin sınırlarını belirlemekte ve kuvvetlerin dengede olmasından yararlanarak sonuçta denklem 6.2'de belirtilen  $P_{ae}$  aktif toprak etkisinin bulunmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 6.1 Depremler sırasında yarı-statik yöntemlere göre etkiyen kuvvetler

$$P_{ae} = 1/2 * \gamma * (1 - k_v) * H^2 * K_{ae} \quad (6.2)$$

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\phi + \beta - \theta)}{\cos(\theta) * \sin^2(\beta) * \sin(\beta - \theta - \delta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \theta - \alpha)}{\sin(\beta - \delta - \theta) * \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (6.3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{k_h}{(1 - k_v)} \right] \quad (6.4)$$

$K_{ae}$ = Aktif toprak basıncı katsayısı

$\gamma$ = Dolgunun birim hacim ağırlığı

$\Phi$ = Dolgunun içsel sürtünme açısı

$\beta$ = Duvarın dolguya yaslanan yüzeyinin yatayla yaptığı açı

$\alpha$ = Dolgunun yatayla yaptığı açı

$\delta$ = Duvarla zemin arasındaki sürtünme açısı

$k_h$ = Yatay ivme katsayısı

$k_v$ = Düşey ivme katsayısı

$g$ = Yer ivmesi

$H$ = Duvarın yüksekliği

Mononobe- Okabe yöntemi yanal toprak basıncının belirlenmesinde yıllardan beri kullanılmaya devam edilmiş bir konvansiyonel yöntemdir. Bu yöntemin içinde yer alan parametreler Seed ve Whitman(1970) tarafından detaylı bir şekilde incelenmiştir. M-O yönteminin kullanımındaki en büyük zorluk  $k_h$  ve  $k_v$  katsayılarının doğru bir şekilde seçilmesinin zorluğudur.

M-O yöntemine göre toplam yük duvar tabanından  $H/3$  yüksekliğinde etmektedir. Fakat Seed ve Whitman(1970) dinamik toprak basıncının yaklaşık olarak  $0.6H$  noktasından etkidiğini söylemektedir ve toplam toprak basıncının etkiye noktasının bulunması için aşağıdaki bağıntıyı(6.8) önermektedir.

$$P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae} \quad (6.5)$$

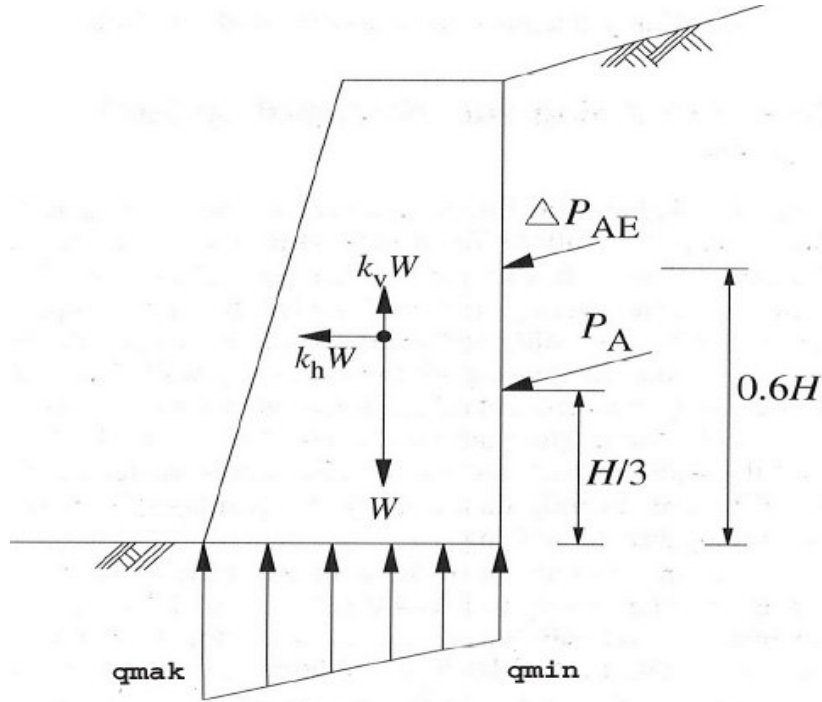
$\Delta P_{ae}$ =  $(P_{ae} - P_a)$  Toplam itkinin dinamik bileşeni

$P_a$ = Toplam itkinin statik bileşeni

$$P_a = 1/2 * \gamma * H^2 * K_a \quad (6.6)$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2(\beta) * \sin(\beta - \delta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) * \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (6.7)$$

$$h = \frac{P_a * H / 3 + \Delta P_{ae} * 0.6H}{P_{ae}} \quad (6.8)$$



Şekil 6.2 Seed ve Whitman'a göre deprem sırasında oluşan Pae basıncının etkiye noktası

### 6.5.3 Seed ve Whitman Yöntemi(1970)

Seed ve Whitman (1970) istinat duvarına yatay yönde etkiyen  $\Delta P_{ae}$  kuvvetinin belirlenmesi için aşağıdaki denklemi sunmuştur. Aslında dikkate alınan ek dinamik kuvvet duvar arkasında zemin yüzünün yatay ve duvar arka dolgusunun granüler olması durumunda ( $\phi = 35^\circ$ )  $k_h$  katsayısının  $3/4$ 'ünün alınmasından kaynaklanan bir değişikliktir.

$$\Delta P_{ae} = 3/8 * (a_{mak}/g) * H^2 * \gamma \quad (6.9)$$

$a_{mak}$  = maksimum yer ivmesi

$g$  = yer çekimi ivmesi

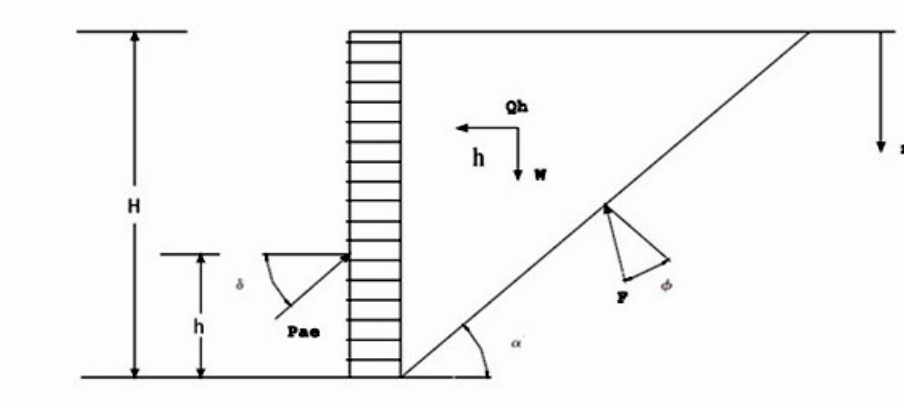
$H$  = Duvar yüksekliği

$\gamma$  = Zeminin birim hacim ağırlığı

### 6.5.4 Steedman-Zeng(1990) Yöntemi

Steedman ve Zeng(1990) önerdikleri yöntemde sismik yüklerden dolayı duvarın arkasından

yer alan dolguda meydana gelen ivme ampplikasyonlarını ve faz farklarını yaklaşık bir şekilde hesaplamaktadır. Şekil 6.3’de verilen duvarın tabanında bağıntı 6.10 yardımıyla bulunan bir harekete maruz kaldığı düşünülürse



Şekil 6.3 Steedman-Zeng yöntemi için duvar geometrisi

$$a(z,t) = a_h * \sin \left[ w * \left( t - \frac{H-z}{v_s} \right) \right] \quad (6.10)$$

ve sismik kuvvetlerin duvarın arkasında yer alan kayma kamasında oluştuğu varsayılırsa, kama içinde herhangi bir z derinliğindeki elemanın kütlesi,  $m(z)$  bağıntı 6.11’deki gibi bulunabilir.

$$m(z) = \frac{\gamma}{g} * \frac{H-z}{\tan \alpha} dz \quad (6.11)$$

Duvara etkiyen toplam kuvvet ise bağıntı 6.12 yardımıyla bulunur.

$$Qh(t) = \int_0^H m(z) * a(z,t) dz = \frac{\lambda * \gamma * a_h}{4\pi^2 g \tan \alpha} [2\pi H \cos \omega \xi + \lambda (\sin \omega \xi - \sin wt)] \quad (6.12)$$

Burada düşey yönde hareket eden kayma dalgasının dalga boyu aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\lambda = \frac{2\pi V_s}{\omega} \quad (6.13)$$

$$\xi = t - \frac{H}{V_s} \quad (6.14)$$

Vs kayma dalgası hızıdır. Dolgunun rijit olarak hareket etmesi durumunda, Qh

$$\lim_{Vs \rightarrow \infty} (Qh)_{mac} = \frac{\gamma^* H^2 * a_h}{2g * \tan \alpha} = \frac{a_h}{g} * W = kh * W \quad (6.15)$$

bağıntısıyla bulunur ve M-O yöntemiyle verilen atalet kuvvetidir. Kama üzerine etkiyen kuvvetlerin bileşenleri gözönüne alındığında duvar üzerine etki eden toplam yük, Pae(t) aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir.

$$Pae(t) = \frac{Qh(t) * \cos(\alpha - \phi) + W * \sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \quad (6.16)$$

Bulunan dinamik yükün etkime noktasının bulunması için ise bağıntı 6.17’de verilen formül önerilmektedirler.

$$h = H - \frac{2\pi^2 H^2 \cos \omega \xi + 2\pi \lambda H \sin \omega \xi - \lambda^2 (\cos \omega \xi - \cos \omega t)}{2\pi H \cos \omega \xi + \pi \lambda (\sin \omega \xi - \sin \omega t)} \quad (6.17)$$

## 6.6 Rijit İstinat Duvarlarda Depremler Sırasında Meydana Gelen Deplasmanları Esas Alan Yöntemler

Rijit istinat duvarlarında depremlerden sonra hem duvarın ötelenmesinden hem de duvarın dönmesinden kaynaklanan deplasmanlar ortaya çıkmaktadır(Rafnsson1991,Prakash ve Wu,1996). Rijit istinat duvarlarının yapmış olduğu deplasmanların hesaplanması için birçok analitik yöntemler sunulmuştur. Bu konuyla ilgili geliştirilen ilk yöntemlerde sadece duvarın yapmış olduğu ötelenmeden kaynaklanan deplasmanları dikkate alınmaktadırlar(Richards ve Elms,1979, Prakash, 1981). Son zamanlarda ise hem ötelenme hem de dönmeden kaynaklanan deplasmanları dikkate alan çözümler geliştirilmiştir(Nadim ve Whitman,1983, 1984, Rafnsson 1991, Rafnsson ve Prakash, 1994, Prakash ve diğerleri 1995, a, b). Bazı çalışmalarda ise zeminin özelliklerini dikkate alırken gerçekçi olmayan kabuller kullanılmıştır. Örneğin rijit-plastik ya da lineer zemin kabulleri bu tür varsayımlara dayanmaktadır. Ayrıca duvarın üzerine yapay mesnetler yerleştirilerek duvarın önce dönme davranışı veya ötelenme davranışı göstermesi sağlanabilmektedir.

Duvarların depremler sırasında yapabileceği deplasmanlara göre tasarlanması için aşağıda yer verilen iki yönteme değinilecektir. Bu yöntemler Richards ve Elms(1979) ve Whitman-Liao(1985) yöntemleridir.

### 6.6.1 Richards ve Elms Yöntemi (R-E yöntemi,1979)

Küçük büyüklükteki birçok depremde dahi çoğu istinat duvarı belirli sınırlar içinde olsa da yanal deplasmanlar yapmaktadır. İstinat duvarları gerçekte dönme ve ötelenme hareketine bağlı olarak deplasmanlar yaparlar. Richards ve Elms (1979) ağırlık duvarlarının tasarımı için izin verilebilir kalıcı deplasmanlara dayalı bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemde istinat duvarlarının sadece ötelenme hareketi yaptığı kabul edilmekte ve hesaplar bu doğrultuda yapılmaktadır. Bu yöntemde göre kalıcı deplasmanların hesabı , şevlerin stabilitesinin sismik olarak değerlendirilmesinde kullanılan Newmark'ın kayan blok analogisine benzer şekilde yapılmaktadır. Bu yöntemde duvarın atalet kuvvetleri dikkate alınmakta ve duvarın boyutları izin verilebilir deplasmanlara göre belirlenmektedir. R-E yöntemine göre öncelikle duvar ile zemin için eşik ivme katsayısı değerleri belirlenmelidir. Belirlenen bu ivme katsayısının üstünde veya bu değere eşit ivme değerlerinde duvarın deplasman yaptığı kabul edilmekte ve ivme değerlerinin uniform, duvarın davranışının ise rijit plastik olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca Richard ve Elms tarafından Pae değerinin hesaplanmasında M-O yönteminin kullanılması önerilmektedir. İzin verilebilir deplasman değerlerinin( $d_{perm}$ ) belirlenmesi için Richard ve Elms(1979) , Newmark(1965) ve Franklin ve Chang'in (1977) kayan blok analizlerini kullanarak aşağıdaki denklemin kullanılabileceğini önermektedirler.

$$d_{perm} = \frac{0.087 * V_{mak}^2}{A} * \left( \frac{N}{A} \right)^{-4} \quad (6.18)$$

$V_{mak}$  = Yer hareketinin pik hız değeri

$A$  = Pik ivme değeri

$N$  = Eşik ivme değeri

$d_{perm}$  = İzin verilebilir deplasman(inch)

Richard and Elms yöntemi kullanılırken aşağıdaki sıra izlenilerek gerekli hesaplamalar kolaylıkla yapılabilir.

1. İzin verilebilir deplasman seçilir(inch).
2. ATC 1978'te gösterilen sismik bölgeler için  $A_a$  ve  $A_v$  katsayıları Çizelge 6.1'den seçilir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta seçilen bu katsayıların Türkiye'deki uygulanacak bölgeyle benzer özelliklere sahip olmasıdır.

3. Denklem 6.19'dan yararlanarak ivme katsayısı tespit edilir.

$$kh = Aa * \left[ \frac{0.2 * Av^2}{Aa * d_{perm}} \right]^{0.25} \quad (6.19)$$

4. Hesaplanan kh değeri için M-O yöntemini kullanarak duvarın arkasındaki dinamik aktif toprak basıncı hesaplanır.
5. Duvarın atalet kuvvetlerini ve duvara etkiyen kuvvetlerin dengesini dikkate alarak duvarın ağırlığını hesaplanır.
6. Hesaplanan duvar ağırlığına güvenlik faktörünü (katsayısını) uygulanır. Genellikle güvenlik katsayısı olarak, 1.5 değerinin kullanılması önerilmektedir. Bu işlem uygulandıktan sonra duvar boyutları belirlenir.

Çizelge 6.1 ATC 1978'e göre zemin türlerine göre değişen Aa ve Av katsayıları

| Aa Katsayısı | Haritadaki Alan Numarası | Av Katsayısı | Sismisite İndisi |
|--------------|--------------------------|--------------|------------------|
| 0.4          | 7                        | 0.4          | 4                |
| 0.3          | 6                        | 0.3          | 4                |
| 0.2          | 5                        | 0.2          | 4                |
| 0.15         | 4                        | 0.15         | 3                |
| 0.1          | 3                        | 0.1          | 2                |
| 0.05         | 2                        | 0.05         | 2                |
| 0.05         | 1                        | 0.05         | 1                |

Çizelge 6.2 ATC 1978'e göre sismisite indisi

| Sismisite<br>İndisi | Sismik Tehlike Bölgeleri |    |   |
|---------------------|--------------------------|----|---|
|                     | III                      | II | I |
| 4                   | D                        | C  | C |
| 3                   | C                        | C  | B |
| 2                   | B                        | B  | B |
| 1                   | A                        | A  | A |

#### 6.6.2 Whitman-Liao Yöntemi(1985)

R-E yöntemi ağırlık duvarlarının yaptığı yerdeğiştirmelerin hesaplanması için oldukça rasyonel bir yaklaşım sunmaktadır. Kolay uygulanabilmesi yanında dinamik toprak basıncı problemlerinde karşılaşılabilecek bazı durumlar göz önüne alınmamaktadır. Whitman-Liao(1985) yönteminde R-E yöntemindeki basitleştirici kabullerin sonucu olan modellemedeki bazı hatalar açıklanmıştır. Yapılan hatalardan en önemlileri dolgunun dinamik tepkilerinin, kinematik etkilerin, dönme mekanizmasının ve düşey ivme bileşenlerinin dikkate alınmamasıdır. Duvar davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle analizinde dolgunun dinamik durumlarda verdiği tepkilerin dikkate alınmasıyla, ivme hareketinin hakim periyodunun dolgunun doğal periyoduyla kesiştiği durumlarda zemin büyütmesinin olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan hesaplamalarda kalıcı deplasmanların R-E yönteminde kullanılan rijit – blok modeline göre hesaplanan kalıcı deplasman değerlerinden daha büyük değerler alabildiği gözlenmektedir. Dolgu ve duvar ayrı ayrı bloklar olarak ele alındığında kinematik olarak dolgunun talep ettiği yatay ve düşey deplasmanlar sistematik olarak tek blok modelinden (R-E yöntemindeki) daha küçüktür. Dönme ve ötelenme hareketinin birlikte ele alındığı çalışmalarda, genel olarak dönme mekanizmasının sadece ötelenmenin dikkate alındığı R-E yöntemine göre hesaplanan deplasmanlarda artışlara neden olduğu gözlenmiştir. Düşey ivmeler duvarın yaptığı deplasmanları bir miktar arttırmaktadır. Whitman-Liao modellemedeki hataları dikkate alarak yaptıkları çalışmalardan aşağıdaki bağıntıyı ortaya çıkarmışlardır.

$$d_{perm} = \frac{37 * V_{max}^2}{A} * \exp^{-9.4(\frac{N}{A})} \quad (6.20)$$

N = Eşik İvme Değeri

A = Pik ivme değeri

d<sub>perm</sub>= İzin verilebilir deplasman

V<sub>mak</sub>= Yer hareketinin maksimum hız değeri

Whitman ve Liao(1985)yukarıda da değinildiği gibi dolguda meydana gelecek zemin büyütmesinin, duvarların yaptığı yerdeğiştirmeler üzerinde önemli bir rolü olabileceğini söylemektedir. Bu tip durumlar incelenirken de öncelikle yer hareketinin dominant frekansı(f) ve zeminin hakim frekans(f1) değerlerinin oranına bakılması gerekliliğinden bahsedilmektedir. Tek boyutlu büyütme teorisine göre zemin hakim frekansı, bağıntı 6.21 yardımıyla bulunmaktadır.

$$f1 = \frac{Vs}{4H} \quad (6.21)$$

Eğer f/f1 oranı 0,25 değerinden daha küçük bir değer alıyorsa duvarın yapacağı deplasmana etkisi gözardı edilecektir. Fakat bu değerin 0,5 civarlarında olması durumunda ise, tasarımda kullanılan deprem parametrelerinden pik ivme değeri ve pik hız değerleri %25 veya %30 oranında arttırılacaktır. Eğer bu değer 0.7-1 arasında ise bu artış %50 olmalıdır. Dolgular için hakim frekans değeri genellikle 5-15Hz, yer hareketinin dominant frekansı ise 2-5 Hz değerleri arasında olmaktadır. f/f1 oranı tipik olarak 0.2-0.6 arasında değerler almaktadır. Sonuçta bu yöntem yardımıyla yapılan incelemeler sonucunda f/f1 oranı 0,3'ten daha büyük olduğunda dolguda büyütmenin meydana geleceği, tasarım amacıyla kullanılan R-E yöntemi, modifiye edilerek kalıcı yerdeğiştirmelerin hesaplanmasında amplifikasyonun etkilerinin dikkate alınabileceği ve deprem yüklemesinden dolayı duvarın üzerine gelen dinamik aktif toprak basıncı değerlerinin statik aktif toprak basıncı değerlerinden %30 daha fazla olabileceği belirtilmiştir.

## 6.7 Hareketi Engellenmiş İstinat Duvarları

Bazı istinat duvarlarında, örneğin kayanın üzerine inşaa edilmiş çok masif ağırlık duvarları ya da alt ve üst tarafından kuşaklanmış durumda bulunan bodrum duvarları, yeterli miktarda hareket edemediklerinden dolguda kayma mukavemetinin mobilize olması mümkün olmamaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak minimum aktif yanal toprak basıncı veya maksimum pasif yanal toprak basıncı oluşmamaktadır.

Wood(1973) rijit bir tabana oturtulmuş iki rijit duvar arasındaki homojen , doğrusal elastik zeminin tepkisi incelenmiştir. İki duvar birbirinden yeterince uzakta varsayıldığında, bir duvar üzerindeki basınçlar diğer duvar üzerindeki basınçtan fazla etkilenmeyecektir. Wood(1975) düşük frekanslı hareketlerde dinamik büyütmenin ihmal edilebilir olduğunu göstermiştir. (örneğin serbest durumda bulunan dolgunun hakim frekans( $f_1=V_s/4H$ ) değerinin yarısı olduğu durumlarda). Çoğu pratik problemlerin yer aldığı bu frekans aralığında, duvarın üzerine etkiyen toprak basınçları, zeminin tümüne uygulanan üniform, sabit yatay ivme örneğindeki elastik çözümden elde edilir. Wood(1973) düz, rijit, duvarlar için dinamik itkiyi ve dinamik dönme momentini aşağıdaki gibi ifade etmiştir.  $F_p$  ve  $F_m$  sırasıyla boyutsuz dinamik itki ve moment faktörleridir ve sırası ile Şekil 6.5 ve 6.6 yardımı ile elde edilmektedir.

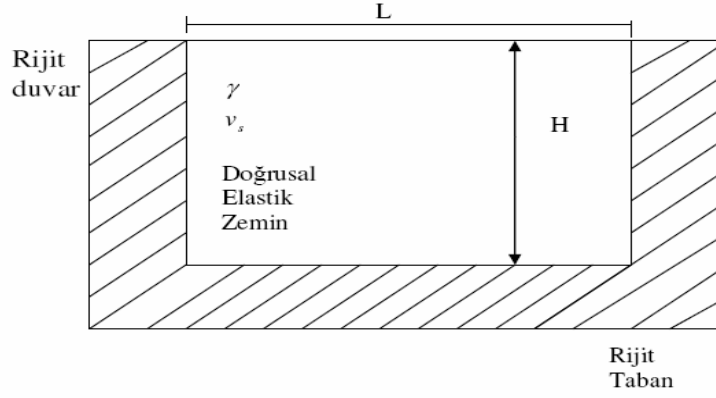
$$\Delta P_{eq} = \gamma * H^2 * \frac{a_{hg}}{g} * F_p \quad (6.22)$$

$$\Delta M_{eq} = \gamma * H^3 * \frac{a_{hg}}{g} * F_m \quad (6.23)$$

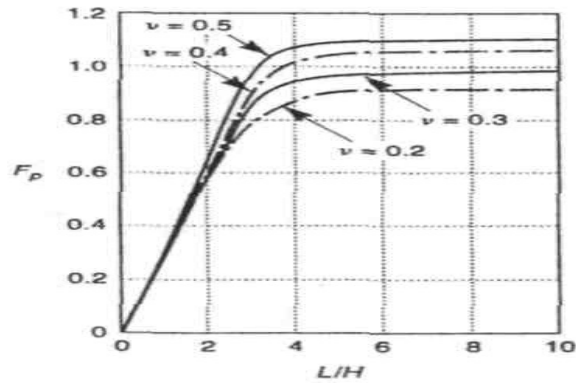
$a_{hg}$ = harmonik taban ivmesinin genliği

Dinamik itkinin etki noktası duvarın tabanından  $h_{eq}$  kadar yukarıda ve genel olarak  $h_{eq} \approx 0.63H$ 'tır.

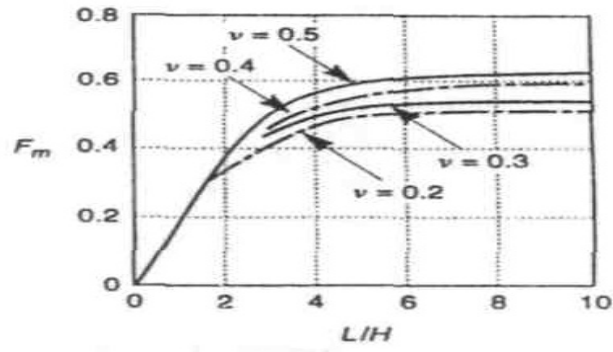
$$h_{eq} = \frac{\Delta M_{eq}}{\Delta P_{eq}} \quad (6.24)$$



Şekil 6.4 Esnek olmayan duvar modeli



Şekil 6.5 Değişik geometri ve poisson oranlarındaki zeminler için  $F_p$  boyutsuz eşik faktörü (Kramer, 1996)



Şekil 6.6 Değişik geometri ve poisson oranlarındaki  $F_m$  boyutsuz moment faktörü (Kramer, 1996)

## 6.8 İstinat Duvarlarının Dinamik Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesabı ve Plaxis7.2 Programı

İstinat duvarlarında depremlerden dolayı oluşacak deformasyonlar dinamik gerilme-deformasyon analizleri ile tahmin edilebilirler. Kalıcı deformasyonların tahmini için doğrusal olmayan analizler yapılması gerektiği çok açıktır. İyi ve doğru değerlendirme yapmak için zemin ve yapı-zemin etkileşimi için doğrusal olmayan ve elastik olmayan analizler yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında sonlu elemanlar programı olarak Plaxis 7.2 hazır paket programı kullanılmıştır.

Plaxis geoteknik yapıların statik ve dinamik koşullarda deformasyon ve stabilite hesaplarının sonlu elemanlar yöntemiyle yapılması için yazılmış bir paket programdır. Plaxis ismini plastik ve aksisimetrik kelimelerinin İngilizce yazımından almaktadır ve program aksisimetri dışında 2 boyutlu sistemlerin çözümünde de kullanılabilmektedir.

Plaxis paket programının kullanılması için öncelikle 15 veya 6 noktalı(nodlu) üçgen elemanlardan birinin seçilmesi gerekmektedir. Çok detaylı hesaplar için 15 nodlu üçgenlerin seçilmesi önerilmektedir. Fakat bu opsiyonun seçimiyle birlikte hesap süresinin artacağı unutulmamalıdır.

Plaxis paket programında seçilen 15 nodlu elemanlar dışında ara yüzeyler tanımlanmıştır. Ağırlık duvarları için, bir zemin kümesi bölgesi tanımlanmış ve betonun malzeme özellikleri girilmiştir. Konsol duvarlar için ise kiriş elemanların kullanılması gerekmektedir. Böylece konsol duvarlarda yapısal özelliklerden moment, kesme kuvveti gibi kesit değerleri hesaplanabilmektedir. Ara yüzeyin tanımlanması zemin-yapı etkileşimlerinin hesaplanması açısından oldukça önemlidir. Ara yüzeyin kohezyon ve içsel sürtünme açıları yapıyı çevreleyen zemin sisteminden farklıdır. Bu durumu yansıtabilmek için R diye tanımlanan bir küçültme çarpanıyla bu değerlerde değişikliğe gidilmektedir.

Plaxis7.2'nin içinde değişik tipte malzeme modelleri bulunmaktadır. Bu malzeme modelleri lineer- elastik, Mohr-Coulomb, pekleşme modeli, yumuşak zemin modelleridir. Bu çalışmada Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Lineer elastik modelde sadece Poisson oranı ve elastisite modülüne, Mohr-Coulomb modelinde ise bu parametrelere ek olarak kohezyon katsayısı, içsel sürtünme açısı ve faz açısı değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

## 6.9 Yarı-Statik Yöntemlerin Yönetmeliklerdeki Yeri

Yarı-statik çözümler istinat duvarlarının üzerine deprem sırasında gelecek aktif toprak basınçlarının hesaplanması için mühendisler tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü uygulaması ve değerlendirmesi oldukça kolaydır. Çözüm kolaylıklarından ve çözüm süresinin kısalığından dolayı da yönetmeliklerde yer almaktadırlar. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”ve “ Eurocode 8-Bölüm5” bu yöntemlerin nasıl uygulanması gerektiği hakkında detaylı açıklamalar içermektedir.

### 6.9.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” deprem bölgelerinde yapılacak yüksekliği 6m’yi geçen istinat duvarları ve palplanş perdelerin hesabında kullanılacak toprak basınçlarının bulunmasında  $\phi$  içsel sürtünme açısının 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde  $6^\circ$ , 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde  $4^\circ$  azaltılmasını öngörmektedir. Bu yönetmeliğe göre, deprem itkilerinin göz önüne alınması halinde zemin emniyet gerilmeleri, A,B ve C sınıfı zeminlerde 1/3 kadar arttırılabilir. D sınıfı zeminlerde ve sınıf zeminlerde(dolgular,gevşek sıkılıkta granüler zeminler veya yumuşak kıvamda killi) ise, zemin emniyet gerilmeleri ile, temellerde beton ve çelik emniyet gerilmeleri arttırılmaz.

Deprem yönetmeliğinde Mononobe-Okabe yöntemi esas alınarak, statik koşullarda toprak basınçlarının doğrusal bir dağılım gösterdiği ve toprak basıncının etkime noktasının duvarın tabanından H/3 kadar yükseklikte etki ettiği varsayılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bileşke basıncın daha yukarılarda bir etkime noktasına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle depremin etkisi dikkate alındığında ortaya çıkan toplam toprak basıncının dinamik bileşeni olan  $\Delta P_{ae}$ ’nin tabanı duvar taban seviyesinde olan ters bir üçgen gibi dağıldığı kabul edilmektedir. TDY 2006’da düşeyde serbest olarak çalışan istinat yapıları için yatay ivme katsayısı  $k_h$  bağıntı 6.25’te gösterilmiştir.

$$k_h = 0.2 * (I + 1) * A_o \quad (6.25)$$

$A_o$ = Etkin yer ivmesi

$I$  = Bina önem katsayısı

Yatay doğrultuda bina döşemeleri veya ankrajlarla mesnetlenmiş istinat duvarları için  $k_h$  bağıntı 6.26 yardımıyla bulunmaktadır.

$$kh = 0.3 * (I + 1) * A_o \quad (6.26)$$

Düşey eşdeğer deprem katsayısı bağıntı 6.27 kullanılarak bulunmaktadır. Ancak, yatay doğrultuda bina döşemeleri ile mesnetlenmiş bodrum duvarlarında  $k_v=0$  alınır.

$$k_v = \frac{2 * kh}{3} \quad (6.27)$$

### 6.9.2 Eurocode 8-Bölüm 5

Eurocode 8'in dayanma yapıları ile ilgili olan bölümünde dayanma yapılarının deprem sırasında ve sonrasında önemli yapısal hasarlar oluşmadan ve aşırı miktarda kalıcı deplasmanlar meydana gelmeden işlevini sürdürecektir şekilde tasarlanması amaçlanmıştır.

#### 6.9.2.1 Analiz Yöntemleri

Dayanma yapılarının analizinde aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

- Dayanma yapısıyla etkileşim içinde olan olan zeminin doğrusal olmayan davranış göstermesi
- Zemin kütlesi, yapının kütlesi ve etkileşim içinde olan bütün yer çekimi kuvvetlerine ilişkin atalet kuvvetlerinin dikkate alınması
- Duvarın arkası ve/veya önünde bulunabilecek suyun hidrodinamik etkileri
- Duvar, zemin ve bulunması halinde ankrajların uyumu

#### 6.9.2.2 Basitleştirilmiş Yöntemler: Yarı-statik yöntemler

Analizi yapılacak dayanma yapısı modeli aktif limit dengede olduğu varsayılan zemin kaması, zemin kaması üzerine etkiyen sürşarj yükleri ve duvar topuğu önünde pasif limit dengede olduğu varsayılan olası zemin kütlesinden oluşmalıdır.

Zemin kütlesinin aktif duruma erişebilmesi için tasarım depremi etkisinde duvarın yeterince hareket etmesi( esnek yapılarda eğilme, rijit yapılarda dönme veya kayma şeklinde) gereklidir.

Bodrum kat perdeleri veya kazıklar veya kaya üzerine oturan ağırlık duvarları gibi rijit yapılarda aktif basınçlardan daha büyük toprak basınçları oluşabileceği için sükünetteki

toprak basıncı değerlerinin dikkate alınması daha doğru çözümlere götürecektir. Aynı koşullar ankrajlı duvarlar içinde geçerlidir.

### 6.9.2.3 Dayanma Yapılarında Sismik Etkilerin Dikkate Alınması

Sismik etkiler yer çekimi kuvvetinin bir sismik katsayı ile çarpımı ile bulunan yatay ve düşey statik kuvvetler şeklinde temsil edilmektedir. Düşey bileşen yukarı veya aşağıya doğru en olumsuz durumu yaratacak şekilde dikkate alınır.

Sismik kuvvetlerin şiddeti deprem bölgesi ile birlikte izin verilebilir deplasmanlara bağlıdır. Bütün kütleler üzerinde etkiyen yatay ( $k_h$ ) ve düşey ivme ( $k_v$ ) katsayıları aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunabilir.

$$k_h = \frac{\alpha}{r}$$

$$\alpha = \text{tasarım zemin yüzü ivmesinin}(a_g) \text{ yerçekimi ivmesine}(g) \text{ oranı} \quad (6.28)$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h \text{ eğer } \frac{a_{vg}}{a_g} > 0.6 \text{ ise} \quad (6.29)$$

$$k_v = \pm 0.33 k_h \text{ eğer } \frac{a_{vg}}{a_g} \leq 0.6 \text{ ise} \quad (6.30)$$

$a_g$  = tasarım zemin yüzü ivmesi

$a_{vg}$  = tasarım zemin yüzü ivmesinin düşey bileşeni

Dayanma yapıları türüne bağlı  $r$  çarpanının değerleri çizelge 5.3'te verilmiştir. Yüksekliği 10 metreyi geçmeyen duvarlarda sismik katsayılar duvar yüksekliği boyunca sabit alınmalıdır.

Çizelge 6.3 Yatay ivme katsayısının hesabı için  $r$  çarpanı değerleri

| Dayanma Yapısı Türü                                                                                                        | $r$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $d_r=300\alpha(\text{mm})$ 'ye kadar yer değiştirme kabul eden serbest ağırlık duvarları                                   | 2   |
| $d_r=200\alpha(\text{mm})$ 'ye kadar yer değiştirme kabul eden serbest ağırlık duvarları                                   | 1.5 |
| Esnek betonarme duvarlar, destekli veya ankrajlı duvarlar, kazıklara oturan betonarme duvarlar, bodrum kat perde duvarları | 1   |

Deprem sırasında yüksek boşluk suyu basıncı oluşumuna elverişli suya doygun kohezyonsuz

zeminlerin mevcut olması durumunda  $r$  çarpanı 1.0'dan büyük alınmamalı ve sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı 2.0'dan az olmamalıdır.

Ağırlık tipi istinat duvarları dışında düşey ivmenin yaratacağı etkiler göz ardı edilebilir.

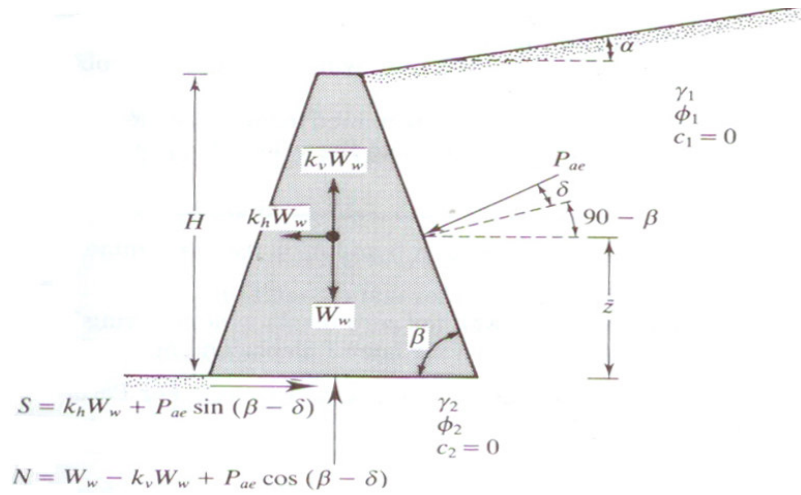
## 7. İSTİNAT DUVARLARININ DİNAMİK ANALİZİ SONUÇLARI

İstinat duvarlarının depremler sırasında göstereceği davranış çoğunlukla, deprem etkilerinin eşdeğer bir yatay kuvvet olarak dikkate alındığı yarı-statik analiz yöntemleri ile incelenmektedir. Bu yaklaşımın uygulanmasında ivme katsayısının doğru seçimi en kritik sorunu oluşturmaktadır. Ayrıca deprem sırasında etkiyen tekrarlı(çevrimsel) dinamik kuvvetlerin bir statik kuvvet olarak dikkate alınmasının çok gerçekçi olmadığı açıktır. Bu çalışmada ağırlık tipi ve konsol tipi istinat duvarlarının deprem esnasında davranışı hem yarı-statik hem de dinamik analiz ile araştırılmıştır. Kumlu bir zeminde duvarın farklı geometrik özellikleri ve değişik zemin özellikleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiş ve başlıca parametrelerin duvar davranışı üzerinde etkileri iki farklı yaklaşım ile belirlenmiştir. Dinamik sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlar, yarı-statik analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve ivme katsayısı seçimine ışık tutulması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen analizler ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

### 7.1 İstinat Duvarlarının Yarı-Statik Yöntemlerle Analizi

İstinat duvarlarının tasarlanmasında yarı-statik yöntemler kullanılırken başlangıçta depremlili ve depremsiz durumlar için alınacak parametrelerin değerlerine karar verilmiştir. Dolgunun içsel sürtünme açısı  $36^\circ$ , dolgunun yatayla yaptığı açı  $0^\circ$ , istinat duvarı ile zemin arasındaki sürtünme açısı içsel sürtünme açısının  $2/3$  kadarı alınmış ve duvarın arka yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açı ise  $90^\circ$  olarak alınmıştır. Parametrik inceleme yapılırken incelenen değerlerden sadece bir tanesi kademeli olarak değiştirilip geri kalan parametreler sabit tutularak sonuçları nasıl etkiledikleri araştırılmıştır. Deprem sırasında duvarın üzerine etkiyen toprak basıncının bulunması için kullanılacak tasarım ivme değeri, yer hareketinin pik ivme değeri olarak alınıp bu değer modifiye edilerek yarı-statik yöntemlerle çözüm yoluna gidilmiştir. Mononobe-Okabe tarafından yapılan ilk analizlerde pik ivme değeri, yer çekimi ivmesi değerine bölünerek çıkan ivme katsayısı değeri herhangi bir şekilde değiştirilmeden uygulanmaktaydı. Ama yapılan araştırmalar sonucunda bu yöntemin kullanılmasının oldukça tutucu bir yaklaşım olduğu anlaşılmıştır. Bu yaklaşımla yapılan tasarımlar ekonomik açıdan değerlendirildiğinde yüksek maliyetlere sahip olduğu düşünüldüğünden, ivme katsayısı değerinin tasarımcıyı güvenli tarafta bırakacak şekilde yönetmeliklerde belirtilen koşullara bağlı kalınarak daha düşük bir değer olarak alınması yoluna gidilmiştir. Bu durumla ilgili çeşitli yaklaşımlar Bölüm 6'da oldukça detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Hem yarı-statik

analizlerde kullanılmak hem de sonlu elemanlar yöntemiyle çözümler elde etmek amacıyla zaman tanım aralığında ivme kaydı olarak El Centro ve Loma Prieta depremlerinin ivme kayıtları kullanılmıştır. Ayrıca pik ivme değerinin istinat duvarları üzerindeki etkisi incelenirken her seferinde farklı özelliklere sahip ivme kayıtları kullanmak yerine sadece El Centro ivme kaydı, bir çarpanla çarpılarak farklı pik ivmelerde aynı özelliklere sahip yeni ivme kayıtları elde edilmiştir. Analizler önce rijit ağırlık duvarları üzerinde gerçekleştirilmiş daha sonra ise konsol duvarlara uygulanmıştır. Ağırlık duvarlarının analizinde Şekil 7.1’de gösterilen parametrelerin değişken değerleri kullanılmıştır. Yarı-statik analizlerde duvarın boyutlandırılmasında R-E yöntemi, M-O yöntemi ve modifiye edilmiş Mononobe-Okabe yöntemi olarak ise Eurocode 8’de yer alan kurallar uygulanmıştır.



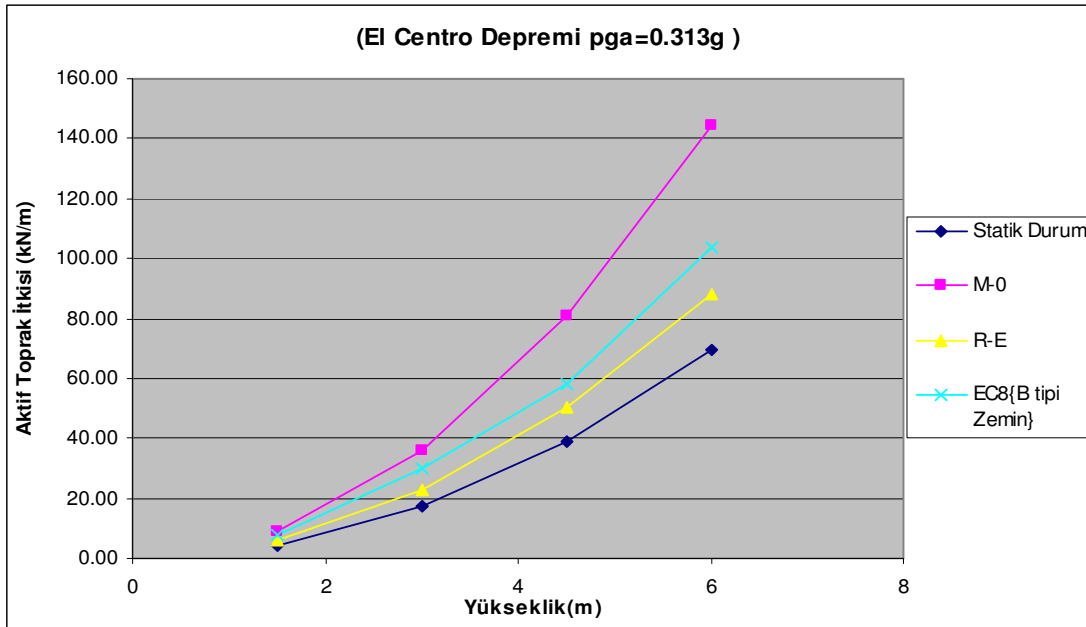
Şekil 7.1 İstinat duvarı parametreleri

Öncelikli olarak duvarın yüksekliği kademeli olarak arttırıldığında toprak basınçlarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Eurocode 8’e göre çözüm yapılırken  $S$  zemin büyütme katsayısı olarak B tipi zemin için geçerli olan değerler alınmıştır. Şekil 7.2’den de görüleceği gibi artan yüksekliğe bağlı olarak duvarın üzerine etkiyen toprak basınçlarında artışlar meydana gelmektedir. M-O yönteminin değerlerine göre daha yüksek değerler verdiği gözlenmektedir.

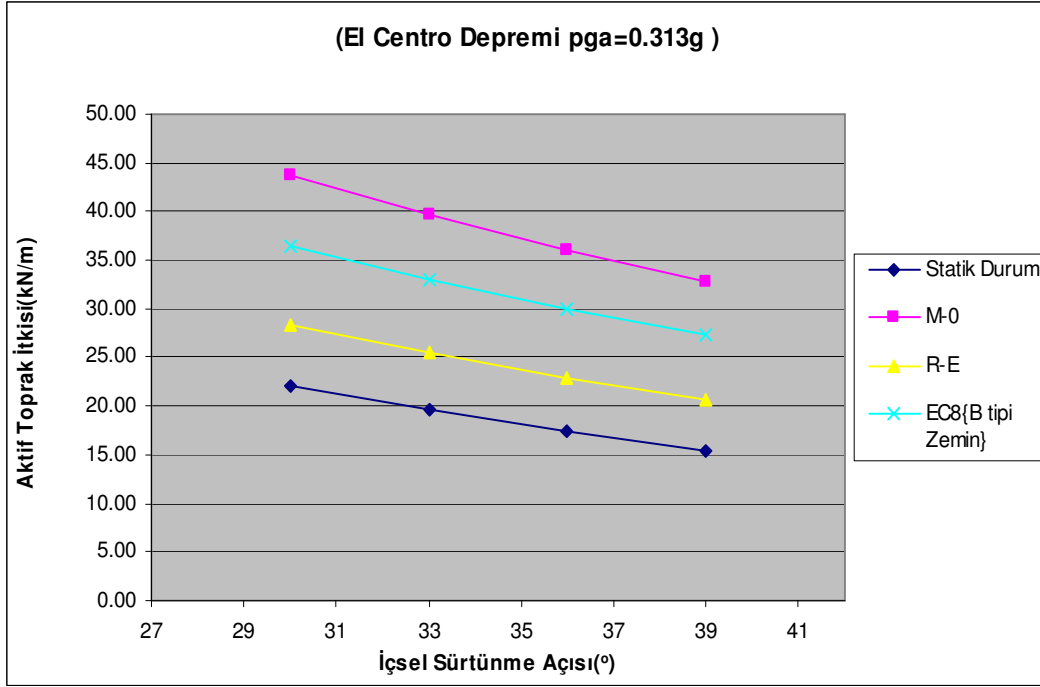
İkinci önemli parametre olarak dolgunun içsel sürtünme açısının değişik değerleri için  $H=3m$ ’lik ağırlık duvarı üzerinde etkiyecek toprak basınçları hesaplanmıştır. Şekil 7.3’te görüleceği gibi artan içsel sürtünme açılarına bağlı olarak duvarın üzerine gelen aktif toprak basınçlarının azaldığı gözlenmiştir. Üçüncü parametre olarak duvar arka yüzeyinin yatayla yaptığı açının( $\beta$ ) artışına bağlı olarak, duvarın üzerine gelen toprak basıncı değerlerinde ki

değişim incelenmiş ve Şekil 7.4'te görüldüğü gibi bir azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Dördüncü parametre olarak dolgu yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açığa bağlı olarak toprak basıncı değişimleri incelenmiş ve duvar üzerine etki eden toprak basıncı değerlerinde dolgu yüzü eğiminin artmasına bağlı olarak bir artış gözlenmiştir(Şekil 7.5). Duvar üzerinde etkiyen toprak basınçlarını etkileyebilecek beşinci parametre olarak duvar-zemin sürtünme açısının etkisi incelenmiş ve Şekil 7.6'dan görüleceği üzere diğer parametrelerle kıyaslandığında göreceli olarak önemsiz kaldığı belirlenmiştir.

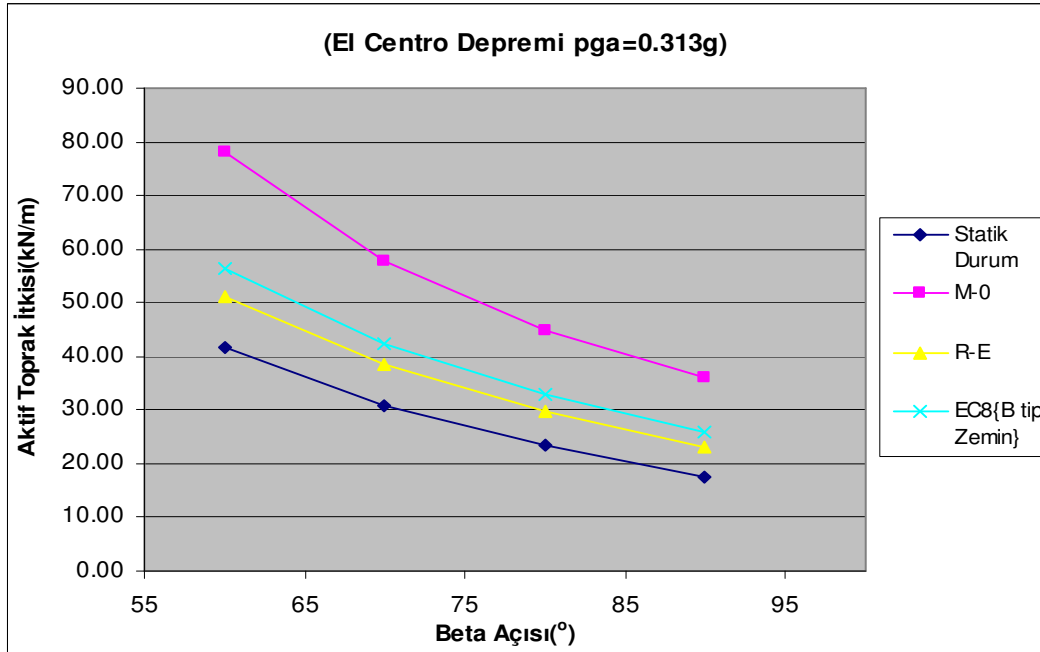
İstinat duvarlarının boyutları ve zemin parametrelerinden bağımsız olarak toprak basınçlarının izin verilebilir deplasman seviyeleri ile değişimi R-E(1979) ve Whitman-Liao(1985) yöntemleriyle araştırılmaktadır. İzin verilebilir deplasman seviyeleri aslında istinat duvarlarının tasarımında yeni bir kavramdır ve ilk kez şev stabilitesi hesaplarında Franklin ve Chang(1977) tarafından geliştirilen ampirik formülün Richards ve Elms(1979) tarafından istinat duvarlarına uygulanmasıyla ortaya çıkmıştır. İzin verilebilir deplasman seviyelerinin kullanılmasına ise yönetmeliklerde ilk kez Eurocode 8'de yer verilmiştir. Şekil 7.7'de izin verilebilir deplasman değerlerinin toprak basınçları üzerinde etkisi  $H=3\text{m}$  yüksekliğinde bir duvar arkasında  $\phi = 30^\circ$  kohezyonsuz bir zemin olması durumu için R-E(1979) ve Whitman-Liao yöntemleriyle kıyaslanılmasına çalışılmıştır.



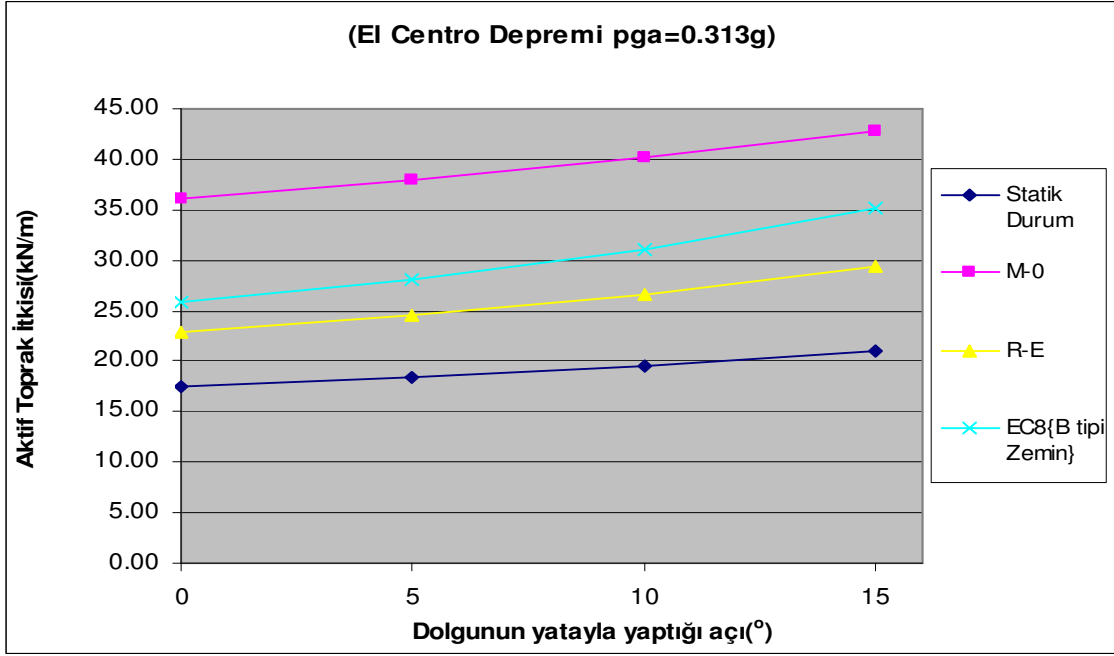
Şekil 7.2 Yükseklik-aktif toprak itkisi değişimi



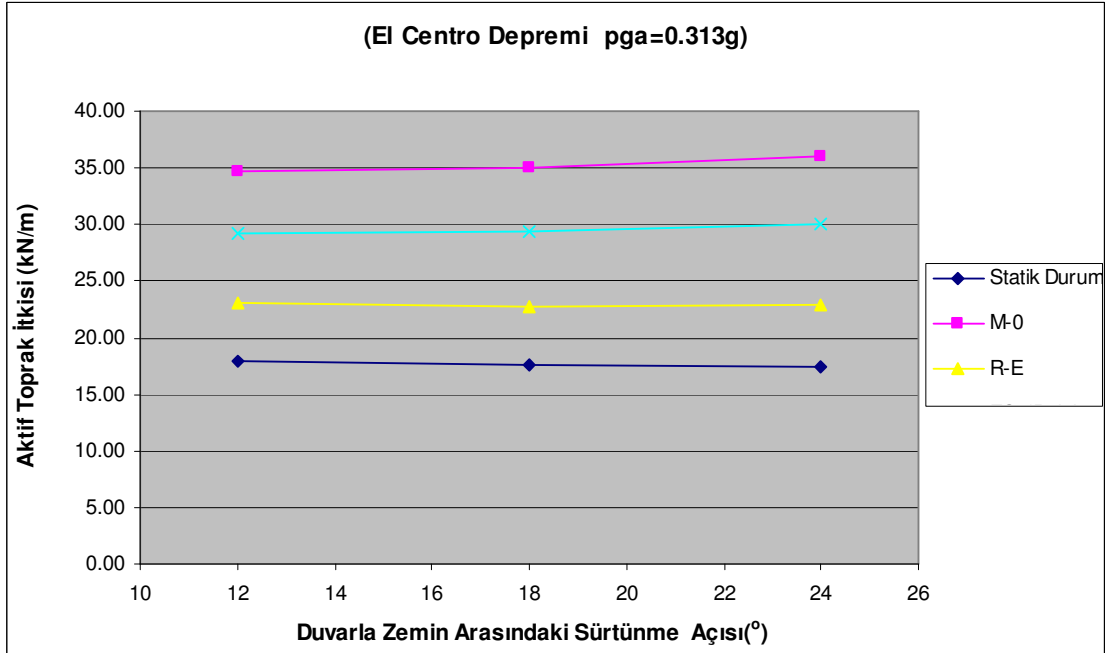
Şekil 7.3 İçsel sürtünme açısı değişiminin toprak itkisi üzerine etkisi



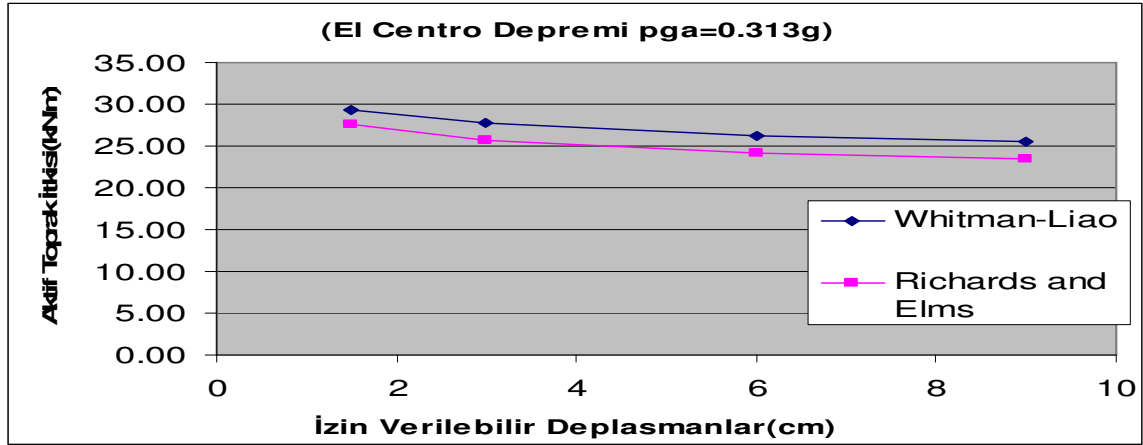
Şekil 7.4 Duvar arka yüzeyi açısının değişiminin toprak itkisine etkileri



Şekil 7.5 Dolgunun yüzeyinin eğiminin toprak itkisine etkisi

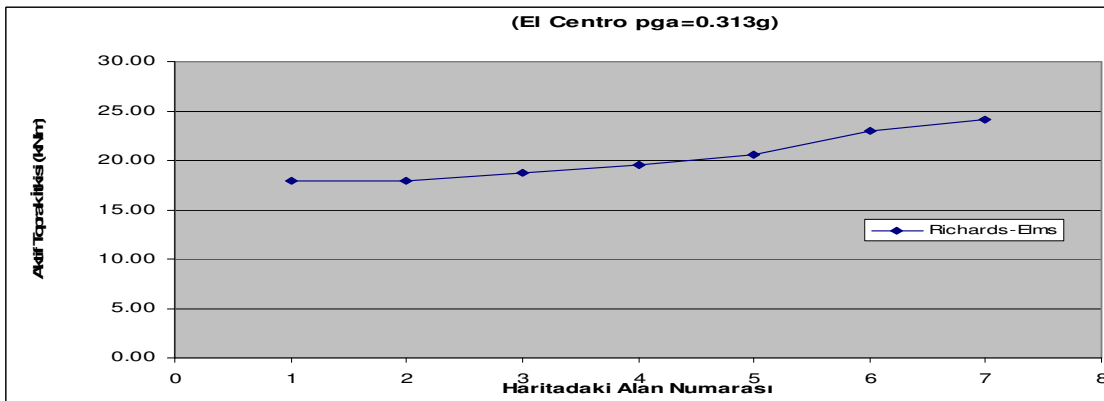


Şekil 7.6 Duvar-zemin sürtünme açısının aktif toprak itkisine etkisi



Şekil 7.7 İzin verilebilir deplasman seviyesinin toprak itkisi üzerine etkisinin iki farklı yöntemle incelenmesi

İki yöntemin birbirine yakın sonuçlar verdiği ve izin verilebilir deplasman seviyesinin artışıyla birlikte iki yöntemde de aktif toprak basınçlarında azalış meydana geldiği göze çarpmaktadır. Daha sonra geliştirilmiş olan Whitman-Liao(1985) yöntemi R-E (1979) yöntemine göre biraz daha büyük toprak itkileri vermektedir. Ayrıca Richards ve Elms(1979) yöntemine göre en büyük avantajı, dolguda meydana gelebilecek zemin büyütmesini dikkate alarak izin verilebilir deplasmanların hesaplanmasında kullanılan katsayılar artırılarak bulunabilmektedir. Şekil 7.8’de ATC 1978’e göre A.B.D.’de yedi değişik bölgede aynı izin verilebilir deplasman seviyesi için toprak itkisinin değişimi gösterilmiştir.



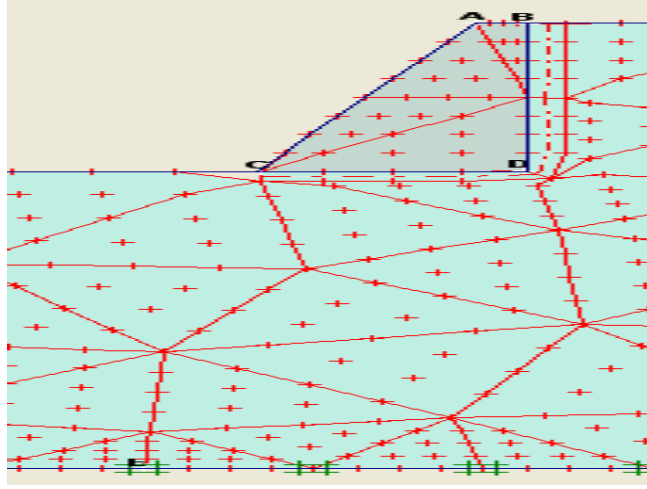
Şekil 7.8 R-E yöntemine göre aynı izin verilebilir deplasman seviyesi için yedi farklı sismik bölgede gözlenebilecek toprak itkisi

## **7.2 Ağırlık İstinat Duvarlarının Davranışının Dinamik Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi**

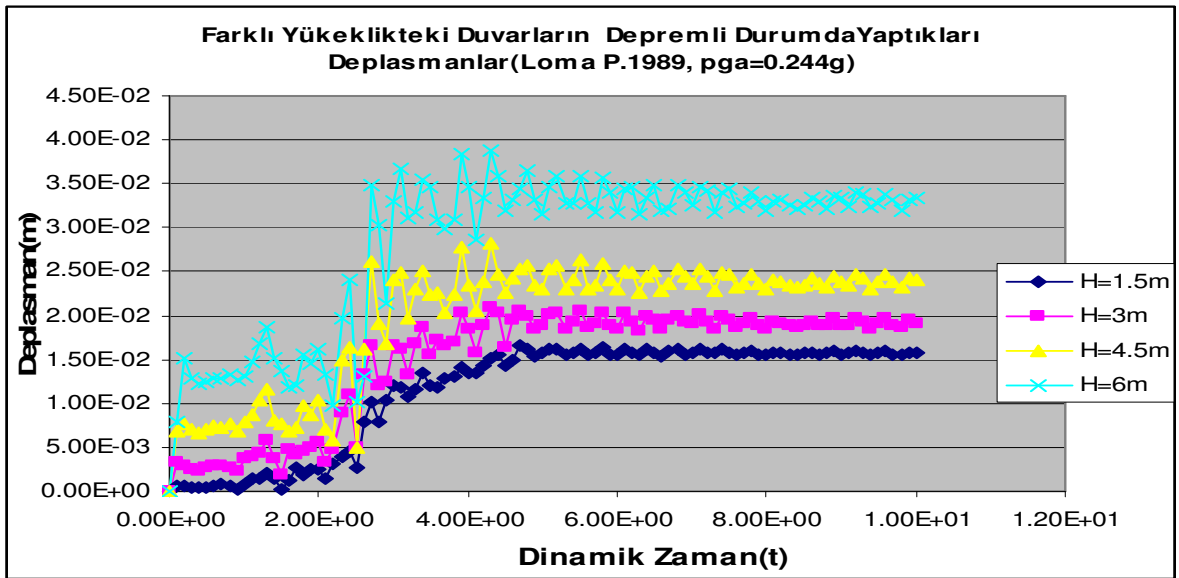
İstinat duvarlarının depremler sırasında davranışı dinamik sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilebilen Plaxis 7.2 paket programı ile araştırılmıştır. Analizlerde ivme kaydı olarak Loma Prieta(1989) deprem kaydı ve farklı deprem büyüklüklerinin etkisini incelemek amacı ile Imperial Valley El Centro(1940) kaydı ölçeklendirilerek kullanılmıştır. El Centro(1940) Imperial Valley kaydı toplam 40 saniyelik bir kayıt olup pik ivme değeri 0.313g'dir. Kullanılan Loma Prieta (1989) kaydının ise pik ivme değeri 0.244g, toplam süresi ise 10 saniyedir.

### **7.2.1 Ağırlık Duvarlarının Plaxis7.2'de Yapılan Analizlerden Elde Edilen Deplasman Seviyeleri ve Gerilme Dağılımları**

Plaxis7.2 programında ilk olarak, Loma Prieta(1989) ivme kaydı kullanılarak duvarın yüksekliğinde meydana gelecek artışların ağırlık duvarının deplasman seviyelerinde yaratacağı değişim incelenmiştir. Analizlerde duvar temel zemini ve geri dolgu için aynı zemin parametreleri kullanılmıştır. Ağırlık duvarlarının yüksekliğinde meydana gelen artışlara bağlı olarak stabilitenin sağlanması için ağırlığında da artışlar meydana gelmektedir. Duvarların yapmış olduğu deplasmanlar incelenirken relatif deplasmanlar dikkate alınmıştır. Duvarın üzerinde deplasmanı incelenen noktalar Şekil 7.9 üzerinde gösterilmiştir. Duvarın rijit davranış göstermesinden dolayı A noktası ile B noktasının, C noktası ile D noktasının yapmış olduğu deplasman miktarlarının aynı miktarda olduğu görülmüştür. Duvarların yapmış olduğu deplasmanlar ana kaya üzerinde seçilen E noktasına göre belirlenmiştir. Farklı rijitliklerde olan zeminler ve farklı yükseklikte olan duvarların yaptıkları deplasmanları karşılaştırılırken duvarın en üstünde yer alan A noktası dikkate alınmıştır. Duvar yüksekliğine bağlı olarak oluşan deplasmanlar Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Artan ağırlığa rağmen, duvarın üzerine etkiyen toprak basınçlarının artışı sonucu artan duvar yüksekliği ile birlikte duvarlarda meydana gelen deplasmanlar daha büyük olmuştur.

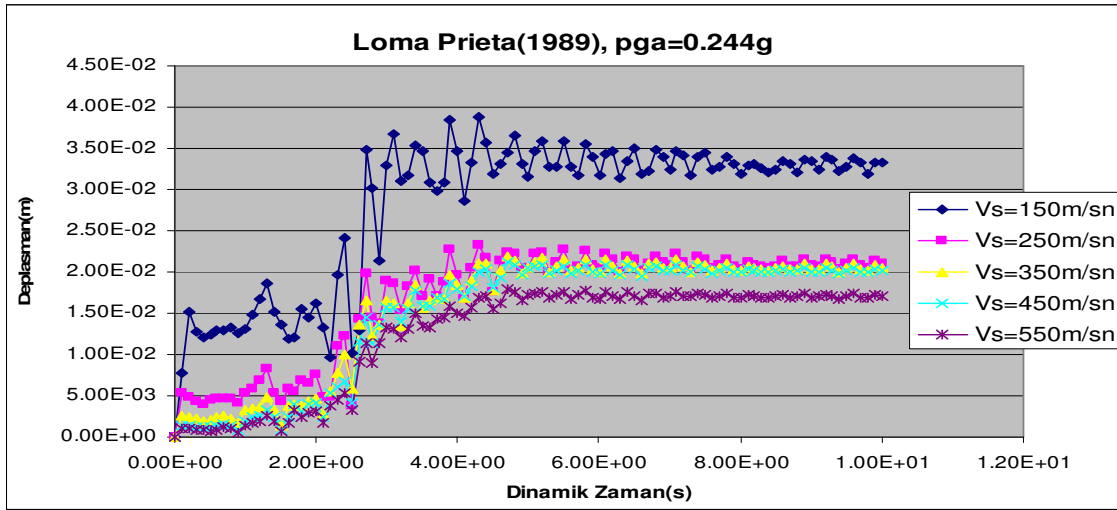


Şekil 7.9 İstinat duvarının deplasmanı incelenirken dikkate alınan noktalar



Şekil 7.10 Plaxis 7.2'de yapılan analizlerde duvar yüksekliğine bağlı olarak ağırlık duvarlarının deplasman seviyelerinde meydana gelen değişimler ( $V_s=150m/sn$ )

Ağırlık duvarlarında zeminin rijitliğinin artmasıyla birlikte duvarın yapmış olduğu deplasman seviyelerinde meydana gelen değişimler ise Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Zeminin rijitliği arttıkça analizlerde kullanılan deprem hareketi için, deplasmanların azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 7.11  $H=6\text{m}$  olan ağırlık duvarı için zeminin rijitliğine bağlı olarak deplasman seviyelerinde meydana gelen değişimler.

Farklı zemin rijitlikleri için bulunan deplasman değerleri kullanılarak Whitman-Liao(1985) ve Richards-Elms(1979) tarafından önerilen bağıntılar yardımıyla eşik ivme değerleri belirlenmiştir. Belirtilen iki yöntemle göre bulunan eşik ivme değerleri Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

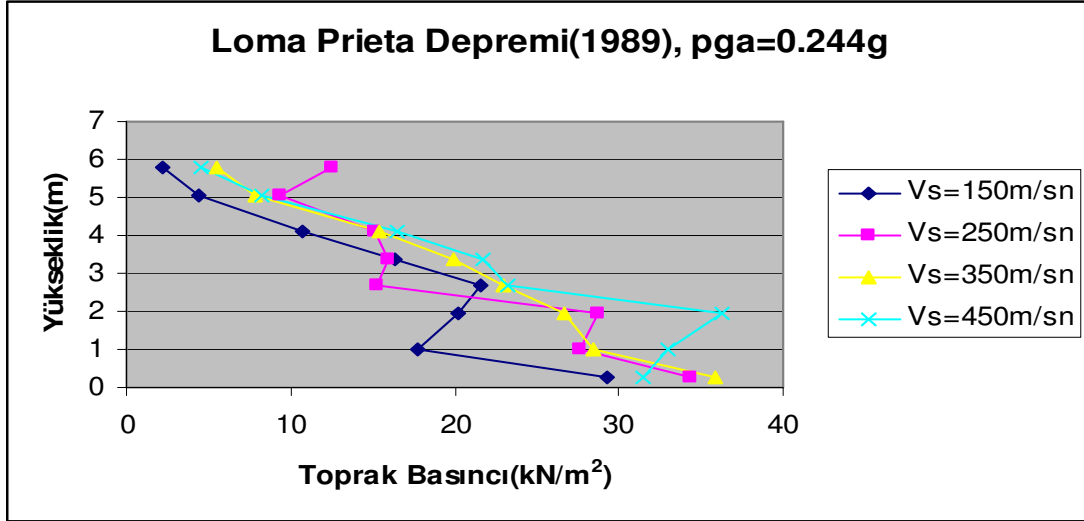
Çizelge 7.1 Whitman-Liao(1985) yöntemine göre hesaplanan eşik ivme ve deprem sırasında oluşan toprak itkisi değerleri

| Whitman-Liao         | d(cm) | kh (g) | kh/pga(%) | Pae(kN/m) |
|----------------------|-------|--------|-----------|-----------|
| $V_s=150\text{m/sn}$ | 3.33  | 0.1413 | 0.578     | 96.43     |
| $V_s=250\text{m/sn}$ | 2.11  | 0.1532 | 0.626     | 99.10     |
| $V_s=350\text{m/sn}$ | 2.06  | 0.1538 | 0.629     | 99.24     |
| $V_s=450\text{m/sn}$ | 2.02  | 0.1543 | 0.631     | 99.35     |

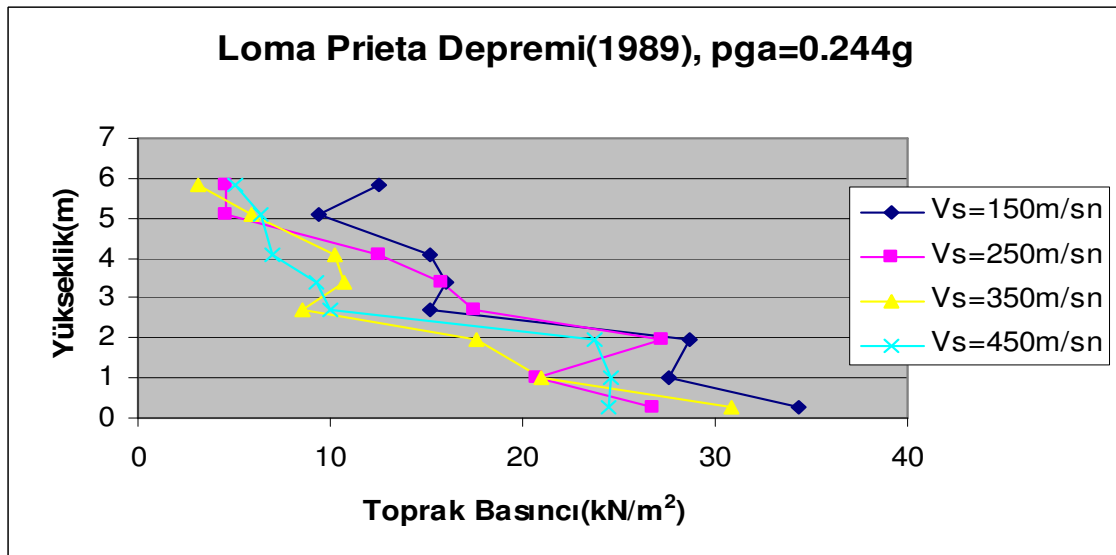
Çizelge 7.2 Richards-Elms(1979) yöntemine göre hesaplanan eşik ivme ve deprem sırasında oluşan toprak itkisi değerleri

| R-E                  | d(cm) | kh (g) | kh/pga(%) | Pae(kN/m) |
|----------------------|-------|--------|-----------|-----------|
| $V_s=150\text{m/sn}$ | 3.33  | 0.1125 | 0.460     | 90.26     |
| $V_s=250\text{m/sn}$ | 2.11  | 0.1261 | 0.516     | 93.12     |
| $V_s=350\text{m/sn}$ | 2.06  | 0.1268 | 0.519     | 93.28     |
| $V_s=450\text{m/sn}$ | 2.02  | 0.1275 | 0.521     | 93.41     |

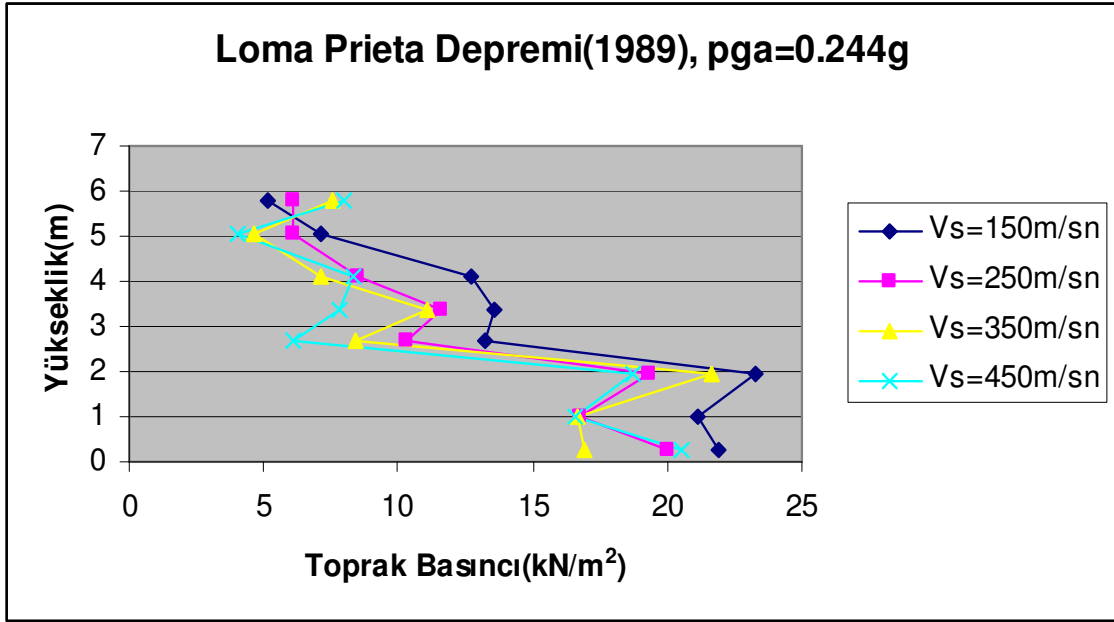
Duvar üzerinde deprem sırasında etkiyen toprak basınçlarını belirleyebilmek için değişik deprem süreleri sonunda oluşan toprak basınçları hesaplanmıştır.  $H=6\text{m}$  olan ağırlık istinat duvarı için 10 sn süreli ve  $p_{ga}=0.244g$  olan Loma Prieta(1989) deprem hareketinin 2, 4, 6, 8,10 sn etkimesi sonucunda farklı rijitlikte olan zeminler için elde edilen toprak basıncı dağılımları Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15 ve Şekil 7.16’de gösterilmiştir.



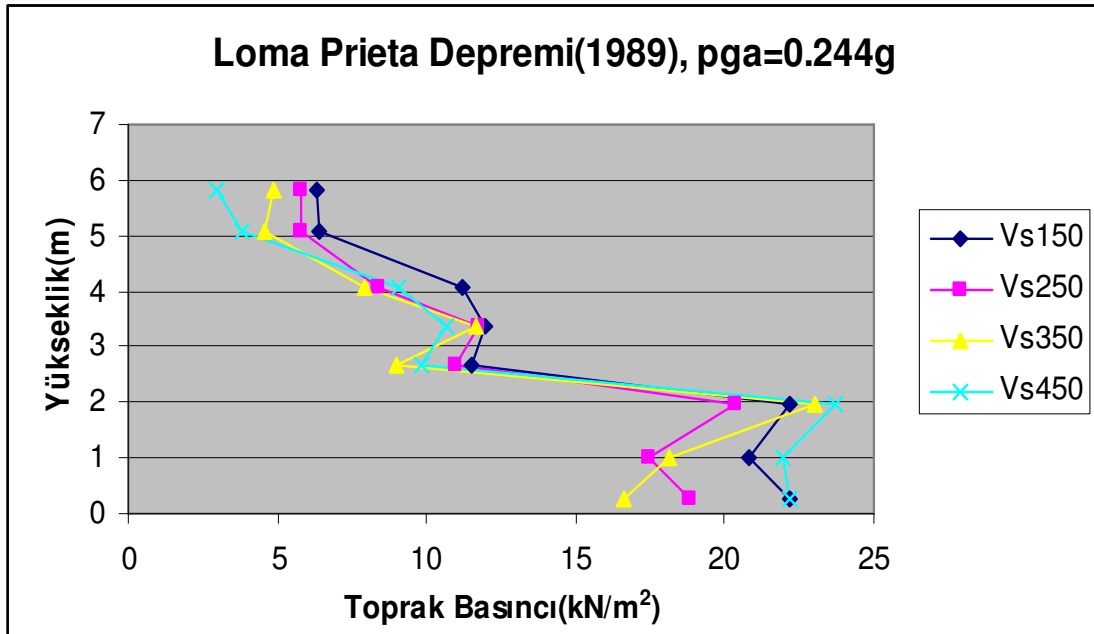
Şekil 7.12  $H=6\text{m}$  olan istinat duvarı arkasında  $t=2\text{sn}$ ’de oluşan toprak basıncı dağılımı



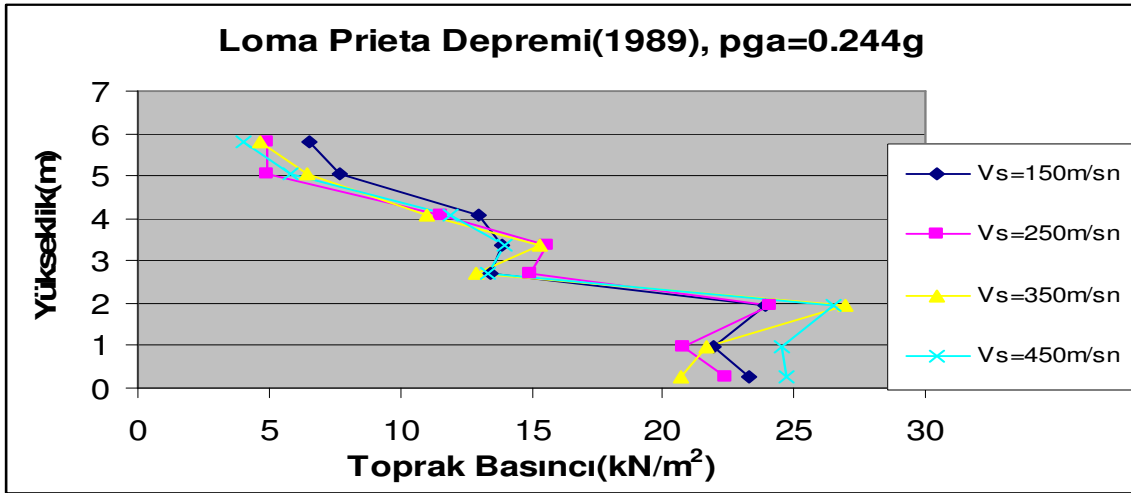
Şekil 7.13  $H=6\text{m}$  olan istinat duvarı arkasında  $t=4\text{sn}$ ’de oluşan toprak basıncı dağılımı



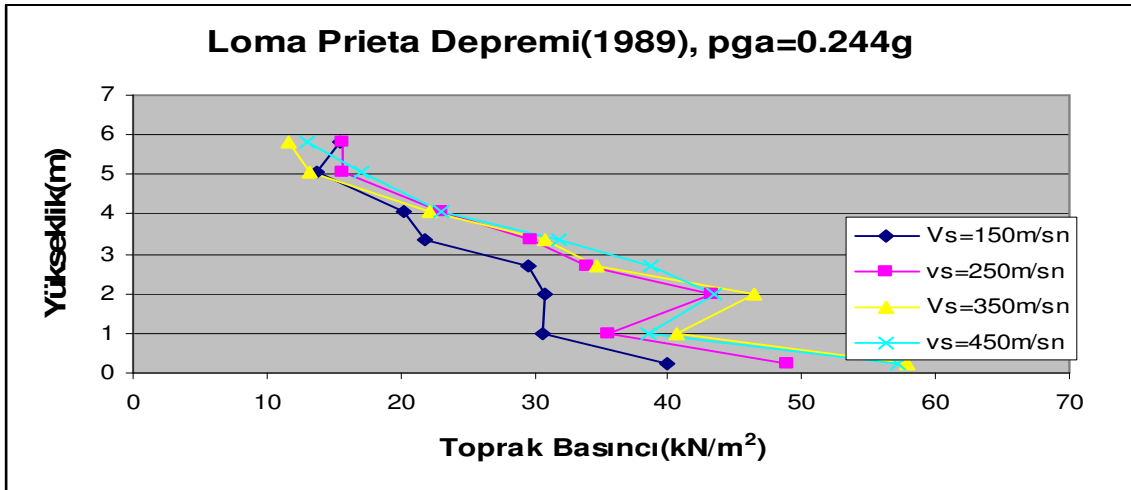
Şekil 7.14  $H=6m$  olan istinat duvarı arkasında  $t=6sn$ 'de oluşan toprak basıncı dağılımı



Şekil 7.15  $H=6m$  olan istinat duvarı arkasında  $t=8sn$ 'de oluşan toprak basıncı dağılımı



Şekil 7.16 H=6m olan istinat duvarı arkasında t=10sn’de oluşan toprak basıncı dağılımı



Şekil 7.17 H=6m olan istinat duvarı arkasında duvar yüksekliğine bağlı değişen maksimum toprak basıncı dağılımı

Şekil 7.17’de ise H=6m yüksekliğindeki duvar arkasında farklı rijitliklere sahip zeminlerde deprem sırasında oluşan en büyük toprak basıncı dağılımları gösterilmiştir. Toprak basıncı dağılımlarının  $V_s \geq 250 \text{ m/sn}$  olan zeminlerde birbirine benzer olduğu gözlenmektedir. Loma Prieta depremi dikkate alınarak pik ivme değerinin kullanıldığı yarı-statik çözümlerle Plaxis 7.2 programını yardımıyla yapılan analizler kıyaslandığında yarı-statik yöntemlerle yapılan hesaplardan elde edilen ve istinat duvarının üzerine etkileyen Pae kuvveti 122.65 kN/m ve gerilme pae  $40.88 \text{ kN/m}^2$  olarak bulunmuş olup Şekil 7.17’de gösterilen en büyük toprak

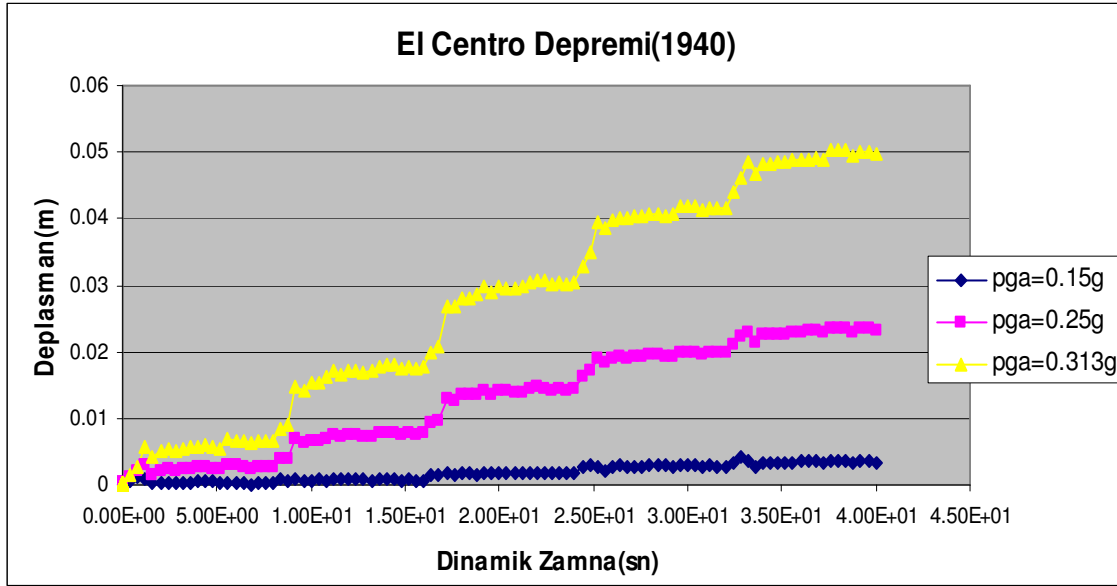
basıncı dağılımları incelendiğinde, kayma dalgası hızının 150m/sn olduğu zeminin tabanında elde edilen 40 kPa'lık gerilme için birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiğinden bahsedilebilir. Fakat zeminin rijitliği arttıkça duvar taban seviyesinde etkiyen toprak basınçları artış göstermekte ve  $V_s=450\text{m/sn}$  değerinde yarı-statik yöntemlerden elde edilen gerilmenin yaklaşık 1.5 katı değerine ulaşmaktadır. Dikkat edilmesi gereken bu değerlendirmenin sadece duvarın tabanı için yapılmış olmasıdır.

Plaxis7.2 yardımıyla deprem sırasında duvarın üzerine etkiyen maksimum toprak gerilmeleri için toprak itkisinin bulunması ile yarı-statik yöntemler kullanılarak bulunan toprak itkilerinin karşılaştırılması Çizelge 7.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 7.3 Plaxis7.2 yardımıyla maksimum toprak basınçları için bulunan toprak itkisinin M-O yönteminden bulunan toprak itkisiyle karşılaştırılması

|                                    |                      | Yöntem    | Pae       |             |
|------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-------------|
|                                    |                      | M-O       | 116.90026 | Plaxis/M-O% |
| Loma P. Depremi için Toprak İtkisi | $V_s=150\text{m/sn}$ | Plaxis7.2 | 149.82525 | 1.28        |
|                                    | $V_s=250\text{m/sn}$ |           | 183.13808 | 1.57        |
|                                    | $V_s=350\text{m/sn}$ |           | 192.79145 | 1.65        |
|                                    | $V_s=450\text{m/sn}$ |           | 196.26099 | 1.68        |

İstinat duvarlarının farklı büyüklükte depremler sırasında yapacakları deplasman seviyelerinin tespiti için El Centro(1940) deprem kaydı ölçeklendirilmiş ve aynı özelliklerde farklı pik ivmelere sahip yeni kayıtlar elde edilmiştir ve istinat duvarlarına etkilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde 0.15g, 0.25g ve 0.313g pik ivme değerine sahip El Centro(1940) kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 7.18  $V_s=250$  m/sn olan zeminde yer alan ağırlık duvarında El Centro Depremi'nin farklı pik ivme değerlerine sahip kayıtlarında oluşan deplasmanlar ( $H=3$ m)

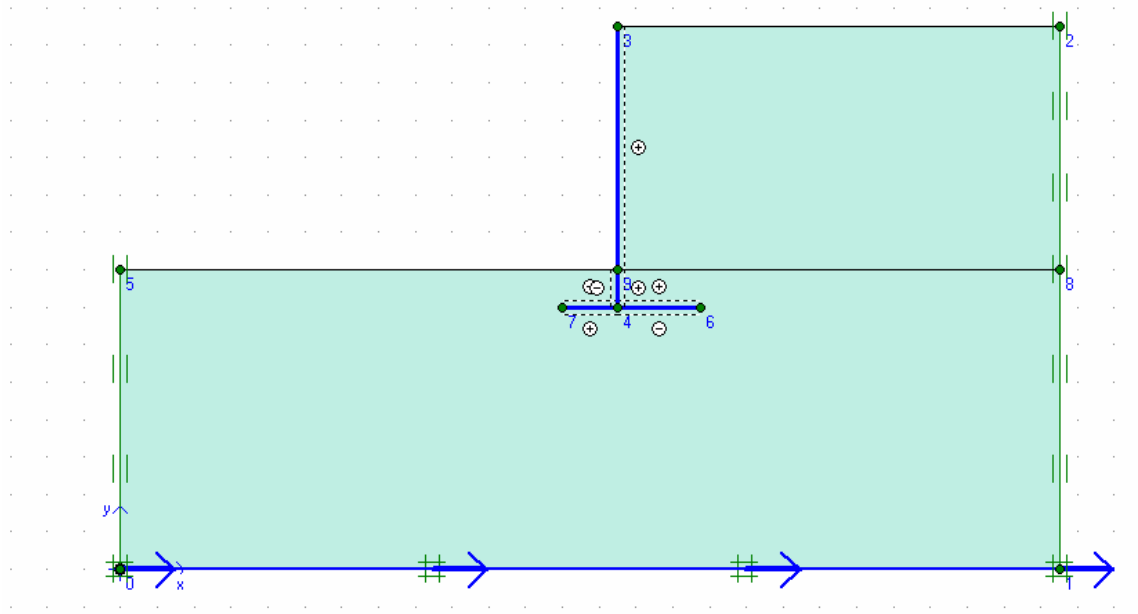
Farklı pik ivme değerlerine sahip deprem kayıtları kullanıldığında depremin artan büyüklüğü nedeni ile duvarın yapmış olduğu deplasmanlarda artışlar Şekil 7.17 yardımıyla gözlenmektedir.

### 7.3 Konsol İstinat Duvarlarının Deprem Yüklemesi Etkisinde Davranışının Dinamik Analizi

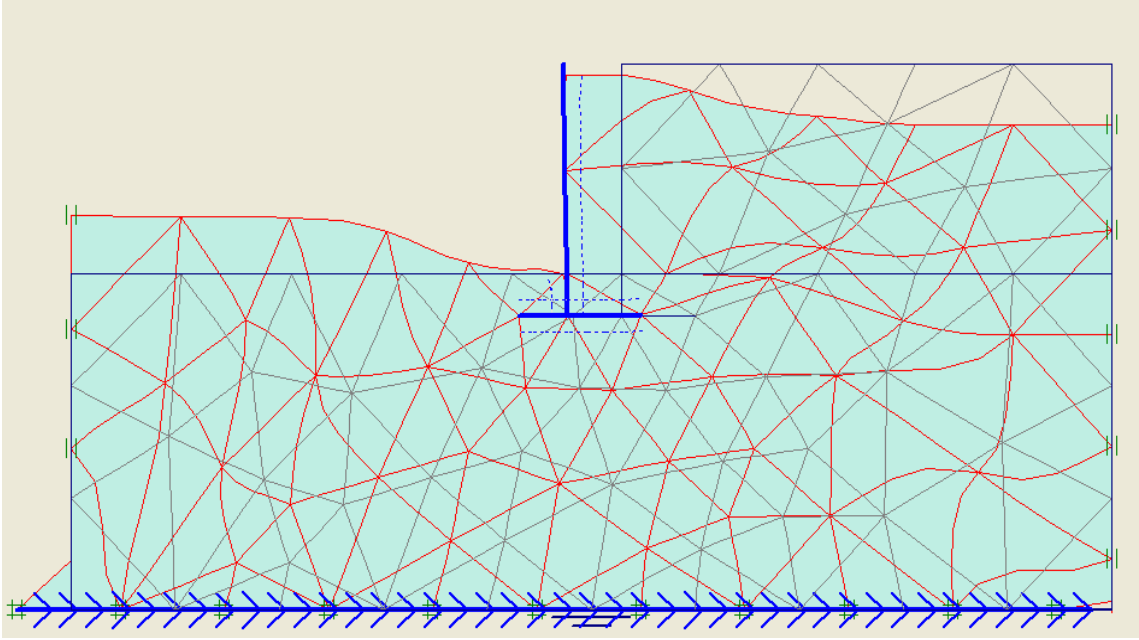
Üç farklı yükseklikte konsol istinat duvarları, El Centro(1940) depreminin Imperial Valley istasyonundan alınan pik ivme değeri 0.313g olan ivme kaydı etkisinde davranışı Plaxis7.2 programı ile analiz edilmiştir. Konsol istinat duvarının yükseklikleri sırasıyla 6m, 7.5m ve 9m alınarak analizler yapılmıştır. Konsol duvarlar modellenirken bir kiriş eleman gibi davranacağı varsayımıyla eksenel rijitlik ve eğilme rijitlikleri tanımlanan kiriş elemanın özellikleri olarak girilmiştir. Betonun elastisite modülü 20000 kPa, birim hacim ağırlığı da 24 kN/m<sup>3</sup> alınarak analizler yapılmıştır. Konsol tipte istinat duvarları T şeklinde modellenmiş ve ağırlık duvarlarından farklı olarak ön kısmında pasif toprak itkisi doğacak şekilde taban plağı bir metre zeminin içine gömülmüştür. Duvarın boyutlandırılmasında konsol genişliği 0.30 m ve taban plağının genişliği bütün analizlerde  $H/2$  olarak alınmış ve ön ampattmanın boyu  $H/3$ , arka ampattmanın boyu  $2H/3$  olarak kabul edilmiştir. Betonun davranışının elasto-plastik

olarak alındığı analizlerden bulunan kesme kuvvetleri, eğilme momentleri ve eksenel kuvvetler kullanılarak istinat duvarının betonarme tasarımı yapılabilir. Kiriş elemanı elastoplastik davranış gösterecek şekilde modellenmiştir. İstinat duvarının donatılarının yerleştirilmesi bu tezin kapsamı dışında tutulmuştur.

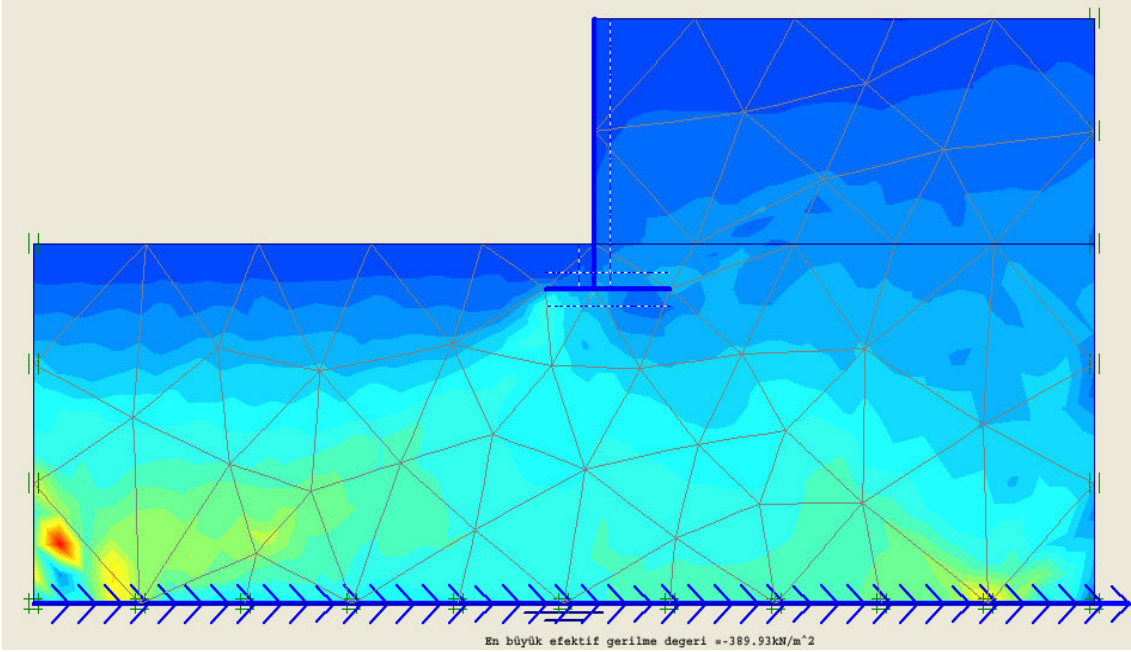
Şekil 7.19'da  $H=6\text{m}$  olan konsol duvarın sonlu elemanlar modeli, Şekil 7.20'de deprem sonunda deforme olmuş modeli, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22'de sırası ile, en büyük efektif gerilme ve relatif kayma gerilmelerinin dağılımı ile Şekil 7.23 ve Şekil 7.24'te sırası ile duvar perdesi arkasında oluşan en büyük efektif normal gerilme ve en büyük kayma gerilmelerinin dağılımları gösterilmiştir. Şekil 7.25, 7.26 ve 7.27'de ise, sırası ile duvar eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetlerin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 7.19  $H=6\text{m}$  olan konsol istinat duvarı sonlu elemanlar modeli

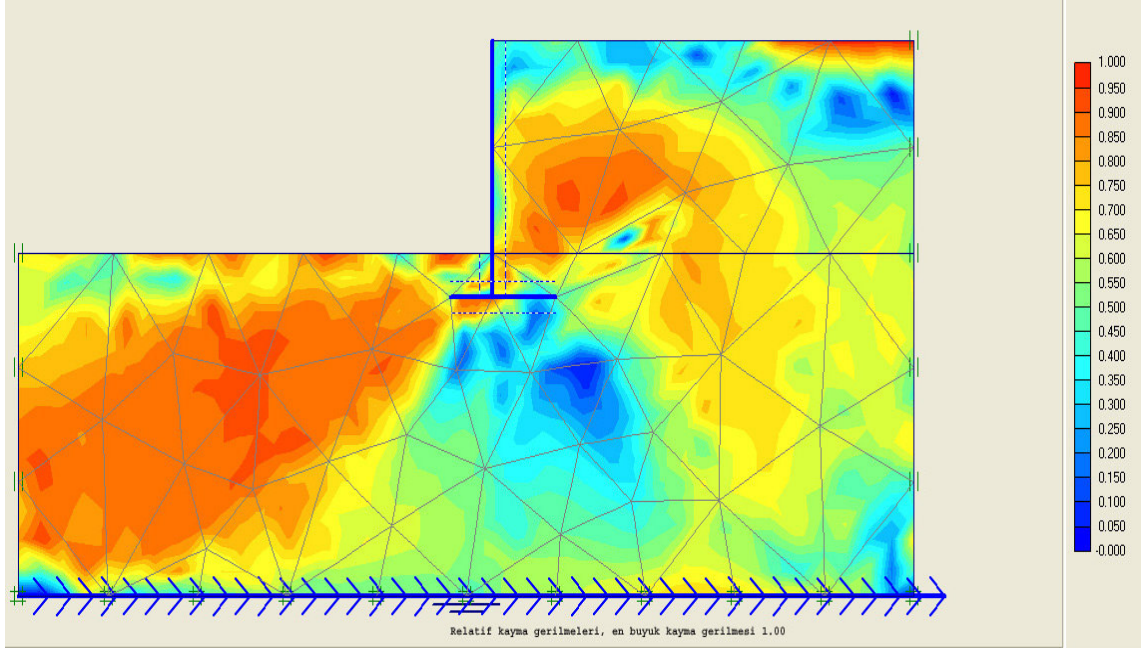


Şekil 7.20 El Centro(1940)  $p_{ga}=0.313g$  depremi uygulandıktan sonra deforme olmuş model( $H=6m$ )

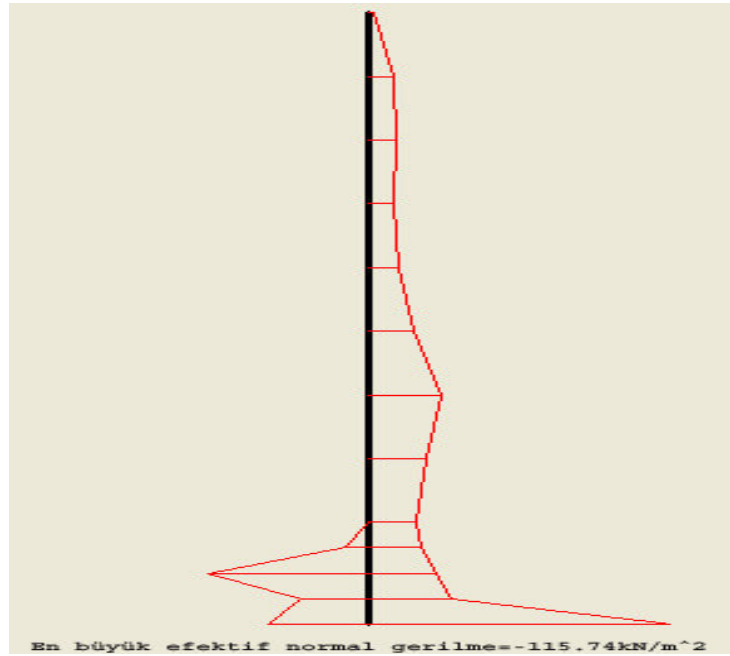


Şekil 7.21 Deprem sonrası zeminde oluşan en büyük efektif gerilmelerin gölgelendirilerek

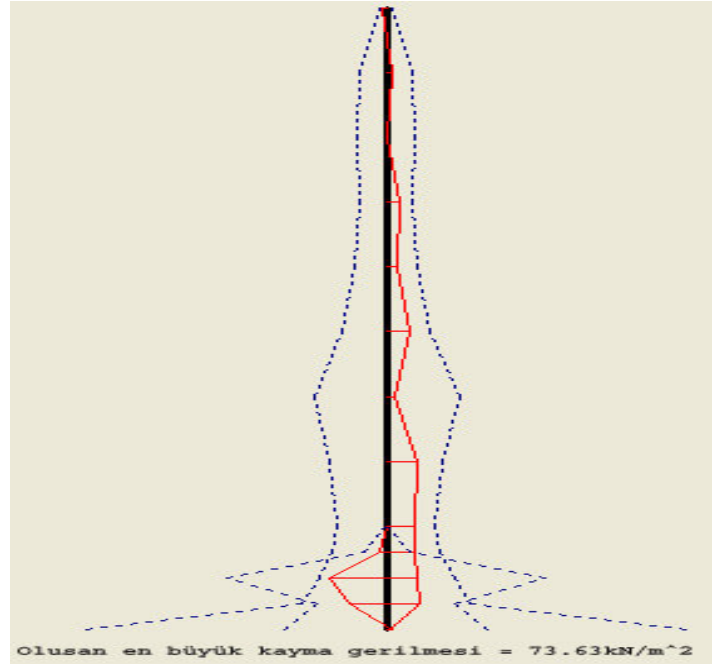
gösterilmiş hali (H=6m)



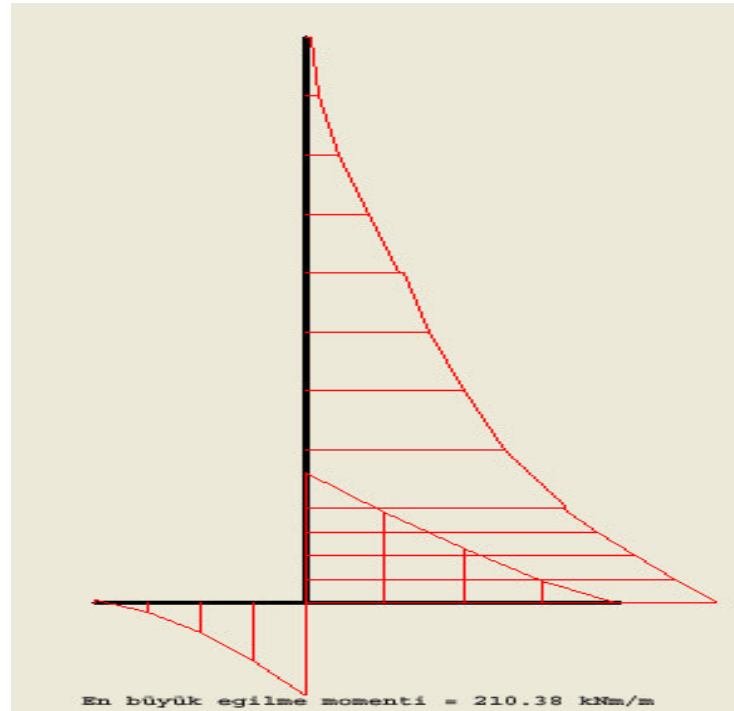
Şekil 7.22 Deprem sonrası zeminde oluşan relatif kayma gerilme dağılımlarının gölgelendirilerek gösterilmiş hali(H=6m)



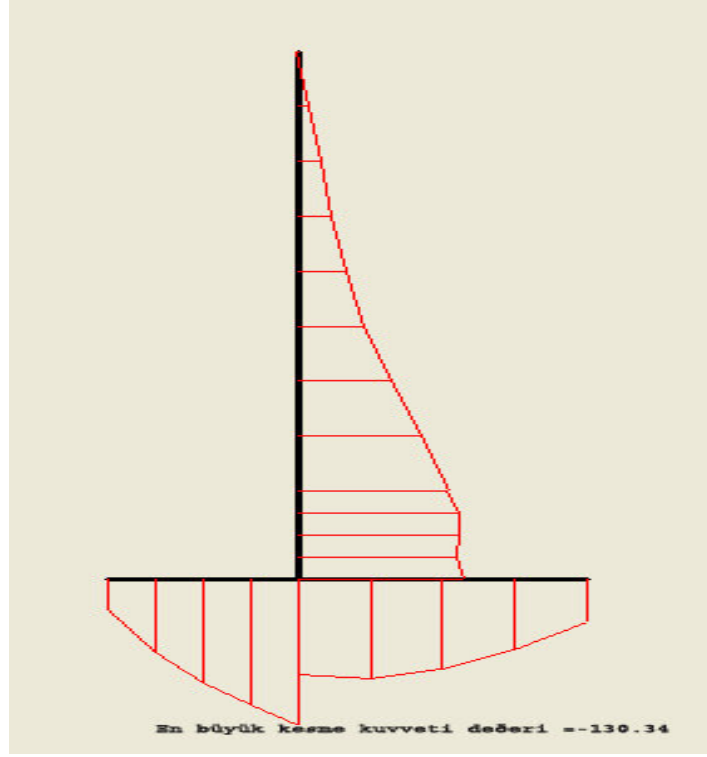
Şekil 7.23 Duvar perdesinde efektif normal gerilmelerinin dağılımı (H=6m)



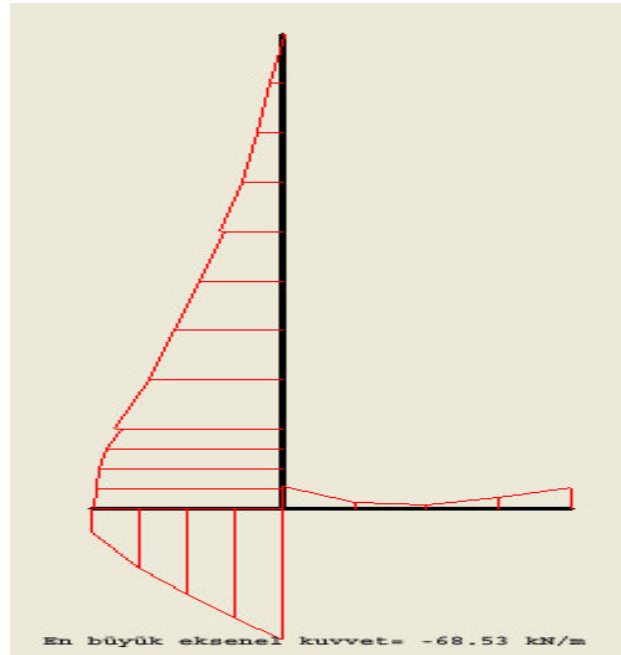
Şekil 7.24 Duvar perdesinde oluşan en büyük kayma gerilmelerinin dağılımı(H=6m)



Şekil 7.25 H=6m olan konsol duvar için eğilme momentlerinin dağılımı



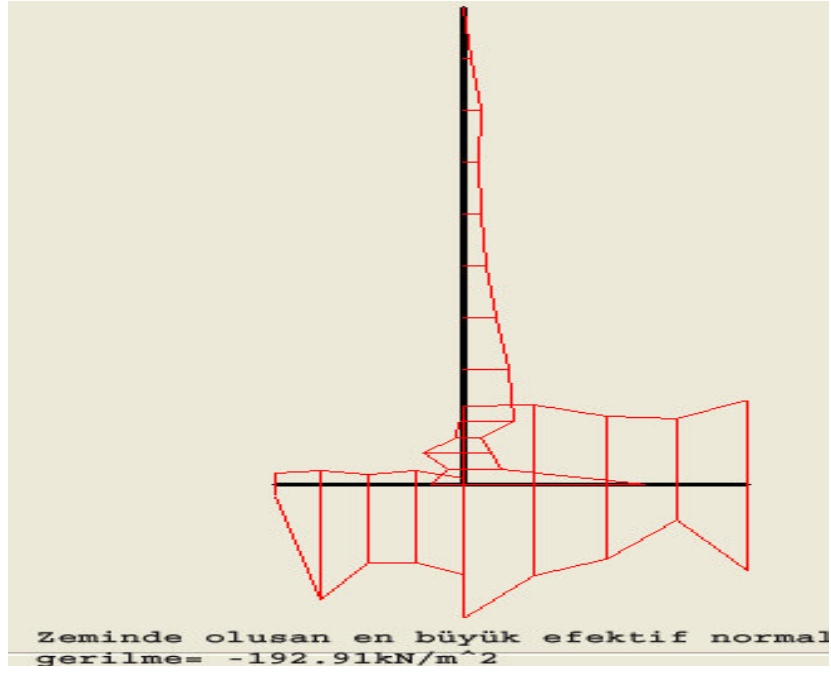
Şekil 7.26 H=6m olan konsol duvar için kesme kuvvetlerinin dağılımı



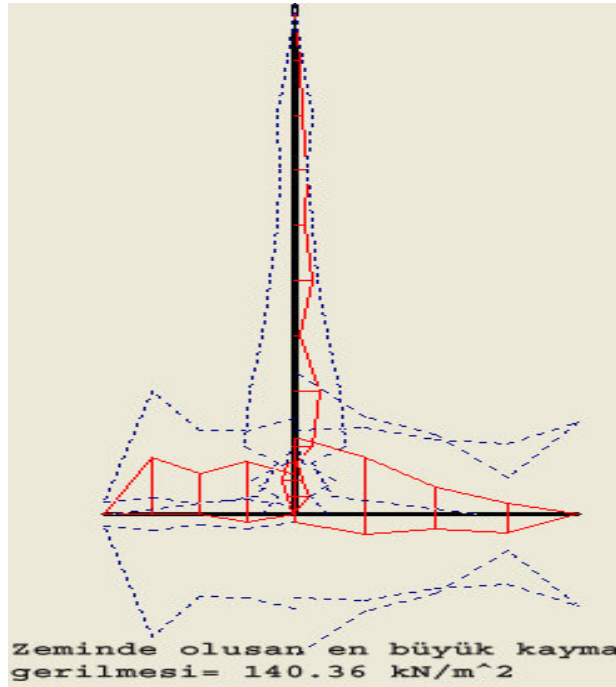
Şekil 7.27 H=6m olan konsol duvar için eksenel kuvvetlerin dağılımı

Şekil 7.28, 7.29, 7.30, 7.31 ve 7.32’de, 7.5m yüksekliğinde bir konsol istinat duvarında

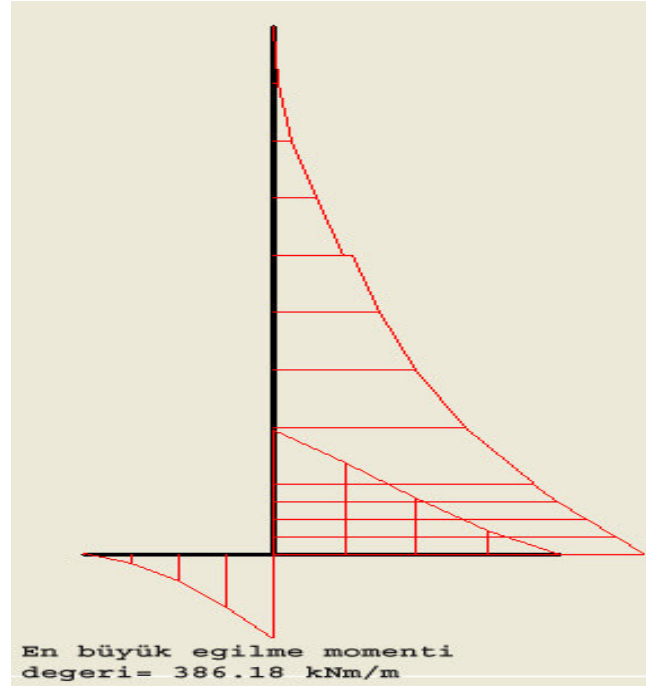
oluşacak zemin gerilmeleri ve kesit tesirleri gösterilmiştir.



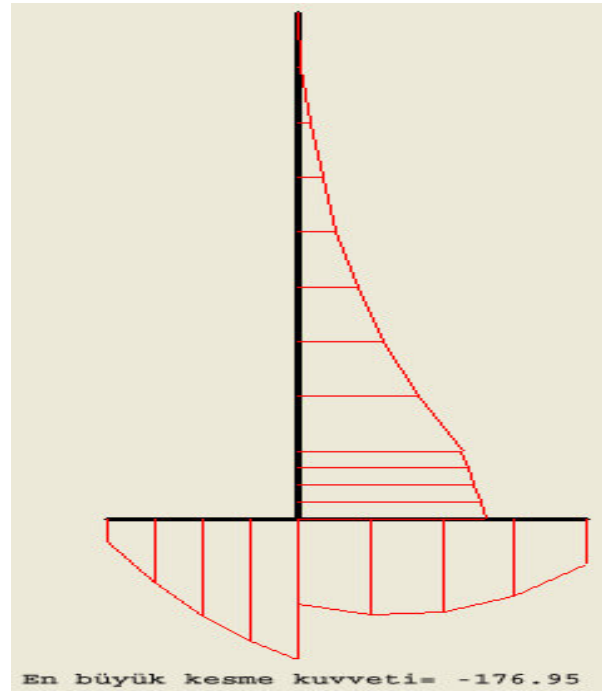
Şekil 7.28 H= 7.5m olan konsol duvarın zemininde oluşan efektif normal gerilme dağılımı



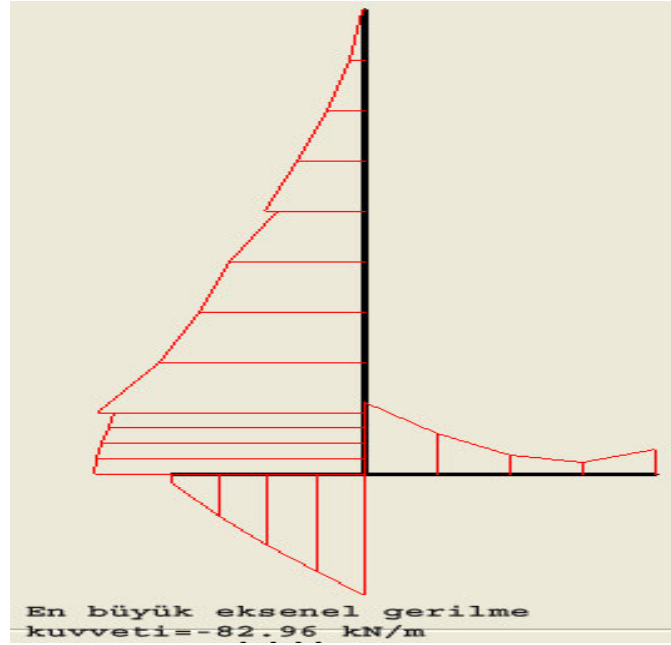
Şekil 7.29 H=7.5m olan konsolun zemininde oluşan kayma gerilmeleri dağılımı



Şekil 7.30 H=7.5 m olan duvarda oluşan eğilme momentleri dağılımı



Şekil 7.31 H=7.5m olan konsol duvarın kesme kuvvetlerinin dağılımı



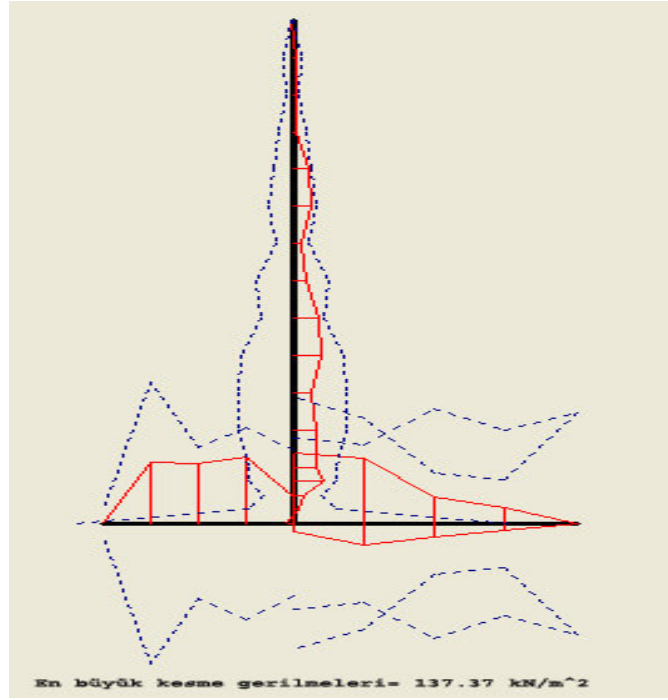
Şekil 7.32 H=7.5 m olan konsol duvarın eksenel gerilme dağılımı

-

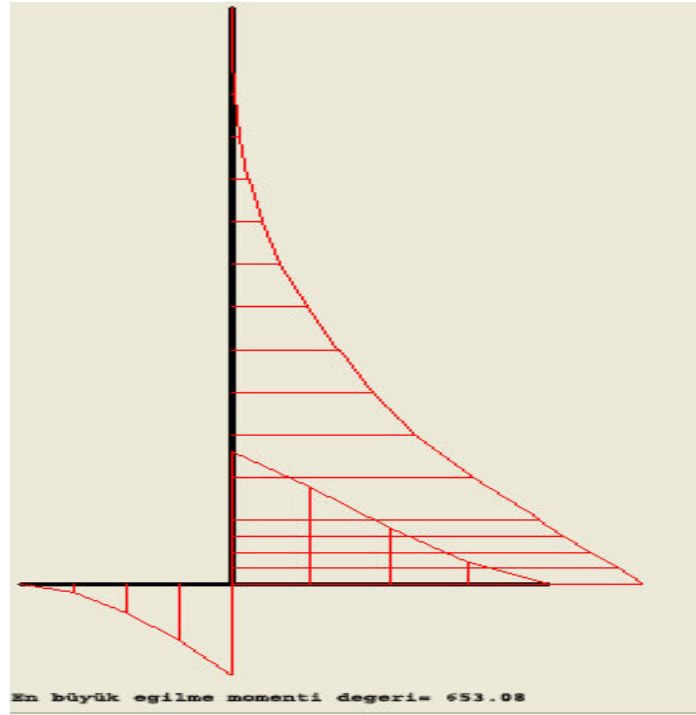
Şekil 7.33, 7.34, 7.35, 7.36 ve 7.37’de ise 9m yüksekliğinde bir konsol istinat duvarı için oluşacak zemin gerilmeleri ve kesit tesirleri gösterilmiştir.



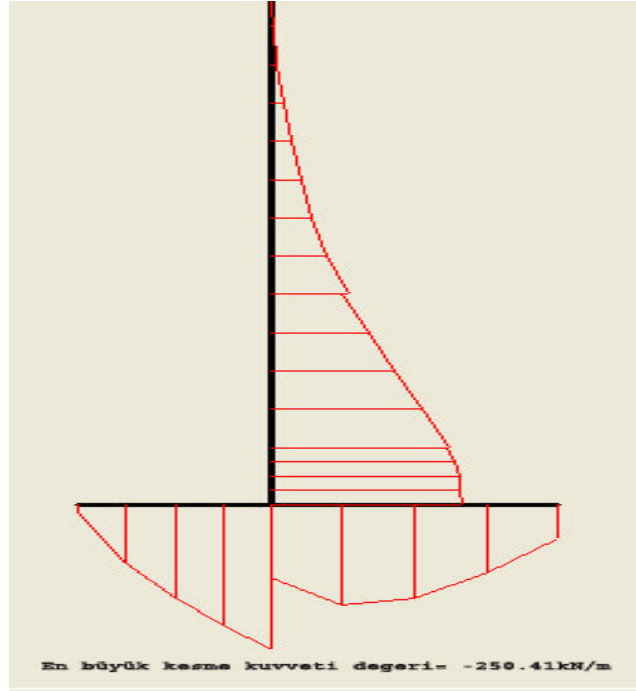
Şekil 7.33 H=9m olan konsol duvarın deprem sonrası zeminde oluşan efektif gerilme dağılımı



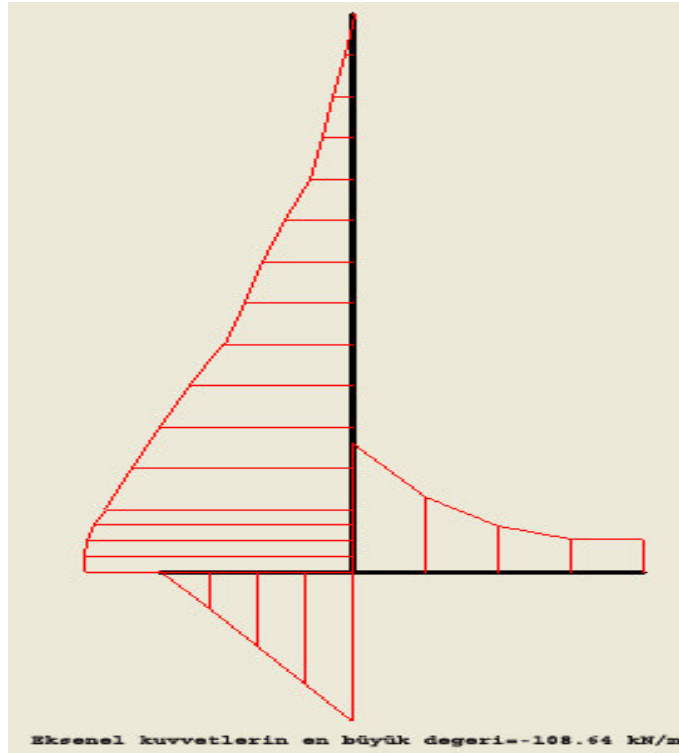
Şekil 7.34 H=9m olan konsol duvar modeli için zeminde oluşan kayma gerilmeleri



Şekil 7.35 H=9m olan konsol duvarın eğilme momentleri dağılımı



Şekil 7.36 H=9m olan konsol duvar için kesme kuvveti diyagramı



Şekil 7.37 H=9m olan duvarda oluşan eksenel kuvvetlerin diyagramı

Plaxis7.2 yardımıyla yapılan analizler sonucunda  $h=6m$ ,  $h=7.5m$ ,  $h=9m$  olan konsol duvarların eğilme momentleri, kesme kuvvetleri bulunabilmektedir. Çıkan sonuçlar yarı-statik yöntemlerde bulunan toprak basınçları dikkate alınarak hesaplanan değerlerle ile karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

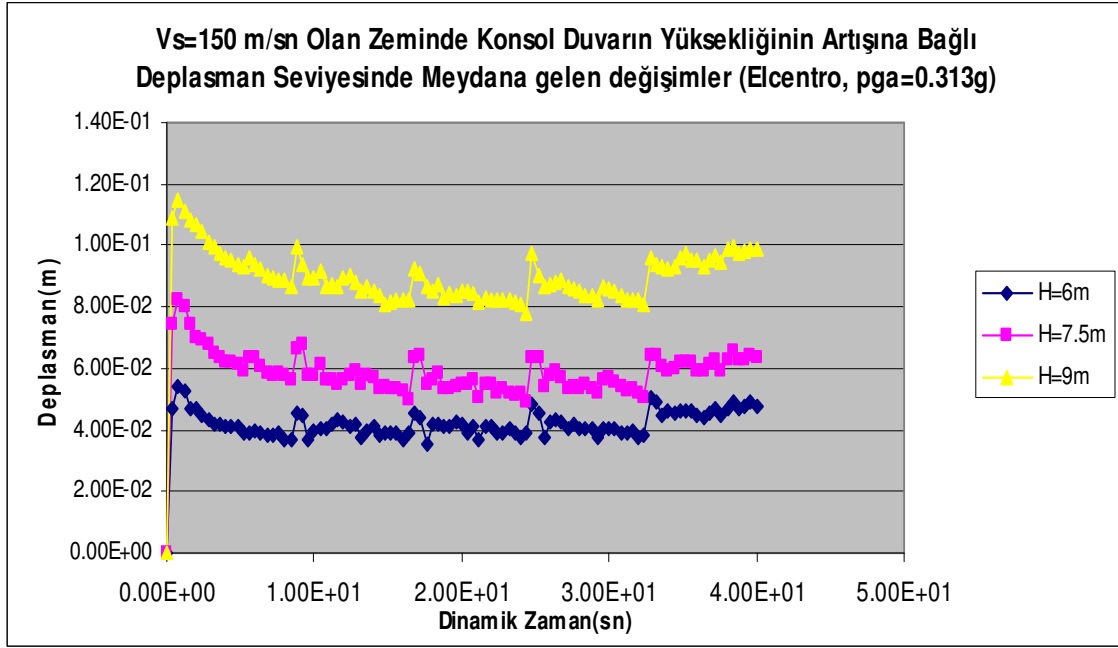
Çizelge 7.4 Plaxis 7.2 yardımıyla El-Centro(1940) deprem kaydı kullanılarak konsol duvarlar için bulunan eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetler

|        | Mp<br>(kNm/m) | Qp(kN/m) | Np(kN/m) |
|--------|---------------|----------|----------|
| H=6m   | 210.38        | 130.34   | 68.56    |
| H=7.5m | 386.18        | 176.95   | 82.96    |
| H=9m   | 653.08        | 240.41   | 108.64   |

Çizelge 7.5 Yarı-statik yöntemlerden M-O yöntemi kullanılarak konsol istinat duvarları için elde edilen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri

|        | Ka     | Pa<br>(kN/m) | Pae<br>(kN/m) | $\Delta Pae(kN/m)$ | Mp (kNm/m) | Qp(kN/m) |
|--------|--------|--------------|---------------|--------------------|------------|----------|
| H=6m   | 0.2349 | 69.76        | 144.18        | 74.42              | 417        | 143.7    |
| H=7.5m | 0.2349 | 109          | 225.29        | 116.285            | 808        | 223.2    |
| H=9m   | 0.2349 | 156.97       | 324.41        | 167.44             | 1433.6     | 308.84   |

Şekil 7.38’de  $V_s=150m/sn$  olan zemine oturan ve farklı yükseklikteki konsol istinat duvarlarında El-Centro(1940) depremi ( $p_{ga}=0.313g$ ) etkisinde meydana geleceği hesaplanan deplasmanlar gösterilmiştir.



Şekil 7.38 Elastoplastik Davranış Gösteren Konsol Duvarın Deprem Sırasında Yapmış Olduğu Deplasmanlar

## 8. SONUÇLAR VE TAVSİYELER

İstinat duvarlarının tasarımında yaygın olarak, yarı-statik yöntemler kullanılmaktadır. Yarı-statik yöntemler yardımıyla istinat duvarlarının üzerine etkiyen aktif toprak basınçları bulunabilmektedir. Bu tezin kapsamı içinde yarı-statik yöntemlerden çıkan sonuçlarla sonlu elemanlar programı yardımıyla bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. İstinat duvarının deprem sırasında gösterebileceği deplasmanlar ve üzerlerine etkiyen yükler incelenebilmektedir. Duvarların yapmış oldukları deplasmanlar incelenirken yapmış oldukları toplam deplasmanların sonlu elemanlar programında sınır koşullarının etkisiyle yanıltıcı olabileceği gözönünde tutularak ana kayada seçilen sabit bir noktaya göre relatif deplasman farkları alınarak bulunmuşlardır.

Yarı-statik yöntemler kendi içinde kıyaslandıklarında M-O yöntemine göre elde edilen toprak basınçları, diğer yarı-statik yöntemlerle kıyaslandığında oldukça büyük aktif toprak basıncı değerleri vermektedir. Eurocode 8 Bölüm -5'te yarı-statik yöntemlerle yapılan çözümler için bazı öneriler sunulmuştur. Bu önerilerin doğrultusunda kullanılacak ivme katsayısı değeri M-O yönteminde kullanılan ivme katsayısı değerinden daha düşük olmakta ve dolayısıyla elde edilen toprak basınçlarının değerleri M-O yöntemine göre daha düşük değerler almaktadır. Diğer bir çözüm yöntemi olarak kullanılan R-E yöntemi duvar boyutlandırılırken kullanılabilir. Yalnız bu yöntem uygulanırken kullanılması gereken bölgesel  $A_v$ ,  $A_a$  katsayıları Amerika Birleşik Devletleri için ATC tarafından sunulmuştur. Türkiye'de inşaa edilecek istinat duvarları için hangi katsayıların seçilmesi gerektiği ile ilgili çalışmalar yapılması gerekmektedir. Hesaplarda kullanılması gereken izin verilebilir deplasman seviyeleri Richards ve Elms(1979) tarafından geliştirilen ampirik formüller yardımıyla bulunabilmektedir.

Yarı-statik yöntemlerden Richards ve Elms(1979), Whitman ve Liao(1985) tarafından geliştirilen yöntemler kullanılırken ivme katsayısı değeri duvar boyutlarından ve zemin parametrelerinden bağımsız olarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemlerin ikisinde de izin verilebilir deplasman seviyesi artırıldığında elde edilen ivme katsayısı değerlerinde bir azalma gözlenmekte duvarın üzerine etkiyen aktif toprak basıncı değerlerinde azalma olmaktadır. Bu yöntemler kullanılırken duvarın ve zeminin özelliklerinin dikkate alınmaması bu yöntemin eksiklikleri olarak görülmektedir.

Yarı-statik yöntemlerle yapılan çözümlerden artan duvar yüksekliğine bağlı olarak ağırlık

duvarları üzerine etkiyen yükün artacağı ve stabilite şartlarının sağlanması için duvar boyutlarının artırılması gerektiği bilinmektedir. Duvar boyutlarının oranları sabit tutularak farklı yüksekliklerde ağırlık duvarları Plaxis 7.2 programı kullanılan modellenmiş ve Loma Prieta deprem kaydının kullanılmasıyla yapılan dinamik sonlu elemanlar analizler ile artan yüksekliklerine bağlı olarak duvarların yaptıkları deplasman seviyelerinin arttığı gösterilmiştir. Yarı-statik yöntemler yardımıyla bulunan yanal toprak basınçları sonlu elemanlar programı yardımıyla bulunan toprak basıncı değerlerinden daha büyük çıkmaktadır. Bu durum yarı-statik yöntemlerin sonlu elemanlar yöntemleriyle elde edilen sonuçlara göre daha tutucu olduğunu göstermektedir. Ayrıca yarı-statik yöntemleri kullanılırken deprem sırasında etkiyen yükün üniform olduğu kabul edilmekle birlikte depremin çevrimsel bir hareket olduğu unutulmamalı ve duvarın üzerine etkiyen gerilmelerin her an değişiklikler gösterebileceği hatırlanmalıdır.

Depremler sırasında, zeminin rijitliğinin artışına bağlı olarak, istinat duvarlarının yaptığı deplasman seviyelerinde bir azalma gözlenmektedir. Loma Prieta deprem kaydı kullanılarak yapılan çözümlerde, zeminin rijitliği artırıldığında istinat duvarının yapmış olduğu deplasman seviyelerinde bir azalma olmaktadır. El-Centro deprem kaydının kullanıldığı ve farklı pik ivmelere sahip depremler etkitildiğinde ağırlık istinat duvarlarının artan pik ivmeler için daha fazla deplasman yaptığı gözlenmiştir. Kullanılan deprem kaydının frekans içeriğinin ve hakim frekansı ile etkileşiminin sonuçlar üzerinde etkili olabileceği dikkate alınmaktadır.

Plaxis 7.2 yardımıyla farklı rijitliklere sahip zeminler için bulunan deplasmanlar Whitman-Liao(1985) ve Richards-Elms(1979) yöntemlerin için izin verilebilir deplasmanlar olarak kullanıldığında bulunan eşik ivme değerleri pik ivme değerinin yaklaşık olarak %50'si kadar hesaplanmaktadır. Bu durumda uygulamada genel bir yaklaşım olarak pik ivme değerinin yarısının alınmasının yanlış olmayacağını göstermektedir.

Plaxis7.2 sonlu elemanlar programı kullanılarak deprem sırasında oluşan maksimum toprak basınçlarına göre toprak itkileri hesaplandığında çıkan sonuçların yarı-statik yöntemlerden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Fakat duvarın üzerine etkiyen toprak basınçlarının deprem sırasında sürekli değişimler gösterdiği unutulmamalıdır.

Farklı bir istinat duvarı tipi olarak konsol istinat duvarlarının davranışı da incelenmiştir. Bu tip istinat duvarlarının ağırlıkları yanında eğilme davranışının da dikkate alındığı üç farklı yükseklikte duvarlar için, sonlu elemanlar programı ile dinamik davranış analizleri

gerçekleştirilmiştir. Yarı-statik yöntemlerden M-O yöntemi kullanılarak konsol duvarlar için elde edilen toprak basıncı değerleri yardımıyla hesaplanan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri değerleri, El-Centro(1940) ivme kaydı kullanılarak sonlu elemanlar programında elde edilmiş eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri değerleri ile karşılaştırıldığında daha büyük oldukları gözlenmiştir. Bu durum değerlendirilirken M-O yöntemi yardımıyla bulunan Pae kuvveti değerinin yarı-statik yöntemler arasında en büyük toprak basıncı değerini veren yöntem olduğu ve duvarın üzerine eşdeğer bir statik deprem kuvveti etkitildiği gözönüne alınmalıdır. Oysa sonlu elemanlar analizlerinde gerçek ivme kaydının duvarın üzerinde yaratacağı etkiler incelenmiştir. Hesaplanan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri arasında bulunan farkın bu durumun bir sonucu olabileceği düşünülmektedir.

Konsol duvarlarda artan yüksekliğe bağlı olarak deprem sırasında eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetlerde artış meydana gelmektedir. Ağırlık duvarlarında olduğu gibi konsol duvarlarda da artan yüksekliğe bağlı olarak hesaplanan deplasman seviyelerinde artışlar meydana geldiği gözlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Yıldırım, S., (2002), “Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Das, M. B., (1998), ”Principles of Foundation Engineering”, PWS Publishing, USA
- Kumbasar, V., Kip, F.,(1992), “Zemin Mekaniği Problemleri”, Çağlayan Kitabevi,İstanbul.
- Önalp, A., (1983), “Geoteknik Bilgisi”, T.C. Karadeniz Üniversitesi Yayını
- Özaydın, K., (1997) “Zemin Mekaniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Berktaş, İ., (1995), “Betonarme I Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, İstanbul
- Bowles, J. E., (1996), “Foundation Analysis and Design”, McGraw-Hill Company inc.,USA.
- Hunt, R.E., (1986), “Geotechnical Engineering Techniques and Practices”,Mc-Graw-Hill Company inc., USA.
- Kramer, S. L., (1996), “Geotechnical Earthquake Engineering”, Prentice Hall, New Jersey.
- NAVFAC Design Manuals 7.1 and 7.2, (1988), “Foundations and Earth Structures”, Department of the Navy, Alexandria, VA.
- Prakash, S., and Basavanna, B.M., (1967), “Earth Pressure Distribution Behind Retaining Walls During Earthquakes”, Proc. Of 4<sup>th</sup> World Conf. On Earthquake Eng., Santiago, Chile.
- Whitman, R. V., (1990), “Seismic Design of Gravity Retaining Walls”, Proc. Design and Performance of Earth Retaining Structures, ASCE Geotechnical Special Pub., No 25, pp. 817-842
- Holtz, D. R., (1981) “An Introduction to Geotechnical Engineering”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Özden, K., Trupia, L. A., İlhan, E., Öztürk, T., (1995), “Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeler”, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (2006). T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Ishihara, K., (1996), “Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics”, Clarendon Press, Oxford.
- Prakash, S., Wu, Y., (1996), “On Seismic Displacements of Rigid Retaining Walls”, Analysis and Design of Retaining Structures Against Earthquakes, ASCE Geotechnical Special Pub., No 60, pp. 21-37
- TS 7994, (1990), “Zemin Dayanma Yapıları, Sınıflandırma Özellikleri ve Projelendirme Esasları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Seed, H.B., Whitman, R.V.(1970), “Design of Eart Retaining Structures for Dynamic Loads” Proceedings, ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Reatining Structures pp.103-107
- Siddharthan, R., Ara, S., Norris, G.M.(1992), “Simple Rigid Plastic Model for Seismic Tilting of Rigid Walls” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol118, No.2, pp.469-487

Sherif, M.A., Ishibashi, I., Lee, C.D., (1982), "Earth Pressure Against Rigid Retaining Walls" Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 108, No. GT5, pp 679-695

Sherif, M.A.; Fang, Y.S. (1984a), "Dynamic Earth Pressure on Wall Rotating About Top" Soils and Foundations, Vol. 24, No. 4, pp 109-117

Sherif, M.A., Fang, Y.S. (1984b), "Dynamic Earth Pressures on Wall Rotating About the Base" Proceedings, 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, Vol. 6 pp. 993-1000

Steedman, R. S., Zeng, X. (1990), "The Seismic Response of Waterfront" Proceedings, ASCE Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Special Technical Publication 25, Cornell University, Ithaca, New York, pp. 872-886

Whitman, R. V., (1990), "Seismic Design Behavior of Gravity Retaining Walls" Proceedings, ASCE, Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Specialty Publication 25, ASCE, New York, pp 817-842

Whitman, R. V., Liao, S. (1995), "Seismic Design of Retaining Walls" Miscellaneous Paper GL-85-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi

Wood, J., (1973), "Earthquake-Induced Soil Pressures on Structures" Report EERL 73-05 California Institute of Technology, Pasadena, California, 311 pp.

Applied Technology Council, (1978), "Tentative Provisions for the development of Seismic Regulations for Buildings", Prepared by Applied Technology Council, Associated with the structure Engineers Association of CA.

Franklin, A. G., Chang, F.K., (1977), "Earthquake Resistance of Earth and Rockfill Dams; Report 5, Permanent Displacements of Earth Embankments by Newmark Sliding Block Analysis", U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Soils and Pavements Laboratory, Vicksburg, Miss., pp. 1-38

Nadim, F. (1980), "Tilting and Sliding of Gravity Retaining Walls During Earthquakes", Master's Thesis, Department of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, Mass.

Nadim, F., Whitman, R.V., (1983), "Seismically Induced Movement of Retaining Walls", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 109, No. 7, July, pp. 915-931

Nadim, F., Whitman, R. V., (1984), "Coupled Sliding and Tilting of Gravity Retaining Walls During Earthquakes", Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering, July 21-28, San Francisco, CA, Vol. III, pp. 477-484

Newmark, N. M., (1965), "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", The Institution of Civil Engineers, The Fifth Rankine Lecture, Geotechnique, Vol. 15, No. 2, January, 1965, pp. 137-161

Praksh, S., Wu, Y., Rafnsson, E. A., (1995, a), "On Seismic Displacements of Rigid Retaining Walls", Proc. Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Engineering and Soil Dynamics, S.T. Louis Vol. III, pp. 1183-1192

Prakash, S., Wu, Y., Rafnson, E.A., (1995, b), "Displacement Based Aseismic Design Charts for Rigid Walls" Shamsher Prakash Foundation, Rolla MO.

Prakash, S., Wu, Y.,(1996), “Displacement of Rigid Retaining Walls During Earthquakes”, 11th World Conference on Earthquake Engineering, June 23-28 (under print)

Rafnsson, E.A., (1991), “Displacement Based Design of Rigid Retaining Walls Subjected to Dynamic Loads Considering Soil Nonlinearity” Ph.D. Thesis, University of Missouri-Rolla, USA.

Rafnsson, E.A., Prakash, S., (1991), “Stiffness and Damping Parameters for Dynamic Analysis of Retaining Walls”, Proc. Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. III, pp.1943-1952

Rafnsson, E.A., Prakash, S., (1994), “Displacement Based Aseismic Design of Retaining Walls”, Proc. XIII Inter. Conf. On SMFE, New delhi, Vol 3, pp. 1029-1032

Prakash, S., (1981), “Soil Dynamics”, McGraw-Hill Book Co., New York, N.Y., Reprint, Shamsheer Prakash Foundation, Rolla MO.

Day, R.W., (1997), “Design and Construction of Cantilevered Retaining Walls”, Practice Periodical on Structural Design and Construction, ASCE, Vol.2, No.1, February, pp. 16-21

Veletsos, A., Younan, A., H., “Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.123, No.2, February, pp.161-172

## EKLER

▼ Çizelge 9.1 Tasıma Kapasitesi Faktörleri (Das, 1999)

| $\phi$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $N_q/N_c$ | $\tan \phi$ | $\phi$ | $N_c$  | $N_q$  | $N_\gamma$ | $N_q/N_c$ | $\tan \phi$ |
|--------|-------|-------|------------|-----------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|-------------|
| 0      | 5.14  | 1.00  | 0.00       | 0.20      | 0.00        | 26     | 22.25  | 11.85  | 12.54      | 0.53      | 0.49        |
| 1      | 5.38  | 1.09  | 0.07       | 0.20      | 0.02        | 27     | 23.94  | 13.20  | 14.47      | 0.55      | 0.51        |
| 2      | 5.63  | 1.20  | 0.15       | 0.21      | 0.03        | 28     | 25.80  | 14.72  | 16.72      | 0.57      | 0.53        |
| 3      | 5.90  | 1.31  | 0.24       | 0.22      | 0.05        | 29     | 27.86  | 16.44  | 19.34      | 0.59      | 0.55        |
| 4      | 6.19  | 1.43  | 0.34       | 0.23      | 0.07        | 30     | 30.14  | 18.40  | 22.40      | 0.61      | 0.58        |
| 5      | 6.49  | 1.57  | 0.45       | 0.24      | 0.09        | 31     | 32.67  | 20.63  | 25.99      | 0.63      | 0.60        |
| 6      | 6.81  | 1.72  | 0.57       | 0.25      | 0.11        | 32     | 35.49  | 23.18  | 30.22      | 0.65      | 0.62        |
| 7      | 7.16  | 1.88  | 0.71       | 0.26      | 0.12        | 33     | 38.64  | 26.09  | 35.19      | 0.68      | 0.65        |
| 8      | 7.53  | 2.06  | 0.86       | 0.27      | 0.14        | 34     | 42.16  | 29.44  | 41.06      | 0.70      | 0.67        |
| 9      | 7.92  | 2.25  | 1.03       | 0.28      | 0.16        | 35     | 46.12  | 33.30  | 48.03      | 0.72      | 0.70        |
| 10     | 8.35  | 2.47  | 1.22       | 0.30      | 0.18        | 36     | 50.59  | 37.75  | 56.31      | 0.75      | 0.73        |
| 11     | 8.80  | 2.71  | 1.44       | 0.31      | 0.19        | 37     | 55.63  | 42.92  | 66.19      | 0.77      | 0.75        |
| 12     | 9.28  | 2.97  | 1.69       | 0.32      | 0.21        | 38     | 61.35  | 48.93  | 78.03      | 0.80      | 0.78        |
| 13     | 9.81  | 3.26  | 1.97       | 0.33      | 0.23        | 39     | 67.87  | 55.96  | 92.25      | 0.82      | 0.81        |
| 14     | 10.37 | 3.59  | 2.29       | 0.35      | 0.25        | 40     | 75.31  | 64.20  | 109.41     | 0.85      | 0.84        |
| 15     | 10.98 | 3.94  | 2.65       | 0.36      | 0.27        | 41     | 83.86  | 73.90  | 130.22     | 0.88      | 0.87        |
| 16     | 11.63 | 4.34  | 3.06       | 0.37      | 0.29        | 42     | 93.71  | 85.38  | 155.55     | 0.91      | 0.90        |
| 17     | 12.34 | 4.77  | 3.53       | 0.39      | 0.31        | 43     | 105.11 | 99.02  | 186.54     | 0.94      | 0.93        |
| 18     | 13.10 | 5.26  | 4.07       | 0.40      | 0.32        | 44     | 118.37 | 115.31 | 224.64     | 0.97      | 0.97        |
| 19     | 13.93 | 5.80  | 4.68       | 0.42      | 0.34        | 45     | 133.88 | 134.88 | 271.76     | 1.01      | 1.00        |
| 20     | 14.83 | 6.40  | 5.39       | 0.43      | 0.36        | 46     | 152.10 | 158.51 | 330.35     | 1.04      | 1.04        |
| 21     | 15.82 | 7.07  | 6.20       | 0.45      | 0.38        | 47     | 173.64 | 187.21 | 403.67     | 1.08      | 1.07        |
| 22     | 16.88 | 7.82  | 7.13       | 0.46      | 0.40        | 48     | 199.26 | 222.31 | 496.01     | 1.12      | 1.11        |
| 23     | 18.05 | 8.66  | 8.20       | 0.48      | 0.42        | 49     | 229.93 | 265.51 | 613.16     | 1.15      | 1.15        |
| 24     | 19.32 | 9.60  | 9.44       | 0.50      | 0.45        | 50     | 266.89 | 319.07 | 762.89     | 1.20      | 1.19        |
| 25     | 20.72 | 10.66 | 10.88      | 0.51      | 0.47        |        |        |        |            |           |             |

\* After Vesic (1973)

Rankine Teorisine göre  $K_a$  degerleri

| Soil friction angle,<br>$\phi$ (deg) | $K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$ |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 20                                   | 0.490                        |
| 21                                   | 0.472                        |
| 22                                   | 0.455                        |
| 23                                   | 0.438                        |
| 24                                   | 0.422                        |
| 25                                   | 0.406                        |
| 26                                   | 0.395                        |
| 27                                   | 0.376                        |
| 28                                   | 0.361                        |
| 29                                   | 0.347                        |
| 30                                   | 0.333                        |
| 31                                   | 0.320                        |
| 32                                   | 0.307                        |
| 33                                   | 0.295                        |
| 34                                   | 0.283                        |
| 35                                   | 0.271                        |
| 36                                   | 0.260                        |
| 37                                   | 0.249                        |
| 38                                   | 0.238                        |
| 39                                   | 0.228                        |
| 40                                   | 0.217                        |
| 41                                   | 0.208                        |
| 42                                   | 0.198                        |
| 43                                   | 0.189                        |
| 44                                   | 0.180                        |
| 45                                   | 0.172                        |

Eğimli dolgular için Rankine Teorisi için Ka değerleri

|                           | $\phi$ (deg) $\rightarrow$ |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\downarrow \alpha$ (deg) | 28                         | 30    | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    |
| 0                         | 0.361                      | 0.333 | 0.307 | 0.283 | 0.260 | 0.238 | 0.217 |
| 5                         | 0.366                      | 0.337 | 0.311 | 0.286 | 0.262 | 0.240 | 0.219 |
| 10                        | 0.380                      | 0.350 | 0.321 | 0.294 | 0.270 | 0.246 | 0.225 |
| 15                        | 0.409                      | 0.373 | 0.341 | 0.311 | 0.283 | 0.258 | 0.235 |
| 20                        | 0.461                      | 0.414 | 0.374 | 0.338 | 0.306 | 0.277 | 0.250 |
| 25                        | 0.573                      | 0.494 | 0.434 | 0.385 | 0.343 | 0.307 | 0.275 |

Eğimli Dol. için Ka' değeri Çekme CAtlagı Olusumunda

| $\phi$ (deg) | $\alpha$ (deg) | $\frac{c}{\gamma z}$ |       |       |        |
|--------------|----------------|----------------------|-------|-------|--------|
|              |                | 0.025                | 0.05  | 0.1   | 0.5    |
| 15           | 0              | 0.550                | 0.512 | 0.435 | -0.179 |
|              | 5              | 0.566                | 0.525 | 0.445 | -0.184 |
|              | 10             | 0.621                | 0.571 | 0.477 | -0.186 |
|              | 15             | 0.776                | 0.683 | 0.546 | -0.196 |
| 20           | 0              | 0.455                | 0.420 | 0.350 | -0.210 |
|              | 5              | 0.465                | 0.429 | 0.357 | -0.212 |
|              | 10             | 0.497                | 0.456 | 0.377 | -0.218 |
|              | 15             | 0.567                | 0.514 | 0.417 | -0.229 |
| 25           | 0              | 0.374                | 0.342 | 0.278 | -0.231 |
|              | 5              | 0.381                | 0.348 | 0.283 | -0.233 |
|              | 10             | 0.402                | 0.366 | 0.296 | -0.239 |
|              | 15             | 0.443                | 0.401 | 0.321 | -0.250 |
| 30           | 0              | 0.305                | 0.276 | 0.218 | -0.244 |
|              | 5              | 0.309                | 0.280 | 0.221 | -0.246 |
|              | 10             | 0.323                | 0.292 | 0.230 | -0.252 |
|              | 15             | 0.350                | 0.315 | 0.246 | -0.263 |

 $\alpha=0^\circ, \beta=90^\circ$  için Coulomb Teorisine Göre Ka Değerleri (Das,1999)

| $\phi$ (deg) | $\delta$ (deg) |        |        |        |        |        |
|--------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|              | 0              | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     |
| 28           | 0.3610         | 0.3448 | 0.3330 | 0.3251 | 0.3203 | 0.3186 |
| 30           | 0.3333         | 0.3189 | 0.3085 | 0.3014 | 0.2973 | 0.2956 |
| 32           | 0.3073         | 0.2945 | 0.2853 | 0.2791 | 0.2755 | 0.2745 |
| 34           | 0.2827         | 0.2714 | 0.2633 | 0.2579 | 0.2549 | 0.2542 |
| 36           | 0.2596         | 0.2497 | 0.2426 | 0.2379 | 0.2354 | 0.2350 |
| 38           | 0.2379         | 0.2292 | 0.2230 | 0.2190 | 0.2169 | 0.2167 |
| 40           | 0.2174         | 0.2098 | 0.2045 | 0.2011 | 0.1994 | 0.1995 |
| 42           | 0.1982         | 0.1916 | 0.1870 | 0.1841 | 0.1828 | 0.1831 |

$\delta=\Phi/2/3$  için Coulomb Teorisine(1929) Göre  $K_a$  Değerleri (Das,1999)

| $\alpha$<br>(deg) | $\phi$<br>(deg) | $\beta$ (deg) |        |        |        |        |        |
|-------------------|-----------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   |                 | 90            | 85     | 80     | 75     | 70     | 65     |
| 0                 | 28              | 0.3213        | 0.3588 | 0.4007 | 0.4481 | 0.5026 | 0.5662 |
|                   | 29              | 0.3091        | 0.3467 | 0.3886 | 0.4362 | 0.4908 | 0.5547 |
|                   | 30              | 0.2973        | 0.3349 | 0.3769 | 0.4245 | 0.4794 | 0.5435 |
|                   | 31              | 0.2860        | 0.3235 | 0.3655 | 0.4133 | 0.4682 | 0.5326 |
|                   | 32              | 0.2750        | 0.3125 | 0.3545 | 0.4023 | 0.4574 | 0.5220 |
|                   | 33              | 0.2645        | 0.3019 | 0.3439 | 0.3917 | 0.4469 | 0.5117 |
|                   | 34              | 0.2543        | 0.2916 | 0.3335 | 0.3813 | 0.4367 | 0.5017 |
|                   | 35              | 0.2444        | 0.2816 | 0.3235 | 0.3713 | 0.4267 | 0.4919 |
|                   | 36              | 0.2349        | 0.2719 | 0.3137 | 0.3615 | 0.4170 | 0.4824 |
|                   | 37              | 0.2257        | 0.2626 | 0.3042 | 0.3520 | 0.4075 | 0.4732 |
|                   | 38              | 0.2168        | 0.2535 | 0.2950 | 0.3427 | 0.3983 | 0.4641 |
|                   | 39              | 0.2082        | 0.2447 | 0.2861 | 0.3337 | 0.3894 | 0.4553 |
|                   | 40              | 0.1998        | 0.2361 | 0.2774 | 0.3249 | 0.3806 | 0.4468 |
|                   | 41              | 0.1918        | 0.2278 | 0.2689 | 0.3164 | 0.3721 | 0.4384 |
|                   | 42              | 0.1840        | 0.2197 | 0.2606 | 0.3080 | 0.3637 | 0.4302 |
| 5                 | 28              | 0.3431        | 0.3845 | 0.4311 | 0.4843 | 0.5461 | 0.6190 |
|                   | 29              | 0.3295        | 0.3709 | 0.4175 | 0.4707 | 0.5325 | 0.6056 |
|                   | 30              | 0.3165        | 0.3578 | 0.4043 | 0.4575 | 0.5194 | 0.5926 |
|                   | 31              | 0.3039        | 0.3451 | 0.3916 | 0.4447 | 0.5067 | 0.5800 |
|                   | 32              | 0.2919        | 0.3329 | 0.3792 | 0.4324 | 0.4943 | 0.5677 |
|                   | 33              | 0.2803        | 0.3211 | 0.3673 | 0.4204 | 0.4823 | 0.5558 |
|                   | 34              | 0.2691        | 0.3097 | 0.3558 | 0.4088 | 0.4707 | 0.5443 |
|                   | 35              | 0.2583        | 0.2987 | 0.3446 | 0.3975 | 0.4594 | 0.5330 |
|                   | 36              | 0.2479        | 0.2881 | 0.3338 | 0.3866 | 0.4484 | 0.5221 |
|                   | 37              | 0.2379        | 0.2778 | 0.3233 | 0.3759 | 0.4377 | 0.5115 |
|                   | 38              | 0.2282        | 0.2679 | 0.3131 | 0.3656 | 0.4273 | 0.5012 |
|                   | 39              | 0.2188        | 0.2582 | 0.3033 | 0.3556 | 0.4172 | 0.4911 |
|                   | 40              | 0.2098        | 0.2489 | 0.2937 | 0.3458 | 0.4074 | 0.4813 |
|                   | 41              | 0.2011        | 0.2398 | 0.2844 | 0.3363 | 0.3978 | 0.4718 |
|                   | 42              | 0.1927        | 0.2311 | 0.2753 | 0.3271 | 0.3884 | 0.4625 |
| 10                | 28              | 0.3702        | 0.4164 | 0.4686 | 0.5287 | 0.5992 | 0.6834 |
|                   | 29              | 0.3548        | 0.4007 | 0.4528 | 0.5128 | 0.5831 | 0.6672 |
|                   | 30              | 0.3400        | 0.3857 | 0.4376 | 0.4974 | 0.5676 | 0.6516 |
|                   | 31              | 0.3259        | 0.3713 | 0.4230 | 0.4826 | 0.5526 | 0.6365 |
|                   | 32              | 0.3123        | 0.3575 | 0.4089 | 0.4683 | 0.5382 | 0.6219 |
|                   | 33              | 0.2993        | 0.3442 | 0.3953 | 0.4545 | 0.5242 | 0.6078 |
|                   | 34              | 0.2868        | 0.3314 | 0.3822 | 0.4412 | 0.5107 | 0.5942 |
|                   | 35              | 0.2748        | 0.3190 | 0.3696 | 0.4283 | 0.4976 | 0.5810 |
|                   | 36              | 0.2633        | 0.3072 | 0.3574 | 0.4158 | 0.4849 | 0.5682 |
|                   | 37              | 0.2522        | 0.2957 | 0.3456 | 0.4037 | 0.4726 | 0.5558 |
|                   | 38              | 0.2415        | 0.2846 | 0.3342 | 0.3920 | 0.4607 | 0.5437 |
|                   | 39              | 0.2313        | 0.2740 | 0.3231 | 0.3807 | 0.4491 | 0.5321 |
|                   | 40              | 0.2214        | 0.2636 | 0.3125 | 0.3697 | 0.4379 | 0.5207 |
|                   | 41              | 0.2119        | 0.2537 | 0.3021 | 0.3590 | 0.4270 | 0.5097 |
|                   | 42              | 0.2027        | 0.2441 | 0.2921 | 0.3487 | 0.4164 | 0.4990 |

$\delta=\Phi 2/3$  için Coulomb Teorisine(1776) Göre Ka Değerleri (Das,1999)

| $\alpha$<br>(deg) | $\phi$<br>(deg) | $\beta$ (deg) |        |        |        |        |        |
|-------------------|-----------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   |                 | 90            | 85     | 80     | 75     | 70     | 65     |
| 15                | 28              | 0.4065        | 0.4585 | 0.5179 | 0.5868 | 0.6685 | 0.7670 |
|                   | 29              | 0.3881        | 0.4397 | 0.4987 | 0.5672 | 0.6483 | 0.7463 |
|                   | 30              | 0.3707        | 0.4219 | 0.4804 | 0.5484 | 0.6291 | 0.7265 |
|                   | 31              | 0.3541        | 0.4049 | 0.4629 | 0.5305 | 0.6106 | 0.7076 |
|                   | 32              | 0.3384        | 0.3887 | 0.4462 | 0.5133 | 0.5930 | 0.6895 |
|                   | 33              | 0.3234        | 0.3732 | 0.4303 | 0.4969 | 0.5761 | 0.6721 |
|                   | 34              | 0.3091        | 0.3583 | 0.4150 | 0.4811 | 0.5598 | 0.6554 |
|                   | 35              | 0.2954        | 0.3442 | 0.4003 | 0.4659 | 0.5442 | 0.6393 |
|                   | 36              | 0.2823        | 0.3306 | 0.3862 | 0.4513 | 0.5291 | 0.6238 |
|                   | 37              | 0.2698        | 0.3175 | 0.3726 | 0.4373 | 0.5146 | 0.6089 |
|                   | 38              | 0.2578        | 0.3050 | 0.3595 | 0.4237 | 0.5006 | 0.5945 |
|                   | 39              | 0.2463        | 0.2929 | 0.3470 | 0.4106 | 0.4871 | 0.5805 |
|                   | 40              | 0.2353        | 0.2813 | 0.3348 | 0.3980 | 0.4740 | 0.5671 |
|                   | 41              | 0.2247        | 0.2702 | 0.3231 | 0.3858 | 0.4613 | 0.5541 |
|                   | 42              | 0.2146        | 0.2594 | 0.3118 | 0.3740 | 0.4491 | 0.5415 |
| 20                | 28              | 0.4602        | 0.5205 | 0.5900 | 0.6714 | 0.7689 | 0.8880 |
|                   | 29              | 0.4364        | 0.4958 | 0.5642 | 0.6445 | 0.7406 | 0.8581 |
|                   | 30              | 0.4142        | 0.4728 | 0.5403 | 0.6195 | 0.7144 | 0.8303 |
|                   | 31              | 0.3935        | 0.4513 | 0.5179 | 0.5961 | 0.6898 | 0.8043 |
|                   | 32              | 0.3742        | 0.4311 | 0.4968 | 0.5741 | 0.6666 | 0.7799 |
|                   | 33              | 0.3559        | 0.4121 | 0.4769 | 0.5532 | 0.6448 | 0.7569 |
|                   | 34              | 0.3388        | 0.3941 | 0.4581 | 0.5335 | 0.6241 | 0.7351 |
|                   | 35              | 0.3225        | 0.3771 | 0.4402 | 0.5148 | 0.6044 | 0.7144 |
|                   | 36              | 0.3071        | 0.3609 | 0.4233 | 0.4969 | 0.5856 | 0.6947 |
|                   | 37              | 0.2925        | 0.3455 | 0.4071 | 0.4799 | 0.5677 | 0.6759 |
|                   | 38              | 0.2787        | 0.3308 | 0.3916 | 0.4636 | 0.5506 | 0.6579 |
|                   | 39              | 0.2654        | 0.3168 | 0.3768 | 0.4480 | 0.5342 | 0.6407 |
|                   | 40              | 0.2529        | 0.3034 | 0.3626 | 0.4331 | 0.5185 | 0.6242 |
|                   | 41              | 0.2408        | 0.2906 | 0.3490 | 0.4187 | 0.5033 | 0.6083 |
|                   | 42              | 0.2294        | 0.2784 | 0.3360 | 0.4049 | 0.4888 | 0.5930 |

(d)

$\delta=\Phi/2/3$  için Coulomb Teorisine(1776) Göre Ka Değerleri (Das,1999)

| $\alpha$<br>(deg) | $\phi$<br>(deg) | $\beta$ (deg) |        |        |        |        |        |
|-------------------|-----------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   |                 | 90            | 85     | 80     | 75     | 70     | 65     |
| 0                 | 28              | 0.3264        | 0.3629 | 0.4034 | 0.4490 | 0.5011 | 0.5616 |
|                   | 29              | 0.3137        | 0.3502 | 0.3907 | 0.4363 | 0.4886 | 0.5492 |
|                   | 30              | 0.3014        | 0.3379 | 0.3784 | 0.4241 | 0.4764 | 0.5371 |
|                   | 31              | 0.2896        | 0.3260 | 0.3665 | 0.4121 | 0.4645 | 0.5253 |
|                   | 32              | 0.2782        | 0.3145 | 0.3549 | 0.4005 | 0.4529 | 0.5137 |
|                   | 33              | 0.2671        | 0.3033 | 0.3436 | 0.3892 | 0.4415 | 0.5025 |
|                   | 34              | 0.2564        | 0.2925 | 0.3327 | 0.3782 | 0.4305 | 0.4915 |
|                   | 35              | 0.2461        | 0.2820 | 0.3221 | 0.3675 | 0.4197 | 0.4807 |
|                   | 36              | 0.2362        | 0.2718 | 0.3118 | 0.3571 | 0.4092 | 0.4702 |
|                   | 37              | 0.2265        | 0.2620 | 0.3017 | 0.3469 | 0.3990 | 0.4599 |
|                   | 38              | 0.2172        | 0.2524 | 0.2920 | 0.3370 | 0.3890 | 0.4498 |
|                   | 39              | 0.2081        | 0.2431 | 0.2825 | 0.3273 | 0.3792 | 0.4400 |
|                   | 40              | 0.1994        | 0.2341 | 0.2732 | 0.3179 | 0.3696 | 0.4304 |
|                   | 41              | 0.1909        | 0.2253 | 0.2642 | 0.3087 | 0.3602 | 0.4209 |
|                   | 42              | 0.1828        | 0.2168 | 0.2554 | 0.2997 | 0.3511 | 0.4117 |
| 5                 | 28              | 0.3477        | 0.3879 | 0.4327 | 0.4837 | 0.5425 | 0.6115 |
|                   | 29              | 0.3337        | 0.3737 | 0.4185 | 0.4694 | 0.5282 | 0.5972 |
|                   | 30              | 0.3202        | 0.3601 | 0.4048 | 0.4556 | 0.5144 | 0.5833 |
|                   | 31              | 0.3072        | 0.3470 | 0.3915 | 0.4422 | 0.5009 | 0.5698 |
|                   | 32              | 0.2946        | 0.3342 | 0.3787 | 0.4292 | 0.4878 | 0.5566 |
|                   | 33              | 0.2825        | 0.3219 | 0.3662 | 0.4166 | 0.4750 | 0.5437 |
|                   | 34              | 0.2709        | 0.3101 | 0.3541 | 0.4043 | 0.4626 | 0.5312 |
|                   | 35              | 0.2596        | 0.2986 | 0.3424 | 0.3924 | 0.4505 | 0.5190 |
|                   | 36              | 0.2488        | 0.2874 | 0.3310 | 0.3808 | 0.4387 | 0.5070 |
|                   | 37              | 0.2383        | 0.2767 | 0.3199 | 0.3695 | 0.4272 | 0.4954 |
|                   | 38              | 0.2282        | 0.2662 | 0.3092 | 0.3585 | 0.4160 | 0.4840 |
|                   | 39              | 0.2185        | 0.2561 | 0.2988 | 0.3478 | 0.4050 | 0.4729 |
|                   | 40              | 0.2090        | 0.2463 | 0.2887 | 0.3374 | 0.3944 | 0.4620 |
|                   | 41              | 0.1999        | 0.2368 | 0.2788 | 0.3273 | 0.3840 | 0.4514 |
|                   | 42              | 0.1911        | 0.2276 | 0.2693 | 0.3174 | 0.3738 | 0.4410 |
| 10                | 28              | 0.3743        | 0.4187 | 0.4688 | 0.5261 | 0.5928 | 0.6719 |
|                   | 29              | 0.3584        | 0.4026 | 0.4525 | 0.5096 | 0.5761 | 0.6549 |
|                   | 30              | 0.3432        | 0.3872 | 0.4368 | 0.4936 | 0.5599 | 0.6385 |
|                   | 31              | 0.3286        | 0.3723 | 0.4217 | 0.4782 | 0.5442 | 0.6225 |
|                   | 32              | 0.3145        | 0.3580 | 0.4071 | 0.4633 | 0.5290 | 0.6071 |
|                   | 33              | 0.3011        | 0.3442 | 0.3930 | 0.4489 | 0.5143 | 0.5920 |
|                   | 34              | 0.2881        | 0.3309 | 0.3793 | 0.4350 | 0.5000 | 0.5775 |
|                   | 35              | 0.2757        | 0.3181 | 0.3662 | 0.4215 | 0.4862 | 0.5633 |
|                   | 36              | 0.2637        | 0.3058 | 0.3534 | 0.4084 | 0.4727 | 0.5495 |
|                   | 37              | 0.2522        | 0.2938 | 0.3411 | 0.3957 | 0.4597 | 0.5361 |
|                   | 38              | 0.2412        | 0.2823 | 0.3292 | 0.3833 | 0.4470 | 0.5230 |
|                   | 39              | 0.2305        | 0.2712 | 0.3176 | 0.3714 | 0.4346 | 0.5103 |
|                   | 40              | 0.2202        | 0.2604 | 0.3064 | 0.3597 | 0.4226 | 0.4979 |
|                   | 41              | 0.2103        | 0.2500 | 0.2956 | 0.3484 | 0.4109 | 0.4858 |
|                   | 42              | 0.2007        | 0.2400 | 0.2850 | 0.3375 | 0.3995 | 0.4740 |

$\delta=\Phi/3$  için Coulomb Teorisine(1776) Göre  $K_a$  Değerleri (Das,1999)

| $\alpha$<br>(deg) | $\phi$<br>(deg) | $\beta$ (deg) |        |        |        |        |        |
|-------------------|-----------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   |                 | 90            | 85     | 80     | 75     | 70     | 65     |
| 15                | 28              | 0.4095        | 0.4594 | 0.5159 | 0.5812 | 0.6579 | 0.7498 |
|                   | 29              | 0.3908        | 0.4402 | 0.4964 | 0.5611 | 0.6373 | 0.7284 |
|                   | 30              | 0.3730        | 0.4220 | 0.4777 | 0.5419 | 0.6175 | 0.7080 |
|                   | 31              | 0.3560        | 0.4046 | 0.4598 | 0.5235 | 0.5985 | 0.6884 |
|                   | 32              | 0.3398        | 0.3880 | 0.4427 | 0.5059 | 0.5803 | 0.6695 |
|                   | 33              | 0.3244        | 0.3721 | 0.4262 | 0.4889 | 0.5627 | 0.6513 |
|                   | 34              | 0.3097        | 0.3568 | 0.4105 | 0.4726 | 0.5458 | 0.6338 |
|                   | 35              | 0.2956        | 0.3422 | 0.3953 | 0.4569 | 0.5295 | 0.6168 |
|                   | 36              | 0.2821        | 0.3282 | 0.3807 | 0.4417 | 0.5138 | 0.6004 |
|                   | 37              | 0.2692        | 0.3147 | 0.3667 | 0.4271 | 0.4985 | 0.5846 |
|                   | 38              | 0.2569        | 0.3017 | 0.3531 | 0.4130 | 0.4838 | 0.5692 |
|                   | 39              | 0.2450        | 0.2893 | 0.3401 | 0.3993 | 0.4695 | 0.5543 |
|                   | 40              | 0.2336        | 0.2773 | 0.3275 | 0.3861 | 0.4557 | 0.5399 |
|                   | 41              | 0.2227        | 0.2657 | 0.3153 | 0.3733 | 0.4423 | 0.5258 |
|                   | 42              | 0.2122        | 0.2546 | 0.3035 | 0.3609 | 0.4293 | 0.5122 |
| 20                | 28              | 0.4614        | 0.5188 | 0.5844 | 0.6608 | 0.7514 | 0.8613 |
|                   | 29              | 0.4374        | 0.4940 | 0.5586 | 0.6339 | 0.7232 | 0.8313 |
|                   | 30              | 0.4150        | 0.4708 | 0.5345 | 0.6087 | 0.6968 | 0.8034 |
|                   | 31              | 0.3941        | 0.4491 | 0.5119 | 0.5851 | 0.6720 | 0.7772 |
|                   | 32              | 0.3744        | 0.4286 | 0.4906 | 0.5628 | 0.6486 | 0.7524 |
|                   | 33              | 0.3559        | 0.4093 | 0.4704 | 0.5417 | 0.6264 | 0.7289 |
|                   | 34              | 0.3384        | 0.3910 | 0.4513 | 0.5216 | 0.6052 | 0.7066 |
|                   | 35              | 0.3218        | 0.3736 | 0.4331 | 0.5025 | 0.5851 | 0.6853 |
|                   | 36              | 0.3061        | 0.3571 | 0.4157 | 0.4842 | 0.5658 | 0.6649 |
|                   | 37              | 0.2911        | 0.3413 | 0.3991 | 0.4668 | 0.5474 | 0.6453 |
|                   | 38              | 0.2769        | 0.3263 | 0.3833 | 0.4500 | 0.5297 | 0.6266 |
|                   | 39              | 0.2633        | 0.3120 | 0.3681 | 0.4340 | 0.5127 | 0.6085 |
|                   | 40              | 0.2504        | 0.2982 | 0.3535 | 0.4185 | 0.4963 | 0.5912 |
|                   | 41              | 0.2381        | 0.2851 | 0.3395 | 0.4037 | 0.4805 | 0.5744 |
|                   | 42              | 0.2263        | 0.2725 | 0.3261 | 0.3894 | 0.4653 | 0.5582 |

Mononobe-Okabe Yöntemine(1929) Göre  $k_v=0$ ,  $\beta=90^\circ$  için  $K_{ae}$  Değerleri (Das,1999)

| $k_o$ | $\delta$ (deg)    | $\alpha$ (deg) | $\phi$ (deg) |       |       |       |       |
|-------|-------------------|----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
|       |                   |                | 28           | 30    | 35    | 40    | 45    |
| 0.1   | 0                 | 0              | 0.427        | 0.397 | 0.328 | 0.268 | 0.217 |
| 0.2   |                   |                | 0.508        | 0.473 | 0.396 | 0.382 | 0.270 |
| 0.3   |                   |                | 0.611        | 0.569 | 0.478 | 0.400 | 0.334 |
| 0.4   |                   |                | 0.753        | 0.697 | 0.581 | 0.488 | 0.409 |
| 0.5   |                   |                | 1.005        | 0.890 | 0.716 | 0.596 | 0.500 |
| 0.1   | 0                 | 5              | 0.457        | 0.423 | 0.347 | 0.282 | 0.227 |
| 0.2   |                   |                | 0.554        | 0.514 | 0.424 | 0.349 | 0.285 |
| 0.3   |                   |                | 0.690        | 0.635 | 0.522 | 0.431 | 0.356 |
| 0.4   |                   |                | 0.942        | 0.825 | 0.653 | 0.535 | 0.442 |
| 0.5   |                   |                | —            | —     | 0.855 | 0.673 | 0.551 |
| 0.1   | 0                 | 10             | 0.497        | 0.457 | 0.371 | 0.299 | 0.238 |
| 0.2   |                   |                | 0.623        | 0.570 | 0.461 | 0.375 | 0.303 |
| 0.3   |                   |                | 0.856        | 0.748 | 0.585 | 0.472 | 0.383 |
| 0.4   |                   |                | —            | —     | 0.780 | 0.604 | 0.486 |
| 0.5   |                   |                | —            | —     | —     | 0.809 | 0.624 |
| 0.1   | $\phi/2$          | 0              | 0.396        | 0.368 | 0.306 | 0.253 | 0.207 |
| 0.2   |                   |                | 0.485        | 0.452 | 0.380 | 0.319 | 0.267 |
| 0.3   |                   |                | 0.604        | 0.563 | 0.474 | 0.402 | 0.340 |
| 0.4   |                   |                | 0.778        | 0.718 | 0.599 | 0.508 | 0.433 |
| 0.5   |                   |                | 1.115        | 0.972 | 0.774 | 0.648 | 0.532 |
| 0.1   | $\phi/2$          | 5              | 0.428        | 0.396 | 0.326 | 0.268 | 0.218 |
| 0.2   |                   |                | 0.537        | 0.497 | 0.412 | 0.342 | 0.283 |
| 0.3   |                   |                | 0.699        | 0.640 | 0.526 | 0.438 | 0.367 |
| 0.4   |                   |                | 1.025        | 0.881 | 0.690 | 0.568 | 0.475 |
| 0.5   |                   |                | —            | —     | 0.962 | 0.752 | 0.630 |
| 0.1   | $\phi/2$          | 10             | 0.472        | 0.433 | 0.352 | 0.285 | 0.230 |
| 0.2   |                   |                | 0.616        | 0.562 | 0.454 | 0.371 | 0.303 |
| 0.3   |                   |                | 0.908        | 0.780 | 0.602 | 0.487 | 0.400 |
| 0.4   |                   |                | —            | —     | 0.857 | 0.656 | 0.531 |
| 0.5   |                   |                | —            | —     | —     | 0.944 | 0.722 |
| 0.1   | $\frac{3}{4}\phi$ | 0              | 0.393        | 0.366 | 0.306 | 0.256 | 0.212 |
| 0.2   |                   |                | 0.486        | 0.454 | 0.384 | 0.326 | 0.276 |
| 0.3   |                   |                | 0.612        | 0.572 | 0.486 | 0.416 | 0.357 |
| 0.4   |                   |                | 0.801        | 0.740 | 0.622 | 0.533 | 0.462 |
| 0.5   |                   |                | 1.177        | 1.023 | 0.819 | 0.693 | 0.600 |
| 0.1   | $\frac{3}{4}\phi$ | 5              | 0.427        | 0.395 | 0.327 | 0.271 | 0.224 |
| 0.2   |                   |                | 0.541        | 0.501 | 0.418 | 0.350 | 0.294 |
| 0.3   |                   |                | 0.714        | 0.655 | 0.541 | 0.455 | 0.386 |
| 0.4   |                   |                | 1.073        | 0.921 | 0.722 | 0.600 | 0.508 |
| 0.5   |                   |                | —            | —     | 1.034 | 0.812 | 0.679 |
| 0.1   | $\frac{3}{4}\phi$ | 10             | 0.472        | 0.434 | 0.354 | 0.290 | 0.237 |
| 0.2   |                   |                | 0.625        | 0.570 | 0.463 | 0.381 | 0.317 |
| 0.3   |                   |                | 0.942        | 0.807 | 0.624 | 0.509 | 0.423 |
| 0.4   |                   |                | —            | —     | 0.909 | 0.699 | 0.573 |
| 0.5   |                   |                | —            | —     | —     | 1.037 | 0.800 |

Rankine Teorisine(1857) Göre  $K_p$  Değerleri (Das,1999)

| Soil friction angle, $\phi$ (deg) | $K_p = \tan^2 (45 + \phi/2)$ |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 20                                | 2.040                        |
| 21                                | 2.117                        |
| 22                                | 2.198                        |
| 23                                | 2.283                        |
| 24                                | 2.371                        |
| 25                                | 2.464                        |
| 26                                | 2.561                        |
| 27                                | 2.663                        |
| 28                                | 2.770                        |
| 29                                | 2.882                        |
| 30                                | 3.000                        |
| 31                                | 3.124                        |
| 32                                | 3.255                        |
| 33                                | 3.392                        |
| 34                                | 3.537                        |
| 35                                | 3.690                        |
| 36                                | 3.852                        |
| 37                                | 4.023                        |
| 38                                | 4.204                        |
| 39                                | 4.395                        |
| 40                                | 4.599                        |
| 41                                | 4.815                        |
| 42                                | 5.045                        |
| 43                                | 5.289                        |
| 44                                | 5.550                        |
| 45                                | 5.828                        |

## Pasif koşullarda farklı zemin tipleri için deplasman miktarları (Das,1999)

| Soil type  | Wall movement for passive condition, $\Delta x$ |
|------------|-------------------------------------------------|
| Dense sand | $0.005H$                                        |
| Loose sand | $0.01H$                                         |
| Stiff clay | $0.01H$                                         |
| Soft clay  | $0.05H$                                         |

Pasif koşullarda eğimli dolgular için Rankine Teorisine(1857) göre  $K_p$  değerleri (Das,1999)

| $\downarrow \alpha$ (deg) | $\phi$ (deg) $\rightarrow$ |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 28                         | 30    | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    |
| 0                         | 2.770                      | 3.000 | 3.255 | 3.537 | 3.852 | 4.204 | 4.599 |
| 5                         | 2.715                      | 2.943 | 3.196 | 3.476 | 3.788 | 4.136 | 4.527 |
| 10                        | 2.551                      | 2.775 | 3.022 | 3.295 | 3.598 | 3.937 | 4.316 |
| 15                        | 2.284                      | 2.502 | 2.740 | 3.003 | 3.293 | 3.615 | 3.977 |
| 20                        | 1.918                      | 2.132 | 2.362 | 2.612 | 2.886 | 3.189 | 3.526 |
| 25                        | 1.434                      | 1.664 | 1.894 | 2.135 | 2.394 | 2.676 | 2.987 |

Eğimli dolgularda çekme çatlaklarının dikkate alındığı koşullar için  $K_p$  değerleri

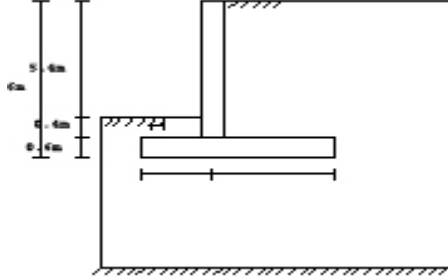
(Mazindra ve Ganjali, 1997)

| $\phi$<br>(deg) | $\alpha$<br>(deg) | $c/\gamma z$ |       |       |       |
|-----------------|-------------------|--------------|-------|-------|-------|
|                 |                   | 0.025        | 0.050 | 0.100 | 0.500 |
| 15              | 0                 | 1.764        | 1.829 | 1.959 | 3.002 |
|                 | 5                 | 1.716        | 1.783 | 1.917 | 2.971 |
|                 | 10                | 1.564        | 1.641 | 1.788 | 2.880 |
|                 | 15                | 1.251        | 1.370 | 1.561 | 2.732 |
| 20              | 0                 | 2.111        | 2.182 | 2.325 | 3.468 |
|                 | 5                 | 2.067        | 2.140 | 2.285 | 3.435 |
|                 | 10                | 1.932        | 2.010 | 2.162 | 3.339 |
|                 | 15                | 1.696        | 1.786 | 1.956 | 3.183 |
| 25              | 0                 | 2.542        | 2.621 | 2.778 | 4.034 |
|                 | 5                 | 2.499        | 2.578 | 2.737 | 3.999 |
|                 | 10                | 2.368        | 2.450 | 2.614 | 3.895 |
|                 | 15                | 2.147        | 2.236 | 2.409 | 3.726 |
| 30              | 0                 | 3.087        | 3.173 | 3.346 | 4.732 |
|                 | 5                 | 3.042        | 3.129 | 3.303 | 4.674 |
|                 | 10                | 2.907        | 2.996 | 3.174 | 4.579 |
|                 | 15                | 2.684        | 2.777 | 2.961 | 4.394 |

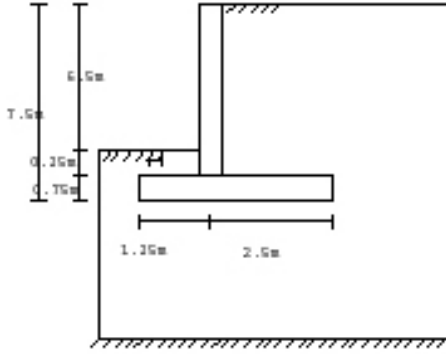
Coulomb Teorisine(1776) göre  $\beta=90^\circ$   $\alpha=0^\circ$  için  $K_p$  değerleri(Das,1999)

| $\phi$ (deg) | $\delta$ (deg) |       |       |       |        |
|--------------|----------------|-------|-------|-------|--------|
|              | 0              | 5     | 10    | 15    | 20     |
| 15           | 1.698          | 1.900 | 2.130 | 2.405 | 2.735  |
| 20           | 2.040          | 2.313 | 2.636 | 3.030 | 3.525  |
| 25           | 2.464          | 2.830 | 3.286 | 3.855 | 4.597  |
| 30           | 3.000          | 3.506 | 4.143 | 4.977 | 6.105  |
| 35           | 3.690          | 4.390 | 5.310 | 6.854 | 8.324  |
| 40           | 4.600          | 5.590 | 6.946 | 8.870 | 11.772 |

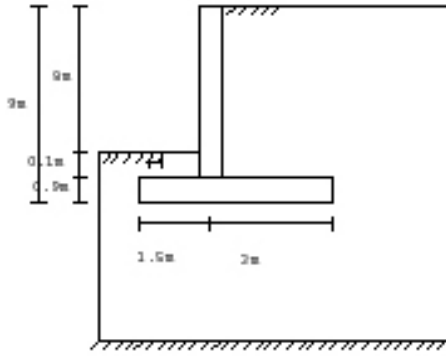
## Konsol İstinat Duvarları için Stabilite Tahkikleri



|                    |         |                                     |               |
|--------------------|---------|-------------------------------------|---------------|
| H=                 | 6       | Nc=                                 | 50.59         |
| bw=                | 0.3     | Nq=                                 | 37.75         |
| ht                 | 0.6     | Ny=                                 | 56.31         |
| hg                 | 5.4     | q=                                  | 16.5          |
| Bt                 | 3       | B'=                                 | 2.379         |
| γ <sub>zemin</sub> | 16.5    | F <sub>cd</sub> =                   | 1.168         |
| γ <sub>Beton</sub> | 24      | F <sub>qd</sub> =                   | 1.1038        |
| α                  | 0       | F <sub>γd</sub> =                   | 1             |
| φ                  | 36      | ψ=                                  | 17.11         |
| δ                  | 24      | F <sub>ci</sub> , F <sub>qi</sub> = | 0.656         |
| Bt1                | 1       | F <sub>γi</sub> =                   | 0.275         |
| Bt2                | 2       | qu=                                 | 763.0127      |
| Bt11               | 0.85    |                                     |               |
| Bt12               | 1.85    |                                     |               |
| Ka=                | 0.26    |                                     |               |
| Kp=                | 3.85    | Fs(kayma)=                          | 1.882645 >1.5 |
| C                  | 0.2     | Fs(devrilme)=                       | 2.932465 >2   |
|                    |         | Fs(taşıma<br>gücü)=                 | 5.719454 >3   |
| D=                 | 1       |                                     |               |
| Pa=                | 75.996  |                                     |               |
| Pp=                | 32.547  |                                     |               |
| W <sub>c1</sub>    | 38.88   |                                     |               |
| W <sub>c2</sub>    | 43.2    |                                     |               |
| W <sub>s1</sub>    | 164.835 |                                     |               |
| Σ V                | 246.915 |                                     |               |
| Pacosα             | 75.996  |                                     |               |
| M1                 | 38.88   |                                     |               |
| M2                 | 64.8    |                                     |               |
| M3                 | 342.033 |                                     |               |
| Σ M <sub>net</sub> | 293.720 |                                     |               |
| X                  | 1.190   |                                     |               |
| e=                 | 0.310   |                                     |               |
| q <sub>mak</sub> = | 133.407 |                                     |               |
| q <sub>min</sub> = | 31.203  |                                     |               |
| tan36              | 0.7265  |                                     |               |
| tan24              | 0.4452  |                                     |               |



|                    |          |                                    |               |
|--------------------|----------|------------------------------------|---------------|
| H=                 | 7.5      | Nc=                                | 50.59         |
| bw=                | 0.3      | Nq=                                | 37.75         |
| ht                 | 0.75     | Ny=                                | 56.31         |
| hg                 | 6.75     | q=                                 | 16.5          |
| Bt                 | 3.75     | B'=                                | 2.983         |
| γ <sub>zemin</sub> | 16.5     | F <sub>cd</sub> =                  | 1.134         |
| γ <sub>Beton</sub> | 24       | F <sub>qd</sub> =                  | 1.0828        |
| α                  | 0        | F <sub>yd</sub> =                  | 1             |
| φ                  | 36       | ψ=                                 | 17.5          |
| δ                  | 24       | F <sub>ci</sub> ,F <sub>qi</sub> = | 0.649         |
| Bt1                | 1.25     | F <sub>yi</sub> =                  | 0.264         |
| Bt2                | 2.5      | qu=                                | 811.0041      |
| Bt11               | 1.1      |                                    |               |
| Bt12               | 2.35     |                                    |               |
| Ka=                | 0.26     |                                    |               |
| Kp=                | 3.85     | Fs(kayma)=                         | 1.691544 >1.5 |
| C                  | 0.2      | Fs(devrilme)=                      | 2.891951 >2   |
|                    |          | Fs(taşıma                          |               |
|                    |          | gücü)=                             | 4.987329 >3   |
| D=                 | 1        |                                    |               |
| Pa=                | 119.127  |                                    |               |
| Pp=                | 32.547   |                                    |               |
| Wc1                | 48.6     |                                    |               |
| Wc2                | 67.5     |                                    |               |
| Ws1                | 261.731  |                                    |               |
| Σ V                | 377.831  |                                    |               |
| Pacosα             | 119.127  |                                    |               |
| M1                 | 60.75    |                                    |               |
| M2                 | 126.5625 |                                    |               |
| M3                 | 673.958  |                                    |               |
| ΣMnet              | 563.454  |                                    |               |
| X                  | 1.491    |                                    |               |
| e=                 | 0.384    |                                    |               |
| q <sub>mak</sub> = | 162.613  |                                    |               |
| q <sub>min</sub> = | 38.897   |                                    |               |
| tan36              | 0.7265   |                                    |               |
| tan24              | 0.4452   |                                    |               |
| sin36              | 0.5878   |                                    |               |



|        |          |               |               |
|--------|----------|---------------|---------------|
| H=     | 9        | Nc=           | 50.59         |
| bw=    | 0.3      | Nq=           | 37.75         |
| ht     | 0.9      | Ny=           | 56.31         |
| hg     | 8.1      | q=            | 16.5          |
| Bt     | 4.5      | B'=           | 3.586         |
| γzemin | 16.5     | Fcd=          | 1.112         |
| γBeton | 24       | Fqd=          | 1.0689        |
| α      | 0        | Fyd=          | 1             |
| φ      | 36       | ψ=            | 17.5          |
| δ      | 24       | Fci,Fqi=      | 0.649         |
| Bt1    | 1.5      | Fyi=          | 0.264         |
| Bt2    | 3        | qu=           | 879.222       |
| Bt11   | 1.35     |               |               |
| Bt12   | 2.85     |               |               |
| Ka=    | 0.26     |               |               |
| Kp=    | 3.85     | Fs(kayma)=    | 1.583757 >1.5 |
| C      | 0.2      | Fs(devrilme)= | 2.864795 >2   |
|        |          | Fs(taşıma     |               |
|        |          | gücü)=        | 4.582532 >3   |
| D=     | 1        |               |               |
| Pa=    | 171.909  |               |               |
| Pp=    | 32.547   |               |               |
| Wc1    | 58.32    |               |               |
| Wc2    | 97.2     |               |               |
| Ws1    | 380.903  |               |               |
| Σ V    | 536.423  |               |               |
| Pacosα | 171.909  |               |               |
| M1     | 87.48    |               |               |
| M2     | 218.7    |               |               |
| M3     | 1171.275 |               |               |
| ΣMnet  | 961.727  |               |               |
| X      | 1.793    |               |               |
| e=     | 0.457    |               |               |
| qmak=  | 191.864  |               |               |
| qmin=  | 46.546   |               |               |
| tan36  | 0.7265   |               |               |
| tan24  | 0.4452   |               |               |
| sin36  | 0.5878   |               |               |

**ÖZGEÇMİŞ**

|              |            |                                                                                   |
|--------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Doğum tarihi | 11.05.1980 |                                                                                   |
| Doğum yeri   | Adana      |                                                                                   |
| Lise         | 1992-1998  | Özel Tarsus Amerikan Lisesi                                                       |
| Lisans       | 1999-2003  | Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fak.<br>İnşaat Mühendisliği Bölümü |





