

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİN KAZILARDA ZEMİN ÇİVİSİ İLE ANKRAJLI  
DESTEK SİSTEMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

**İnş. Müh. Ayşegül DEMİRKOÇ**

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

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

**İSTANBUL, 2007**

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                 | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                             | vi    |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                          | ix    |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                             | x     |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                           | xv    |
| ÖNSÖZ .....                                                                     | xviii |
| ÖZET .....                                                                      | xix   |
| ABSTRACT .....                                                                  | xx    |
| 1. GİRİŞ .....                                                                  | 1     |
| 1.1 Zemin Çivili ve Ankrajlı Destek Sistemleri Örnekleri .....                  | 1     |
| 2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI .....                                                | 13    |
| 2.1 Sükunetteki Toprak Basıncı .....                                            | 14    |
| 2.2 Aktif ve Pasif Toprak Basınçları .....                                      | 15    |
| 2.2.1 Rankine Teorisine Göre Aktif ve Pasif Toprak Basınçları .....             | 15    |
| 2.2.2 Coulomb Teorisine Göre Aktif ve Pasif Toprak Basınçları .....             | 18    |
| 2.3 Çok Sıra Destekli İksa Sistemlerinde Toprak Basınçları ve Dağılımları ..... | 20    |
| 3. ZEMİN ÇİVİSİ .....                                                           | 22    |
| 3.1 İnşaat Adımları .....                                                       | 22    |
| 3.1.1 İlk Yarmanın Açılması .....                                               | 23    |
| 3.1.2 Deliklerin Açılması .....                                                 | 24    |
| 3.1.3 Çivinin Yerleştirmesi ve Enjeksiyonu .....                                | 24    |
| 3.1.4 Drenaj Sisteminin Yerleştirmesi .....                                     | 25    |
| 3.1.5 İşlemin İstenen Kota Kadar Tekrarlanması .....                            | 26    |
| 3.1.6 Son Yüzey Kaplaması .....                                                 | 26    |
| 3.2 Zemin Çivili Duvarların Davranışı .....                                     | 27    |
| 3.2.1 Zemin Çivili Duvarların Olası Göçme Biçimi .....                          | 27    |
| 3.2.2 Çivi – Zemin Etkileşimi .....                                             | 29    |
| 3.2.3 Çivi – Zemin – Kaplama Etkileşimi .....                                   | 30    |
| 3.2.4 Çivi Yüklerinin Dağılımı .....                                            | 31    |
| 3.2.5 Kaplama Yükünün Büyüklüğü ve Dağılımı .....                               | 33    |
| 3.2.6 Şekil Değiştirme Davranışı .....                                          | 33    |
| 3.2.7 Çivi Eğilmesi ve Kaymanın Rolü .....                                      | 36    |
| 4. ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR TASARIMI .....                                            | 38    |
| 4.1 Giriş .....                                                                 | 38    |
| 4.1.1 Sınır Durumlar .....                                                      | 39    |

|         | Sayfa                                                                                                              |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.1.2   | Tasarım Yaklaşımları ..... 39                                                                                      |
| 4.2     | Zemin Çivili Duvarın Duraylılığı ..... 40                                                                          |
| 4.2.1   | Temel Kavramlar ..... 41                                                                                           |
| 4.2.2   | İç Duraylılık – Çivi ..... 46                                                                                      |
| 4.2.2.1 | Çivi Tendonunun Yapısal Gerilme Dayanımı ..... 46                                                                  |
| 4.2.2.2 | Zemin – Enjeksiyon Kenetlenmesi ..... 46                                                                           |
| 4.2.2.3 | Enjeksiyon – Tendon Kenetlenmesi ..... 47                                                                          |
| 4.2.3   | İç Duraylılık – Çivi Kafası ..... 47                                                                               |
| 4.2.4   | Dış Duraylılık ..... 47                                                                                            |
| 4.2.5   | Güncel Zemin Çivisi Tasarım Yöntemleri ..... 48                                                                    |
| 4.2.5.1 | Çivi Tasarımı ..... 48                                                                                             |
| 4.2.5.2 | Kaplama Tasarımı ..... 48                                                                                          |
| 4.3     | Düzen ve Boyutlandırma ..... 49                                                                                    |
| 4.3.1   | Duvar Yeri ve Boyutları ..... 49                                                                                   |
| 4.3.2   | Ön Çivi Düzeni ..... 49                                                                                            |
| 4.3.2.1 | Çivi Eğimleri ..... 49                                                                                             |
| 4.3.2.2 | Çivi Aralıkları ..... 49                                                                                           |
| 4.3.2.3 | Çivi Yerleri ..... 50                                                                                              |
| 4.3.2.4 | Çivi Boyları ve Dayanımları ..... 50                                                                               |
| 4.4     | Çivi Kafası Dayanımı ..... 50                                                                                      |
| 4.5     | Zemin Çivili Duvar Tasarımı ..... 50                                                                               |
| 4.5.1   | Servis Yüğü Tasarımı ..... 50                                                                                      |
| 4.5.1.1 | Kritik Tasarım Kesit(ler)inin Hazırlanması ve Deneme Tasarımının Seçimi ..... 50                                   |
| 4.5.1.2 | İzin Verilen Çivi Kafası Yüğü'nün Hesaplanması ..... 51                                                            |
| 4.5.1.3 | İzin Verilen Minimum Çivi Kafası Servis Yüğü'nün Denetimi ..... 52                                                 |
| 4.5.1.4 | İzin Verilen Çivi Yüğü Destek Diyagramının Belirlenmesi ..... 52                                                   |
| 4.5.1.5 | Deneme Aralıklarının ve Boylarının Seçimi ..... 53                                                                 |
| 4.5.1.6 | Son Zemin Dayanımlarının Belirlenmesi ..... 56                                                                     |
| 4.5.1.7 | Güvenlik Sayısının Hesaplanması ..... 56                                                                           |
| 4.5.1.8 | Dış Duraylılık Araştırması ..... 56                                                                                |
| 4.5.1.9 | Dış Duraylılık Araştırması ..... 56                                                                                |
| 4.6     | Özel Tasarım Gerektiren Durumlar ..... 57                                                                          |
| 4.6.1   | Heterojen Zemin Profilleri ..... 57                                                                                |
| 4.6.2   | Köprü Kenar Ayakları ..... 57                                                                                      |
| 4.6.3   | Basamaklı Yapılar ..... 58                                                                                         |
| 4.6.4   | Karma Yapılar ..... 59                                                                                             |
| 4.6.4.1 | Çiviler ve Ankrajlar ..... 59                                                                                      |
| 4.6.5   | Değişken Çivi Boyuna Sahip Yapılar ..... 59                                                                        |
| 4.6.6   | Değişken Çivi Eğimine Sahip Yapılar ..... 60                                                                       |
| 4.6.7   | Zemin Sızıntı Suyu Kuvvetleri veya YASS'nin Duvar Tabanına Yakın Olması Durumu ..... 60                            |
| 4.6.8   | Sonsuz Şev Koşulu ..... 60                                                                                         |
| 4.6.9   | Sismik Yüğü Altında Davranış ..... 61                                                                              |
| 4.7     | Yarma Şevli Duvarların Ön Tasarımı İçin Basitleştirilmiş Tasarım Abakları ..... 61                                 |
| 4.7.1   | Geometrik Değişkenler ( Arka Şevin Yatayla Yaptığı Açı “ $\beta$ ” ve Duvar Arkasının Düşeyle Yaptığı Açı ..... 61 |
| 4.7.2   | Dayanım Değişkenleri (Azaltılmış Sürtünme Açısı $\phi_D$ ve Boyutsuz Kohezyon $c_D$ ) ..... 62                     |
| 4.7.3   | Boyutsuz Çivi Yüğü ( $T_D$ ) ..... 62                                                                              |
| 4.7.4   | Ön Çivi Boyutu ..... 63                                                                                            |
| 4.7.5   | Ön Çivi Boyu ..... 63                                                                                              |

|          |                                                                                                    |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.       | ZEMİN ANKRAJLARI .....                                                                             | 70  |
| 5.1      | Ankrajların Kısımları .....                                                                        | 70  |
| 5.2      | Ankrajların Sınıflandırılması .....                                                                | 72  |
| 5.2.1    | Kullanım Sürelerine Göre Ankrajların Sınıflandırılması .....                                       | 72  |
| 5.2.2    | İmalat Teknikleri Dikkate Alınarak Ankrajların Sınıflandırılması .....                             | 73  |
| 5.3      | Zemin Ankrajlarının Tasarımı .....                                                                 | 75  |
| 5.3.1    | Zemin Ankrajlarının Taşıma Güçleri ve Kök Boylarının Hesabı .....                                  | 76  |
| 5.3.1.1  | Kayada Ankraj Taşıma Gücü .....                                                                    | 76  |
| 5.3.1.2  | Granüler Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü .....                                                       | 78  |
| 5.3.1.3  | Kohezyonlu Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü .....                                                     | 81  |
| 5.3.2    | Ankraj Kök Boyu ve Kökler Arası Etkileşim .....                                                    | 82  |
| 5.4      | Aderans .....                                                                                      | 84  |
| 5.4.1    | Aderansı Etkileyen Faktörler .....                                                                 | 85  |
| 5.5      | Malzemeler ve Bileşenleri .....                                                                    | 86  |
| 5.5.1    | Enjeksiyon Malzemeleri .....                                                                       | 86  |
| 5.5.2    | Tendonlar .....                                                                                    | 86  |
| 5.5.2.1  | Tendon Malzemeleri .....                                                                           | 86  |
| 5.5.2.2  | Tendon Merkezleyiciler ve Aralayıcılar .....                                                       | 88  |
| 5.5.2.3  | Oluklu Kaplamalar .....                                                                            | 89  |
| 5.6      | Korozyon ve Karşı Korunum .....                                                                    | 90  |
| 5.7      | Ankrajların Öngerilmesi .....                                                                      | 91  |
| 5.7.1    | Öngerme Teknikleri .....                                                                           | 92  |
| 5.8      | Ankrajlarda Yük Transferi .....                                                                    | 93  |
| 5.9      | Genel Stabilité .....                                                                              | 93  |
| 5.9.1    | Derin Kayma Tahkiki .....                                                                          | 95  |
| 5.10     | Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlarla Desteklenen İksa Sistemleri ve Tasarım Yöntemleri .....       | 98  |
| 5.10.1   | Bir Destekleme Yapısının Projelendirilmesi ve İnşaatı İçin Yapılması Gereken Çalışmalar .....      | 98  |
| 5.10.2   | Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlı İksa Sistemlerinin Tasarımı .....                                | 101 |
| 5.10.2.1 | Yük Varsayımları .....                                                                             | 102 |
| 5.11     | Çok Sıra Ankrajlı Dayanma Sistemlerinin Hesap Yöntemleri .....                                     | 102 |
| 5.11.1   | Rijit Kiriş ve Sabit Mesnet Varsayımı .....                                                        | 102 |
| 5.11.2   | Elastik Mesnetli Sürekli Kiriş Varsayımı .....                                                     | 102 |
| 5.12     | Zemin Çivili Duvarların Ankrajlı Duvarlar ile Karşılaştırılması .....                              | 103 |
| 6.       | ZEMİN MODELLERİ VE MALZEME PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ .....                                           | 107 |
| 6.1      | Zemin Parametrelerinin Tanımlanması .....                                                          | 108 |
| 7.       | ZEMİN ÇİVİSİ DESTEKLİ KAZILARDA ÇİVİ TASARIMI, ANALİZLER VE SONUÇLARI .....                        | 112 |
| 7.1      | Zemin Çivisi Hesap Adımları .....                                                                  | 112 |
| 7.1.1    | H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Zemin Çivisi Tasarımı .....                                      | 112 |
| 7.2      | H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Zemin Çivisi Destekli Kazının Nümerik Analizi ve Sonuçları ..... | 114 |
| 8.       | ANKRAJ DESTEKLİ KAZILARDA ANKRAJ TASARIMI, ANALİZLER VE SONUÇLARI .....                            | 128 |

|                                                                                   | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 8.1 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Ankraj Tasarımı .....                       | 128   |
| 8.2 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Ankraj Blok Göçme Hesabı .....              | 129   |
| 8.3 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Nümerik Analizler ve Sonuçları .....        | 133   |
| 9. ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE MALİYET ANALİZİ                       | 148   |
| 9.1 Analizlerden Belirlenen Duvar Deplasmanlarının Karşılaştırılması .....        | 148   |
| 9.2 Maliyet Analizi .....                                                         | 155   |
| 10. SONUÇ ve ÖNERİLER .....                                                       | 159   |
| KAYNAKLAR .....                                                                   | 162   |
| EKLER .....                                                                       | 163   |
| Ek 1 H=8.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları .....  | 164   |
| Ek 2 H=10.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları ..... | 180   |
| Ek 3 H=12.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları ..... | 192   |
| Ek 4 H=15.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları ..... | 208   |
| Ek 5 H=8.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları .....        | 224   |
| Ek 6 H=10.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları .....       | 240   |
| Ek 7 H=12.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları .....       | 252   |
| Ek 8 H=15.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları .....       | 268   |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                    | 284   |

## SİMGE LİSTESİ

|             |                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|
| $\phi'$     | Efektif kayma mukavemeti açısı                                  |
| $\phi$      | Kayma mukavemeti açısı                                          |
| $\phi_\phi$ | İçsel sürtünme açısı direnç faktörü (LRFD)                      |
| $\phi_c$    | Zemin kohezyonu direnç faktörü (LRFD)                           |
| $\phi_D$    | Zemin danelerinin azaltılmış içsel sürtünme açısı               |
| A           | Tasarım fiktif-statik sismik katsayısı                          |
| A           | Zemin çivisinin kesit alanı                                     |
| $A_{pk}$    | Tasarım pik zemin ivmesi                                        |
| c           | Zemin kohezyonu                                                 |
| $c_a$       | Adezyon                                                         |
| $c_D$       | Boyutsuz kohezyon                                               |
| $c_u$       | Drenajsız kayma mukavemeti                                      |
| D           | Ankraj kök çapı, çivi deliği çapı                               |
| d           | Tendon çapı                                                     |
| $d_s$       | Delinen shaft çapı                                              |
| e           | Boşluk oranı                                                    |
| $E'$        | Drenajlı elastisite modülü                                      |
| E           | Elastisite modülü                                               |
| EA          | Ankraj kökü rijitliği                                           |
| EI          | Eğilme rijitliği                                                |
| F           | Genel güvenlik sayısı                                           |
| $F_F$       | Çivi kafası servis yükü faktörü                                 |
| $F_Y$       | Donatının akma gerilmesi                                        |
| $G_s$       | Dane üzgül yoğunluğu                                            |
| G.S         | Güvenlik sayısı                                                 |
| H           | Duvar Yüksekliği, kazı derinliği                                |
| $K_a$       | Aktif toprak basıncı katsayısı                                  |
| $K_o$       | Sükunetteki toprak basıncı katsayısı                            |
| $K_{ou}$    | Aşırı konsolide bir kilin sükunetteki toprak basıncı katsayısı  |
| $K_{ouc}$   | Normal Konsolide bir kilin sükunetteki toprak basıncı katsayısı |
| $K_p$       | Pasif toprak basıncı katsayısı                                  |
| L           | Ankraj boyu                                                     |
| L           | Çivi boyu                                                       |

|           |                                                                                                       |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_o$     | Ankraj kökündeki enjeksiyon boyu                                                                      |
| $M_{max}$ | Maksimum moment                                                                                       |
| $n$       | Delme tekniğine, ankraj çapına, enjeksiyon basıncına, ankrajın yüzeyden derinliğine bağlı bir katsayı |
| $N$       | Normal kuvvet, Standart penetrasyon deneyi SPT N sayısı                                               |
| $N_c$     | Taşıma gücü katsayısı                                                                                 |
| $N_o$     | Stabilite sayısı                                                                                      |
| $N_q$     | Taşıma gücü katsayısı                                                                                 |
| $P_a$     | Aktif toprak basıncı                                                                                  |
| $P_I$     | Plastisite indeksi                                                                                    |
| $P_o$     | Sükunetteki toprak basıncı                                                                            |
| $p_o$     | Yatay toprak basıncı                                                                                  |
| $P_p$     | Pasif toprak basıncı                                                                                  |
| $P_u$     | Kök taşıma gücü                                                                                       |
| $P_z$     | Düşey toprak basıncı                                                                                  |
| $Q$       | Son sıyrılma direnci                                                                                  |
| $Q_D$     | İzin verilebilir sıyrılma direnci (SLD)                                                               |
| $Q_D$     | Tasarım sıyrılma direnci (SLD)                                                                        |
| $q_u$     | Serbest basınç mukavemeti                                                                             |
| $S$       | Direnen kayma kuvveti                                                                                 |
| $S_H$     | Yatay çivi aralığı                                                                                    |
| $S_V$     | Düşey çivi aralığı                                                                                    |
| $T$       | İzin verilebilir çivi yükü                                                                            |
| $T$       | Tasarım çivi dayanımı (LRFD)                                                                          |
| $T_D$     | Boyutsuz çivi gerilme gücü                                                                            |
| $t_f$     | Çivi kafası servis yükü                                                                               |
| $T_F$     | İzin verilebilir çivi kafası yükü                                                                     |
| $T_F$     | Tasarım çivi kafası dayanım yükü (LRFD)                                                               |
| $T_{FN}$  | Nominal çivi kafası dayanımı                                                                          |
| $t_N$     | İzin verilebilir çivi tendon yükü (SLD)                                                               |
| $T_N$     | Tasarım çivi tendonu dayanımı (LRFD)                                                                  |
| $T_{NN}$  | Nominal çivi tendonu dayanımı                                                                         |
| $T_u$     | B tipi ankrajlarda kök taşıma kapasitesi                                                              |
| $w$       | Duvarın bir metresinin ağırlığı                                                                       |
| $W$       | Kayma zemin bloğunun ağırlığı                                                                         |

|             |                                                                |
|-------------|----------------------------------------------------------------|
| $x$         | Yatay yer değiştirme                                           |
| $\alpha$    | Duvarın yatayla yaptığı açı                                    |
| $\alpha_F$  | Çivi kafası dayanım faktörü                                    |
| $\alpha_N$  | Çivi tendonu dayanım faktörü                                   |
| $\alpha_Q$  | Çivi sıyırılma direnci dayanım faktörü                         |
| $\beta$     | Duvar arkasındaki eğimli bölgenin yatayla yapmış olduğu açı    |
| $\beta$     | Zemin yüzünün yatayla yaptığı açı                              |
| $\gamma$    | Zeminin birim hacim ağırlığı                                   |
| $\gamma_d$  | Suya doygun birim hacim ağırlığı                               |
| $\gamma_K$  | Kuru birim hacim ağırlığı                                      |
| $\gamma_N$  | Doğal birim hacim ağırlığı                                     |
| $\delta$    | Duvar yüzünün düşeyle yapmış olduğu açı                        |
| $\delta$    | Enjeksiyon – kayaç kesiti dayanımı                             |
| $\delta$    | Zemin ile duvar sırtı arasındaki sürtünme açısı                |
| $\delta_u$  | D tipi ankraj köklerinde yapılan genişletmelerin aralığı       |
| $\eta$      | Alnın düşeyle yapmış olduğu açı                                |
| $\nu$       | Poisson oranı                                                  |
| $\sigma_v'$ | Düşey jeolojik efektif gerilme                                 |
| $\tau$      | Enjeksiyon- zemin ara kesitinde mobilize olmuş kayma gerilmesi |
| $\psi$      | Kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı                            |
| $\Gamma$    | Yük faktörü (LRFD)                                             |
| $\Gamma_w$  | Birim hacim ağırlık için yük faktörü (LRFD)                    |
| $K$         | Sönümleme katsayısı                                            |
| $\Phi_F$    | Çivi kafası direnç faktörü                                     |
| $\Phi_N$    | Çivi tendonu direnç faktörü (LRFD)                             |

## **KISALTMA LİSTESİ**

|        |                                                                    |
|--------|--------------------------------------------------------------------|
| AASHTO | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| ASCE   | American Society for Civil Engineers                               |
| FHWA   | Federal Highway Administration                                     |
| LRFD   | Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı                                     |
| NAVFAC | Naval Facilities Engineering Command                               |
| SLD    | Servis Yüğü Tasarımı                                               |

**ŞEKİL LİSTESİ**

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 Örnek 1’de zemin çivili şev kesiti .....                                                                                                             | 2  |
| Şekil 1.2 Örnek 2’de derin bir kazının zemin çivileri ile desteklenmesi.....                                                                                   | 3  |
| Şekil 1.3 Örnek 2’de destekli yapıda çivi gerilme dağılımları .....                                                                                            | 3  |
| Şekil 1.4 Örnek 2’de zemindeki inklonometrik ölçümler sonucu elde edilen deplasmanlar .....                                                                    | 4  |
| Şekil 1.5 Örnek 3’de zemin kesiti .....                                                                                                                        | 4  |
| Şekil 1.6 Örnek 3’de tipik zemin çivili duvar kesiti.....                                                                                                      | 5  |
| Şekil 1.7 Derinlik boyunca ölçülen deplasman değerleri .....                                                                                                   | 6  |
| Şekil 1.8 Örnek 4’de iksa kazısı kesiti .....                                                                                                                  | 7  |
| Şekil 1.9 Örnek 4’de revizyon sonucu iksa kazısı kesiti .....                                                                                                  | 8  |
| Şekil 1.10 Örnek 4’te kazık deplasmanı .....                                                                                                                   | 8  |
| Şekil 1.11 Örnek 4’te Plaxis sonlu elemanlar öngermeli analizi ile inklinometre<br>ölçümlerinin karşılaştırılması .....                                        | 9  |
| Şekil 1.12 Örnek 5’te Plaxis’de oluşturulan nümerik model .....                                                                                                | 10 |
| Şekil 1.13 Örnek 5’de yatay deplasmanların derinlikle değişimi.....                                                                                            | 11 |
| Şekil 1.14 Örnek 5’te kesme kuvvetinin derinlikle değişimi .....                                                                                               | 11 |
| Şekil 1.15 Örnek 5’te moment değerlerinin derinlikle değişimi.....                                                                                             | 12 |
| Şekil 1.16 Örnek 5’de arazide yol cephesinde ölçülen inklonometrik ölçüm sonuçları .....                                                                       | 12 |
| Şekil 2.1 Duvar yerdeğiştirmesi – Toprak basıncı ilişkisi a) Duvar yerdeğiştirmesi<br>b) Duvar yerdeğiştirmesine bağlı olarak toprak basıncının değişimi ..... | 14 |
| Şekil 2.2 Aktif ve Pasif Rankine durumları için mohr daireleri.....                                                                                            | 16 |
| Şekil 2.3 Kohezyonsuz Zeminlerde aktif ve pasif Rankine durumunda oluşan<br>yanal toprak basınçları.....                                                       | 16 |
| Şekil 2.4 Kohezyonlu zeminlerde Rankine teorisine göre aktif ve pasif<br>toprak basınçları .....                                                               | 17 |
| Şekil 2.5 Tabakalı zemin olması durumunda yanal toprak basınçları.....                                                                                         | 18 |
| Şekil 2.6 Yeraltı suyu olması durumunda yanal toprak basınçları .....                                                                                          | 18 |
| Şekil 2.7 Kohezyonsuz zeminlerde aktif basınç için Coulomb kaması.....                                                                                         | 19 |
| Şekil 2.8 Terzaghi – Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları.....                                                                                  | 21 |
| Şekil 2.9 Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı .....                                                                                     | 21 |
| Şekil 3.1 Çivili duvarların inşaat adımları (FHWA, 1998) .....                                                                                                 | 23 |
| Şekil 3.2 Zemin çivili sistemin tipik kesiti .....                                                                                                             | 24 |
| Şekil 3.3 (a) Geçici zemin çivisi (FHWA, 1998) .....                                                                                                           | 25 |
| Şekil 3.3 (b) Kalıcı zemin çivisi (FHWA, 1998).....                                                                                                            | 26 |

|                                                                                                                                     | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.4 Zemin çivisi davranışı (FHWA, 1998).....                                                                                  | 28    |
| Şekil 3.5 Zemin çivili duvarların olası göçme biçimleri (FHWA, 1998).....                                                           | 29    |
| Şekil 3.6 Normalize edilmiş ölçülen maksimum çivi yükleri (FHWA, 1998).....                                                         | 32    |
| Şekil 3.7 Zemin çivili duvarlarda şekil değiştirme (Clouterre, 1991 .....                                                           | 35    |
| Şekil 3.8 Katı killer, rezidüel zeminler ve kumlar için arazide duvarda<br>gözlemlenmiş maksimum yanal hareketler (FHWA, 1998)..... | 36    |
| Şekil 4.1 Zemin çivili duvarlarda araştırılacak olası göçme biçimleri (FHWA, 1998).....                                             | 41    |
| Şekil 4.2 SLD ile zemin çivisi tasarımı, tekil donatılı şev (FHWA,1998).....                                                        | 42    |
| Şekil 4.3 LRFD ile zemin çivisi tasarımı, tekil donatılı şev (FHWA,1998) .....                                                      | 42    |
| Şekil 4.4 SLD ve LRFD ile zemin çivisi tasarımı, çoğul donatılı şev (FHWA, 1998) .....                                              | 43    |
| Şekil 4.5 Çivi destek diyagramı (FHWA, 1998) .....                                                                                  | 45    |
| Şekil 4.6 Dayanma yapıları için dış göçme biçimleri (FHWA, 1998) .....                                                              | 48    |
| Şekil 4.7 Tasarım için varsayılan çivi boyu dağılımı (FHWA, 1998).....                                                              | 55    |
| Şekil 4.8 Basamaklı duvarların yapım aşamaları (FHWA,1998).....                                                                     | 58    |
| Şekil 4.9 Cotiere Tüneli'nin kuzey girişindeki duvar (TGV Rhône-Alpes, 1990).....                                                   | 59    |
| Şekil 4.10 Sonsuz şev koşulu / Tasarım yaklaşımı.....                                                                               | 61    |
| Şekil 4.11 Ön tasarım abağı 1A / Duvar arkası eğimi = 0° (FHWA, 1998).....                                                          | 64    |
| Şekil 4.12 Ön tasarım abağı 1B / Duvar arkası eğimi = 0°,<br>Duvar yüzü eğimi = 0° (FHWA, 1998) .....                               | 64    |
| Şekil 4.13 Ön tasarım abağı 1C / Duvar arkası eğimi = 0°,<br>Duvar yüzü eğimi =10° (FHWA, 1998) .....                               | 65    |
| Şekil 4.14 Ön tasarım abağı 2A / Duvar arkası eğimi = 10° (FHWA, 1998).....                                                         | 65    |
| Şekil 4.15 Ön tasarım abağı 2B / Duvar arkası eğimi = 10°,<br>Duvar yüzü eğimi =0° (FHWA, 1998) .....                               | 66    |
| Şekil 4.16 Ön tasarım abağı 2C / Duvar arkası eğimi = 10°,<br>Duvar yüzü eğimi =10° (FHWA, 1998) .....                              | 66    |
| Şekil 4.17 Ön tasarım abağı 3A/ Duvar arkası eğimi = 20° (FHWA, 1998).....                                                          | 67    |
| Şekil 4.18 Ön tasarım abağı 3B/ Duvar arkası eğimi = 20°,<br>Duvar yüzü eğimi =0° (FHWA, 1998) .....                                | 67    |
| Şekil 4.19 Ön tasarım abağı 3C/ Duvar arkası eğimi = 20°,<br>Duvar yüzü eğimi =10° (FHWA, 1998) .....                               | 68    |
| Şekil 4.20 Ön tasarım abağı 4A/ Duvar arkası eğimi = 34° (FHWA, 1998).....                                                          | 68    |
| Şekil 4.21 Ön tasarım abağı 4B/ Duvar arkası eğimi = 34°,<br>Duvar yüzü eğimi =0° (FHWA, 1998) .....                                | 69    |

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.22 Ön tasarım abağı 4C/ Duvar arkası eğimi = 34°,<br>Duvar yüzü eğimi =10° (FHWA, 1998) .....                                                                                 | 69  |
| Şekil 5.1 Tipik bir geçici ankraj .....                                                                                                                                               | 71  |
| Şekil 5.2 Ankraj kafası .....                                                                                                                                                         | 71  |
| Şekil 5.3 Temel ankraj tipleri .....                                                                                                                                                  | 74  |
| Şekil 5.4 Taşıma gücü kapasitesi faktörü ile efektif kayma mukavemeti<br>açısı arasındaki ilişki .....                                                                                | 79  |
| Şekil 5.5 Kumlu çakıllar ve çakıllı kumlarda maksimum ankraj kapasitesi (NAVFAC, 1988)                                                                                                | 80  |
| Şekil 5.6 Güvenli ankraj taşıma gücü, SPT (dinamik penetrasyon deneyi )<br>arasındaki ilişki (Ostermayer ve Scheele, 1977) .....                                                      | 80  |
| Şekil 5.7 D tipi ankraj.....                                                                                                                                                          | 82  |
| Şekil 5.8 Merkezleyiciler.....                                                                                                                                                        | 89  |
| Şekil 5.9 Oluklu kaplamalarda yük transfer mekanizması .....                                                                                                                          | 90  |
| Şekil 5.10 Ankrajlı perdelerde kabul edilen kayma kaması .....                                                                                                                        | 94  |
| Şekil 5.11 Ankrajlı yapılarda göçme çeşitleri a) Sistemin silindirik kayma daireesi<br>boyunca göçmesi (Toptan göçme) b) Derin kayma düzelminde<br>zemin göçmesi (İncecik, 1977)..... | 95  |
| Şekil 5.12 Ankrajlı duvarda genel stabilite için kabul edilen kayma kaması.....                                                                                                       | 96  |
| Şekil 5.13 Birden fazla ankraj için genel stabilite analizleri (Bureau Securitas, 1972).....                                                                                          | 97  |
| Şekil 5.14 Farklı uygulamalar için donatı boyunca gerilme dağılımı (FHWA,1998).....                                                                                                   | 105 |
| Şekil 5.15 Zemin çivisi ve ankrajlı duvarlarda yanıl gerilme dağılımı (FHWA,1998) .....                                                                                               | 106 |
| Şekil 7.1 H=10 m için belirlenen zemin çivili sistem kesitleri.....                                                                                                                   | 114 |
| Şekil 7.2 Model 1 zemin çivisi destekli kazı için nümerik model.....                                                                                                                  | 115 |
| Şekil 7.3 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum<br>yatay yer değıştirme miktarı .....                                                                      | 116 |
| Şekil 7.4 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değışimi.....                                                                                                      | 116 |
| Şekil 7.5 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değıştirmelerin vektörel dağılımı                                                                                           | 117 |
| Şekil 7.6 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değıştirmelerin dağılımı .....                                                                                              | 117 |
| Şekil 7.7 Model 1 zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı.....                                                                                                                 | 118 |
| Şekil 7.8 Model 1 zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı.....                                                                                                                 | 118 |
| Şekil 7.9 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda oluşan kesme kuvveti diyagramı.....                                                                                                   | 119 |
| Şekil 7.10 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda oluşan moment diyagramı .....                                                                                                        | 119 |
| Şekil 7.11 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 1.donatı boyunca gerilme dağılımı.....                                                                                               | 121 |
| Şekil 7.12 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 2.donatı boyunca gerilme dağılımı.....                                                                                               | 121 |

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 7.13 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 3.donatı boyunca gerilme dağılımı.....                   | 122 |
| Şekil 7.14 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 4.donatı boyunca gerilme dağılımı.....                   | 122 |
| Şekil 7.15 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 5.donatı boyunca gerilme dağılımı.....                   | 122 |
| Şekil 7.16 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 6.donatı boyunca gerilme dağılımı.....                   | 123 |
| Şekil 7.17 Model 1 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=1.68$ ).....         | 125 |
| Şekil 7.18 Model 2 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=1.45$ ).....         | 125 |
| Şekil 7.19 Model 3 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=2.39$ ).....         | 125 |
| Şekil 7.20 Model 4 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=1.98$ ).....         | 126 |
| Şekil 7.21 Model 1 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.82$ ).....         | 126 |
| Şekil 7.22 Model 2 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.61$ ).....         | 126 |
| Şekil 7.23 Model 3 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=2.27$ ).....         | 127 |
| Şekil 7.24 Model 4 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.99$ ).....         | 127 |
| Şekil 8.1 Model 1 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi ( $H=10\text{ m}$ ).....                       | 131 |
| Şekil 8.2 Model 2 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi ( $H=10\text{ m}$ ).....                       | 131 |
| Şekil 8.3 Model 3 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi ( $H=10\text{ m}$ ).....                       | 132 |
| Şekil 8.4 Model 4 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi ( $H=10\text{ m}$ ).....                       | 132 |
| Şekil 8.5 Model 1 ankraj destekli kazı için nümerik model .....                                           | 134 |
| Şekil 8.6 Model 1 ankraj destekli kazıda deformasyon açısı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı ..... | 134 |
| Şekil 8.7 Model 1 ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi .....                               | 135 |
| Şekil 8.8 Model 1 ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı.....                | 135 |
| Şekil 8.9 Model 1 ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı.....                         | 136 |
| Şekil 8.10 Model 1 ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı .....                                         | 136 |
| Şekil 8.11 Model 1 ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı .....                                         | 137 |
| Şekil 8.12 Model 1 ankraj destekli duvarda oluşan kesme kuvveti diyagramı .....                           | 137 |
| Şekil 8.13 Model 1 ankraj destekli duvarda oluşan moment diyagramı .....                                  | 138 |
| Şekil 8.14 Model 1 ankraj destekli duvarda 1.donatı boyunca gerilme dağılımı .....                        | 142 |
| Şekil 8.15 Model 1 ankraj destekli duvarda 2.donatı boyunca gerilme dağılımı .....                        | 142 |
| Şekil 8.16 Model 1 ankraj destekli duvarda 3.donatı boyunca gerilme dağılımı .....                        | 142 |
| Şekil 8.17 Model 1 ankraj destekli duvarda 4.donatı boyunca gerilme dağılımı .....                        | 143 |
| Şekil 8.18 Model 1 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=1.99$ ).....       | 145 |
| Şekil 8.19 Model 2 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=1.83$ ).....       | 145 |
| Şekil 8.20 Model 3 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=1.97$ ).....       | 145 |
| Şekil 8.21 Model 4 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=2.11$ ).....       | 146 |

|                                                                                                                                             | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 8.22 Model 1 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.95$ ).....                                         | 146   |
| Şekil 8.23 Model 2 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.67$ ).....                                         | 146   |
| Şekil 8.24 Model 3 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=2.11$ ).....                                         | 147   |
| Şekil 8.25 Model 4 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.84$ ).....                                         | 147   |
| Şekil 9.1 Duvarların tepe noktasında elde edilen yatay yer değiştirmelerin<br>kazı derinliği ile değişimi .....                             | 149   |
| Şekil 9.2 Zemin çivili sistemde Model 1 ( $H=10\text{ m}$ ) için duvar arkasında<br>zemin yüzü boyunca düşey deplasmanlar .....             | 152   |
| Şekil 9.3 Ankrajlı sistemde Model 1 ( $H=10\text{ m}$ ) için duvar arkasında<br>zemin yüzü boyunca düşey deplasmanlar .....                 | 152   |
| Şekil 9.4 Zemin çivili ve ankraj destekli duvarların kazı tabanında oluşan<br>maksimum taban kabarmasının kazı derinliği ile değişimi ..... | 153   |
| Şekil 9.5 Modellerde zemin çivisi ve ankraj destekli kazı maliyetlerinin<br>kazı derinliği ile değişimi .....                               | 158   |

**ÇİZELGE LİSTESİ**

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 1.1 Örnel 1’de zemin malzeme parametreleri .....                                                         | 2   |
| Çizelge 1.2 Örnek 3’de zemin malzeme parametreleri .....                                                         | 5   |
| Çizelge 1.3 Örnek 4’de Plaxis analizlerinde kullanılan zemin malzeme parametreleri.....                          | 7   |
| Çizelge 1.4 Örnek 5’de zemin malzeme parametreleri .....                                                         | 10  |
| Çizelge 1.5 Örnek 5’de duvar ve ankraj malzeme özellikleri .....                                                 | 10  |
| Çizelge 3.1 Gözlemlenmiş zemin çivili duvarların özellikleri (FHWA,1998).....                                    | 33  |
| Çizelge 3.2 Zemin çivili duvarlarda şekil değiştirmeyi etkileyen etkenler .....                                  | 35  |
| Çizelge 4.1 AASHTO özelliklerine göre yükleme birleşimleri (AASHTO, 1992).....                                   | 51  |
| Çizelge 4.2 SLD için çivi kafası dayanım faktörleri (FHWA, 1998).....                                            | 51  |
| Çizelge 4.3 SLD için dayanım faktörleri ve güvenlik sayıları (F) (FHWA, 1998).....                               | 53  |
| Çizelge 5.1. Zemin ankrajları için minimum güvenlik değerleri .....                                              | 73  |
| Çizelge 5.2 Bazı kayaçlar için tipik kök sıyrılma değerleri (NAVFAC, 1983) .....                                 | 77  |
| Çizelge 5.3 1m uzunluk için kökte son taşıma gücü (kN) (FHWA, 1998) .....                                        | 77  |
| Çizelge 5.4 Çimento enjeksiyonlu kaya ankrajları için kök boyları.....                                           | 83  |
| Çizelge 5.5 Öngermeli tendon malzemeleri için tipik boyutlar ve karakteristik dayanımlar...                      | 88  |
| Çizelge 5.6 Ankraj çubuğunda emniyet katsayıları.....                                                            | 92  |
| Çizelge 5.7 (a) Ankrajlı ve zemin çivili duvarların işlevleri bakımından<br>karşılaştırılması (FHWA,1998). ..... | 103 |
| Çizelge 5.7 (b) Ankrajlı ve zemin çivili duvarların işlevleri bakımından<br>karşılaştırılması (FHWA,1998). ..... | 104 |
| Çizelge 6.1 Çeşitli zeminler için boşluk oranı, porozite, birim hacim ağırlık<br>değerleri (Kezdi,1975).....     | 108 |
| Çizelge 6.2 Kohezyonlu zeminler için $\phi'$ değerleri (AASHTO, T99 ) .....                                      | 109 |
| Çizelge 6.3 Granüler zeminler için $\phi'$ değerleri (AASHTO, T99) .....                                         | 109 |
| Çizelge 6.4 N- $q_u$ korelasyonları.....                                                                         | 110 |
| Çizelge 6.5 Drenajlı elastisite modülü değerleri (Kezdi, 1975) .....                                             | 110 |
| Çizelge 6.6 Drenajlı Poisson oranları (AASHTO , T99).....                                                        | 110 |
| Çizelge 6.7 Drenajlı Poisson oranları .....                                                                      | 111 |
| Çizelge 6.8 Model zemin parametreleri .....                                                                      | 111 |
| Çizelge 7.1 H=10.00 m için çivi boyları .....                                                                    | 113 |
| Çizelge 7.2 Zemin çivisi destekli iksa sistemlerinde kullanılan malzeme özellikleri.....                         | 114 |
| Çizelge 7.3 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=8 m’lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları..... | 120 |

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 7.4 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=10 m'lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları.....                                                | 120 |
| Çizelge 7.5 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=12 m'lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları.....                                                | 120 |
| Çizelge 7.6 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=15 m'lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları.....                                                | 121 |
| Çizelge 7.7 Zemin çivili sistemlerdeki maksimum taban kabarması değerleri .....                                                                                  | 123 |
| Çizelge 7.8 Zemin çivili sistemlerde sonlu elemanlar ve limit denge analizi ile<br>hesaplanan toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları .....                       | 124 |
| (a) Plaxis 7.2'den belirlenen güvenlik sayıları .....                                                                                                            | 124 |
| (b) Talren 4'den belirlenen güvenlik sayıları .....                                                                                                              | 124 |
| Çizelge 8.1. Tendon (ankraj) halatı teknik özellikleri .....                                                                                                     | 129 |
| Çizelge 8.2 Ankraj destekli iksa sistemlerinde kullanılan malzeme özellikleri .....                                                                              | 133 |
| Çizelge 8.3 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=8 m'lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları.....                                               | 138 |
| Çizelge 8.4 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=10 m'lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları.....                                              | 139 |
| Çizelge 8.5 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=12 m'lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları.....                                              | 140 |
| Çizelge 8.6 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=15 m'lik kazı için<br>nümerik analiz sonuçları.....                                              | 141 |
| Çizelge 8.7 Ankrajlı sistemlerde maksimum taban kabarması değerleri .....                                                                                        | 143 |
| Çizelge 8.8 Ankrajlı sistemlerde sonlu elemanlar ve limit denge analizleri ile<br>hesaplanan toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları .....                        | 144 |
| a )Plaxis 7.2'den belirlenen güvenlik sayıları .....                                                                                                             | 144 |
| b )Talren 4'den belirlenen güvenlik sayıları .....                                                                                                               | 144 |
| Çizelge 9.1 Duvar yüksekliklerine göre tepe noktasındaki olası maksimum yer değiştirmeler                                                                        | 148 |
| Çizelge 9.2 Farklı zemin koşullarında yapılan çivili destek sistemlerinde duvar arkası<br>zemin yüzü maksimum düşey deplasmanlar ve duvara olan uzaklıkları..... | 150 |
| Çizelge 9.3 Farklı zemin koşullarında yapılan ankrajlı destek sistemlerinde duvar<br>arkası zemin yüzü maksimum düşey deplasmanlar ve duvara olan uzaklıkları .. | 150 |
| Çizelge 9.4 H=10m çivi destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler<br>sonucunda belirlenen güvenlik sayılarının karşılaştırılması.....             | 154 |
| Çizelge 9.5 H=15m çivi destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler                                                                                 |     |

|                                                                                               |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                                                               | Sayfa |
| sonucunda belirlenen güvenlik sayıları .....                                                  | 154   |
| Çizelge 9.6 H=10 m ankraj destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler           |       |
| sonucunda belirlenen güvenlik sayıları .....                                                  | 154   |
| Çizelge 9.7 H=15 m ankraj destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler           |       |
| sonucunda belirlenen güvenlik sayıları .....                                                  | 154   |
| Çizelge 9.8 Model 1 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar .... | 156   |
| Çizelge 9.9 Model 2 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar .... | 156   |
| Çizelge 9.10 Model 3 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar ..  | 157   |
| Çizelge 9.11 Model 4 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar ... | 157   |

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, derin kazılarda zemin çivili ve ankrajlı iksa yöntemleri incelenerek, zemin çivili ve ankrajlı destekleme sistemleri önce klasik analiz yöntemleri ile projelendirilmiş, daha sonra tasarlanan sistemlerin deformasyon davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu amaçla belirlenen 4 farklı zemin türü için literatürde önerilmiş değerlerden, zemin parametreleri seçilmiş ve incelenen geoteknik modeller sırasıyla Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak tanımlanmıştır. Her bir zemin türünde, dört farklı yükseklik (8 m, 10 m, 12 m ve 15 m) için destekli kazı sistemlerinin nümerik analizi Plaxis 7.2 programı ile yapılarak deplasman değerleri ve toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları belirlenmiştir. Ayrıca, zemin çivili ve ankrajlı sistemlerin stabilite analizleri limit denge analizi ile çözüm yapan Talren 4 programı ile de çözülerek güvenlik sayıları karşılaştırılmıştır. Böylece, iki farklı iksa sisteminin benzer zemin koşullarında davranışı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, Bölüm 1’de zemin çivili ve ankrajlı iksa sistemi örnekleri, Bölüm 2’de yanal toprak basınçları ve çok sıra destekli iksa sistemlerine gelen toprak basınçları, Bölüm 3 ve 4’de zemin çivisi ve tasarım yöntemleri, Bölüm 5’de zemin ankrajları ve tasarım yöntemleri, Bölüm 6’da seçilen zemin modelleri ve malzeme parametreleri, Bölüm 7’de zemin çivili ve Bölüm 8’de ankrajlı iksa sistemleri analiz sonuçları, Bölüm 9’da maliyet analizi ve iksa sistemlerinin karşılaştırmaları ve Bölüm 10’da sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında deneyim ve bilgileri benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr.İ. Kutay ÖZAYDIN’a teşekkürlerimi sunarım. Gerek nümerik analizler esnasında gerekse tezimin diğer aşamalarında deneyimlerini benimle paylaşan Yrd. Doç. Dr. Havvanur KILIÇ’a ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN’e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca beni destekleyen ve her zaman yanımda olan aileme gösterdikleri sabır ve anlayış için çok teşekkür ederim.

## ÖZET

Derin kazılar günümüz şehirciliğinde mühendislik açısından önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek katlı yapıların yerleşimini sağlayabilmek, metro tünel gibi yapıları hayata geçirebilmek için inşaat mühendisleri derin kazılar sırasında zemini denge halinde tutmak zorundadırlar.

Bu çalışmada, derin kazılarda zemin çivili ve ankrajlı iksa yöntemleri incelenerek, zemin çivili ve ankrajlı destekleme sistemleri önce klasik analiz yöntemleri ile projelendirilmiş, daha sonra tasarlanan sistemlerin deformasyon davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Destekli kazıların nümerik analizlerinde dört farklı zemin türünden oluşan homojen zemin yapıları seçilmiştir. Bu geoteknik modeller sırasıyla Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak tanımlanmıştır. Her bir geoteknik model için kazı derinliği  $H=8, 10, 12$  ve  $15\text{m}$  olacak şekilde kazı modelleri oluşturularak, zemin çivisi ve ankrajlar ile desteklenen iksa sistemleri için nümerik analizler Plaxis 7.2 sonlu elemanlar programı ile yapılmıştır. Analizlerden, duvarların deplasman değerleri ile toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları belirlenmiştir. Ayrıca, zemin çivili ve ankrajlı sistemlerin stabilite analizleri limit denge analizi ile çözüm yapan Talren 4 programı ile de çözülerek güvenlik sayıları karşılaştırılmıştır. Böylece, iki farklı iksa sisteminin benzer zemin koşullarında davranışı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Killi zemin modellerinde kazı derinliğinin az olduğu durumlarda zemin çivili sistemler ekonomik iken  $10\text{m}$  kazı derinliğinden sonra ankrajlı sistemler ekonomik hale gelmiştir. Kumlu zemin modellerinde ise ankrajlı sistemlerin uygulanmasının daha ekonomik olduğu belirlenmiştir. Doğal olarak, bu karşılaştırmalara temel olan birim fiyatların piyasa koşullarına göre güncel değerleri, hangi destek sisteminin daha ekonomik olacağını büyük oranda değiştirebilecektir. Uygulamalarda, göçmeye karşı güvenlik sayıları, zemin deplasmanları ve maliyet karşılaştırması sonuçları göz önünde bulundurulmalıdır. Arazi ve yakın çevresinin durumuna göre çivili veya ankrajlı destek sistemlerinden birinin seçilmesi gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Derin kazılar, Zemin çivisi, Ankraj, Gerilme dağılımı, Yer değiştirme (deplasman), Plaxis 7.2, Talren 4.

## **ABSTRACT**

Deep excavations play an important role in the modern civil engineering practices in big cities. Civil engineers have to keep the ground in balance during deep excavations to provide for the development of high storey buildings, and realize the constructions such as subways and tunnels.

It is aimed within the context of this thesis to compare the deep excavation support systems comprising soil nail systems soil anchors. The Plaxis 7.2 program utilizing the finite elements method is being widely used for the numeric analysis of the geotechnical engineering problems. In this study its used to analyse the behavior of soil nailed and anchored excavation support systems which are initially designed by classical methods. Typical excavation in four different soil models of for different heights (8, 10, 12 and 15 m) have been analysed. The stability of the excavations is also analysed with the computer code Talren, which is a limiting equilibrium slope stability analysis program. The computed factor of safety values are compared with the results of Plaxis analysis and observed to be close to each other. Finite elements analysis also yield deformations to be expected in both excavation support system which are also compared. Cost comparisons are also made for the excavation support systems that have been studied, and it is noticed. That in clayey soils, for excavations depths up to 10 m soil nail systems are more economical, beyond which anchored systems become more economical. Anchored systems are found to be more economical in sandy soils for all excavation depths studied. The choice of excavation support system willl also depend on site and soil conditions, including the existence of neighbouring structures which might be adversely attected from soil displacements.

**Keywords** : Deep excavation, Soil nail, Anchor, Effective stress, Displacements, Plaxis 7.2, Talren 4.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde sanayi ve ticaretin belli bölgelerde yoğunlaşmasıyla bu bölgelerde nüfusun hızla artması kaçınılmaz olmuş ve özellikle büyük şehirlerde yeni inşaatların yapılabileceği arazilerin yetersiz kalmasına ve ekonomik değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Nüfusun giderek artması buna karşın kullanım alanının sabit kalması sonucu yapı yükseklikleri artmıştır. Yüksek yapıların inşaatında gerekli olan derin temel kazılarını, istinat sistemlerinin uygulanması olmaksızın yapabilmek, kazı sırasında zemini denge halinde tutabilmek mümkün değildir. Bu sebeple günümüz şehirciliğinde iksa sistemlerinin kullanımı kaçınılmaz bir hale gelmiştir.

İksa sistemleri derin kazı gerektiren inşaatlarda açılacak kazı çukurunun cidarlarının desteklenmesi için inşa edilirler. İksa yapılarının projelendirilmesi detaylı bir geoteknik araştırma, ekonomik ve güvenli bir destekleme sisteminin seçilmesini ve özellikle kent içi bölgelerdeki uygulamalar açısından iyi bir süre organizasyonunu gerektirir. Bu bakımlardan derin kazılarda iksa sistemleri inşaat mühendislerinin zemin mekaniği bilgisini ve çok ciddi deneyimleri gerektiren bir uygulamadır. İksa sistemleri hesabı zeminin toprak basınçlarının hesaplanması esasına dayanır. Kazı yüzeyi boyunca toprak basıncı dağılımlarının değişimine bağlı kalınarak uygun destek sistemi uygulanarak boyutlandırması yapılmaktadır. Derin kazılar gerektiren yapıların inşası boyunca dar olan kazı sahaları içinde kazının düşey olarak teşkilini sağlamak, kazı sahasının çevresinde bulunan bina, yol ve mevcut tesislerde oluşabilecek hasar riskini en aza indirmek ve zemin deplasmanlarını kabul edilebilir sınırlar ölçüsünde tutmak için göçme, kayma ve deformasyona engel olacak destekleme sistemleri seçilmektedir. Derin kazı çukurlarının daha ekonomik ve güvenli desteklenmesi için çeşitli iksa sistemleri geliştirilmiştir.

İksa sistemini hangi zemin cinsinde yaptığımız çok önemlidir. Bunun yanı sıra tasarımı yapacak mühendis için tasarımın güvenliği kadar maliyeti de büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışılan zemine ve projeye en uygun iksa sistemini seçmek gerekmektedir. Bu amaçla da zemine uygulanabilmesi mümkün çeşitli iksa sistemleri ve parametreleri üzerinden maliyet analizleri ve kıyaslamalar yapılmalıdır.

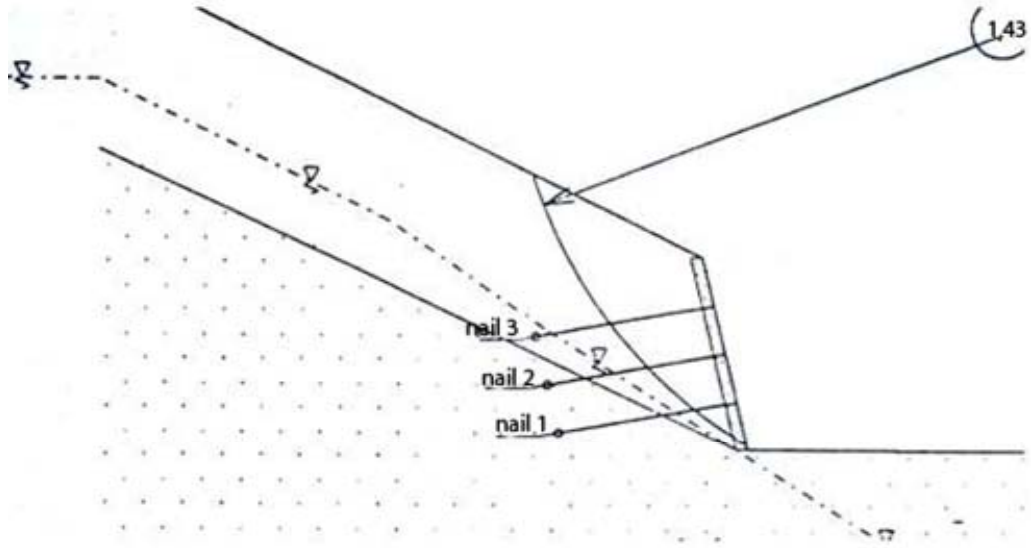
### 1.1 Zemin Çivili ve Ankrajlı Destek Sistemleri Örnekleri

Literatürde zemin çivili ve ankrajlı destek sistemleri ile yapılan birçok derin kazı uygulaması mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları seçilerek kesitleri, çözüm yöntemleri ve sonuçları kısaca

özetlenerek aşağıda sunulmuştur.

#### ÖRNEK 1 (Hall, G.J, 1995)

İngiltere’de Huddersfield kasabası futbol stadyumu yakınında ki şevi desteklemek için zemin çivisi uygulanmıştır. Zemin kesiti Şekil 1.1’de ve zemin parametreleri ise Çizelge 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 Örnek 1’de zemin çivili şev kesiti

Çizelge 1.1 Örnel 1’de zemin malzeme parametreleri

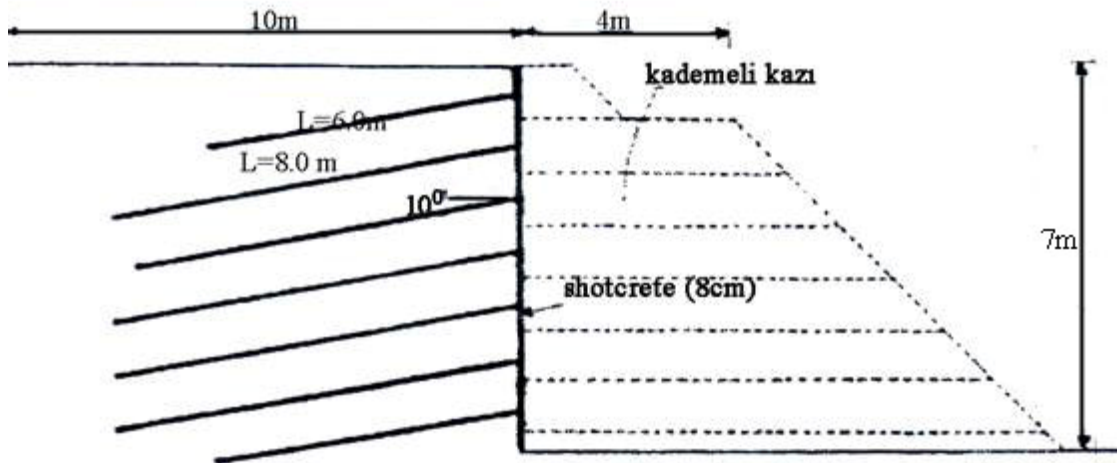
| Zemin                         | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | c (kPa) | $\phi$ (°) |
|-------------------------------|-------------------------------|---------|------------|
| $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 20.0                          | 250.0   | 40.0       |

Bu uygulamada, kazı derinliği  $H = 3.20$  m dir ve bu kazıyı desteklemek için zemin çivileri boyları  $L = 3.0$  m ve yatay aralıkları 1.0 m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şevi desteklemek için yerleştirilen çivilerin göçmeye karşı güvenlik sayısı Talren programı ile hesaplanmıştır. Talren’de şev stabilitesi analiz metodlarından Bishop seçilerek güvenlik sayısı  $G.S = 1.43$  olarak bulunmuştur. Yapılan tasarım ve imalat sonrası sorun yaşanmamıştır.

#### ÖRNEK 2 (Computational Geotechnics Course Notes, 2005)

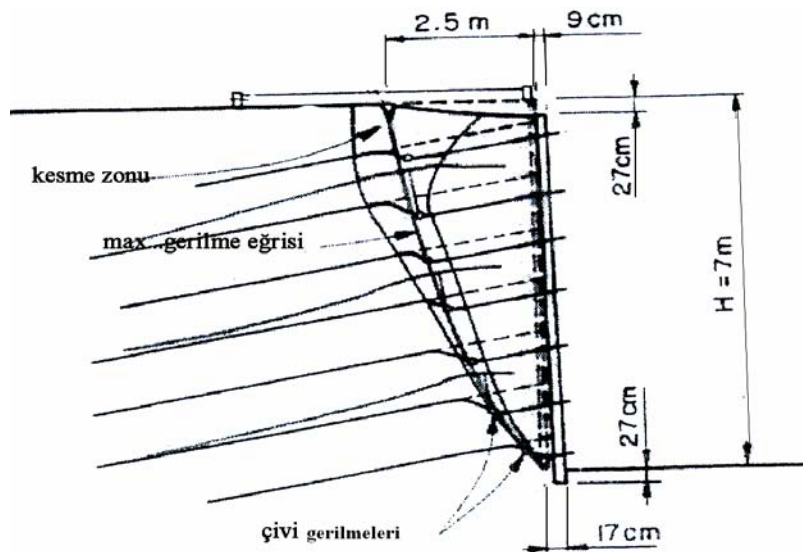
Diğer bir uygulamada, derin bir kazı çok sıralı zemin çivisi ile desteklenmiştir. Kazı kesiti Şekil 1.2’de görülmektedir. Kumlu zeminin malzeme parametreleri  $\gamma = 20$  kN/m<sup>3</sup>,  $\phi' = 38^\circ$  ve

$c' = 3$  kPa olarak tanımlanmıştır.



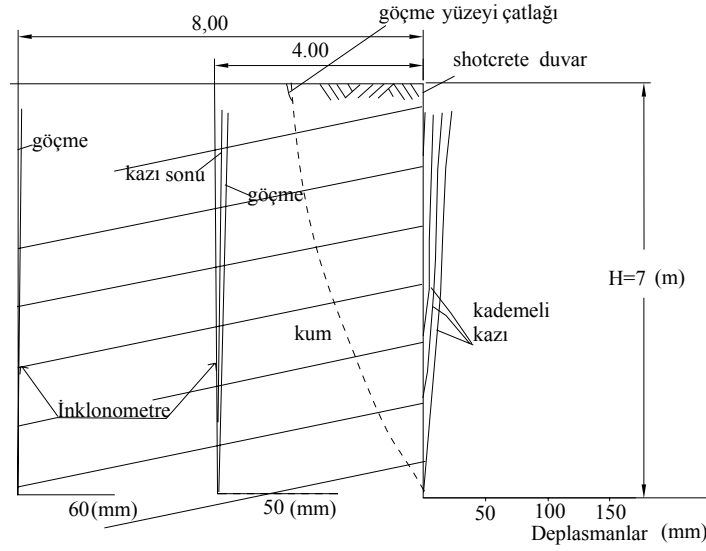
Şekil 1.2 Örnek 2’de derin bir kazının zemin çivileri ile desteklenmesi

Bu uygulamada kazı derinliği  $H = 7.0$  m'dir ve zemin çivileri yatayla  $10^0$  açı yapacak şekilde boyları  $L=6.0$  m ve  $L=8.0$  m olarak belirlenmiştir. Çiviler düşeyde 1.0 m, yatayda 1.50 m aralıklarla yerleştirilmiştir.



Şekil 1.3 Örnek 2’de destekli yapıda çivi gerilme dağılımları

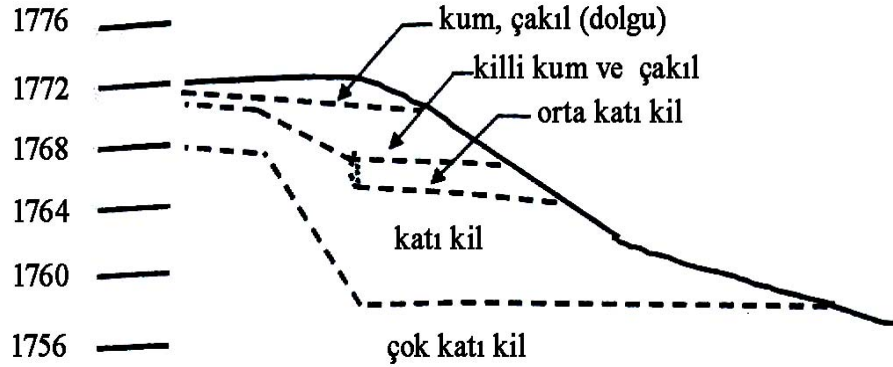
Şekil 1.2’de gösterilen zemin kesiti sonlu elemanlar programı Plaxis ile nümerik olarak modellenerek analizi yapılmış ve bulunan maksimum çivi gerilmeleri Şekil 1.3’de ve zemindeki ötelenmeler ise Şekil 1.4’de gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Örnek 2’de zemindeki inklonometrik ölçümler sonucu elde edilen deplasmanlar

### ÖRNEK 3 (Turner J.P., vd, 2005)

Diğer bir örnekte ise, toprak kayması stabilizasyonunda zemin çivili duvarın davranışı incelenmiştir. Bu uygulama sonucunda, toprak kaymasının söz konusu olduğu bir sahada zemin çivisinin yapılabirliği gösterilmiştir. Şekil 1.5’de zemin kesiti ve Çizelge 1.2’de ise deney sonuçlarına göre bulunan zemin parametreleri verilmiştir.

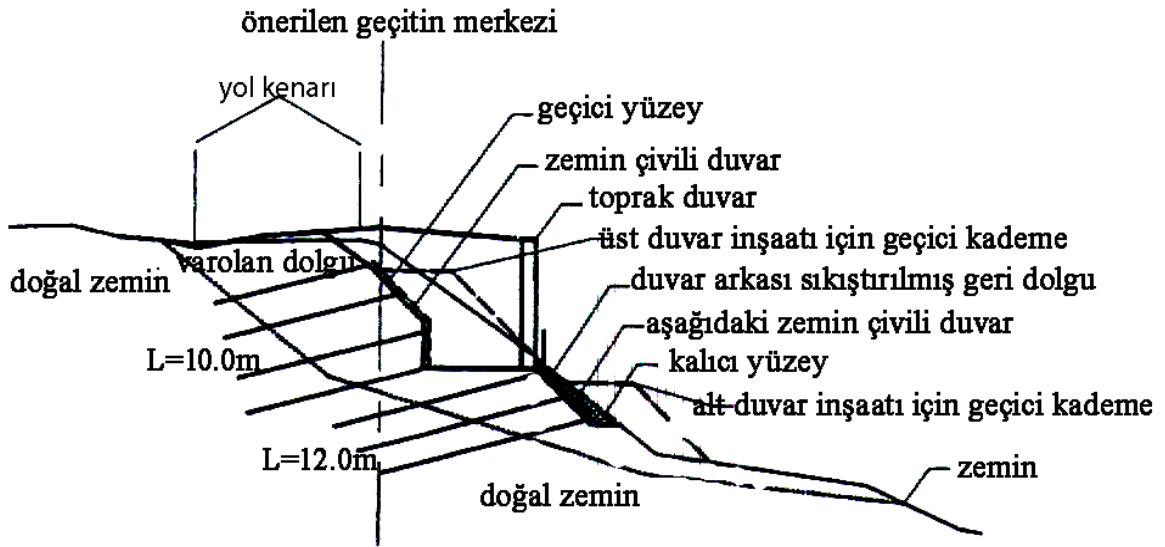


Şekil 1.5 Örnek 3’de zemin kesiti

Çizelge 1.2 Örnek 3’de zemin malzeme parametreleri

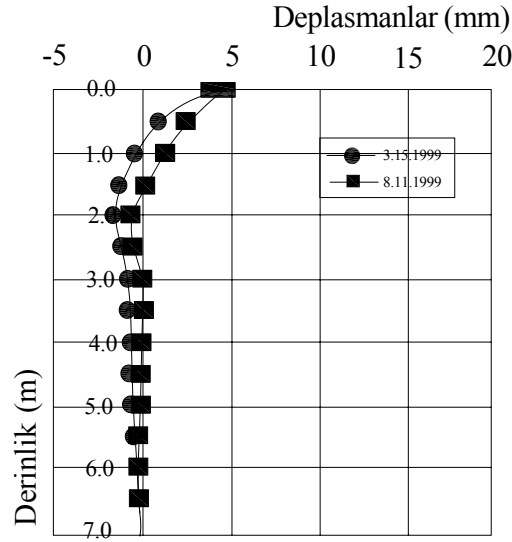
| Zemin              | c (kN/m <sup>2</sup> ) | $\phi(^{\circ})$ |
|--------------------|------------------------|------------------|
| Dolgu              | 14                     | 34               |
| Killi kum ve çakıl | 35                     | 30               |
| Orta katı kil      | 43                     | 32               |
| Katı kil           | 76                     | 36               |
| Çok katı kil       | 148                    | 28               |

Şekil 1.6’da toprak kaymasını önlemek için önerilen çivili duvar kesiti gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Örnek 3’de tipik zemin çivili duvar kesiti

Şekil 1.6’daki kesitin aşağı kısmında yer alan çivili duvarın yüksekliği 3.0 m olup, 15° lik açılı ile 12.0 m boyundaki çivilerle desteklenmiştir. Düşeyde 1.2 m ve yatayda 1.8 m aralıklarla yerleştirilmiştir. Üst kısımda yer alan çivili duvar yüksekliği 8.0 m olup, 10.0 m boyundaki çivilerle şeve tutturulmuştur. Düşeyde 2.1 m, yatayda 1.7 m aralıklarla imal edilmiştir. Limit denge durumu göz önünde bulundurularak hesaplar yapılmıştır. İç stabilite analizi için Snail, şev stabilite analizi için Utexas2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Şev stabilitesi sonuçlarına göre güvenlik sayısı 1.7 olarak belirlenmiştir. Şekil 1.7’de derinlik boyunca ölçülen deplasman değerleri gösterilmiştir. Duvar boyunca ölçülen deplasman değerleri kabul edilir sınırlar içerisinde.



Şekil 1.7 Derinlik boyunca ölçülen deplasman değerleri

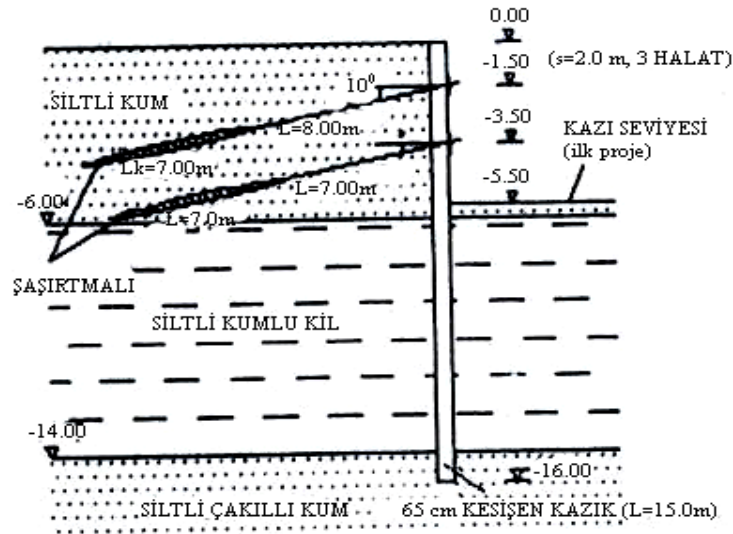
#### ÖRNEK 4 (Nalçakan M.S., vd., 2002)

Marmaris'te yapılan bir binanın bodrum kazısı, yüksek yeraltısuyu ve yumuşak zemin koşullarında geçirimsiz iksa duvarlarının öngermeli zemin ankrajlarıyla desteklenmesi sonucu oluşturulan bir destek sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Kazıda iksa sistemi, 65 cm çapında fore kazıkların birbirlerine 15 cm kesiştirilmesi ile oluşturulan geçirimsiz bir iksa duvarı ve bu duvarların yatayla  $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$  açılı ve şaşırmalı olarak iki sıra öngermeli zemin ankrajlarıyla desteklenmesi sonucu oluşturulmuştur. Temel kazısı derinliği  $H=5.75$  m olan bu saha da fore kazıklar  $L=15.0$  m olarak projelendirilmiş ancak imalatlarda tabanda yer alan sıkı kum-çakıl tabakalarına yüksek yer altı suyu basıncı altında soket yapılamamasından dolayı kazıklar  $L=12.0$  m boyunda yapılabilmektedir. Proje aşamasındaki kazı kesitleri Şekil 1.8'de gösterilmektedir.

İksa kazısı Plaxis sonlu elemanlar programı ile nümerik olarak modellenerek, analizler yapılmıştır. Analizlerde zemin tabakaları için Çizelge 1.3'deki parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 1.3 Örnek 4’de Plaxis analizlerinde kullanılan zemin malzeme parametreleri

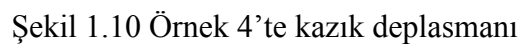
| Derinlik    | Zemin             | $\gamma(\text{kN/m}^3)$ | E' (kPa) | c(kPa) | $\phi(^{\circ})$ | $\nu$ | R <sub>int</sub> |
|-------------|-------------------|-------------------------|----------|--------|------------------|-------|------------------|
| 0.00-6.00   | Siltli kum        | 19.0                    | 14000    | 1.0    | 30               | 0.33  | 0.7              |
| 6.00-14.00  | Siltli kumlu kil  | 20.0                    | 8000     | 25.0   | 1                | 0.35  | 0.7              |
| 14.00-25.00 | Siltli çakılı kum | 19.0                    | 24000    | 1.0    | 33               | 0.33  | 0.8              |



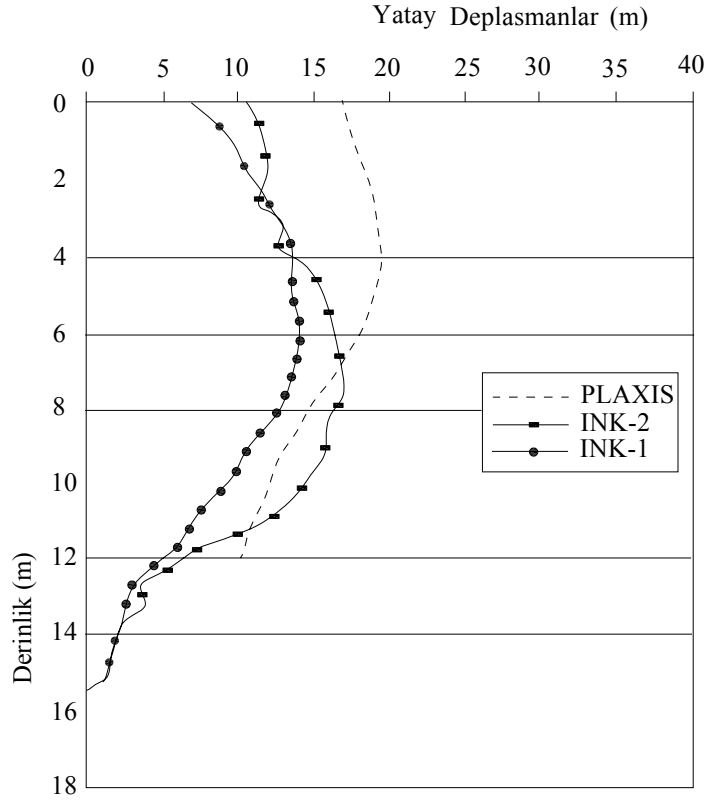
Şekil 1.8 Örnek 4’de iksa kazısı kesiti

Nümerik analiz sonuçlarına göre, kazıkların tabanda yer alan sıkı kum-çakıl tabakalarına soketlenememesinden dolayı stabilite problemi yaşanabileceği ortaya çıkmıştır. Stabilite problemini ortadan kaldırmak amacıyla zemin ankrajları, toptan göçme potansiyeli beklenen derin dairenin dışına uzatılarak boy ve açıları ayarlanmıştır. Analizler sonucunda yüzeyden 6.0-14.0m derinlikler arasındaki kilin çok yumuşak olmasından dolayı iksa kazıklarının yeterli pasif dayanım veremeyeceği görülmüştür. Ayrıca taşıyıcı kazıkların olmaması durumunda kazıkların yumuşak kil içerisinde dönme eğilimi gösterebileceği saptanmıştır. Revizyon sonucu kesit Şekil 1.9’da gösterilmiştir.

Nümerik analizlerden belirlenen yatay deplasmanların çok yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 1.10'da maksimum kazık deplasmanı 0.037m olduğu gösterilmiştir.



Genel stabilite analizlerinde ankrajları ve kazığı içine alan en kritik kayma dairesinin güvenlik sayısı  $G.S = 1.308$  çıkmıştır. Kazık arkası zemine yerleştirilen inklinometrelerle ölçülen yatay deplasmanlar ile Plaxis'le yapılan öngermeli analiz sonuçlarına göre hesaplanan deplasman profilleri karşılaştırılmış ve sonuçları Şekil 1.11'de sunulmuştur. Ölçülen deplasman değerleri ile, hesaplanan deplasman değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1.11 Örnek 4’te Plaxis sonlu elemanlar öngermeli analizi ile inklinometre ölçümlerinin karşılaştırılması

#### ÖRNEK 5 (Önalp A., vd., 2000)

Bir bina inşaatının derin kazısı için kesişen kazıklı ankrajlı diyafram duvar imalatı uygulanmıştır. İnşaat, yer altı suyunun yüzeye çok yakın olduğu alüvyon bir zeminde yapılacaktır. Mevcut zemin koşulları ve yüksek yer altı su seviyesinin dikkate alınmasıyla kazı stabilitesini sağlamak için ankrajlı kesişen kazıklı diyafram duvar dizayn edilmiştir. Kazı derinliği 9.50m olarak projelendirilmiştir. Duvar boyu 17 m, kazık çapı 65 cm, kazık aralığı 50 cm olacak şekilde imal edilen fore kazıklar kullanılırken 30 ile 35 m boylu 7 m köklü ankrajların eğimi  $35^\circ$  alınmıştır. Nümerik analizler Plaxis programı ile yapılmış ve analizlerde göz önüne alınan zemin kesiti ve malzeme parametreleri Çizelge 1.4’de, duvarın malzeme parametreleri ise Çizelge 1.5’de verilmiştir.

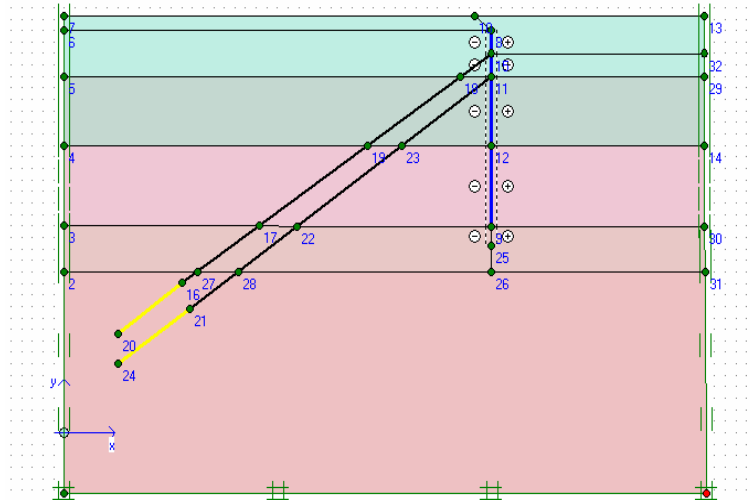
Çizelge 1.4 Örnek 5’de zemin malzeme parametreleri

| Zemin      | $\gamma_k$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\phi$<br>( <sup>0</sup> ) | $C_u$<br>(kPa) | $E'$<br>(kPa) | $\nu'$ |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------|--------|
| Killi kum  | 17                                 | 18                                 | 10                         | 20             | 15000         | 0.25   |
| Balçık     | 16                                 | 17                                 | 1                          | 30             | 2750          | 0.10   |
| Siltli kil | 19                                 | 20                                 | 12                         | 25             | 3300          | 0.20   |
| Kum-Çakıl  | 21                                 | 22                                 | 30                         | 1              | 50000         | 0.30   |
| Killi kum  | 20                                 | 21                                 | 25                         | 30             | 15000         | 0.25   |

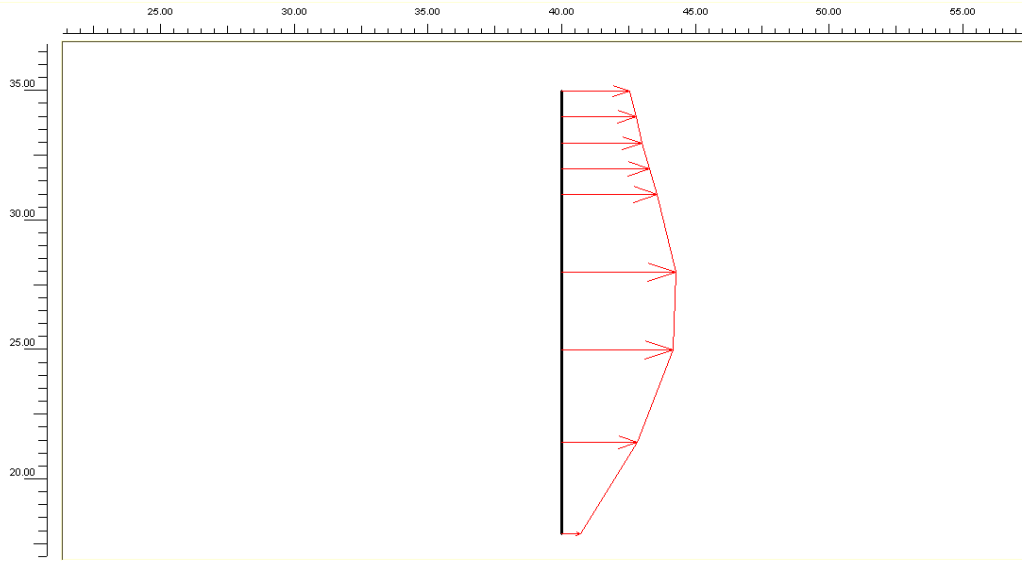
Çizelge 1.5 Örnek 5’de duvar ve ankraj malzeme özellikleri

| Malzeme                 | Model          | EA<br>(kN/m) | EI<br>(kNm <sup>2</sup> /m) | w<br>(kN/m/m) | $\nu$ |
|-------------------------|----------------|--------------|-----------------------------|---------------|-------|
| Duvar                   | Lineer Elastik | 19.500.000   | 686.600                     | 9.75          | 0.20  |
| Ankraj halatı<br>(Ls=1) | Elastik        | 200.000      | -                           |               | -     |
| Ankraj kökü             | Elastik        | 200.000      | -                           | -             | -     |

Ankrajların proje yükü 220 kN olarak girilmiştir. Örnek5 için bu tez çalışması kapsamında, Plaxis sonlu elemanlar programında oluşturulan nümerik model Şekil 1.12’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre duvar deplasmanı 0.029m olarak belirlenmiş ve derinlikle değişimi Şekil 1.13’de gösterilmiştir. Ayrıca duvarda oluşan kesme kuvveti ve moment değerlerinin değişimleri de sırasıyla Şekil 1.14 ve Şekil 1.15’de verilmiştir. Arazide inklinometreler ile yapılan ölçüm değerleri ise Şekil 1.16’da gösterilmiştir.

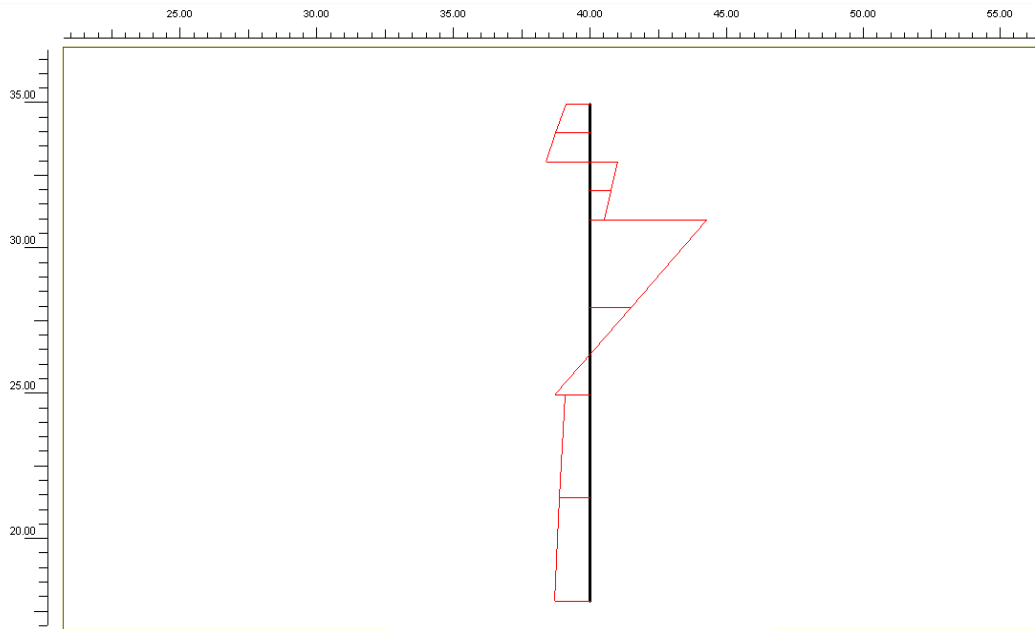


Şekil 1.12 Örnek 5’te Plaxis’de oluşturulan nümerik model



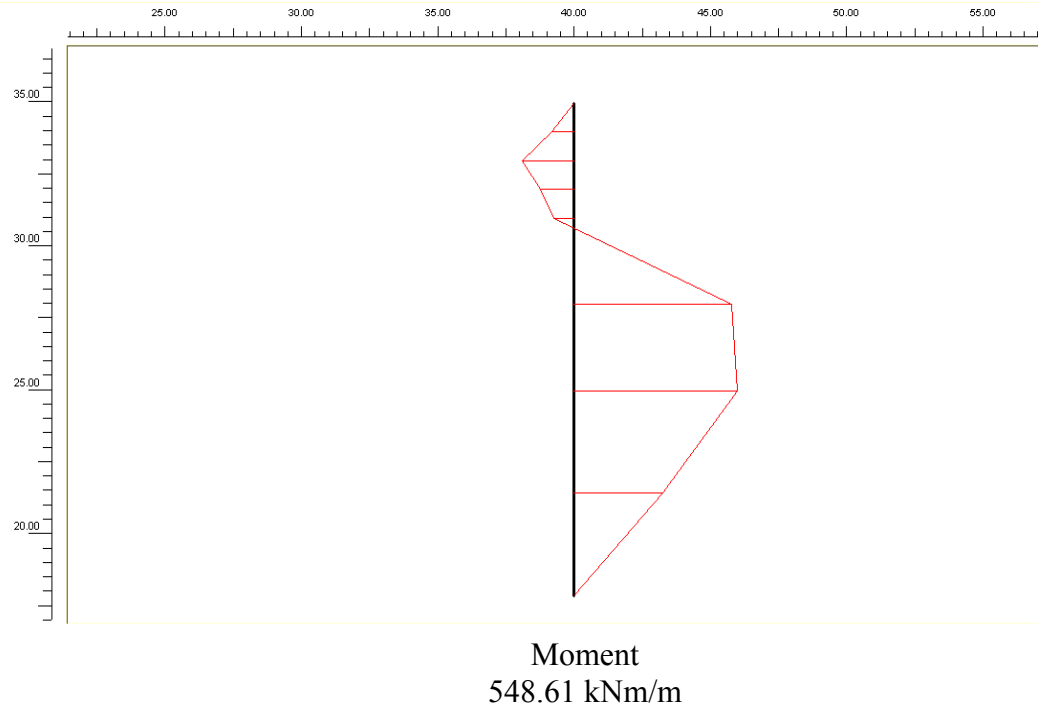
Yatay deplasman  
 $29.61 \times 10^{-3}$

Şekil 1.13 Örnek 5’de yatay deplasmanların derinlikle değişimi

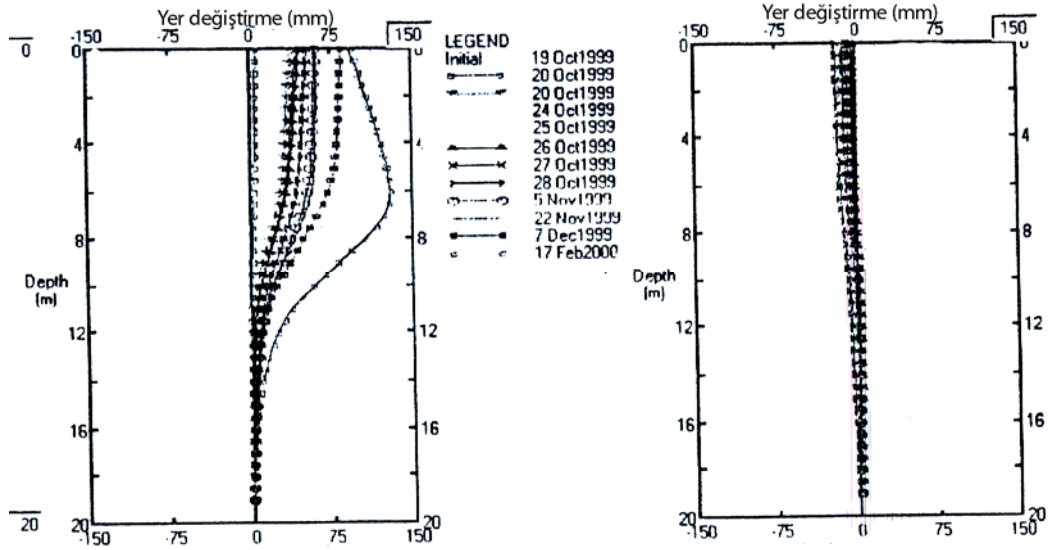


Kesme kuvveti  
 $295.93 \text{ kN/m}$

Şekil 1.14 Örnek 5’te kesme kuvvetinin derinlikle değişimi



Şekil 1.15 Örnek 5’te moment değerlerinin derinlikle değişimi



Şekil 1.16 Örnek 5’de arazide yol cephesinde ölçülen inklinometrik ölçüm sonuçları

Duvarda kazı çukuru içine doğru deformasyonlar kazı taban kotunun biraz üzerinde maksimum olmuştur. Gergi halatlarının uzunluğu ve ortamın özellikleri nedeniyle ötelenmeler önce hızla yükselmiş, destek sisteminin tam devreye girmesiyle hızla durma aşamasına erişmiştir. İncelenen destek sistemi, ankraj uygulamalarında proje ile gerçek arazi davranışı arasında ciddi farklar meydana geldiğini göstermiştir. Şantiyede kalite kontrolü büyük önem taşımaktadır.

## 2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI

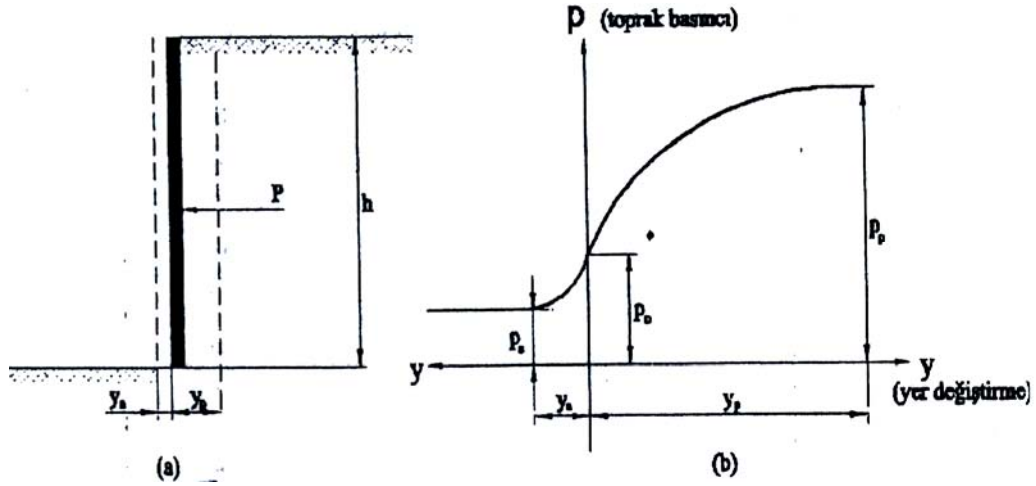
Kazı sonucu oluşturulan şevin açısı her zemin için belirli olan güvenli şev açısı değerini aşmışsa zeminde görülebilecek hareketlerin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması için zeminin basıncını taşıyarak, bozulan dengeyi tekrar kuran bir destekleme sisteminin yapılması gerekir. Bu destekleme sistemlerine iksa sistemleri ya da zemin dayanma yapıları denir.

Destekleme sistemine gelen toprak basınçları, önemli oranda sistemin deformasyonlarına bağlıdır. Başka bir deyişle bir destekleme sistemine gelen toplam yükü veya toprak basıncı dağılımını doğru olarak belirlemek için, oluşacak deformasyonları doğru belirlemek gerekir.

Zemin dayanma yapıları zemin kütlelerinin yanal hareketini önlerken zemin ile yapının değme yüzeyinde oluşan basınca “yanal toprak basıncı” denir. Dağılımı, şiddeti, büyüklüğü ve bileşke tatbik noktası yalnızca duvar arkasındaki zeminin özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda yapı ile zeminin birbirlerine göre relatif hareketine de bağlı olan bu basınç için aşağıdaki sınır değerler tarif edilir:

1. Yapıya doğru harekete geçen zemin kütlelerinin, yapıya dayandığı anda sistemin kazı içine hareket etmesi sonucu meydana gelen “aktif toprak basıncı” ( $p_a$ ).
2. Sistemin, arkasındaki zemini sıkıştıracak biçimde arkaya doğru hareket etmesi sonucu zeminin destekleme sistemine etkittiği ve sistemin yeter derecede zemine doğru yer değiştirmesinden meydana gelen “pasif toprak basıncı” ( $p_p$ ).
3. Duvarın zemine ya da zeminin duvara göre hiç hareket etmediği durumda oluşan “sükunetteki toprak basıncı” ( $p_o$ ).

Aktif toprak basıncı, minimum bir değer olup, destekleme sisteminin duvarının arkasında yer alan dolgu zemininden kazı içine doğru hareketi ile doğan kırılma anında meydana gelir. Pasif toprak basıncı maksimum bir değer olup, zeminin kabarması sureti ile kırılmanın meydana gelmesinden önce duvarın maruz kaldığı basınçtır. Sükunetteki toprak basıncı, duvar hareketsiz olarak durduğunda meydana geleceğinden aktif toprak basıncından daha büyüktür. Destekleme sisteminin duvarın hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı değişimleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Duvar yerdeğiştirmesi – Toprak basıncı ilişkisi a) Duvar yerdeğiştirmesi  
b) Duvar yerdeğiştirmesine bağlı olarak toprak basıncının değişimi

Yanal hareketler; duvarın hareketi kazı içine doğru ise yanal toprak basıncı azalacak kazı arkasında yer alan dolgu zemine doğru ise artacaktır. Zemin yüzünün eğimi; duvar arkasında yer alan dolgu zeminin eğimi arttıkça yanal toprak basınçları artacaktır. Zemin mukavemeti; zeminin kayma mukavemeti arttıkça aktif toprak basıncı azalacak pasif toprak basıncı artacaktır. Destekleme sistemi ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti arttıkça aktif toprak basıncı azalacak pasif toprak basıncı artacaktır. Zeminin birim hacim ağırlığı ve kazı derinliği arttıkça aktif ve pasif toprak basıncıda artacaktır.

## 2.1 Sükunetteki Toprak Basıncı

İstinat perdesinin hiç hareket etmediği kabulü halinde toprak basıncı  $p_o$  ile gösterilir ve sükunetteki toprak basıncı adını alır. Bu durumda bir düşey duvara  $z$  derinliğinde etkiyen  $p_o$  değeri,

$$p_o = \gamma \cdot h \cdot K_o \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir. İdeal ortamlarda,  $K_o$  sükunetteki toprak basıncı katsayısı

$$K_o = \nu / (1 - \nu) \quad (2.2)$$

ile ifade edilir. Burada  $\nu$ , Poisson oranı'dır.

Granüler zeminlerde,

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (2.3)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Burada,  $\phi$  kayma mukavemeti açısı olmak üzere  $K_o$  değerinin

aşırı konsolide killerde aşırı konsolidasyon oranına (OCR) ve gerilme tarihçesine bağlı olarak

$$K_{o_{ou}} = K_{o_{nc}} \cdot (OCR)^\alpha \quad (2.4)$$

değişmektedir. Bu eşitlikte,  $\alpha$  bir katsayıdır ve deneysel olarak elde edilir. Aşırı konsolide killerde  $K_o$  değeri 1'in üzerine çıkabilmektedir.

## 2.2 Aktif ve Pasif Toprak Basınçları

İstinat yapılarına etkiyen aktif ve pasif toprak basınçlarının hesaplanmasında yaygın olarak plastisite teorisinden hareket eden ve Rankine tarafından geliştirilen “Rankine Teorisi” ve Coulomb tarafından geliştirilen “Kama Teorisi” kullanılmaktadır. İlave yüklerden doğan yanal basınçların hesabında elastisite teorisinden yararlanılarak elde edilen formüller de mevcuttur. Rankine ve Kama teorileri zemin kütlesi içinde kırılma yüzeyleri oluşuncaya kadar, zeminin yatay yönde genişlemesi veya sıkışması esasına dayanır. Bu durum gerçekte perdenin öne veya arkaya doğru hareketi veya alt kenarı etrafında bir eksen boyunca dönmesi ile elde olunur.

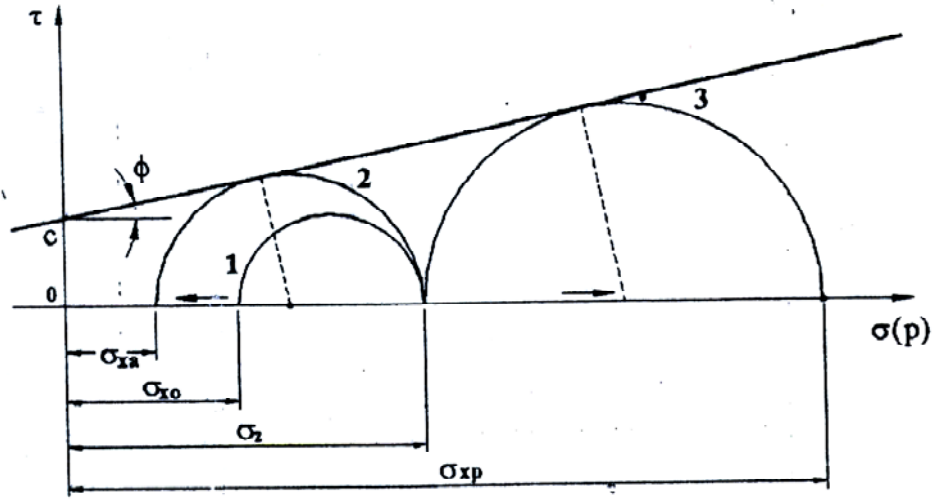
### 2.2.1 Rankine Teorisine Göre Aktif ve Pasif Toprak Basınçları

Rankine, problemi incelerken  $z$  derinliğindeki bir zemin elemanının dengesini göz önüne almıştır. Duvar dışı doğru ötelenir veya alt nokta etrafında öne doğru dönerse, zemin elementinde düşey gerilmeler değişmezken yanal gerilmeler giderek azalır. İncelenen noktadaki düşey gerilmeye göre giderek azalan yanal gerilmeler en az değere düştüğünde zeminde göçme oluşur. Ulaşılan bu değere aktif zemin itkisi adı verilmektedir ( $\sigma_a$ ). Duvar arkasında göçmeye ulaşıldığında düşey gerilme büyük asal gerilme, aktif gerilme ise küçük asal gerilme değerindedir. Asal gerilmeler arasındaki oran Mohr Dairesi yardımıyla belirlenir ki (Şekil 2.2) bu da aktif toprak basıncı katsayısının değerini verir (2.5).

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.5)$$

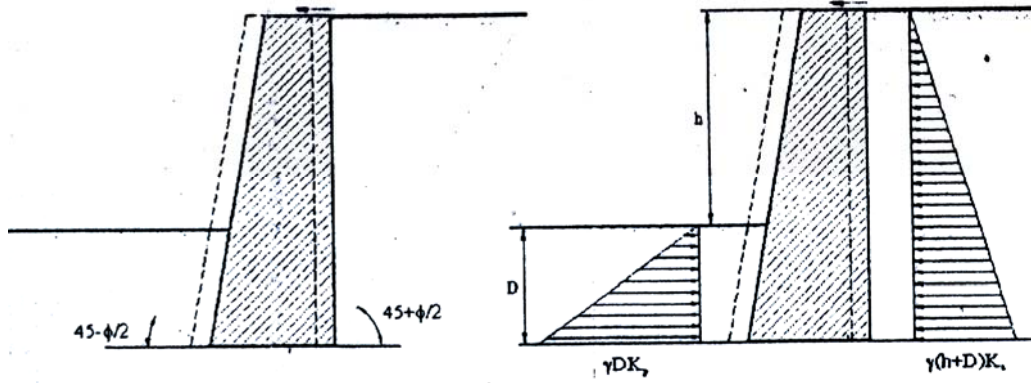
Pasif toprak basıncı katsayısı da benzer şekilde tanımlanır.

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.6)$$



Şekil 2.2 Aktif ve Pasif Rankine durumları için mohr daireleri

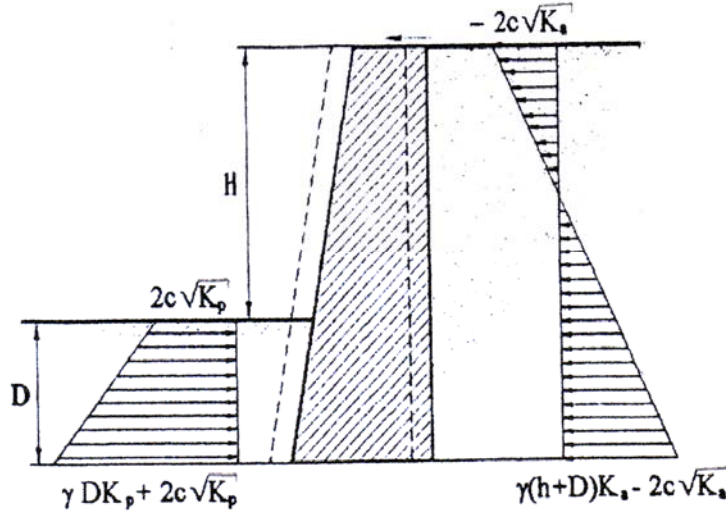
Arkasında zemin tutan bir perde düşey ( $\alpha=90^\circ$ ), arkasındaki zemin yatay ( $\beta=0^\circ$ ) ve duvar/zemin arasındaki sürtünme açısı sıfır ( $\delta=0^\circ$ ) ise herhangi bir z derinliğindeki noktaya etkiyen aktif toprak basıncı kohezyonsuz zeminlerde (2.7) bağıntısından (Şekil 2.3), kohezyonlu zeminlerde (2.8) bağıntısından elde edilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 Kohezyonsuz Zeminlerde aktif ve pasif Rankine durumunda oluşan yanal toprak basınçları

$$p_a = \gamma \cdot z \cdot K_a \quad (2.7)$$

$$p_a = \gamma \cdot z \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \quad (2.8)$$



Şekil 2.4 Kohezyonlu zeminlerde Rankine teorisine göre aktif ve pasif toprak basınçları

(2.8) bağıntısındaki  $c$  parametresi zeminin kohezyonudur. Drenaj imkanının kısıtlı olduğu hallerde  $\phi$  küçük bir değer teşkil eder ve kayma mukavemeti, malzemenin içsel kuvvetlerinden bağımsız olur. Kil gibi kohezyonlu zeminler, ancak küçük bir çekme gerilmesi taşıyabildiklerinden, zemin üst yüzünde çatlaklar meydana gelir. Çekme çatlaklarının ortaya çıkışı aktif toprak basıncını önemli ölçüde etkiler.

(2.8) bağıntısında kohezyonlu zeminlerde  $\phi$  kayma mukavemeti açısının “0” olması durumunda  $K_a=1$ , ve  $p_a=0$  olduğunda derinlik  $z$  (2.9) bağıntısından elde edilmektedir.

$$\gamma \cdot z \cdot K_a = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \text{ ve } z = \frac{2c}{\gamma} \quad (2.9)$$

Aktif itkinin doğabilmesi için duvarın gevşek kumda  $0.002H$ , sıkı kumda  $0.0005H$ , yumuşak kilde  $0.02H$  ve katı kilde  $0.01H$  kadar dışa doğru hareket etmesi gerekmektedir.

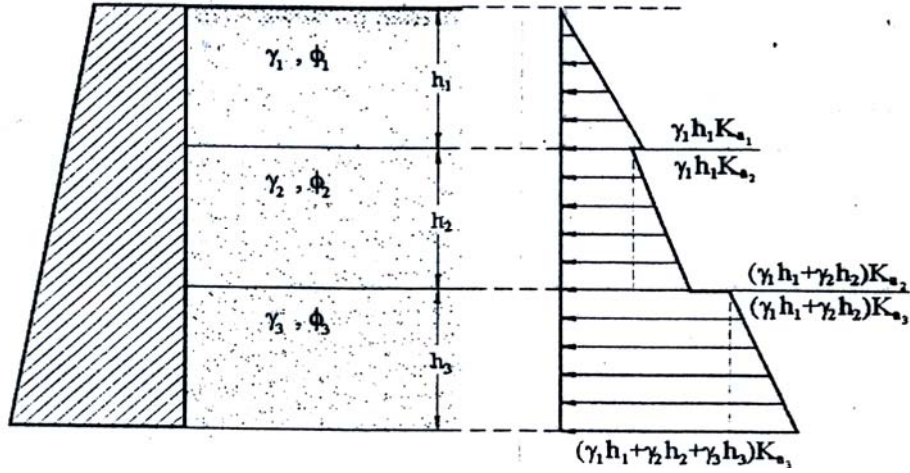
Pasif toprak basıncının değeri ise kohezyonsuz zeminler için (2.10) ve kohezyonlu zeminler için (2.11) bağıntısından hesaplanır (Şekil 2.4).

$$p_p = \gamma \cdot z \cdot K_p \quad (2.10)$$

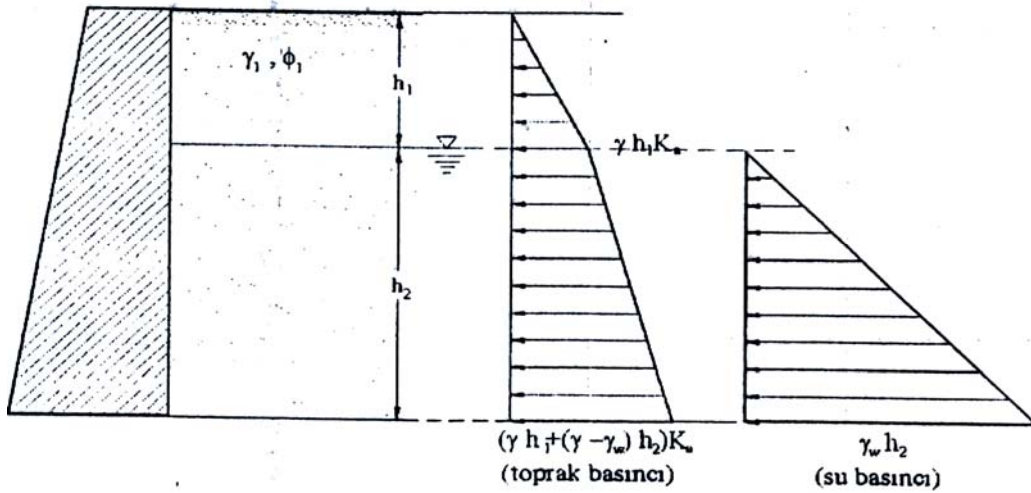
$$p_p = \gamma \cdot z \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} \quad (2.11)$$

Zeminin tabakalı olması durumunda toprak basınçları, her bir tabakaya ait zemin özellikleri  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$  ve  $z$  koordinatları dikkate alınarak hesaplanır. Su olması durumunda ise su altındaki

birim hacim ağırlıklar kullanılmalı ve toplam yanal basınçlar hesaplanırken su basıncı da dikkate alınmalıdır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).



Şekil 2.5 Tabakalı zemin olması durumunda yanal toprak basınçları

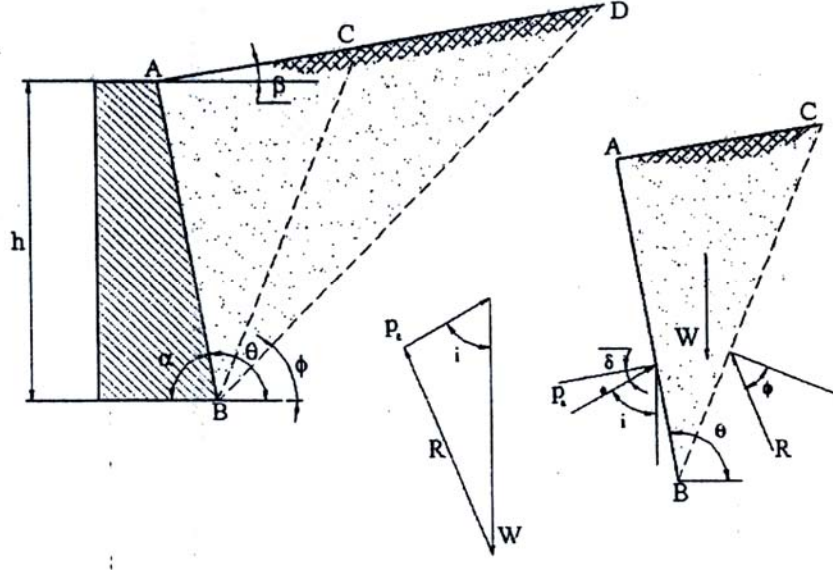


Şekil 2.6 Yeraltı suyu olması durumunda yanal toprak basınçları

### 2.2.2 Coulomb Teorisine Göre Aktif ve Pasif Toprak Basınçları

İlk olarak Coulomb tarafından önerilen bu metodun, Rankine yönteminden ayrıldığı en temel nokta, zemin içinde bir elemanın dengesini düşünmek yerine, topraktan az bir miktar ileriye doğru hareket eden bir istinat yapısının arkasında tuttuğu bütün zeminin göz önüne alınmasıdır. Coulomb tarafından arkasında yatay olmayan zemin taşıyan eğik bir sürtünmeli perdeye gelen yanal basınçları kohezyonsuz zeminlerde ( $c=0$ ) ve ( $\alpha \neq 90^\circ$ ,  $\beta \neq 0^\circ$ ,  $\delta \neq 0^\circ$ ) şartları için verilmiştir.

Şekil 2.7’de BC düzlemi duvarın küçük bir yerdeğiştirme yapması durumunda oluşacak kayma yüzeyini, yatayla  $\phi$  açısını kapayan BD düzlemi duvar olmaması durumunda nihai kayma yüzeyini göstermektedir. Zemin danesel, kuru kum olarak düşünülmüştür. Bu durumda ABC kamasının W ağırlığı duvara gelen  $P_a$  itkisi ve BC düzlemi üzerindeki R reaksiyonu ile dengededir. R reaksiyonu BC düzlemi normali ile  $\phi$  açısını,  $P_a$  da duvar sırtının normali ile  $\delta$  açısını kapar. Zemin ile duvar sırtı arasındaki  $\delta$  sürtünme açısı,  $\phi$  kayma mukavemeti açısından büyük olamaz. BC kayma düzleminin yeri analitik olarak belirlenebilir.



Şekil 2.7 Kohezyonsuz zeminlerde aktif basınç için Coulomb kaması

Aktif toprak basıncı katsayısı;

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi) \cdot \cos \delta}{\sin \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{(\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta))}} \right]^2} \quad (2.12)$$

bağıntısından ve pasif toprak basıncı katsayısı da

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha + \phi) \cdot \cos \delta}{\sin \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{(\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta))}} \right]^2} \quad (2.13)$$

bağıntısından belirlenir.

Coulomb'a göre aktif toprak basıncı

$$p_a = \gamma \cdot h \cdot \frac{K_a}{\sin \alpha \cdot \cos \delta} \quad (2.14)$$

ve pasif toprak basıncı

$$p_p = \gamma \cdot h \cdot \frac{K_p}{\sin \alpha \cdot \cos \delta} \quad (2.15)$$

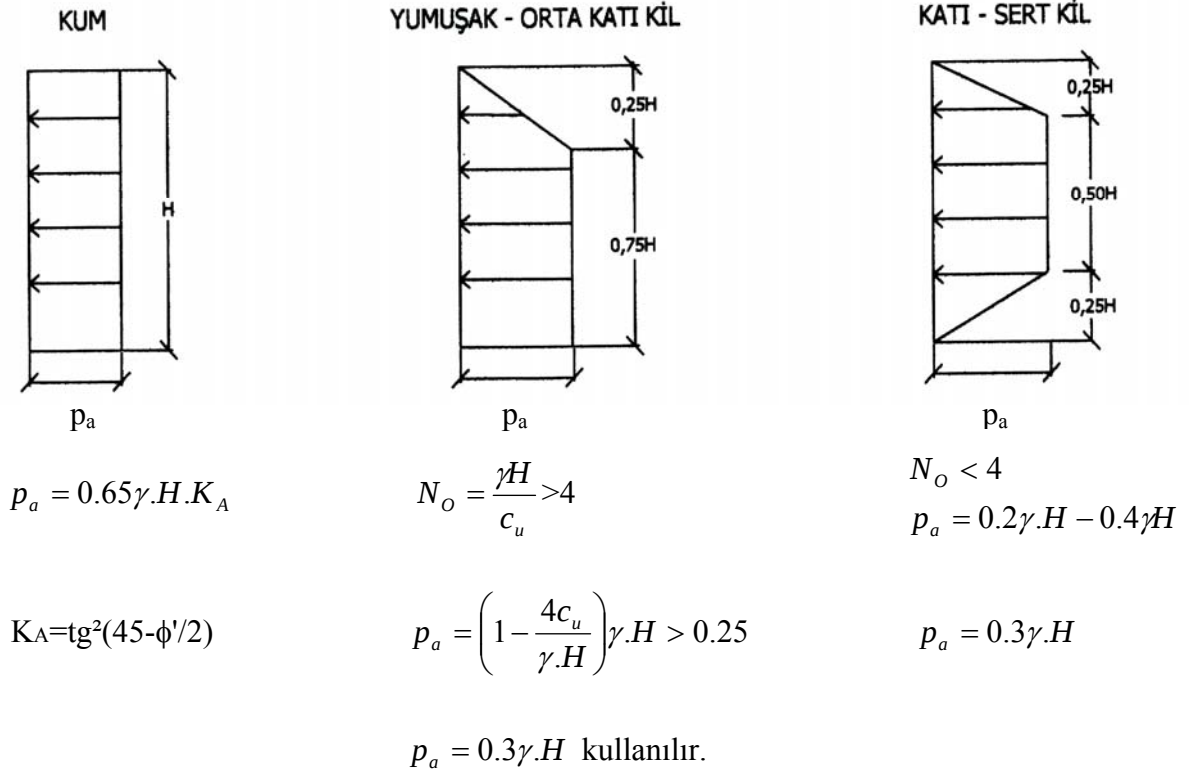
bağıntısındaki gibidir.

### 2.3 Çok Sıra Destekli İksa Sistemlerinde Toprak Basınçları ve Dağılımları

Rankine ve Coulomb tarafından geliştirilen toprak basıncı teorileri dayanma duvarlarına, zemine ankastre perde duvarlara, tek sıra yatay destekli veya ankrajlı zemine sabit mesnetli veya ankastre perde duvarlara uygulanabilmekle beraber, çok sıra yatay destekli veya ankrajlı destekleme sistemlerine uygulanamazlar. Bu çok sıra destekli sistemlerin yapılış aşamalarının, deformasyon biçiminin ve sistemin göçme mekanizmasının diğerlerinden farklı olması ile açıklanabilir.

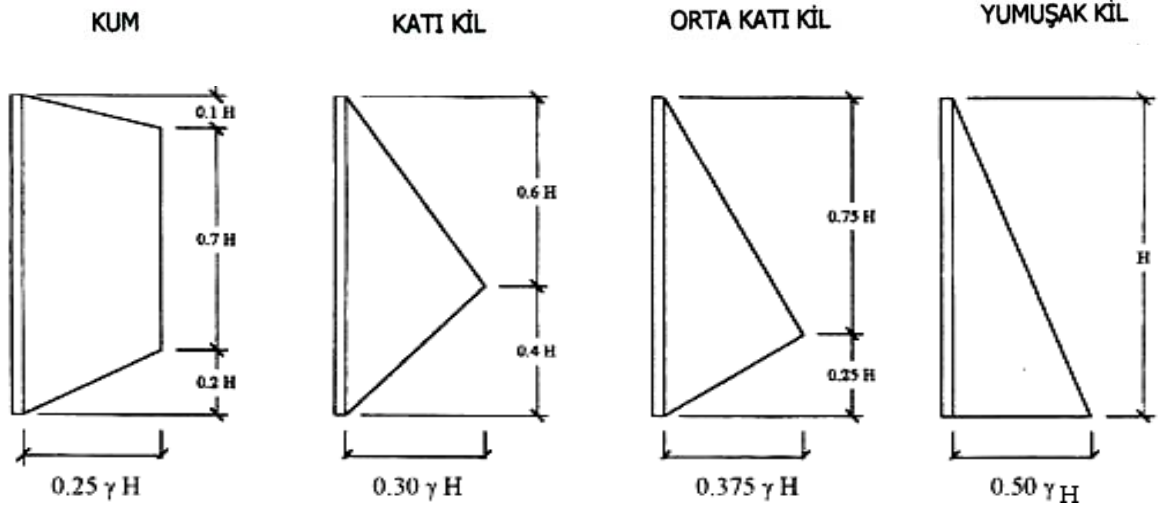
Derin kazı destekleme sistemlerinin rijitlikleri istinat yapılarına göre daha azdır. Ek olarak, destekleme sistemlerinde, bölgesel toprak basıncı yığılması sonucu destekleme sistemlerinin elemanlarında çok büyük yükler oluşmakta ve bunun sonucunda da sistemin toptan göçmesine neden olabilecek bir ardışık göçme mekanizması meydana gelebilmektedir. Desteklerin tasarımı, desteklere gelebilecek yüklerin ortalamasına göre değil de oluşabilecek maksimum yatay destek yüklerine göre yapılmalıdır.

Kazı ve öngerme işlemleri sırasında öne ve arkaya doğru birbirine doğru zıt yönlerde perde hareketleri çıktığından duvara gelebilecek toprak basınçları değeri ve dağılımını kestirmek oldukça güçtür. Şekil 2.8'de Terzaghi ve Peck (1967) tarafından önerilen basitleştirilmiş toprak basıncı dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Terzaghi – Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları

Tschebotarioff (1973) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları ise Şekil 2.9'da verilmektedir.



Hata! Düzenleme alan kodlarından nesneler oluşturulamaz.

$$p_a = 0.30\gamma.H$$

$$p_a = 0.375\gamma.H$$

$$p_a = 0.50\gamma.H$$

Şekil 2.9 Tschebotarioff tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı

### 3. ZEMİN ÇİVİSİ

Zemin çivisi, Avrupa ve Kuzey Amerika’da yamaçların kalıcı ve geçici duraylılığında, eski dayanma yapılarının yenilenmesinde, bünyesinde bulunan paslanmaz çelik donatıların korozyona uğraması yüzünden onarılması gereken mekanik olarak duraylandırılmış toprak (MSE) duvarlarda, yer altı kazılarında geçici dayanma yapısı oluşturmada, kara ve demiryollarının yarma kesimleri ile tünellerde geçici destek amaçlı kullanılmaktadır. Çivinin yerleştirilmesinin Avrupa ve Kuzey Amerika’daki en yaygın kullanılma şekli, kılıfsız önceden delinmiş deliklere yerleştirilen çiviler enjeksiyonla doldurulur. Almanya’da ayrıca çelik donatı ile çevresindeki zemin arasında açık bir halka oluşturması ile normalden daha büyük bir kafaya sahip olan önceden enjeksiyonlanmış sürme çivi de kullanılmaktadır. Fransa’da da geleneksel delme-enjeksiyonlama yönteminden daha kapsamlı bir yöntem oluşturulmuştur. Birbirine yakın olan çiviler jet çivileme tekniği ile birlikte, çakma-sürme ile önceden enjeksiyonlanmadan kullanılmaktadır.

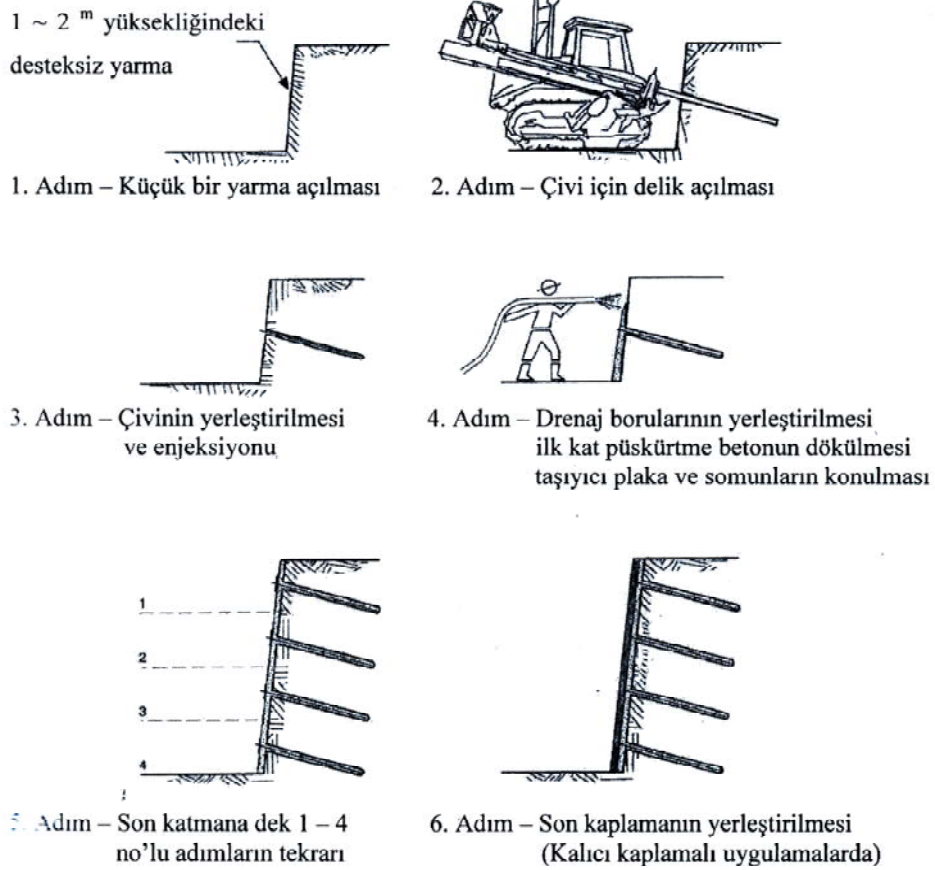
Zemin çivileme tekniğinin temel düşüncesi zemine sık aralıklarla donatılar yerleştirilerek kazı süresince ve sonrasında oluşan deplasmanları engellemek ve yanal basıncı sınırlamaktır. Donatılarda oluşan çekme kuvvetlerinin zemin-donatı arayüzeyinde oluşan sürtünmeye transfer edilerek karşı konulması amaçlanır. Bu teknik aslında Rabcewicz (1965-65) tarafından geliştirilen Yeni Avusturya Tünel Metodunun bir uygulamasıdır.

Yöntemin kullanılmasını çekici kılan en büyük etken ekonomik oluşu, inşaata esneklik kazandırması ve özellikle kentsel bölgelerde küçük aygıtla çalışma olanağı vermesi olarak sıralanabilir. Örneğin Fransa’da yıllık 100.000 m<sup>2</sup>’nin üzerinde zemin çivili duvar inşaatı yapılmaktadır. Almanya’da ise günümüze dek 500’ün üzerinde zemin çivili duvar inşa edilmiştir.

Türkiye’de yerleşimin sık olduğu yerlerde daha fazla inşaat alanı elde edebilmek amacıyla derin kazı iksa sistemi olarak zemin çivisi son 10 yıl içerisinde sıkça uygulanan bir sistem olmuştur. Kent çevresi için küçük inşaat makineleri ile yapılabilmesi hem teoride hem de pratikte zemin çivisine farklı bir özellik kazandırmıştır.

#### 3.1 İnşaat Adımları

Zemin çivili duvarların inşaatında en çok karşılaşılan yöntem olan delme – enjeksiyonlama yöntemi Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Çivili duvarların inşaat adımları (FHWA, 1998)

### 3.1.1 İlk Yarmanın Açılması

Kazıya başlamadan önce, inşaatın tüm adımları boyunca yüzey sularının kontrolü sağlanmalıdır. Bu da genellikle toplama hendekleri ile sağlanır. Bu şekilde yüzey suları inşaatı zarar vermeden kontrollü biçimde toplanmış ve uzaklaştırılmış olur.

İlk yarma işlemi birinci sıra çivinin biraz altına kadar açılır. Bu yarma derinliği zeminin 24 ile 48 saat içinde kendini desteksiz tutabilme yeteneği ile doğrudan ilgilidir ve 1-2 m'dir. Bu süre içerisinde alın duraylılığının sorunlu olduğu yerlerde çivi yerleştirilip fazlalığının kesilmesi tamamlanıncaya dek yarma kademeli şekilde açılıp bırakılabilir. Duraylılık, yarma altına püskürtme beton ile bir örtü katmanı oluşturularak ta sağlanabilir.

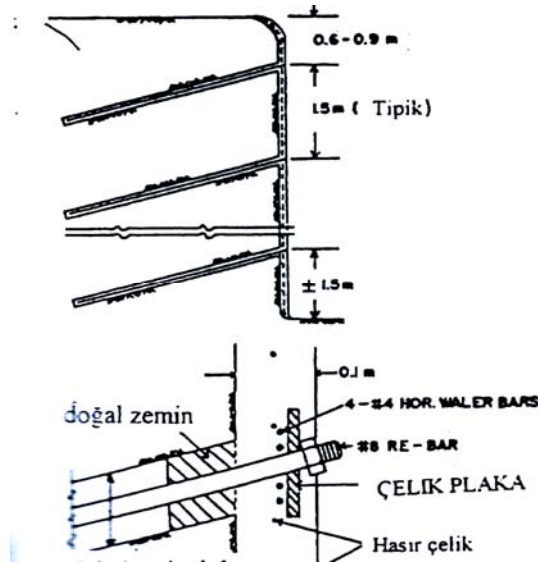
Duraylılık sorunları daha çok bozulmuş ve örselenmiş malzemenin yüzeye yakın olduğu ilk birkaç kat kazı aşamasında yaşanmaktadır. Gevşek dolgu ve gömülü eski eserler bu sıkıntının doğmasına neden olan diğer etkenlerden bazılarıdır.

Zeminin olabildiğince az örselenmesi ve alındaki gevşemiş bölgenin püskürtme betonun dökülmesinden önce kaldırılması gereklidir. Kazılmış yüzey olabildiğince düzgün olmalıdır. Bu şekilde dökülecek püskürtme betonun miktarında azalma sağlanabilir. Çalışma alanı olarak 10 m genişlikteki bir bölge delgi aygıtının yerleşmesi ve çalışabilmesi için yeterlidir.

### 3.1.2 Deliklerin Açılması

Çivi delikleri önceden belirlenen yerlerde belirli uzunluk ve eğimde zemine uygun delme yöntemi kullanılarak açılır. Bu yöntemler kılıfsız ve kılıflı yöntemlerdir. Kılıflı yöntemlerde kullanılan aletler kılıfsız olanlardan daha üstün niteliklere sahiptir. Kılıfsız delgiler; döner veya basınçlı hava ve kuru burgu kullanarak döner-kırma aletleriyle yapılırken, kılıflı delgiler daha fazla duraylılık sorunu yaşayan yerlerde tekil ince borulu, su/hava akım ile çift yönde döner aletler veya içi boş boru şeklindeki burgular kullanılarak yapılır.

Tipik çivi yerleşiminde düşeyde ve yatayda 1-2 m aralık bırakılır. Çivi uzunluğu da genelde duvar yüksekliğinin % 70 – 100 katıdır. Çivilerin yatayla yapmış olduğu açı enjeksiyonu kolaylaştırmak amacı ile genelde 15° olarak tasarlanır. Genellikle duvar üstünden 0.6-0.9 m den sonra çivi yerleştirilmeye başlanır ve çivi aralıkları düşeyde 1.5 m olarak alınabilir. Şekil 3.2’de zemin çivili bir sistemin tipik kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Zemin çivili sistemin tipik kesiti

### 3.1.3 Çivinin Yerleştirilmesi ve Enjeksiyonu

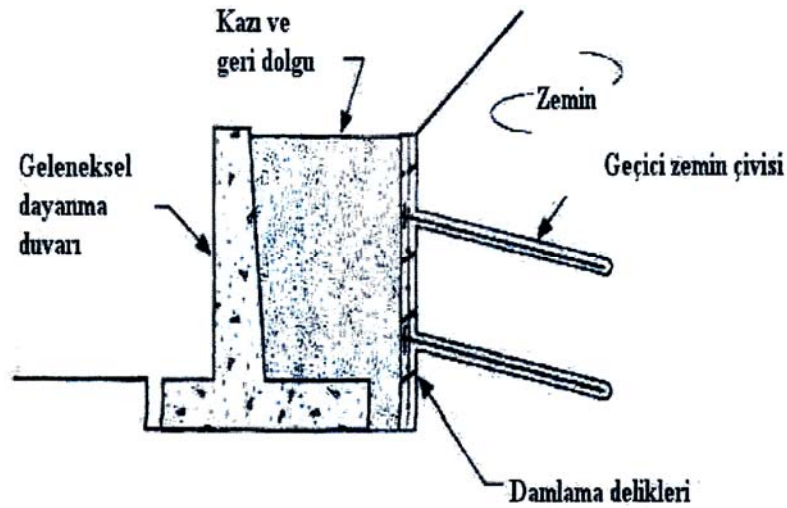
Çivinin delik içinde merkezine yerleştirilmesi için genellikle plastik merkezleyiciler kullanılır. Bununla birlikte çivilerin içi boş burgularla yerleştirildiği uygulamalarda

merkezleyiciler genellikle etkisiz kalırken, çökme değeri 200 mm'den az olan enjeksiyon karışımı çivinin yerleşiminde büyük rol oynar ve çivinin delik tabanına kadar inmesini engeller. Çiviler genelde çapı 19 – 35 mm ve akma dayanımı da 420 – 500 N/mm<sup>2</sup> arasında değişen çelikten oluşmaktadır. Delik içine yerleştirilen çivinin çevresine zeminle kendisi arasında bağlayıcılığı sağlayan çimento şerbeti enjekte edilir. Çivilemede su / çimento oranı (w/c) 0.4-0.5 olan çimento şerbeti kullanılır. Enjeksiyon; yerçekimi veya delgi içindeki aşağıdan yukarı doğru uygulanan düşük basınç yardımıyla gerçekleştirilir.

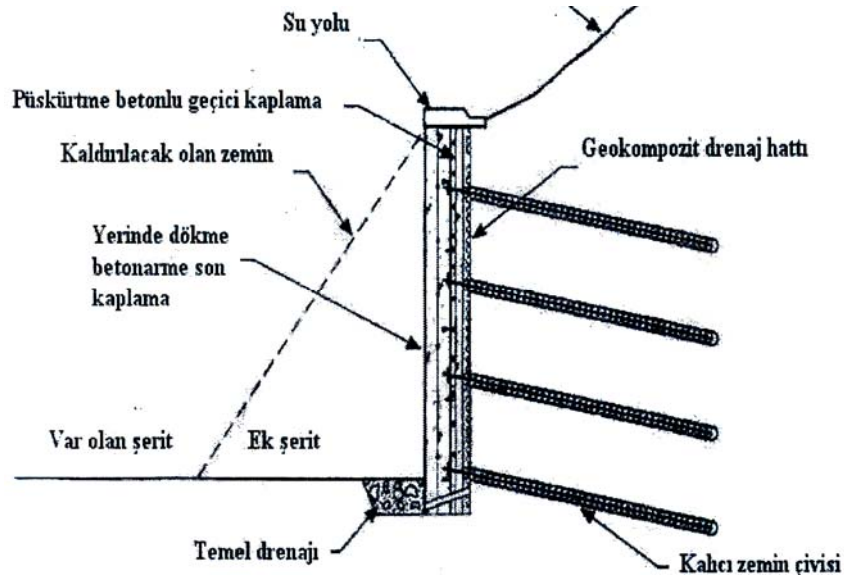
Kalıcı çivilerde korozyon korunması ya kalın epoksi kaplamasıyla ya da içi enjeksiyonla doldurulan oluklu plastik kılıfla sağlanır.

### 3.1.4 Drenaj Sisteminin Yerleştirilmesi

Püskürtme beton işlemine geçilmeden önce duvar arkasındaki drenajı sağlaması amacıyla 400 mm genişliğindeki prefabrike sentetik drenaj altlıklar düşey şeritler halinde yatayı da ona eşit olacak şekilde çivi başları arasına yerleştirilir. Drenaj şeritleri her kazı aşamasında duvarın tabanına kadar uzatılır ve son olarak ya doğrudan taban drenine ya da duvarın içinden dışarı çıkan sızdırma deliklerine (barbakan) bağlanır. Zemin çivili duvarlar su seviyesi üzerindeki uygulamalar için çok iyi sonuçlar vermektedir. Şekil 3.3 (a)'da geçici zemin çivisi (FHWA, 1998) uygulaması, Şekil 3.3 (b)'de ise kalıcı zemin çivisi (FHWA, 1998) uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.3 (a) Geçici zemin çivisi (FHWA, 1998)



Şekil 3.3 (b) Kalıcı zemin çivisi (FHWA, 1998)

### 3.1.5 İşlemin İstenen Kota Kadar Tekrarlanması

Kazı, çivi ve drenaj sisteminin yerleştirilmesi ve yüzey kaplamasının oluşturulması aşamaları istenilen kota ulaşınca dek tekrarlanır. Püskürtme betonla yüzey kaplaması oluşturulması özellikle alın duraylılığının söz konusu olduğu yerlerde delgi ve çivi yerleştirilmesi işleminden daha önce yapılabilir.

### 3.1.6 Son Yüzey Kaplaması

Uzun dönemde yapısal dayanıklılık nedenleri ile kalıcı zemin çivili ulaştırma uygulamalarında kullanılan en yaygın son kaplama türü yerinde dökme beton kaplamasıdır. Yerinde dökme beton kaplama çivi başlarına taşıyıcı plakaların üstüne kaynaklanmış civatalar yardımıyla yapısal olarak bağlanır. Kazının tamamlanmasıyla birlikte son kaplama olarak ikinci bir kat püskürtme beton kullanılabilir. Zemin çivili duvarlarda son kaplama olarak prekast beton paneller de kullanılmaktadır.

## 3.2 Zemin Çivili Duvarların Davranışı

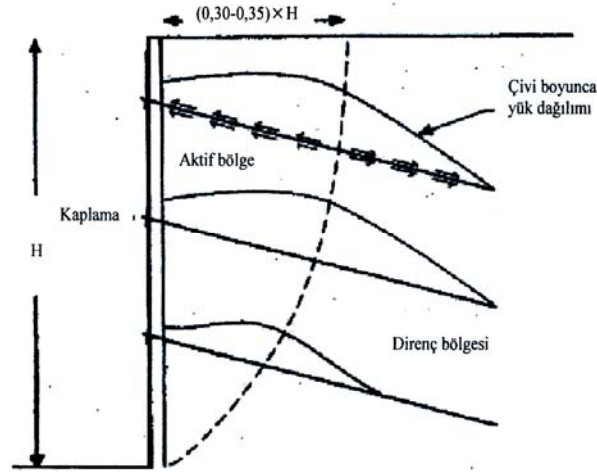
### 3.2.1 Zemin Çivili Duvarların Olası Göçme Biçimi

Zemin çivili dayanma yapılarındaki temel mekanizma pasif ankraj adı da verilen donatıda kendisine bağlı duvarda oluşan yanal şekil değiştirme sonucunda oluşan çekme gerilmesi temeline dayanır. Yukarıdan aşağı doğru inşa edilen bir çivili duvarda donatılandırılmış bölgenin yanal genişlemesi yanal desteğin ortadan kaldırılması ile ilgilidir. Desteksiz zemini göçertecek olan gerilme ve birim şekil değiştirmeyi karşılamak için donatı ile zemin birbirini etkilemektedir. Bu donatılar, zemin içinde oluşan maksimum birim şekil değiştirme ile aynı yönde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylelikle çekme gerilmeleri diğer etkenlere göre baskın duruma gelecektir.

Zemin çivilerinde oluşan yük aslında çivi ile zemin arasındaki sürtünme etkileşimi sonucunda ortaya çıkar. İkinci etken de zemin ile kaplama arasındaki zemin – yapı etkileşimidir. En son olarak çivi başında, kaplamayla çivi arasında oluşan gerilme etkeni olarak sayılabilir. Kafada oluşan bu gerilme maksimum çivi yükünün bir kısmıdır. Her çivide oluşan maksimum gerilme yükü, donatılandırılmış zemin kesiminin içinde oluşur. Bu kesim duvardaki çivinin düzeydeki yerine bağlı olarak kaplamadan uzak bir bölgede yer alır. Çivideki maksimum gerilme yükünün çoğu kez zemin kütlelerini iki ayrı bölgeye ayırdığı kabul edilir.

Kaplamaya yakın olan tarafta yer alan ve “aktif bölge” olarak adlandırılan bölgede zemin tarafından donatı üzerinde oluşturulan kayma gerilmeleri zemin dışına yönlendirilmiş durumdadır. Bunlar aynı zamanda donatıyı da zeminin dışına çekmeye çalışır. Dirençli bölgede ise kayma gerilmeleri içe doğru yönelmiş ve donatıyı da çekme etkisine karşı tutmaktadır. Bu davranış aşağıdaki Şekil 3.4 ‘de görülmektedir.

Donatı aktif bölgeyi direnç bölgesine bağlamaya çalışır. Duraylılığın sağlanması için çivinin gerilme dayanımının aktif bloğun duraylılığını sağlayacak destek büyüklüğünde olması gerekir. Ayrıca sıyrılma göçmesi gerçekleşmemesi için çiviler dirençli bölgenin içine yeteri kadar yerleştirilmiş olmalıdır. Kısacası, kaplama ya da bağlantı sisteminin dayanımı tarafından belirlenen çivi kafa dayanımı ile alın-kayma yüzeyi arasındaki çivi uzunluğunun sıyrılma dayanımının bileşkesi kayma yüzeyinde gerekli çivi gerilmesini sağlamaya elverişli olmalıdır.

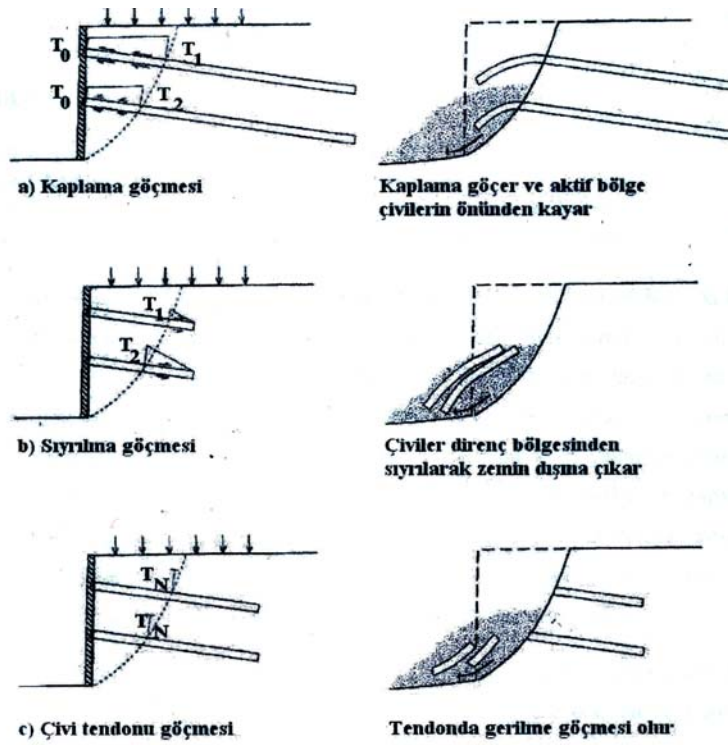


Şekil 3.4 Zemin çivisi davranışı (FHWA, 1998)

Şekil 3.5 (a) da donatı boyu uzun, gerilme dayanımı da yüksek tutulmuş olan bir çivili duvar görülmektedir. Göçme, dayanımı donatısına göre daha az olan kaplamada veya bağlantılardaki göçme ile gerçekleşir. Bu tür göçmede daha sonra donatılandırılmış zemin kütleindeki aktif bölgede yer alan çiviler boyunca sıyrılma göçmesi yaşanır ve öndeki aktif bölge aşağıya kayar. Yüksek çivi gerilme dayanımı nedeniyle çivide bir kopma yaşanmazken, boyunun uzun olması çivinin aktif blok arkasındaki dirençli bölgeden sıyrılmasını engeller.

Şekil 3.5 (b) de donatı boyu biraz sınırlandırılmış ancak gerilme dayanımı yüksek tutulmuş olan bir çivili duvar görülmektedir. Karşılaşılan göçme türü çivinin dirençli bölgeden sıyrılmasıdır. Aktif bloğu desteklemesi için varolan çivi kuvveti potansiyel kayma yüzeyinin arkasında kalan çivi uzunluğuna ve zeminle çivi arasındaki birim sıyrılma dayanımının sınırına bağlıdır. Bu tür göçmede dirençli bölgedeki sıyrılma dayanımı, çivinin gerilme dayanımından ve kaplama dayanımı/aktif bölgedeki sıyrılma dayanımından daha azdır.

Şekil 3.5 (c) de düşük gerilme dayanımı olan, uzun boylu donatılarla bir çivili duvar oluşturulmuş ancak kaplamanın dayanımı çok yüksek tutulmuştur. Bu uygulamada alın dayanımı aşılmadan veya dirençli bölgede sıyrılma oluşmadan önce çivide kopma gerçekleşir.



Şekil 3.5 Zemin çivili duvarların olası göçme biçimleri (FHWA, 1998)

### 3.2.2 Çivi – Zemin Etkileşimi

Çivi ile zemin arasındaki temel etkileşim çivi-zemin arakesitinde zeminin kazı alanına doğru yaptığı hareket ve buna çivinin karşı koymak istemesi sonucunda oluşan kayma gerilmesi ile gerçekleşir. Çivi boyunca gerilme ve ara kesitteki kaymanın dağılımı zeminin yükü boşlatma rijitliğine, ilk gerilme alanına, çivinin düşeydeki yerine, çivi boyuna, çivi eğimine, çivinin gerilme dayanımına ve zemin-çivi ara kesitinin rijitliğine bağlıdır. Zemin içindeki donatılandırılmış bir kesitin yerel dengesi, çivi boyunca gerilmede gözlenen değişim oranının birim boyda mobilize olmuş kayma kuvvetine bu noktada eşit olduğunu gösterir. Bu eşitlik (3.1)'de tanımlanmıştır.

$$\frac{\partial T}{\partial L} = \pi x D x \tau = Q \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte :

- $\partial T : \partial L$  boyunca çivi gerilmesindeki değişim
- $D$  : Çivi deliğinin dış çapı (çelik donatı ve enjeksiyon)
- $\tau$  : Enjeksiyon – zemin ara kesitinde mobilize olmuş kayma gerilmesi
- $Q$  : Birim çivi boyunca mobilize olmuş kayma kuvveti (sıyırılma direnci)

Dayanım açısından çivi – zemin ara kesitindeki son sıyrılma direnci (birim boydaki kuvvet), zemin çivili sistemin davranışı için önemli bir parametredir. Son sıyrılma direnci, kontrol edilebilen bir değer olan çivi deliğinin çapına ve ara kesitte kayma olmadan önce oluşan kayma gerilmesine bağlıdır. Son sıyrılma direnci sadece zemin türünün bir fonksiyonu olmakla kalmayıp aynı zamanda çivinin yerleştirilme yöntemiyle de yakından ilgilidir.

Son kenetlenmenin veya adhezyonun mobilizasyonu için çivi ile bitişiğindeki zemin arasında çok az bir yer değiştirme yeterli olacaktır. Son sıyrılma direncine ulaşmak için çok sayıda deney yapılmış ve bunlarda gerekli göreceli hareketin 1-2 mm mertebesinde olduğu ortaya çıkmıştır. Donatıların tendon kopmasını önleyecek kadar dayanıklı ve zemin – çivi son sıyrılma direncinin çivinin sıyrılmasını önleyecek kadar büyük olması yeterli değildir. Bununla birlikte donatı yüklerinin artı şekil değiştirmeler olmaksızın oluşması için çivi enjeksiyonu – zemin ara kesitinin de yeteri kadar sıkı olması gerekmektedir.

### 3.2.3 Çivi – Zemin – Kaplama Etkileşimi

Zemin çivili donatılendirma sistemlerinde her ne kadar yapısal anlamda bir kaplama kullanılsa da yapım kaplaması adı verilen ilk kat kaplama, kazı aşaması ve çivilerin yerleştirilmesinin ardından yapısal olarak çivilere bağlanmaktadır. Bu yüzden, kazı devam edip yanal şekil değiştirmeler meydana geldikçe zemin – kaplama ara kesitinde toprak basınçları ortaya çıkar. Oluşan bu basınçlar, çivi başlarında kendilerine eşit miktarda ancak zıt yönde oluşan gerilmeler tarafından dengelenir. Çivi kafasında oluşan gerilme yükünün büyüklüğü çivin yerleştirilme zamanına, zeminin sıkılık özelliklerine, çivinin gerilme dayanımına, zemin – çivi ara kesitinin rijitliğine, çivi enjeksiyonu – zemin ara kesitinin rijitliğine ve de kaplamanın rijitliğine bağlıdır.

Zemin çivisi tekniğinin belki de en çekici yönü, yapım kaplamasının diğer kaplama türlerine oranla daha basit olmasıdır. İnşaat yöntemi ve kaplamaya kadar çevresindeki zeminle tümüyle yapışık olan donatının varlığı aktif dayanma sistemlerindeki (ankrajlı) veya geleneksel dayanma yapılarındakinden daha az kaplama gerilmelerini oluşturur.

Kaplama tasarımı ve kaplamanın tüm zemin çivili sistemlere sağladığı katkının belirlenmesi;

- Servis yükü altında oluşan kaplama yükünün büyüklüğü
- Dayanma yapısının ve son kaplamanın dayanımı

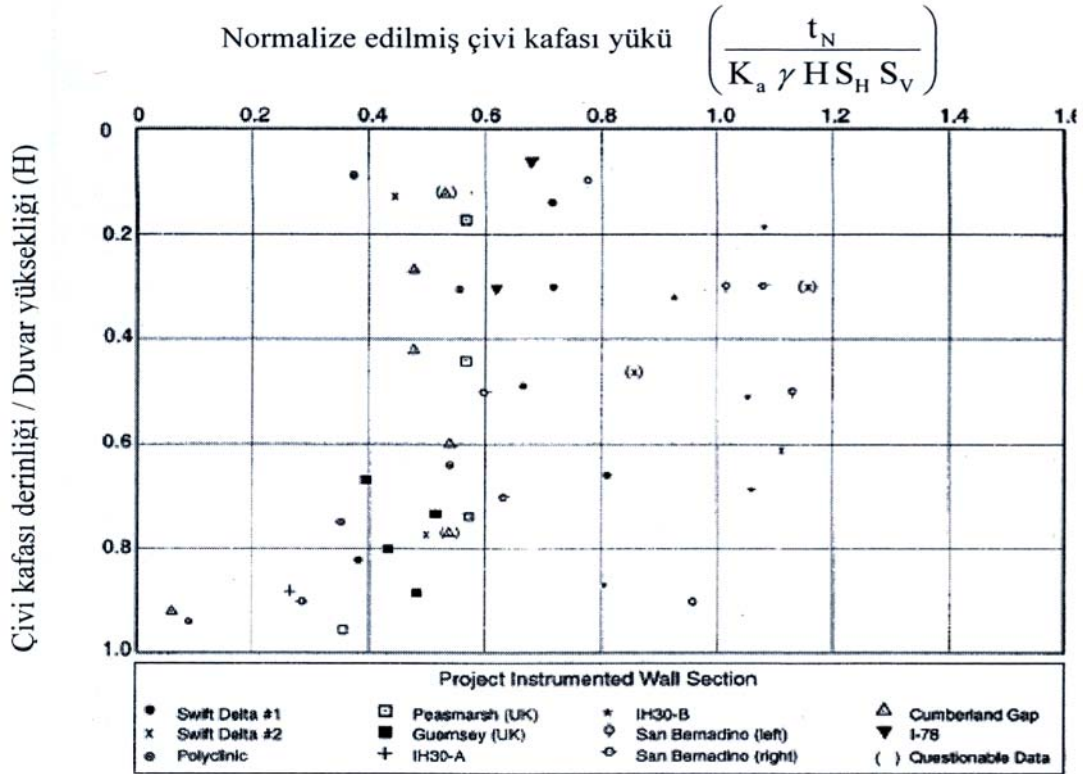
konularını kapsamaktadır.

### 3.2.4 Çivi Yüklerinin Dağılımı

Şekil 3.4’de şev arkası yatay olan bir zemin çivili duvarda çivi yüklerinin dağılımı gösterilmiştir. Herhangi bir çivi boyunca maksimum çivi yükü genellikle orta noktada oluşur. Bu nokta herhangi bir geometri için duvardaki çivinin nerede olduğuna bağlı olarak değişir. Düşeye yakın, şev arkası yatay olan duvarlarda donatılandırılmış bölgedeki maksimum gerilme çizgisi eğriseldir ve duvar arkasından yüksekliğin yaklaşık % 30 – 35’i uzaklıkta yüzeyle kesişir. Çivi boylarının, yüksekliğin % 70 – 100’ü kadar olduğu düşünülürse üstteki donatılandırılmış bölgede maksimum gerilmenin çivi boyunun ortalarında bir yerde olduğu söylenebilir. Alttaki donatılandırılmış bölgelerde ise, zeminin şekil değiştirdiği bölge temel malzemesine oldukça yakın olmasından ötürü zorlandıkça maksimum gerilmenin olduğu nokta duvar arkasına doğru yaklaşır. Kaplama yüzündeki gerilme çoğunlukla maksimum çivi gerilmesinden azdır. Ayrıca çivi kafası yükünün maksimum yüke oranı, inşaat devam edip çivi yükleri gitgide artıkça azalma eğilimine girer. Çivi gerilmeleri kazı işlemi sürdükçe ve çiviler yerleştirildikçe yavaş yavaş artar. İnşaat sırasında yapılan gözlemler çivi gerilmelerinin büyük bölümü ilk üç kazı adımını ve bunları izleyen yerleştirme işlerinin ardından oluştuğunu göstermektedir. Daha alt kısımda yer alan çiviler duvarın tamamlanmasıyla birlikte daha az yüklenmiş olacaktır. Zira bu kesimlerde çivi gerilmesini mobilize edecek kayma kuvvetlerini (çivi – zemin ara kesitinde) oluşturacak zemin şekil değiştirmeleri yetersiz kalmaktadır. Duvarın tamamlanmasından sonra bütünüyle yük almayan en alt sıradaki çiviler ancak uzun zaman sonra zeminde oluşabilecek şekil değiştirmeler sonucunda yük alacaktır. Duvardaki çivi derinliğinin bir fonksiyonu olarak, ölçülen maksimum çivi yüklerinin ( $t_N$ ) toplamı Şekil 3.6’ da görülmektedir.

Şekil 3.6’da zeminin birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), çivinin düşey ve yataydaki yeri, duvar yüksekliği (H) ve aktif toprak basıncı katsayısı ( $K_a$ ) gözönüne alınarak çivi yükü normalize edilmiştir. Aktif toprak basıncı katsayısı, soruna uygun bir şekilde geometri ve sınırlandırılmış yük şartları ile duvar tasarımcısı tarafından belirtilen zeminin içsel sürtünme açısı doğrultusunda hesaplanmıştır. Şekil 3.6’ya bakıldığında maksimum çivi yükünün donatılandırılmış bölgedeki derinliğin bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Duvar yüksekliğinin üst 2/3 – 3/4’lük kısmında maksimum çivi yükü derinlikle neredeyse sabit görülmekteyken, normalize edilmiş çivi yükü ( $\frac{t_N}{\gamma \cdot H \cdot K_a \cdot S_H \cdot S_V}$ ) 0.4 ila 1.0’ın üzerinde bir

aralıkta değişmektedir.



Şekil 3.6 Normalize edilmiş ölçülen maksimum çivi yükleri (FHWA, 1998)

Normalize edilmiş maksimum yükteki bu geniş değişim aralığı, büyük olasılıkla doğal çeşitliliğin bir göstergesidir. Tasarımcılar tarafından kabul edilip kullanılan olası yanlış zemin dayanımı parametreleriyle birlikte enjeksiyonun karşıladığı yükün tahmininde kullanılan kapsamlı malzeme verilerine ve büyük ölçüde basitleştirilmiş modellere özgü yanılgılar da bu değişim aralığına etki etmektedir. Ortalama normalize edilmiş maksimum çivi yükü duvarın üst kısımları için 0.75 dolaylarındadır.

Duvarın yükseklik bakımından alttan 1/4 – 1/3' lük kısmında maksimum çivi yükü belirgin ölçüde azalır ve duvarın üst kısmında yukarıda belirtilen maksimum değerini alıp duvar tabanına doğru sıfır değerini alan bir eğri çizer.

Çivi yükleri gerilme rozeti ile Çizelge 3.1'de belirtilmiş çeşitli uygulamalarda yapılan gözlemlerden yararlanılarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 3.1 Gözlemlenmiş zemin çivili duvarların özellikleri (FHWA,1998)

|                   | Swift Delta<br>Station - 1      | Swift Delta<br>Station - 2 | Polyclinic         | Peasmarsh | Guernsey   |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------|-----------|------------|
| Yükseklik [m]     | 5,3                             | 5,6                        | 16,8               | 11        | 20         |
| Alın eğimi [ ° ]  | 0                               | 0                          | 0                  | 20        | 30         |
| Arka eğim [ ° ]   | 55 kN/m <sup>2</sup><br>sürşarj | 27                         | 0                  | 0         | 0          |
| Kaplama türü      | Püskürtme<br>beton              | Püskürtme<br>beton         | Püskürtme<br>beton | Geogrid   | Geogrid    |
| Çivi boyu [m]     | 6,4                             | 5,2                        | 10,7               | 6 - 7     | 10         |
| Çivi eğimi [ ° ]  | 15                              | 15                         | 15                 | 20        | 20         |
| Çelik çapı [mm]   | 29                              | 29                         | 36                 | 25        | 25         |
| Aralık, H x V [m] | 1,4 x 1,0                       | 1,4 x 1,0                  | 1,8 x 1,8          | 1,5 x 1,5 | 1,5 x 1,25 |

### 3.2.5 Kaplama Yükünün Büyüklüğü ve Dağılımı

Günümüzde, saha gözlemlerinden elde edilen verilerdeki kalitenin azlığı yüzünden ne yazık ki kaplamaya gelen yükün büyüklüğü hakkında bilgiler çivinin kendisinde oluşan yük hakkındaki bilgilerden daha azdır. Çivi kafasına gelen yükün bulunmasına en güvenilir yöntem çivinin kafasında yük hücresi kullanmaktır.

### 3.2.6 Şekil Değiştirme Davranışı

Zemin çivili duvarın üstten alta doğru inşaatı sırasında donatılan bölge, duvarın topuk kısmında çivideki gerilme yüklerinin mobilize olmasından ötürü dışarı doğru dönmek ister. Bu nedenle maksimum yatay hareketler duvarın en üst noktasında olur ve topuğa inildikçe belirgin şekilde azalır. Kaplamadaki yer değiştirmeler aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

- Kazı derinliği
- Çivi aralıkları ve kazı yüksekliği
- Çivi ve zemin esnekliği
- Genel güvenlik sayısı
- Çivi eğimi (Donatı etkisinin daha az verimli olması yüzünden büyük açılarda büyük şekil değiştirmeler yaşanır)

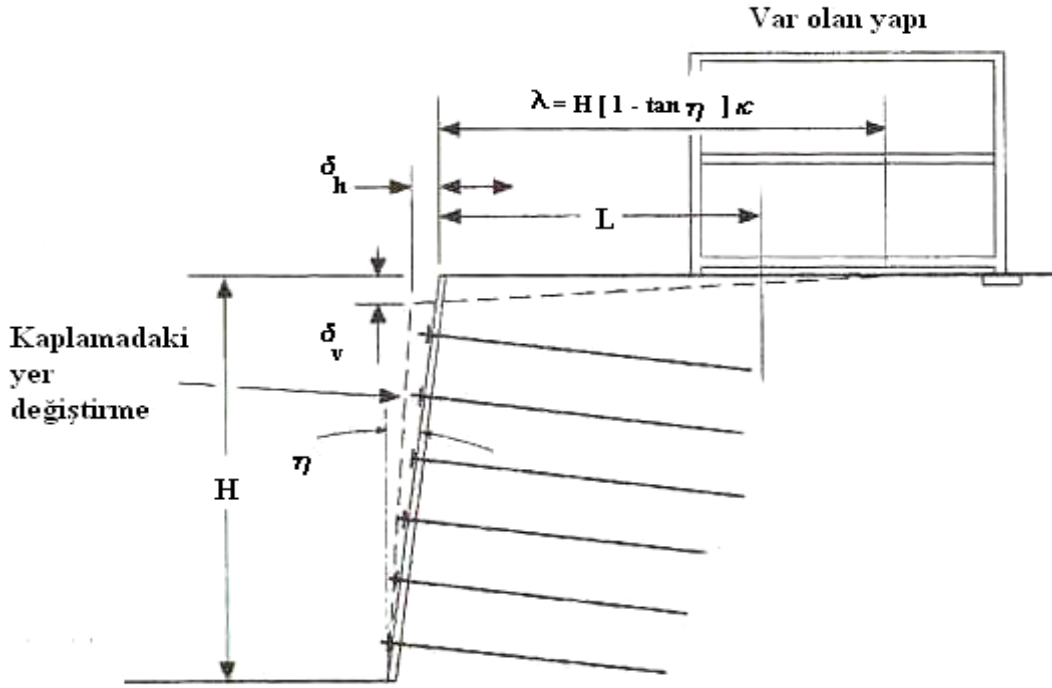
- Temel zemininin taşıma gücü
- Sürşarj yüklerinin büyüklüğü

Çivi boyu/Duvar yüksekliği oranı kullanılan düşey zemin çivili duvarlar, göz ardı edilmeyen sürşarj yükleri ve mantıklı bir güvenlik sayısı ile yapılan tasarımlar için pik duvar yer değiştirmesi en üst noktada aşağıdaki değerleri alabilir:

- Aşınmış kaya ve sıkı zeminlerde duvar yüksekliğinin (H) % 0,1'i veya daha azı
- Granüler zeminlerde duvar yüksekliğinin (H) % 0,2'si
- İnce daneli killi zeminlerde duvar yüksekliğinin (H) % 0,4'ü

Şekil 3.7 de Clouterre önerilerinde yer alan “kaplamadan uzaklaştıkça zemin yüzündeki yer değiştirmelerin azalır” tahmininin çeşitli zemin türlerini göstermektedir. Şekil 3.7’de;

- $\delta_h$  : Duvarın en üst noktasındaki yatay yer değiştirme
- $\delta_v$  : Duvarın en üst noktasındaki düşey yer değiştirme
- $\lambda$  : Duvar üstünden arkaya yatay uzaklık (yapıdan etkilenebilir)
- $\eta$  : Alnın düşeyle yapmış olduğu açı (derece cinsinden)
- L : Çivi boyu
- K : Sönümleme katsayısı’dır.



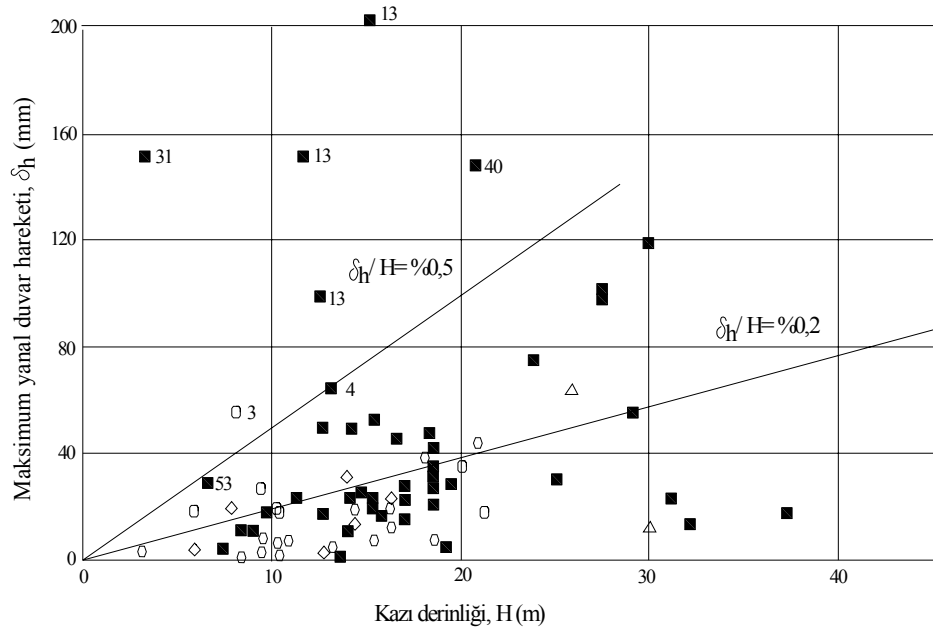
Şekil 3.7 Zemin çivili duvarlarda şekil değiştirme (Clouterre, 1991)

Çizelge 3.2 Zemin çivili duvarlarda şekil değiştirmeyi etkileyen etkenler

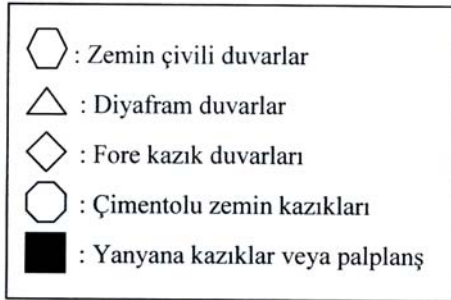
| Zemin Türü               | Aşınmış kaya /Sıkı zeminler | Kumlu zeminler | Killi zeminler |
|--------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| $\delta_h$ ve $\delta_v$ | $H / 1000$                  | $2H / 1000$    | $3H / 1000$    |
| K                        | 0.8                         | 1.25           | 1.5            |

Zemin çivili duvarlarda gözlenen yer değiştirmeler diğer dayanma yapılarındakilerle karşılaştırılmış ve Şekil 3.8'daki sonuçlar elde edilmiştir.

İnşaat sonrası duvar yer değiştirmesi için yapılan gözlemler devam eden hareketlerin zemin cinsine bağlı olarak zamanla oluşabileceğini ve özellikle duvar tabanına yakın çivilerde ek gerilmeler doğabileceğini göstermiştir. Birçok örnekte, çivilerde devam eden birim şekil değiştirmenin aslında çivi yükünün krip görülen enjeksiyon halkasından çelik tendona doğru yeniden dağılması ile yakından ilgili olduğu eğim ölçer ölçümleri sonucunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.8 Katı killer, rezidüel zeminler ve kumlar için arazide duvarda gözlemlenmiş maksimum yanal hareketler (FHWA, 1998)



### 3.2.7 Çivi Eğilmesi ve Kaymanın Rolü

Servis yükü koşullarında, çiviler kendi gerilmelerini çivi – zemin ara kesitinde oluşan kayma gerilmeleri yoluyla yaratır. Yanal yüklü çivi altındaki pasif taşıma basıncının mobilizasyonu için gerekli minimum yer değiştirme, enjeksiyon – zemin arasındaki son adhezyonun mobilizasyonu için gerekli minimum yer değiştirmeden daha büyüktür. Bu nedenle çivilerin kayma ve eğilmesi tasarım için önemli sayılmamaktadır.

Yaklaşık 100 mm kalınlığında püskürtme betondan oluşan kaplamaların kullanıldığı zemin çivili uygulamalarda, çiviler kaplamanın kendi ağırlığını kaplama-zemin-taşıyıcı plaka arasındaki bir sürtünme birlikteliği yardımıyla tekil çivilerin çevresindeki zemine karşı destekleyebilir. Daha kalın püskürtme betonlu kaplamalar için (kalıcı çivili uygulamalarda) daha olumsuz zemin koşullarında kaplamanın kendi ağırlığının çiviler tarafından duvarda

aşağı ve dışarı doğru bir hareket gerçekleşmeden karşılanması olanaksızdır. Bu durumlarda destek çivisi veya zemin dikişi kullanılarak ek dışey destek sağlanabilir. Destek ivileri kısa boyda ve yatayla büyük açı yapan çiviler olup, sıkışma sırasında çalışmaları için başlangıç çivilerinin arasına yerleştirilir. Zemin dikişleri ise kısa tamamlayıcı çiviler olup, kayma ve eğilmede rol oynayarak kaplamaya ek dışey destek sağlar.

## 4. ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR TASARIMI

### 4.1 Giriş

“FHWA - Zemin Çivili Duvar Tasarımı Yöntemi” ile önerilen tasarım yöntemi, tam ve gerçekçi bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu yaklaşımın kapsadığı konular aşağıda sıralanmaktadır.

- Kayma yüzeyi sınırlı denge kavramına dayanmaktadır.
- Çivinin donatı etkisi gözönünde bulundurulur. Çivi kafasının kaplamayla bağlantısı, tendonun kendi dayanımı ve zemin – enjeksiyon ara kesitindeki sıyrılma direnci gözönüne alınmaktadır.
- Kaplamanın ve çivi/kaplama bağlantı sisteminin nominal dayanımının belirlenmesinde gerçekçi bir yaklaşım sergilenmektedir.
- Varolan yapıların gözlemi ve zemin – yapı arasındaki etkileşimine dayanılarak kaplama ve çivi kafası sistemlerinde kullanılan tasarım toprak basınçları önerilmektedir.
- “Servis Yüğü Tasarımı” (SLD) ile “Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı” (LRFD) olarak iki ayrı tasarım olanağı sunulmaktadır.
- SLD’de; zemin dayanımına uygulanması önerilen güvenlik katsayılarıyla birlikte izin verilebilen tendon yükü, çivi kafası sistemi ve sıyrılma direnci elde edilmektedir.
- LRFD’de; tendon, çivi kafası sistemi, sıyrılma direnci ve zemin dayanımı için önerilen tasarım dayanımlarını (nominal veya son dayanıma uygulanacak olan direnç faktörleri) ve yük faktörlerini verilmektedir. Bu öneriler kritik yapılar ve geçici yapıım koşulları için hem olağan servis yükü hem de aşırı (sismik) yük açısından ayrı ayrı getirilmiştir.
- Duraylılık ve sınır duvar şekil değiştirmelerini sağlamak amacıyla yerleştirilen çelik donatının uygun bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır.
- Kaplama ve tüm çivili duvar yapısında kullanılan donatının ayrıntılarını tanımlamaktadır.
- Zemin çivilerinin ve duvar kaplamasının zemin çivili duvar sistemi olarak birleştirilip. tasarımı yapılmaktadır.

#### 4.1.1 Sınır Durumlar

Kabul edilebilir derecede bir güvenlik elde etmek için aşağıdaki sınır durumların bilinmesi gerekmektedir :

- Dayanım sınır durumu : Olası göçme durumu veya çivili duvarın çökme durumu ile ilgilidir ve beklenen yükler altında duraylılığı test eder. Uç sınır durumları aşırı yükler (sismik) altında yapının ayakta kalmasını amaçlar.
- Servis sınır durumu : Aşırı duvar şekil değiştirmeleri sonucunda servis fonksiyonlarında ortaya çıkan kayıplara değinir ve gerilme, şekil değiştirme olağan servis koşullarında gerçekleşen kaplama çatlamlarına bir kısıtlama getirmesi ile tanımlanır.

#### 4.1.2 Tasarım Yaklaşımları

En çok kullanılan tasarım yaklaşımları LRFD ve SLD'dir.

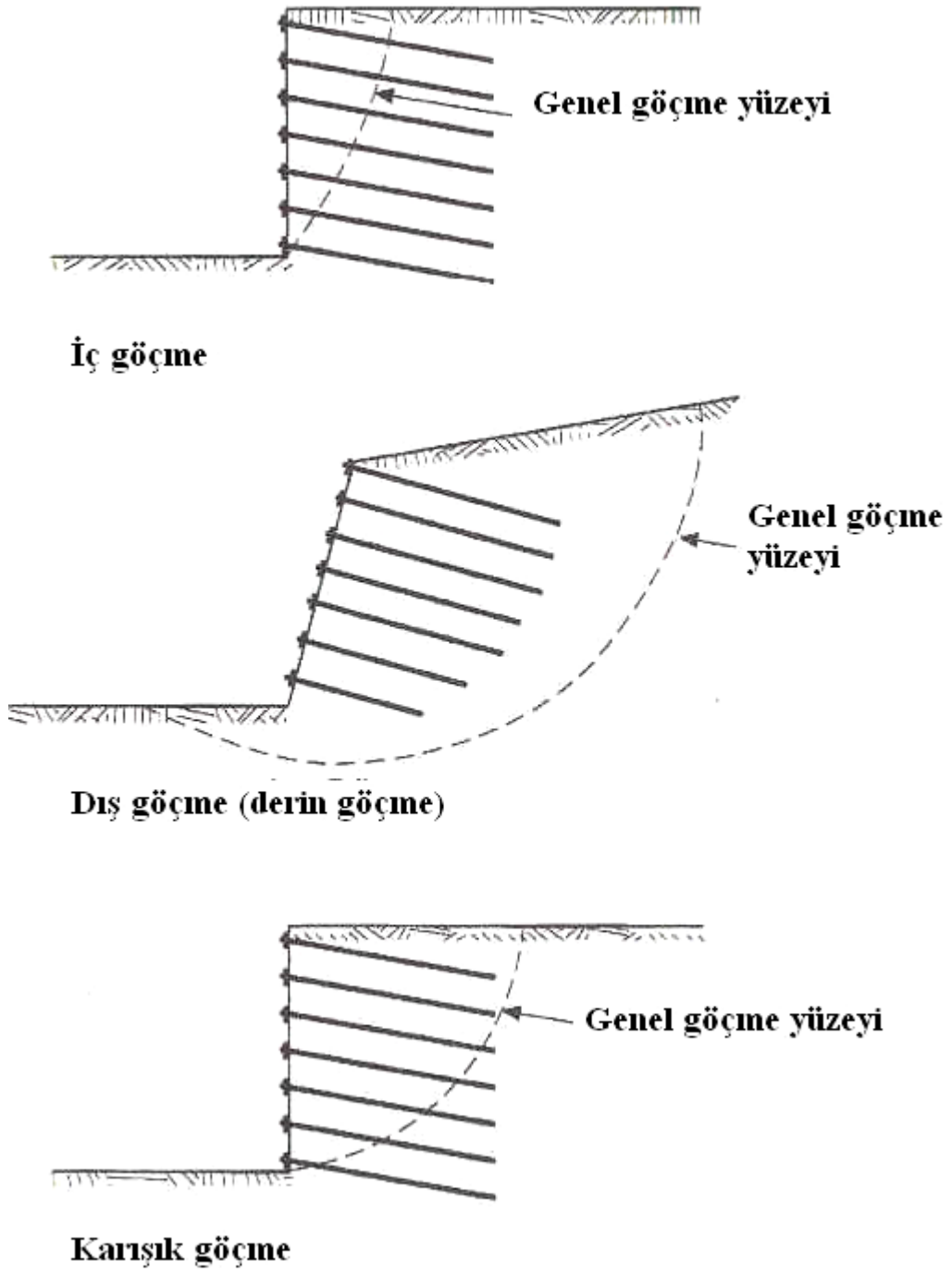
LRFD: Bu yaklaşımda zemine ve çiviye ait tasarım dayanımlarının uygulanan yüklerden fazla olması sağlanarak dayanım sınır durumu göz önünde bulundurulur. Bu dayanım değerleri, yüklerin kesinliliğinin derecesine uygun olarak yük faktörleri ile çarpılır. Gerçek dayanımlardaki değişkenliği anlatmak amacıyla tasarım dayanımları, nominal ve son dayanımlara belirli direnç faktörleri uygulanarak belirlenir. Çivilerin direnç kapasiteleri hem yapısal (tendonun tasarım dayanımı) hem de geoteknik (tasarım sıyrılma direnci) açıdan belirlenir. Zeminin direnç kapasitesi de son zemin dayanımına bir direnç faktörü uygulanarak belirlenir. Servis sınır durumu ise duvarın, donatılandırılmış ve desteklenmiş zeminin genel yer değiştirmesi ile araştırılır.

SLD: Bu yöntem LRFD ile genelde benzer bir yaklaşım olup izin verilen çivi yükünün ve azaltılmış zemin dayanımının uygulanan yükten fazla olmasını gerektirir. İzin verilen çivi yükleri hem yapısal (izin verilen tendon gerilmesi yükü) hem de geoteknik (izin verilen sıyrılma direnci) açıdan belirlenir. Azaltılmış zemin dayanımı son zemin dayanımına bir güvenlik sayısı uygulanarak belirlenir. Servis sınır durumu LRFD'de olduğu gibi duvarın, donatılandırılmış ve desteklenmiş zeminin genel yer değiştirmesi ile araştırılır.

## 4.2 Zemin Çivili Duvarın Duraylılığı

Zemin çivili bir dayanma yapısında dayanım sınır durumunu belirlemek için tüm göçme biçimlerinin incelenmesi gerekir. Bu göçme biçimleri; dış göçme biçimleri (donatılarla özellikle kesişmeyen), iç göçme biçimleri (donatı tendonlarının, kaplamanın veya her ikisinin birden göçmesi), karışık göçme biçimleri (donatılanmış bölgedeki içsel göçme)' dir. İç ve karışık göçme biçimlerinde çivinin akması veya kopması, sıyrılması, duvar kaplamasının veya duvarın çiviye olan bağlantısının göçmesi gözden geçirilmelidir.

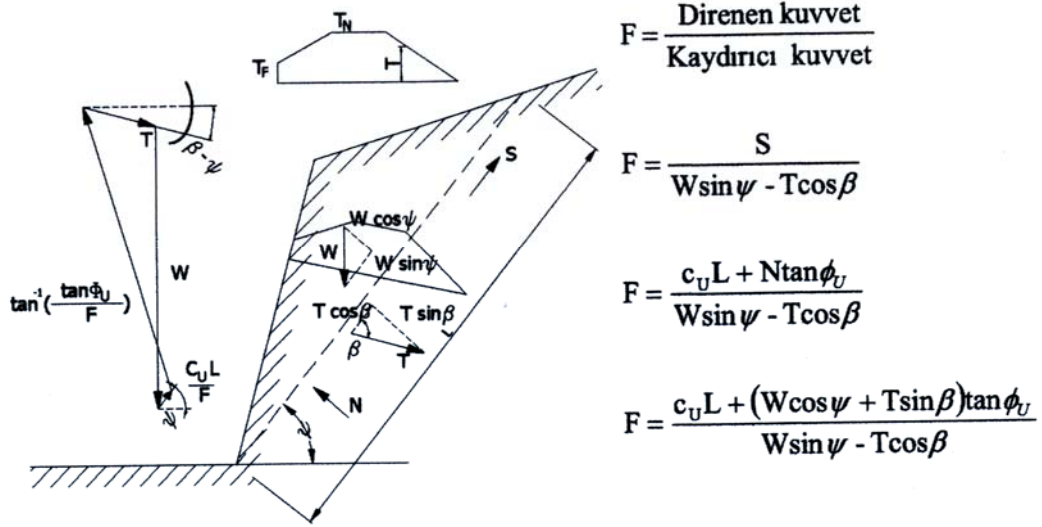
Kazı sırasında yarma alnının yerel duraylılığı zemin çivili duvarların yapımında özen gösterilmesi gereken önemli noktalardan biridir. Bu göçme biçimi geleneksel duraylılık araştırmasından bağımsız olmakla birlikte, tasarım sırasında arazi deney kazısı yardımıyla belirlenebilir. Bilindiği gibi bu arazi deneyinde alnın çivi yerleştirilmesi ve yapım kaplamasının hazırlanmasına ne kadar süre izin vereceği araştırılır. Alındaki yerel ayrılmalar çok ani olabilir ve bu gibi durumlara sığ derinliklerde yaygın olarak rastlanır. Nedeni ise, gevşek dolgu veya çevre koşullarından etkilenmiş malzemelerle bu tür bölgelerde daha çok karşılaşılmasıdır.



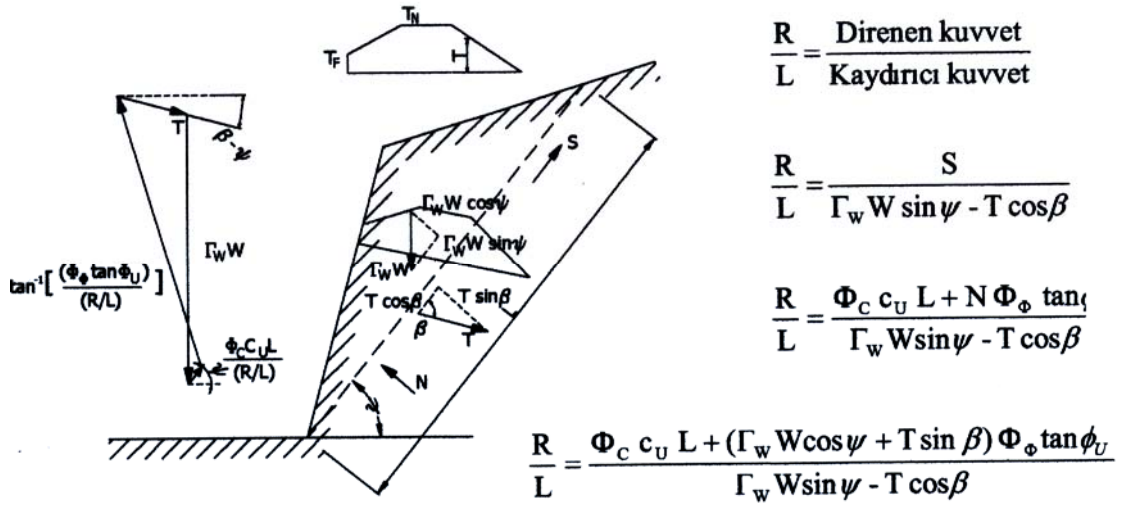
Şekil 4.1 Zemin çivili duvarlarda araştırılacak olası göçme biçimleri (FHWA, 1998)

#### 4.2.1 Temel Kavramlar

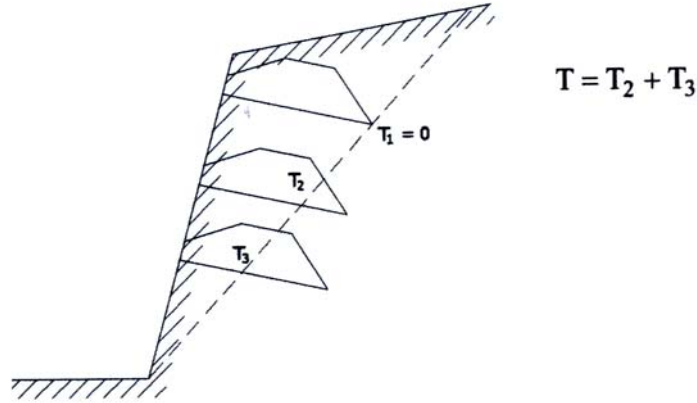
Zemin çivili duvarın sınır durumu tasarımı için yapılan sınır denge yaklaşımı tekil donatılı durum için Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te, çoğul donatılı durum için Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 SLD ile zemin çivisi tasarımı, tekil donatılı şev (FHWA,1998)



Şekil 4.3 LRFD ile zemin çivisi tasarımı, tekil donatılı şev (FHWA,1998)



Şekil 4.4 SLD ve LRFD ile zemin çivisi tasarımı, çoğul donatılı şev (FHWA, 1998)

Yöntem; karşı koyan kuvvetlerin, kaydırıcı kuvvetlere oranının genel bir güvenlik sayısı olarak alındığı bir olası düzlemsel kayma yüzeyinde denenmiştir.

Şekil 4.2' de tekil zemin çivili bir şev görülmektedir. Çivinin amacı, güvenlik sayısını veya kayan bloktaki duraylılığı artırmaktır. Genel güvenlik sayısı serbest kütle diyagramından veya kuvvetler poligonundan türetilerek bulunabilir. Donatılandırmanın etkisi;

- normal kuvveti, dolayısıyla granüler zeminlerde kayma yüzeyi boyunca kayma direncini artırarak
- hem granüler ve hem de kohezyonlu zeminlerde kayma yüzeyi boyunca kaydırıcı kuvvetleri azaltarak

duraylılığı artırmaktır.

SLD için kullanılan terimler :

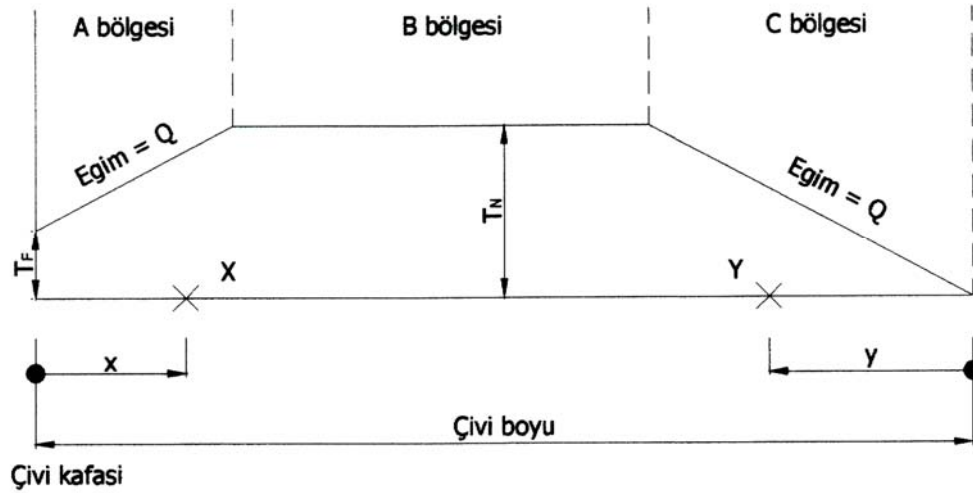
- $W$  : Servis yükü
- $c_U$  : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti, drenajlı durumda zeminin kohezyonu
- $\phi_U$  : Zemin danelerinin içsel sürtünme açısı
- $F$  : Zeminin kayma dayanımı için genel güvenlik sayısı
- $T_{FN}$  : Nominal çivi kafası dayanımı
- $T_F = \alpha_F \times T_{FN}$  : İzin verilebilir çivi kafası yükü
- $T_N = \alpha_N \times T_{NN}$  : İzin verilebilir çivi tendonu yükü

- $Q_U$  : Son sıyrılma direnci
- $Q_d = \alpha_Q \times Q_u$  : İzin verilebilir sıyrılma direnci
- $T$  : İzin verilebilir çivi yükü
- $S$  : Direnen kayma kuvveti
- $N$  : Normal kuvvet

LRFD için kullanılan terimler :

- $W$  : Servis yükü
- $\Gamma_W$  : Yük faktörü
- $c_U$  : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti, drenajlı durumda zeminin kohezyonu
- $\phi_U$  : Zemin danelerinin içsel sürtünme açısı
- $\Phi_C$  : Kohezyon direnç faktörü
- $\Phi_\phi$  : İçsel sürtünme açısı direnç faktörü
- $c = \Phi_C \times c_U$  : Zeminin tasarım kohezyonu
- $\emptyset = \tan^{-1}(\Phi_\phi \times \tan\phi_U)$  : Zemin danelerinin tasarım içsel sürtünme açısı
- $R/L$  : Genel direncin yüke oranı
- $T_{FN}$  : Nominal çivi kafa dayanımı
- $\Phi_F$  : Çivi kafası direnç faktörü
- $T_F = \Phi_F \times T_{FN}$  : Tasarım çivi kafası dayanımı
- $T_{NN}$  : Nominal çivi tendonu dayanımı
- $\Phi_N$  : Çivi tendonu direnç faktörü
- $T_N = \Phi_N \times T_{NN}$  : Tasarım çivi tendonu dayanımı
- $Q_U$  : Son sıyrılma direnci

- $\Phi_Q$  : Sıyrılma direnci faktörü
- $Q_d = \Phi_Q \times Q_u$  : Tasarım sıyrılma direnci
- $T$  : İzin verilebilir çivi yükü
- $S$  : Direnen kayma kuvveti
- $N$  : Normal kuvvet



Şekil 4.5 Çivi destek diyagramı (FHWA, 1998)

Şekil 4.5' te çivi dayanım diyagramının şekli görülmektedir. Herhangi bir kayma kaması için çivinin donatılandırmaya katkısı ilgili kayma yüzeyiyle çivinin kesişme noktasının bir fonksiyonudur. Çivi dayanımı tendondaki gerilme göçmesi, çivi sıyrılması veya kaplama/çivi kafası bağlantı sistemindeki yapısal göçme ile sınırlandırılmış olabilir. Kayan bloğun duraylılığında herhangi bir çivinin en az çivi gerilme dayanımı kadar veya kayma yüzeyinin ardındaki boyun sıyrılma direnci kadar ya da çivi kafası dayanımı ve kayma yüzeyi ile duvar arasındaki boyda oluşan sıyrılma dayanımı kadar katkısı olmalıdır.

Şekil 4.5' te A bölgesinde X gibi bir noktada kayma yüzeyi ile kesişen bir çivinin desteği  $X = (T_F + Qx)$  olacaktır. B bölgesi için  $B = T_N$  ve C bölgesindeki Y noktası için de  $Y = (Qy)$  olacaktır.  $T_F$  çivi kafası kaplama bağlantısının dayanımı olup, SLD için izin verilebilir çivi kafa yükü; LRFD için de tasarım çivi kafa dayanımı olarak tanımlanır.  $T_N$  çivi tendonu gerilme dayanımı olup, SLD için izin verilebilir çivi tendon yükü; LRFD için de tasarım çivi tendon dayanımı olarak tanımlanır.  $Q$  ise çivi – zemin sıyrılma direnci olup, SLD için izin verilebilir sıyrılma direnci; LRFD için de tasarım sıyrılma direnci olarak tanımlanır.

Şekil 4.4’de belirli bir kayma yüzeyi için en üstteki çivi kayma yüzeyi ile kesişmediğinden bloğun duraylılığına herhangi bir katkı sağlayamamaktadır. Ancak en üstteki çivi daha sık kayma yüzeyleri için katkıda bulunacaktır. Ortadaki çivi  $T_2$  desteğini sağlarken, bu değer kayma yüzeyi arkasında kalan çivi boyunun sıyrılma direncine eşit olmaktadır. En alttaki çivi  $T_3$  desteğini sağlamakta ve bu  $T_3$  değeri de çivi kafası dayanımıyla birlikte kayma yüzeyi ile kaplama arasındaki çivi boyunca elde edilen sıyrılma direncine eşittir.

#### 4.2.2 İç Duraylılık – Çivi

Çivilerin ayrı ayrı maksimum donatı katkıları aşağıda belirtilenlerle sınırlandırılmıştır:

- Çivi tendonunun yapısal gerilme dayanımı
- Sıyrılma veya beklenmeyen krip davranışı tarafından belirlenen tendon – enjeksiyon kenetlenmesi
- Zemin – enjeksiyon kenetlenmesi

##### 4.2.2.1 Çivi Tendonunun Yapısal Gerilme Dayanımı

Uygulanan çivi yükü, çivi tendonunun yapısal dayanımından daha büyük olursa çelik çivide akma ve onu izleyen kopma gerçekleşebilir. Nominal tendon dayanımı olan  $T_{NN}$ , maksimum yapısal gerilme dayanımını tanımlamada aşağıdaki denklem yardımıyla kullanılacaktır:

$$T_{NN} = A_B F_y \quad (4.1)$$

Burada  $A_B$  değeri çelik donatının nominal alanı,  $F_y$  ise çelik donatının akma dayanımıdır. Daha önce de sözü edildiği gibi, zeminin büyük şekil değiştirmelerinde oluşabilecek kesme/eğilme katkılarının çivi üzerindeki etkisi göz ardı edilmelidir.

##### 4.2.2.2 Zemin – Enjeksiyon Kenetlenmesi

Ekonomik bir “zemin çivili duvar” tasarımında enjeksiyon – zemin ara kesitinde uygun kenetlenme ve sıyrılmanın sağlanabilmesi önemli rol oynar. Sıyrılma dayanımının az olması, duvar yüksekliğine oranla daha uzun boyda çiviler ve/veya birim boydaki sıyrılma direncini artırmak amacıyla daha büyük çapta delgiler gerektirir. Zemin – enjeksiyon ara kesitindeki son kenetlenmeyi en çok etkileyen etkenler zemin özellikleri (plastisite, dayanım, dane dağılımı), delgi yöntemleri ve enjeksiyon basıncıdır.

#### 4.2.2.3 Enjeksiyon – Tendon Kenetlenmesi

Nervürlü donatılarda enjeksiyon – çivi tendonu arasındaki kenetlenme mekanik kilitlenmenin bir sonucudur. Bu kilitlenme sırasında enjeksiyon çelik çubuğun şekil değiştirmesine karşı kendi kayma dayanımını mobilize eder ve böylelikle tendonda son dayanıma ulaşılır. Havayla kısa süreli etkileşim sonucunda çelik çubukların üzerinde oluşan pas tozlarının bu enjeksiyon – tendon kenetlenmesinde kayda değer bir etkisi yoktur. Birim çivi boyundaki yük açısından bakıldığında enjeksiyon – tendon kenetlenmesi, enjeksiyon – zemin kenetlenmesinden daha büyüktür ve bu nedenle doğru enjeksiyon karışımı ve yerleştirme tekniği uygulandığında zemin çivisi uygulamaları için daha az kritiktir.

#### 4.2.3 İç Duraylılık – Çivi Kafası

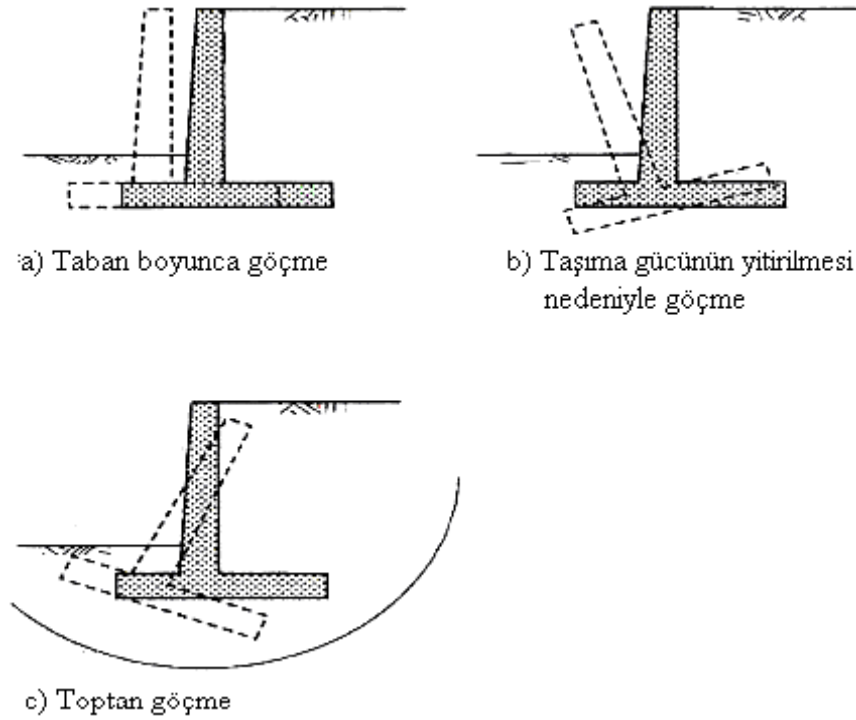
Çivi kafasının dayanımı esnek duvar kaplamasının dayanımı, kaplamanın ve bağlantı elemanlarının zımbalama dayanımı ve kalıcı duvarların bağlantısında kullanılan başlıklı civataların taşıma gücü tarafından kontrol edilebilir.

#### 4.2.4 Dış Duraylılık

Dış duraylılık geleneksel ağırlık ve betonarme istinat duvarlarındaki potansiyel şekil değiştirme biçimleriyle ilgilidir ve aşağıdakilerin göz önüne alınmasını gerektirir.

- Yanal toprak basıncı altında, dayanma yapılarının taban boyunca yatay olarak kayması
- Yapının kendi ağırlığı ve yanal toprak basıncı altına dönerek temel taşıma dayanımının aşılması
- Dayanma yapısının üzerinde olduğu şevin genel duraylılığı

Bu göçme biçimleri aşağıda Şekil 4.6' da verilmektedir.



Şekil 4.6 Dayanma yapıları için dış göçme biçimleri (FHWA, 1998)

#### 4.2.5 Güncel Zemin Çivisi Tasarım Yöntemleri

##### 4.2.5.1 Çivi Tasarımı

Zemin çivili dayanma yapılarının güncel tasarım yöntemleri, donatılar tarafından oluşturulan ek direnç gerilme kuvvetlerini kapsaması için değiştirilen geleneksel şev duraylılığı analiz yöntemlerinden türetilmiştir. Bu analiz yöntemleri varsayılan göçme yüzeyleri boyunca genel güvenlik sayısını değerlendirmektedir.

##### 4.2.5.2 Kaplama Tasarımı

Kaplamanın, zemin çivili yapılarda birçok işlevi vardır. Çiviler arasındaki zemine yanal bir sınırlandırma getirir ve dekoratif amaçlı paneller gibi dış yükleri taşıyabilir.

Zemin yerel olarak her çivi arasından desteklenmektedir. Çiviler aralıksız olarak peşi sıra dizilmiş olursa kaplama arkasında zemin basıncı olmayacağından zeminin desteklenmesine de gerek kalmayacaktır. Bir başka açıdan bakıldığında, çivi aralıkları büyük tutulursa desteklenen toprak basınçlarının hepsi kaplama tarafından karşılanmak zorunda kalacak ve dolayısıyla kaplama kalınlığı çok olacaktır.

Çiviler arası kaplama üzerindeki toprak basınçlarının dağılımı üniform değildir. Çivi –

kaplama bağlantıları dolaylarında gerilme yoğunlaşmasına neden olan düşey ve yatay kemerlenme etkileri oluşur. Bu etkiler zemin çivili duvarlar için geçerli olan esnek kaplamalar açısından büyük önem taşımaktadır.

### 4.3 Düzen ve Boyutlandırma

Ayrıntılı tasarıma başlamadan önce zeminin malzeme özellikleriyle birlikte duvarın genel geometrisi (yer, kaplamanın düşeyle yaptığı açı, kaplama yüksekliği) tanımlanmalıdır. Çivi düzenini yer altı sınırlamaları açığa çıkarılmalı ve ilk çivi düzeni oluşturulmalıdır.

#### 4.3.1 Duvar Yeri ve Boyutları

Duvar kaplamasının yeri, duvarın amaçlanan işlevi doğrultusunda olmalıdır. Saha geometrisi bakımından ve çevresel, ekonomik, estetik veya teknik açıdan da yüksekliği sınırlandırılmalıdır. Düşey duvarlar ve teğet ya da dairesel yarıçap üzerinde bulunan duvarlar yapılabirlik açısından daha üstün özellikler sergiler. Duvar çizgisinin spiral üzerinde olması, zemin çivili duvarlarda arazi denetimini ve duvar kazısının denetimini zorlaştırması nedeniyle pek önerilmez. Duvarın en üst noktasının yeri tasarlandıktan sonra duvar çizgisi boyunca ayrıntılı topografik incelemenin hazırlanması gerekir.

#### 4.3.2 Ön Çivi Düzeni

Tasarım analizi için gerekli olan “deneme çivi düzeni” tanımı çivi boylarını, yerlerini, aralıklarını, dayanımlarını ve eğimlerini kapsar.

##### 4.3.2.1 Çivi Eğimleri

Önceden açılmış deliklere yerleştirilen ve düşük basınçla veya yerçekiminden yararlanılarak enjeksiyonlanan çiviler için delikler aşağı doğru eğimli olarak açılır. Bu eğim genelde yatayla 15° açı yapar. Eğimin artırıldığı uygulamalarda çivi yükü direnç bileşeninin etkisinin azalması nedeniyle donatı verimliliği de belirgin ölçüde azalacaktır. Eğim açısı 5°’ den küçük uygulamalar enjeksiyon içinde boşluk kalması riski taşıdığı için önerilmemektedir.

##### 4.3.2.2 Çivi Aralıkları

Ekonomik açıdan bakıldığında çivi aralıklarının olanaklı olduğu kadar fazla, yapım açısından bakıldığında da olanaklı olduğu kadar üniform olması gerekir. Zemin elverişsiz olmadığı sürece düşey ve yatay aralıklar 1.5 – 2.0 m alınabilir.

#### 4.3.2.3 Çivi Yerleri

Çivi kafasının yeri birçok etkene bağlıdır. Çiviler yatayda şaşırtmalı ya da düşeyde sıralı olarak yerleştirilebilir. Düşeyde sıralı uygulamalar saha düzeni ve çivi yerlerinin denetimi bakımından kolaylık sağlarken, aynı zamanda düşey geokompozit dren hatlarının yerleştirilmesinde uygulamacıya yatayda daha fazla boş alan sunar. Şaşırtmalı yerleşimde ise kazı sırasında daha duraylı bir şev elde edilir.

#### 4.3.2.4 Çivi Boyları ve Dayanımları

Çivi boyları ve gerekli dayanımları, yine çivi aralıklarını etkileyen etkenlerdir. Bu etki doğrultusunda düşük zemin dayanımları, düşük çivi – zemin sıyrılma dirençleri, dik yarma alınları ve açılar ile yüksek sürşarj yükleri altında çivi boyları ve gerekli dayanımları artma eğilimi gösterir. Düşük şev açısına sahip ve az sürşarj yükü bulunan yarmalar gibi birçok uygulamada da çivi boyları duvar yüksekliğinin % 60 – 100’ü oranında kalmıştır. Çivi boyu / duvar yüksekliği oranının % 60’tan az olduğu uygulamalarla duvar eğimlerinin dik olduğu yerlerde karşılaşılır. Bunun nedeni dönme duraylılığıyla ilgili endişelerin de işin içine girmesidir. Yapımının üstten alta doğru olması nedeniyle duvar yüksekliğinin üst 2/3’ lük kısmında çivi yükleri daha fazla olacaktır.

#### 4.4 Çivi Kafası Dayanımı

Çivi – kaplama sisteminin donatılandırmaya katkısı çivi tendonu dayanımı, enjeksiyon – zemin sıyrılma direnci ve çivi kafa dayanımına bağlıdır. Çivi kafa dayanımının belirlenmesi oldukça karışık olmakla birlikte kaplamada ve çivi – kaplama birleşim sistemindeki bir takım olası göçme türüne bağlıdır.

#### 4.5 Zemin Çivili Duvar Tasarımı

Tasarım yöntemleri SLD ve LRFD’ye göre olup SLD’ yi değerlendireceğiz.

##### 4.5.1 Servis Yüğü Tasarımı

##### 4.5.1.1 Kritik Tasarım Kesit(ler)inin Hazırlanması ve Deneme Tasarımının Seçimi

Tasarım geometrisi ve yükleme koşulları için bir deneme tasarımı seçilir. Tasarım kesiti, çeşitli yeraltı katmanları ve duvar temelinin altında olması gereken tasarım su seviyesinin yeri ile zeminin kendi ağırlığı ve yüzeydeki şürşarj yükü gibi uygulanan tüm ağırlıklar için son

zemin dayanımı özelliklerini göstermektedir. Gözönüne alınması gerek yükleme koşulları Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 AASHTO özelliklerine göre yükleme birleşimleri (AASHTO, 1992)

| Grup | D | L | E | B | RST | EQ | %   |
|------|---|---|---|---|-----|----|-----|
| I    | 1 | 1 | 1 | 1 | 0   | 0  | 100 |
| IV   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1   | 0  | 125 |
| VII  | 1 | 0 | 1 | 1 | 0   | 1  | 133 |

(D: Ölü yük, L: Hareketli yük, E: Zemin basıncı, B: Yüzdürme kuvveti, RST : Çubuk kısılması, rötre ve sıcaklık. EQ: Deprem )

#### 4.5.1.2 İzin Verilen Çivi Kafası Yükünün Hesaplanması

Çivi kafası yükü aşağıdakilere göre değerlendirilir.

- Kaplama ve bağlantı sistemindeki her olası göçme biçimine göre nominal çivi kafası dayanımı belirlenir. Değişik kaplama kalınlığına, kaplama donatısına ve taşıyıcı plaka bağlantı birleşimlerine sahip çeşitli zemin çivili duvarlar için nominal çivi kafası dayanımları eklerde çizelgelerde verilmektedir.
- Çizelge 4.2’ de görülen olası her göçme türü için izin verilen çivi kafası yükü, kendisine karşılık gelen nominal kafa dayanımının bir oranı olarak belirlenir. Çizelge 4.2’ deki soldan ikinci sütun Çizelge 4.1’deki I. grup yük birleşimi için geçerlidir. İzin verilen çivi kafası yükü, çeşitli göçme türleri için hesaplanan en küçük değerdir.

Çizelge 4.2 SLD için çivi kafası dayanım faktörleri (FHWA, 1998)

| Göçme türü                                     | Çivi kafası dayanım faktörü (I.Grup) $\alpha_F$ | Çivi kafası dayanım faktörü (IV.Grup) | Çivi kafası dayanım faktörü (VII.Grup) (Sismik) |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Kaplamanın eğilmesi (esnemesi)                 | 0.67                                            | $1.25 \times (0.67) = 0.83$           | $1.33 \times (0.67) = 0.89$                     |
| Kaplamanın zımbalanması                        | 0.67                                            | $1.25 \times (0.67) = 0.83$           | $1.33 \times (0.67) = 0.89$                     |
| Başlıklı civatanın gerilmeden dolayı kırılması |                                                 |                                       |                                                 |
| ASTM A307 civata malzemesi                     | 0.50                                            | $1.25 \times (0.50) = 0.63$           | $1.33 \times (0.50) = 0.67$                     |
| ASTM A325 civata malzemesi                     | 0.59                                            | $1.25 \times (0.59) = 0.74$           | $1.33 \times (0.59) = 0.78$                     |

#### 4.5.1.3 İzin Verilen Minimum Çivi Kafası Servis Yükünün Denetimi

Deneme kaplaması tasarımı için izin verilen minimum çivi kafası servis yükü denetlenir. Bu ampirik denetimde, hesaplanmış izin verilen çivi kafası yükünün gerçekte zemin-yapı etkileşimi sonucunda oluşabilecek olan tahmin edilen çivi kafası servis yükünü aştığı gösterilir. Oluşan çivi kafası servis yükü aşağıdaki ampirik ifade yardımıyla tahmin edilebilir:

$$t_F = F_F K_a \gamma H S_H S_v \quad (4.2)$$

Eğer tasarımcı benzer zeminlerde yapılmış duvarlara ait saha gözlemlerinden elde edilen bilgilere sahip değilse, FHWA tarafından tasarımda çivi kafası servis yükü faktörünü ( $F_F$ ) için 0.50 alınması önerilmektedir. Değişken zemin katmanlarının, karmaşık duvar geometrisinin ve sürşarj yükü dağılımının olduğu daha karışık durumlarda ise, çivi kafası servis yükü aşağıdaki ifade ile belirlenebilir :

$$t_F = \frac{2F_f P_A S_H S_v}{H} \quad (4.3)$$

Aktif yük olan  $P_A$ , Coloumb türü kayma yüzeyi hesaplamaları kullanılarak belirlenir. Hesaplanan bu izin verilen çivi kafası yükü ampirik olarak tahmin edilen çivi kafası servis yükünden az çıkarsa, deneme kaplama/bağlantı tasarımının değişimi ve ikinci aşamanın yinelenmesi gerekir. Bu konuda özen gösterilmesi gereken diğer bir nokta da sözü geçen denetimin sismik yükleme durumu için geçerli olmayışıdır. Bunun nedeni sismik koşullar için servis yükü verisinin ve bu tür bir yükleme altında zayıf kalıcı kaplamanın davranışına ait bir kanıtın elde olmayışıdır.

#### 4.5.1.4 İzin Verilen Çivi Yükü Destek Diyagramının Belirlenmesi

Çivi boyunca yerin bir fonksiyonu olarak her çivi için izin verilen çivi yükü belirlenir. Şekil 4.4' te de görüldüğü üzere, izin verilen çivi yükü çivi uzunluğu boyunca farklılık göstermekte ve izin verilen çivi kafası yükü, izin verilen çivi tendon yükü ve izin verilen çivi – zemin sıyrılma direncine göre değişmektedir.

Çizelge 4.3' te görüldüğü gibi; çivi tendonu akma dayanımı, çivi tendon dayanımı faktörü ile çarpılarak izin verilen çivi tendon yükü bulunur.

Çizelge 4.3 SLD için dayanım faktörleri ve güvenlik sayıları (F) (FHWA, 1998)

| Eleman                                   | Dayanım faktörü<br>(I.Grup yükleme)<br>$\alpha_F$ | Dayanım faktörü<br>(I.Grup yükleme) | Dayanım faktörü<br>(VII.Grup yükleme)<br>(Sismik) |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Çivi kafası dayanımı                     | $\alpha_F = \text{Çizelge 4.2}$                   | Bkz.Çizelge 4.2                     | Bkz.Çizelge 4.2                                   |
| Çivi tendonu<br>gerilme dayanımı         | $\alpha_N = 0.55$                                 | $1.25 \times (0.55) = 0.69$         | $1.33 \times (0.55) = 0.73$                       |
| Zemin – Enjeksiyon<br>sıyrılması direnci | $\alpha_Q = 0.55$                                 | $1.25 \times (0.55) = 0.69$         | $1.33 \times (0.50) = 0.67$                       |
| Zemin                                    | $F = 1.35 (1.50)^*$                               | $1.08 (1.20)^*$                     | $1.01 (1.13)^*$                                   |
| Zemin (Geçici<br>yapım koşulları~)       | $F = 1.35 (1.50)^*$                               | Yok                                 | Yok                                               |

Not :

- İzin verilen çivi kafası yükü ( $T_F$ ) =  $\alpha_F \times$  ( nominal çivi kafası dayanımı) =  $\alpha_F T_{FN}$
- İzin verilen çivi tendon yükü ( $T_N$ ) =  $\alpha_N \times$  ( tendon akma dayanımı) =  $\alpha_N T_{NN}$
- İzin verilen sıyrılma direnci ( $Q$ ) =  $\alpha_Q \times$  ( son sıyrılma direnci) =  $\alpha_Q Q_U$
- I.Grup için gerekli minimum genel zemin güvenlik sayısı  $F=1.35$  ( $=1.20 \sim$  kritik yapılarda)
- IV.Grup için gerekli minimum genel zemin güvenlik sayısı  $F=1.35/1.25=1.08$  ( $=1.20 \sim$  kritik yapılarda)
- VII. Grup için gerekli minimum genel zemin güvenlik sayısı  $F= 1.35/1.33= 1.01$  ( $=1.13 \sim$  kritik yapılarda)
- Geçici yapım koşulları için gerekli minimum genel zemin güvenlik sayısı  $F= 1.20$  ( $=1.35 \sim$  kritik yapılarda)

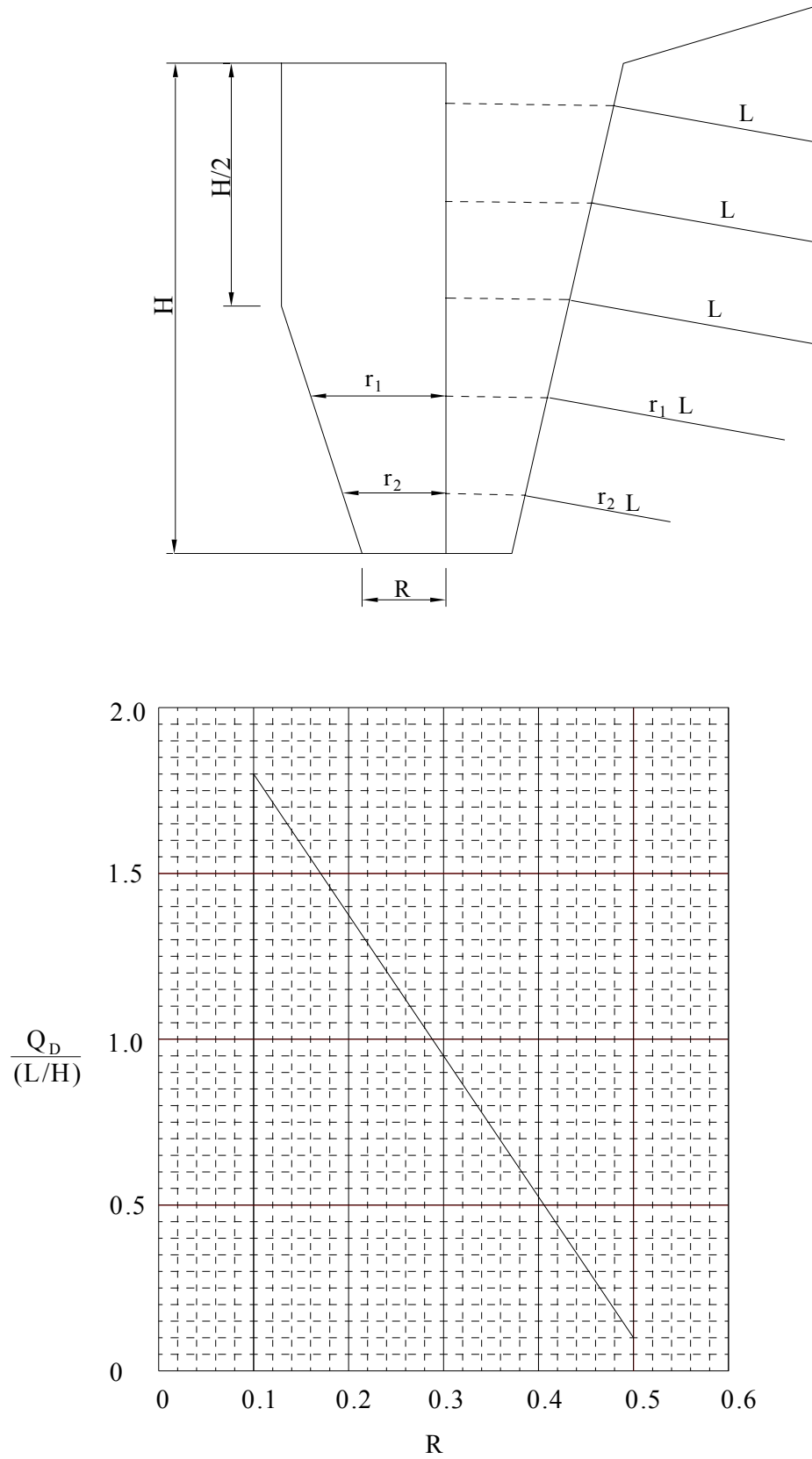
Kullanılan donatının minimum No [19] (İngiliz standartlarına göre No 6) olması önerilir. Ancak No [25]' ten küçük çubukların orta ile uzun boylarda düşük rijitliklerinden ötürü yerleştirmede sorun çıkardığı da unutulmamalıdır (FHWA, 1998).

#### 4.5.1.5 Deneme Aralıklarının ve Boylarının Seçimi

Uygun bir çivi düzeni için ek sınırlamalara gereksinim vardır. Sınır denge tasarım hesapları yapılırken kullanılması amacıyla aşağıdaki ampirik sınırlamaların tasarım çivi boyu düzeni analizi üzerinde yapılması, FHWA tarafından önerilmektedir.

- Kafası duvar yüksekliğinin üst yarısında kalan çivilerin boyları üniform olmalıdır.
- Kafası duvar yüksekliğinin alt yarısında kalan çivilerin boyları Şekil 4.7'ye uygun biçimde kısaltılmalıdır.

Zemin çivili duvarda yapının üstten alta doğru olması nedeniyle özellikle üst kısımdaki çivilerin alttakilere oranla daha fazla yük aldığı ve şekil değiştirmelere karşı daha fazla direndiği ortaya çıkmıştır. Ancak yerleştirilen çivi boyları her zaman tasarım çivi boylarına eşit olmayabilir. Yapımı kolaylaştırmak için genellikle üniform boyda çiviler tercih edilir.



Şekil 4.7 Tasarım için varsayılan çivi boyu dağılımı (FHWA, 1998)

#### 4.5.1.6 Son Zemin Dayanımlarının Belirlenmesi

Analiz için son zemin dayanımları belirlenir. Bu aşamada tasarımda büyük rol oynadığı için zemine ait bilgiler titizlikle toplanmalıdır.

#### 4.5.1.7 Güvenlik Sayısının Hesaplanması

Çivilerin deneme düzeni ile oluşan ek duraylandırıcı kuvvetler göz önünde bulundurularak her olası kayma yüzeyi için sınır denge güvenlik sayısı hesaplanır. Kritik olmayan yapılarda minimum genel zemin güvenlik sayısının 1.35 alınması önerilirken izin verilen çivi yükleri ve son zemin dayanımları göz önüne alınır. 1.35 olan bu genel zemin güvenlik sayısı Çizelge 4.1’ deki I. Grup yük birleşimi için geçerlidir. Diğer yük birleşimleri için Çizelge 4.3’ teki genel zemin güvenlik sayısı, Çizelge 4.1’ in son sütununun yüzdelik oranına uygun olarak azalır.

#### 4.5.1.8 Dış Duraylılık Araştırması

Olası dış göçme türleri için duraylılık analizleri yapılır. Daha önce de sözü edildiği gibi; kayma yüzeyi yönteminin gözönüne alınmasını gerektiren olası dış göçme biçimleri, dıştan çivilenmiş kütleye olan genel şev göçmesini kapsar. Bu göçme içinde, yanal yük altındaki zemin çivili ağırlık duvarına ait temelin taşıma gücünü yitirmesi de vardır. Bu tür göçme türlerinin analizinde kullanılacak yöntemler herhangi bir ağırlık dayanma yapısı için kullanılanlara eşittir.

Genel şev duraylılığında I. Grup yükleme için gereken güvenlik sayısı 1.3’ tür (zemin çivili duvarların üstünde desteklenen son köprü ayakları için bu değer 1.5’ tir). Genel şev duraylılığı denetimi yaparken daha çok duvar temelinin altından geçip şev veya temel pabucunun önünden çıkan olası kayma yüzeyleri üzerinde odaklanılmalıdır.

#### 4.5.1.9 Dış Duraylılık Araştırması

Yapım kaplaması sınırlı bir süre boyunca hizmet edeceği için herhangi bir sismik hesap gerektirmez. Sismik yükleme, sismik bir katsayının statik benzeşimli atalet kuvveti olarak uygulanması sonucunda elde edilir. Uygun bir sismik katsayının saptanmasına yardım eden etkenler:

Tasarım deprem pik zemin ivmesi  $A_{PK}$  seçilir. Araziye ait veri veya yerel sismik harita olmaması durumunda bu  $A_{PK}$  değeri yönetmeliklerden alınabilir.

Doğal durumda asıl olarak içte kalan (donatılarla kesişen) kayma yüzeyleri için tasarım fiktif sismik katsayısı  $A$  hesaplanır.

$$A=(1.45- A_{PK})A_{PK} \quad (4.4)$$

Donatılandırılmış zemin bloğunun sismik taşıma duraylılığında tasarım sismik katsayısının  $0.5A_{PK}$  alınması önerilmektedir (FHWA, 1998).

#### 4.6 Özel Tasarım Gerektiren Durumlar

Zemin çivili duvarların en basit halinde duvar düşey ya da eğimli olup, arkasında sabit uzunlukta ve yerleşimde çivilerle donatılmış homojen zemin vardır. Heterojen zemin koşullarını içeren, değişik çivi uzunluklarının ve yerleşiminin olduğu, donatılandırılan zeminin ağırlığından başka duvar yüklerinin de bulunduğu daha karmaşık koşullarla çok olmasa da karşılaşmaktadır.

##### 4.6.1 Heterojen Zemin Profilleri

Zemin çivisi tekniği denetimli dolgulardan çok zemini yerinde donatılandırmayla ilgili olduğundan ağırlık, zemin dayanımı ve çivi sıyrılma direnci dışında heterojen koşullarla da karşılaşılır. Bu koşullar özde kayma yüzeyi sınır dengesi yönteminde hesap açısından herhangi bir zorluk çıkarmamakla birlikte yine de aşağıdakilere özen gösterilmesi gerekmektedir .

Zemin çivili bilgisayar tasarım kurallarının bazıları tekil üniform zemin türü veya sadece yatayda bulunan katmanlı sistemler gibi basit zemin profili heterojenliğini kapsamaktadır.

Herhangi bir heterojenlik olması durumunda kritik kayma yüzeyi duvarın topuk bölgesi civarından geçmeyebilir ve dolayısıyla daha kapsamlı bir araştırma gerekebilir. Buna bir örnek; zayıf zemin katmanının ona göre daha kuvvetli zemin üzerinde yer alması olabilir. Bu örnekte kritik kayma yüzeyi duvarın topuğu yerine zayıf zemin – kuvvetli zemin etkileşiminin olduğu noktadaki duvar kaplamasından geçecektir.

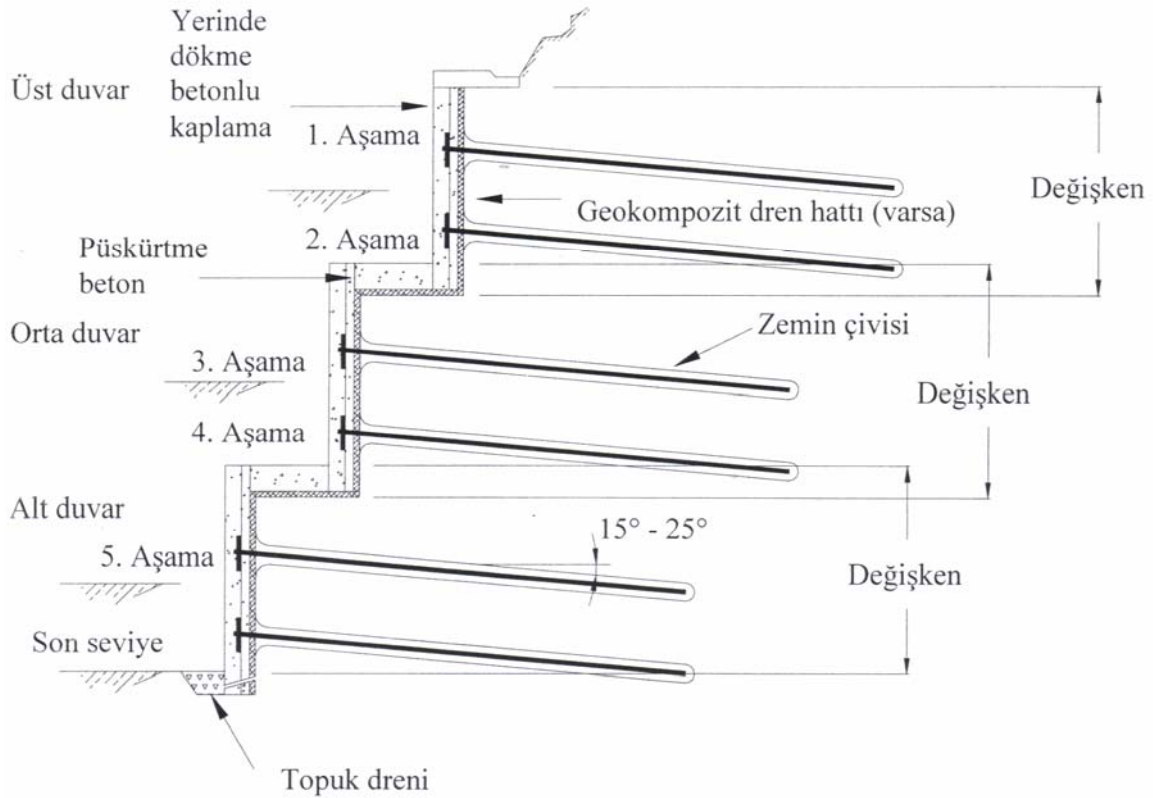
##### 4.6.2 Köprü Kenar Ayakları

Ulaştırma dalında zemin çivili uygulamalardan çoğunlukla köprü son ayaklarında ek şerit yapımında yararlanılmaktadır. Bu da köprü temeli dolaylarında kenar ayak çevresindeki şevin kaldırılması nedeniyle yanal direncin ortadan kaldırılması ve yerine zemin çivili duvarla yanal olarak desteklenmiş bir yapının oluşturulması anlamına gelmektedir.

Köprü ayaklarının, düşey / eğimli kazıklar veya ayaklar üzerindeki derin temellerle taşındığı yerlerde derin temel, şevin kaldırılması ve duvar yapımı yüzünden taşıma gücünün önemli ölçüde etkilenmeyeceği şekilde duvar tabanının altına dek uzanıyorsa derin temel ile zemin çivili dayanma yapısının bağımsız sistemler olarak alınması önerilir (FHWA, 1998). Örneğin köprünün düşey yükleri büyük ölçüde derin temel tarafından karşılanırken diğer ölü ve hareketli yüklerle birlikte yaklaşım dolgusundan gelen şürşarj yükleri belli bir oranda zemin çivili dayanma yapısı tarafından taşınacaktır. Tasarım problemi alışlagelmiş yarma uygulamalarından farklı olmayacaktır.

#### 4.6.3 Basamaklı Yapılar

Zemin çivili duvarlarda estetik nedeniyle kaplama basamaklı olarak tasarlanabilir. Basamakların üstü genellikle yeşillendirilir. Yatay kısımların düşeyden büyük (1.5 kat) olması durumunda basamak üstleri birbirlerinden bütünüyle bağımsız duvarlar olarak çalışacaktır.

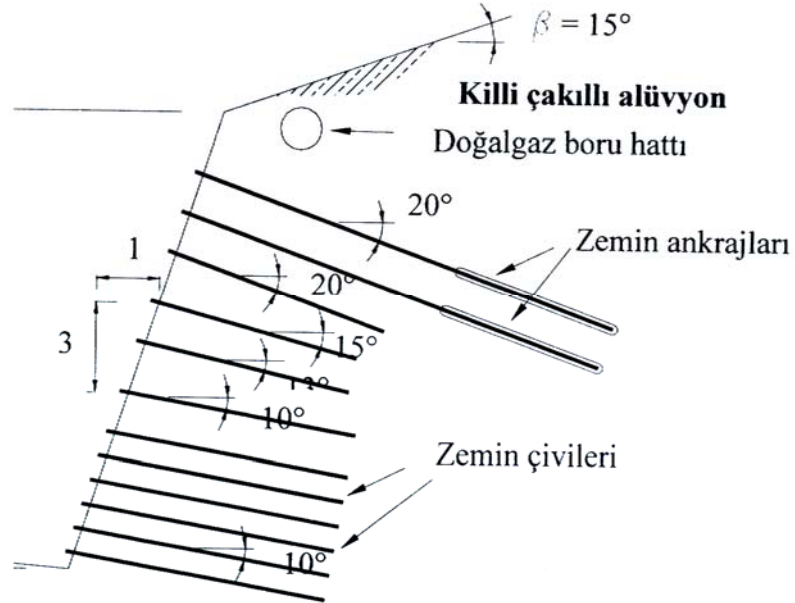


Şekil 4.8 Basamaklı duvarların yapım aşamaları (FHWA,1998)

#### 4.6.4 Karma Yapılar

##### 4.6.4.1 Çiviler ve Ankrajlar

Karma yapılara örnek olarak zemin çivilerinin ankrajlarla birlikte kullanıldığı uygulamalar verilebilir.



Şekil 4.9 Cotiere Tüneli'nin kuzey girişindeki duvar (TGV Rhöne-Alpes, 1990)

Şekil 4.9'da üst duvar bölgesinde geleneksel zemin çivili desteğe ek olarak zemin ankrajları ile sisteme derin göçmeye karşı ek bir duraylılık kazandırılmaya çalışılırken, yakındaki bir üst yapıyı korumak amacıyla duvarın üst kesimlerindeki yerdeğiştirme oldukça sınırlandırılmıştır. Derin göçmeden doğan duraylılık problemi belirgin arka eğimlerin olduğu ve malzeme dayanımının da en alt düzeyde olduğu yerlerde görülür. Bu karma yapıda donatılandırılmış bölge bir ağırlık duvarı gibi davranacak olup, ankrajlar derin göçmeli kaymaları ve duvarın dönmesini önleyecek şekilde tasarlanmıştır. Ankrajlar hem çivilenmiş bölgenin hem de tüm yapıya etki eden en kritik derin göçmeli kayma yüzeyinin ardında bırakılmalıdır.

##### 4.6.5 Değişken Çivi Boyuna Sahip Yapılar

Tasarımda her ne kadar çivi boylarının değişkenliğine bir kısıtlama getirilmiş olsa da servis yükü gözlemleri çivi boylarının özellikle duvarın üst 2/3 veya 3/4'lük bölümünde uniform olması durumunda, duvardaki yer değiştirmelerin en aza indirgeneceğine işaret etmektedir. Duvarın en alt kısmında ise çivi boylarının kısaltılmasına izin verilmektedir. Bu bölgede

zemin- çivi etkileşimi maksimum çivi yükünün çivi kafasının yakınına aktarılması anlamına gelmektedir.

En üst çivilerin boylarını kısaltmak, bunların tüm duvar yüksekliği gibi daha büyük zemin kütlelerinin duraylılığına sağlayacakları katkıyı bir bakıma sınırlamak anlamına gelmektedir. En üst sıra çivilerin sağladığı yüzey yer değiştirmelerin denetimi de azaltılmış olacaktır.

#### **4.6.6 Değişken Çivi Eğimine Sahip Yapılar**

Çivilerin donatı etkisinin artırılması ve duvar yer değiştirmelerinin sınırlandırılması açısından bakıldığında çivilerin olanaklı olduğu sürece yataya yakın biçimde yerleştirilmesi tercih edilir. Çivilerin yatayla yaptığı açı  $15^\circ$  yi geçmemektedir. Bu değer aynı zamanda yerçekimi veya düşük basınç altında enjeksiyonlama için gereken minimum eğime karşılık gelir. Değişken çivi boyları için, en üst sıradaki çivileri yatayla  $20^\circ - 25^\circ$  açı yapacak şekilde yerleştirmek gerektiğinde alt sıralarda bulunan çivilerle etkileşimi önlemek için aralarında düşeyde normalden farklı bir uzaklık bırakılmalıdır.

#### **4.6.7 Zemin Sızıntı Suyu Kuvvetleri veya YASS'nin Duvar Tabanına Yakın Olması Durumu**

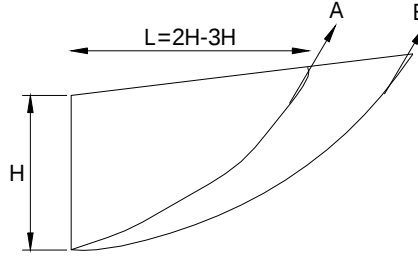
Şev duraylılığı problemlerinde zemin suyu ve ilgili sızıntı kuvvetleri zemin çivisi yapısını duraylılığını büyük ölçüde etkiler. YASS'nin altında zemin çivisi uygulanması genelde önerilmemektedir. Sızıntı kuvvetlerinin duraylılık analizinde eklenmesi zorluk çıkarmayacağı için bilgisayar destekli çözümde sızıntı suyunun basıncı verilerin içinde yer alır.

#### **4.6.8 Sonsuz Şev Koşulu**

Zemin çivili duvarın uzun (sonsuz) bir şevin ucunda yapılması ve bu şev için hesaplanan güvenlik sayısının duvarın kendisi için gerekenden az çıkması durumunda tasarımın yeniden gözden geçirilmesi gerekir. Bunun nedeni; zemin çivili duvarın tasarımında göz önüne alınan olası kayma yüzeylerinin sınırlandırılmaması durumunda tüm şevi kapsayan çok daha büyük göçme zonlarının göz önüne alınması gerekeceğidir. Analiz sonucunda çok uzun, yüksek kapasitedeki çivilerin sonsuz şevin uç kısmındaki bölgeye yerleştirileceği çıkar. Bu da dayanma yapısı için istenmeyen tarzda bir tasarım olacaktır. Bu tür durumlarda;

- Şevin tüm duraylılığı bağımsız olarak belirlenmeli ve gerekirse başka yöntemlerle iyileştirilmelidir.

- Zemin çivili duvar, olası kayma yüzeyleri alanları duvarın kendi alanına kadar sınırlandırılarak tasarlanmalıdır. Örneğin; olası kayma yüzeyleri amaçlanan duvarın üst noktasından yarma yüksekliğinin 2-3 katı kadar geride olabilir.



Şekil 4.10 Sonsuz şev koşulu / Tasarım yaklaşımı

A türü kayma yüzeyi, duvar arkasında  $L \leq (2 \sim 3) H$  uzaklığından yüzeye çıkan kayma yüzeyleriyle sınırlandırılmıştır.

B türü kayma yüzeyi, daha derin göçen kayma yüzeylerini içerir ve tüm şevin duraylılığıyla tutarlı bir güvenlik sayısını gerektirir.

#### 4.6.9 Sismik Yükler Altında Davranış

Yapılan deneyler zemin çivili duvarların sismik yükler altında güvenli davranabileceğini göstermektedir. FHWA tarafından getirilen öneride, statik tasarımın ötesinde ek tasarımın pik zemin ivmesinin  $(0.25-0.30) g'$  den büyük değerler için gerektiği belirtilmektedir.

#### 4.7 Yarma Şevli Duvarların Ön Tasarımı İçin Basitleştirilmiş Tasarım Abakları

Çivi boyunun son tasarımında iterasyondan yararlanılmaktadır. Üniform zemin şartlarındaki  $15^\circ$ 'lik çivi eğiminde, kritik olmayan yerleşimlerde güvenlik sayısının (F) SLD için 1.35; LRFD için de direnç faktörünün ( $\Phi$ ) 0.9 alındığı uygulamalar için abaklar geliştirilmiştir. Boyutsuz olarak kullanılan abaklar kullanılmadan önce aşağıdaki değişkenlerin belirlenmesi gerekir.

##### 4.7.1 Geometrik Değişkenler ( Arka Şevin Yatayla Yaptığı Açı “ $\beta$ ” ve Duvar Arkasının Düşeyle Yaptığı Açı

Her biri kendi içinde 3 tane olan 4 farklı takım abak bulunmaktadır. Her takımında  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  ve  $34^\circ$ 'lik arka şev eğimi için değerler bulunmaktadır. Ara arka şev eğimi değerleri için bu abaklar arasında enterpolasyon yapılabilir. Her arka şev için duvar yüzü eğimi iki farklı açıyla

(0° ve 10°) ele alınmıştır. Ara değerler için yine enterpolasyon yapılabilir.

#### 4.7.2 Dayanım Değişkenleri (Azaltılmış Sürtünme Açısı $\phi_D$ ve Boyutsuz Kohezyon $c_D$ )

Zeminin güvenlik uygulanmış içsel sürtünme açısı tanjantı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\text{SLD} : \tan \phi_D = \frac{\tan \phi_u}{F_\phi} \quad (4.6)$$

Burada;

$F_\phi$  : Zeminin güvenlik sayısı (ön tahmin için 0.9 alınır)

$\phi_u$  : Zeminin içsel sürtünme açısı

Boyutsuz kohezyon ( $c_D$ ), zemin kohezyonunun zeminin birim hacim ağırlığı ve yarmının yüksekliği dikkate alınarak normalize edilmiş bir değerdir.

$$\text{SLD} : c_D = \frac{c_u}{F_c \gamma H} \quad (4.7)$$

Burada :

$F_c$  : Zeminin güvenlik sayısı (ön tahmin için 1.35 alınır)

$c_u$  : Zeminin kohezyonu

Boyutsuz kohezyon her şev geometrisi için üç farklı parametre olarak görülmektedir. Bu değerler 0.01, 0.03 ve 0.05'tir. Ara değerler için enterpolasyon yapılabilir.

#### 4.7.3 Boyutsuz Çivi Yüğü ( $T_D$ )

Uygun abak takımı üzerinde ilk abağın düşey ekseninden boyutsuz çivi yüğü ( $T_D$ ) bulunur. Boyutsuz çivi yüğü, azaltılmış nominal çivi dayanımının zeminin birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), şev yüksekliği ( $H$ ) ve çivi aralıkları ( $S_V$ ,  $S_H$ ) dikkate alınarak normalize edilmiş değeridir.

$$\text{SLD} : T_D = \frac{\alpha_N T_{NN}}{\gamma H S_V S_H} \quad (4.8)$$

Burada;

$T_{NN}$  : Gerekli nominal çivi tendon dayanımı (kN)

$\alpha_N$  : 0.55 alınması önerilen çivi tendon dayanım faktörü

Duvar arkası eğimine ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $34^\circ$ ), duvar yüzü eğimine ( $0^\circ$  ve  $10^\circ$ ), boyutsuz kohezyon ( $c_D$ ) ve  $\tan\phi_D$  değerine göre Şekil 4.11, 4.14, 4.17 ve 4.20'den  $T_D$  okunur.

#### 4.7.4 Ön Çivi Boyutu

Çivinin kesit alanı ( $A_B$ ) aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$F_y$  : çelik mukavemetidir, genelde  $420 \text{ N/mm}^2$  alınır.

$$A_B = \frac{T_{NN}}{F_y} \quad (4.9)$$

Boyutsuz sıyrılma direnci ( $Q_D$ ) azaltılmış son sıyrılma direnci (çivinin birim boyundaki kuvvet olarak tanımlanır) olup, zeminin birim hacim ağırlığı ve çivi aralıkları göz önüne alınarak normalize edilmiştir.

$$\text{SLD : } Q_D = \frac{\alpha_Q Q_U}{\gamma S_V S_H} \quad (4.10)$$

Burada :

$Q_u$  : Tendonun 1 m boyu için taşınabilecek son sıyrılma yükü (deneyle bulunması önerilir) (kN/m)

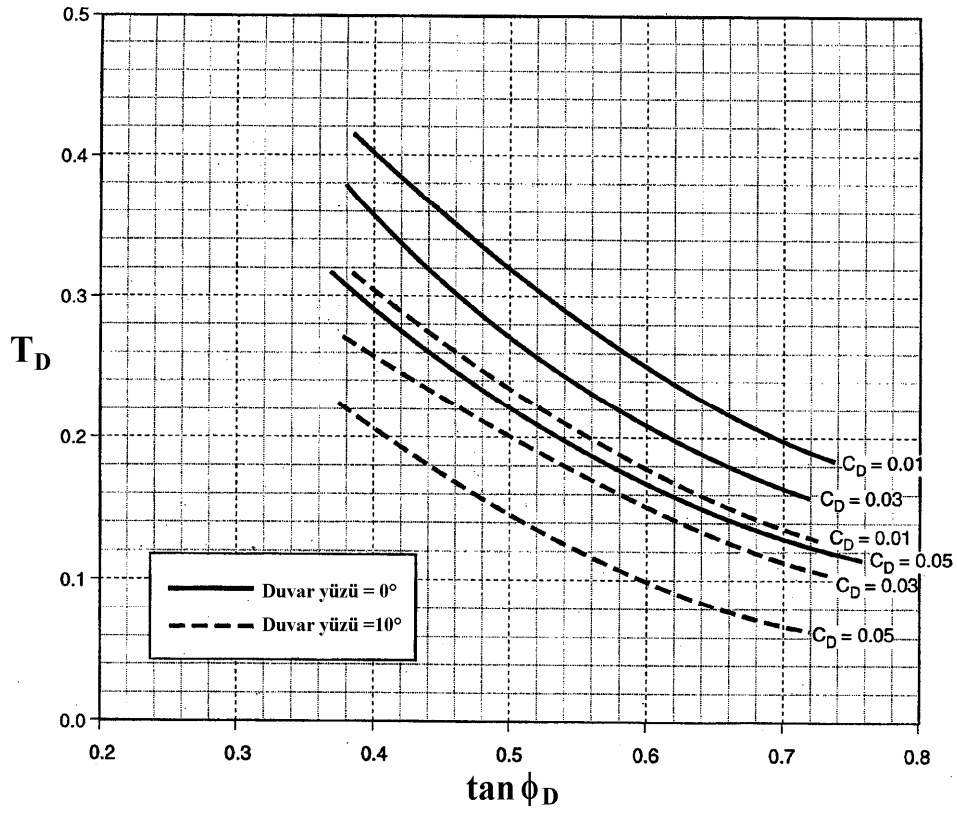
$\alpha_Q$  : 0.50 alınması önerilen sıyrılma faktörü

Abak takımlarının ikinci ve üçüncüsü üzerindeki yatay ekseninde  $T_D/Q_D$  oranı içinde boyutsuz sıyrılma direnci dahil edilmiştir.

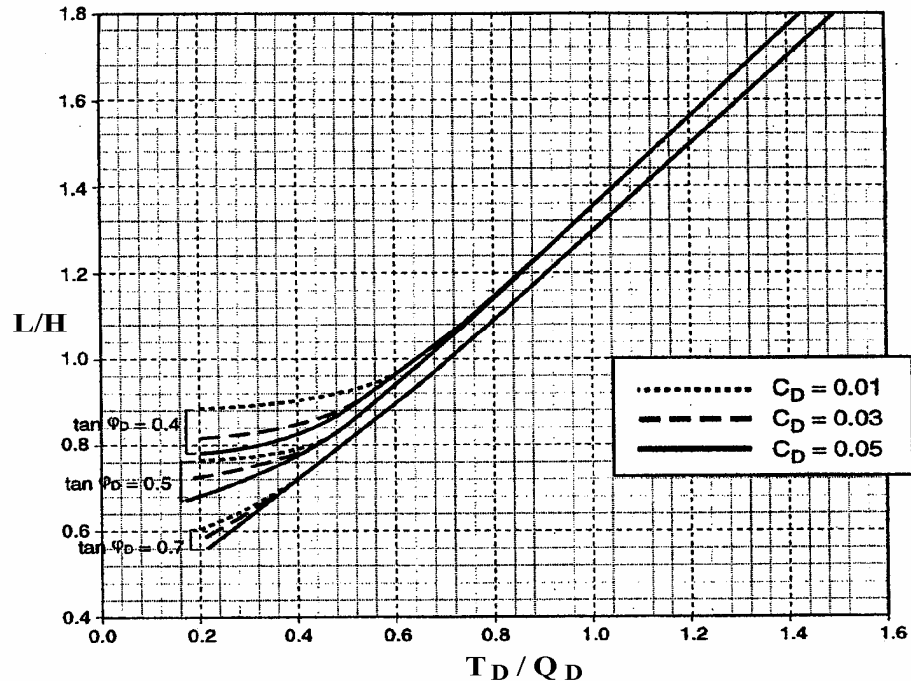
#### 4.7.5 Ön Çivi Boyu

$Q_D$  değeri ve  $T_D/Q_D$  oranı hesaplanır. Duvar arkası eğimine ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $34^\circ$ ), duvar yüzü eğimine ( $0^\circ$  ve  $10^\circ$ ), boyutsuz kohezyon ( $c_D$ ) ve  $\tan\phi_D$  değerine göre  $T_D/Q_D$  eşitliğine bağlı olarak Şekil 4.12, 4.13, 4.15, 4.16, 4.18, 4.19, 4.21 ve 4.22'den  $L/H$  okunur. Yarmanın

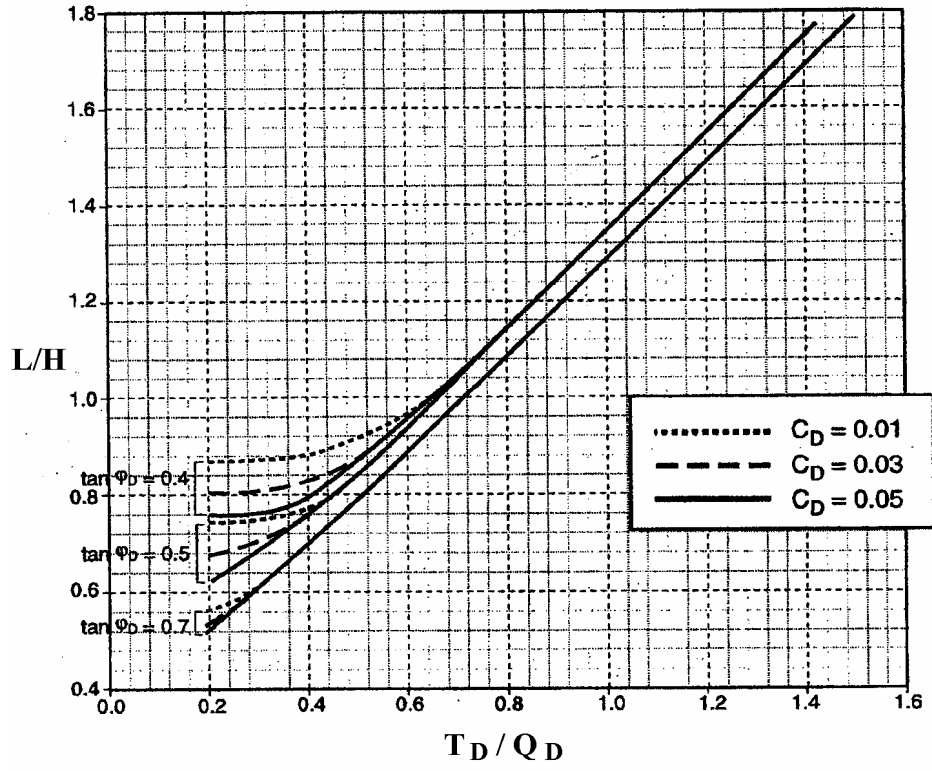
yüksekliği (H) belli olduğu için ön çivi boyu (L) kolaylıkla bulunur.



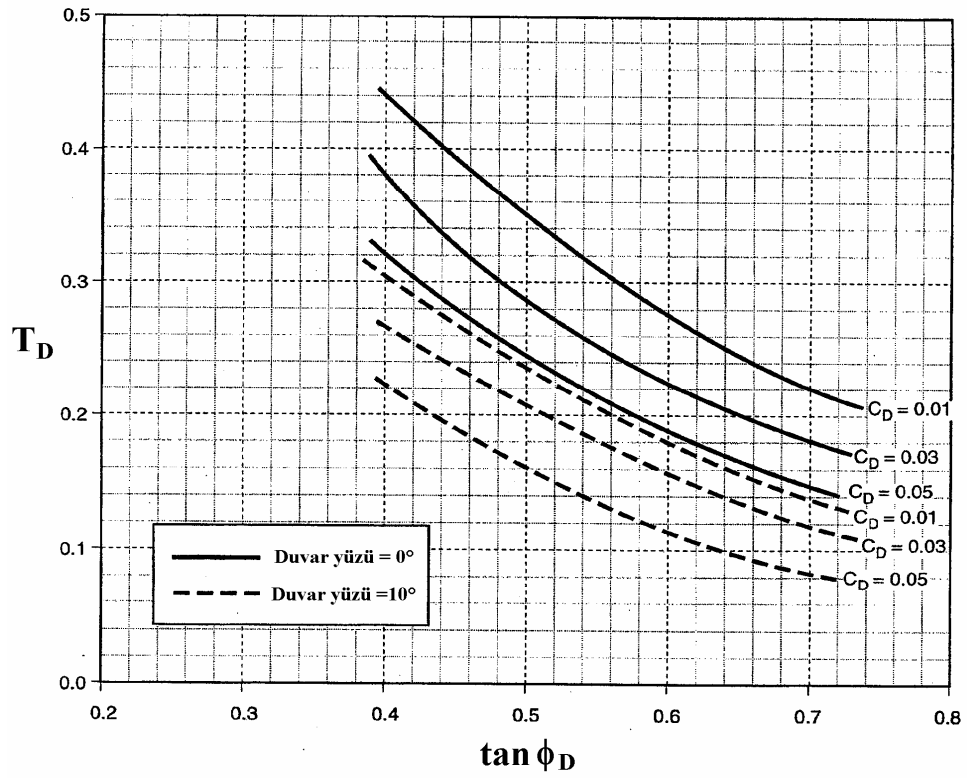
Şekil 4.11 Ön tasarım abağı 1A / Duvar arkası eğimi =  $0^\circ$  (FHWA, 1998)



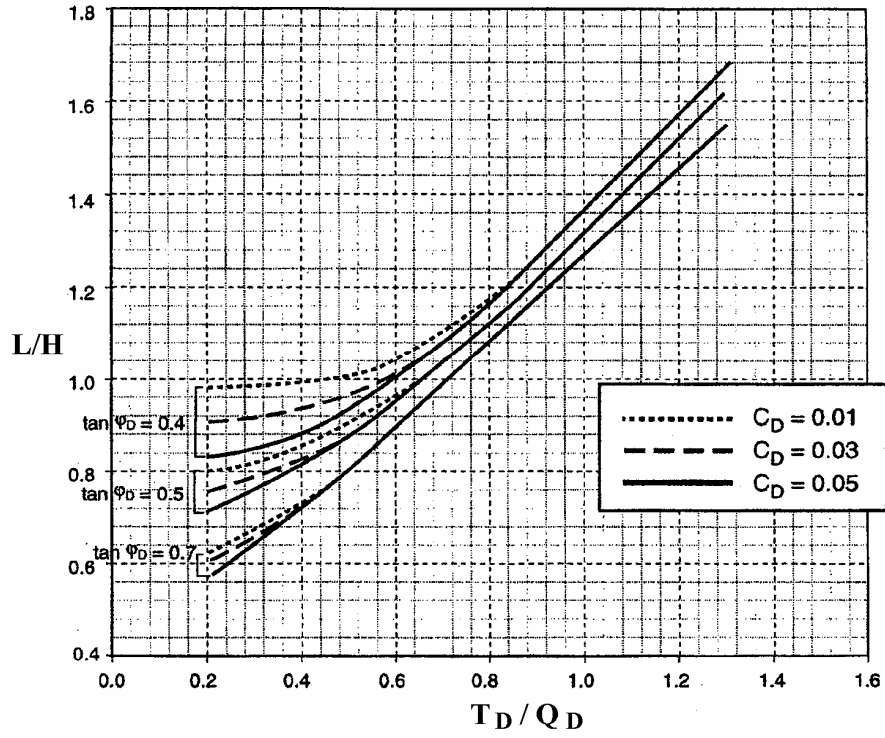
Şekil 4.12 Ön tasarım abağı 1B / Duvar arkası eğimi =  $0^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $0^\circ$  (FHWA, 1998)



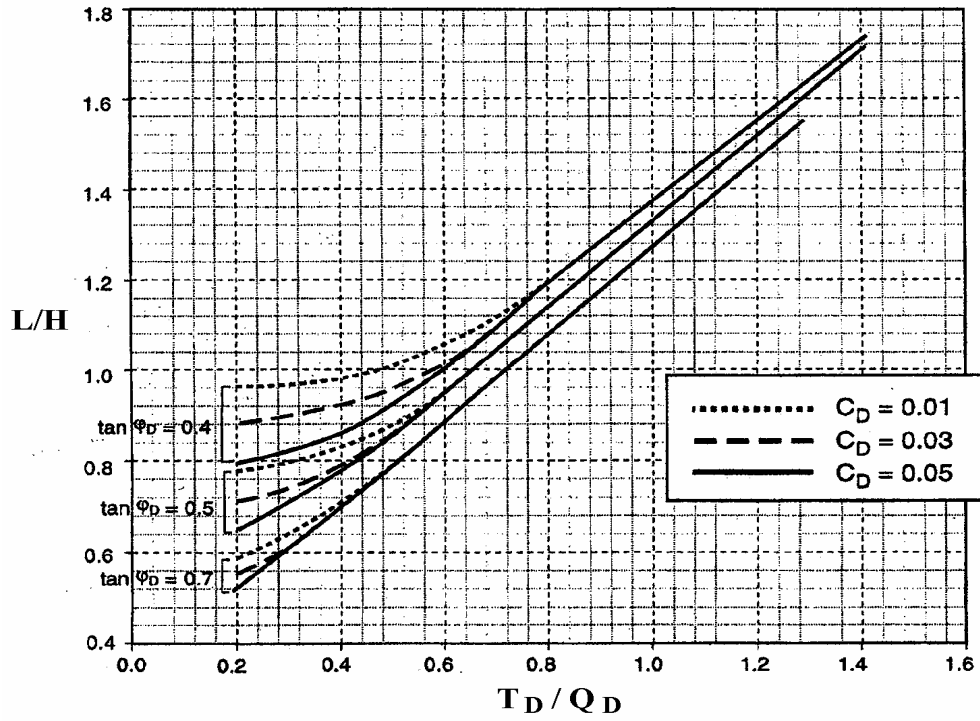
Şekil 4.13 Ön tasarım abağı 1C / Duvar arkası eğimi =  $0^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $10^\circ$  (FHWA, 1998)



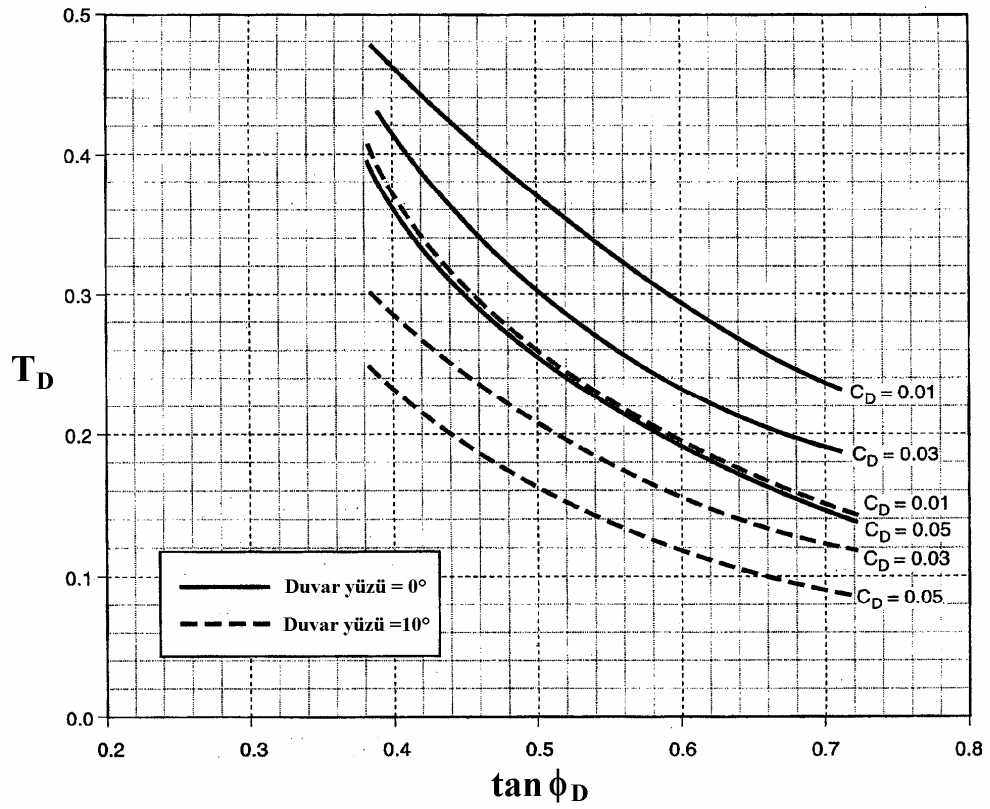
Şekil 4.14 Ön tasarım abağı 2A / Duvar arkası eğimi =  $10^\circ$  (FHWA, 1998)



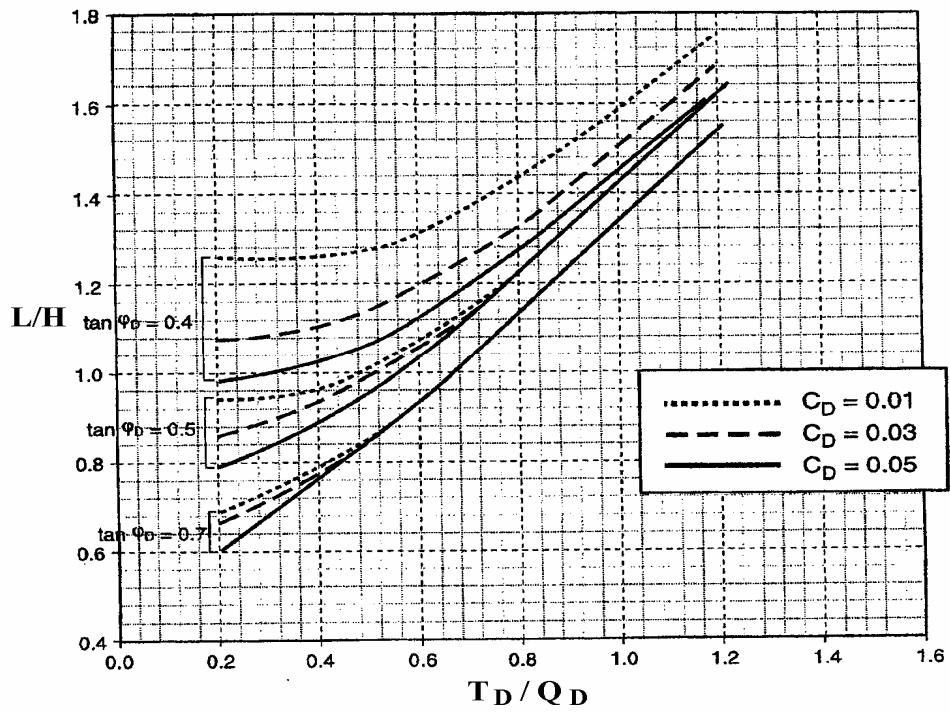
Şekil 4.15 Ön tasarım abağı 2B / Duvar arkası eğimi =  $10^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $0^\circ$  (FHWA, 1998)



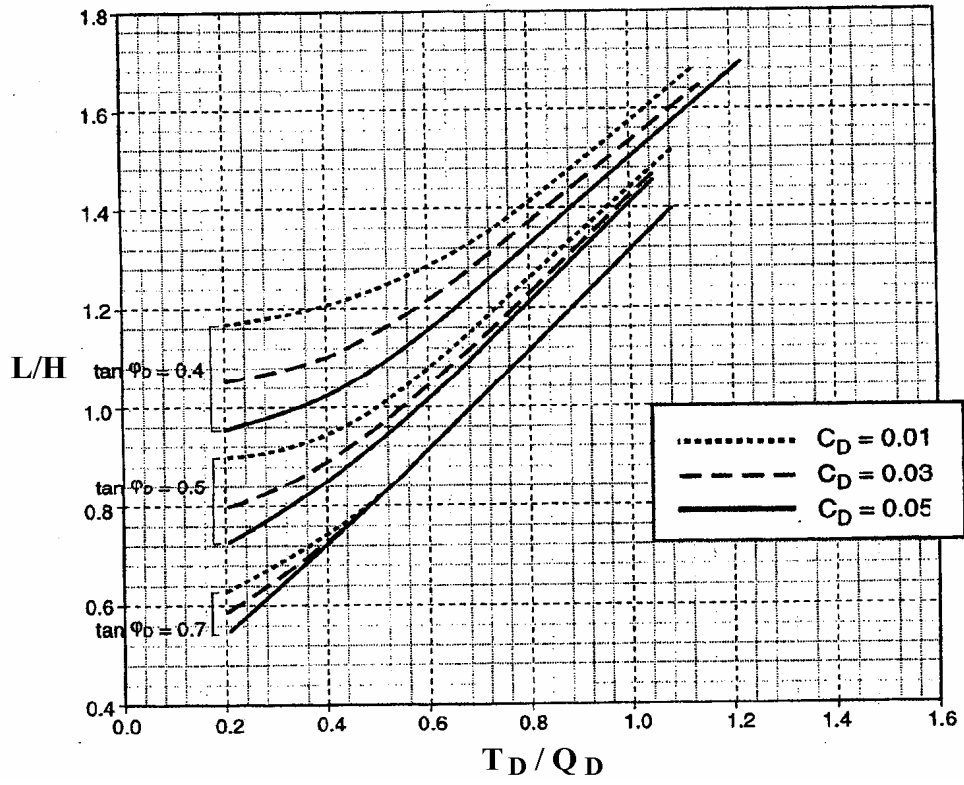
Şekil 4.16 Ön tasarım abağı 2C / Duvar arkası eğimi =  $10^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $10^\circ$  (FHWA, 1998)



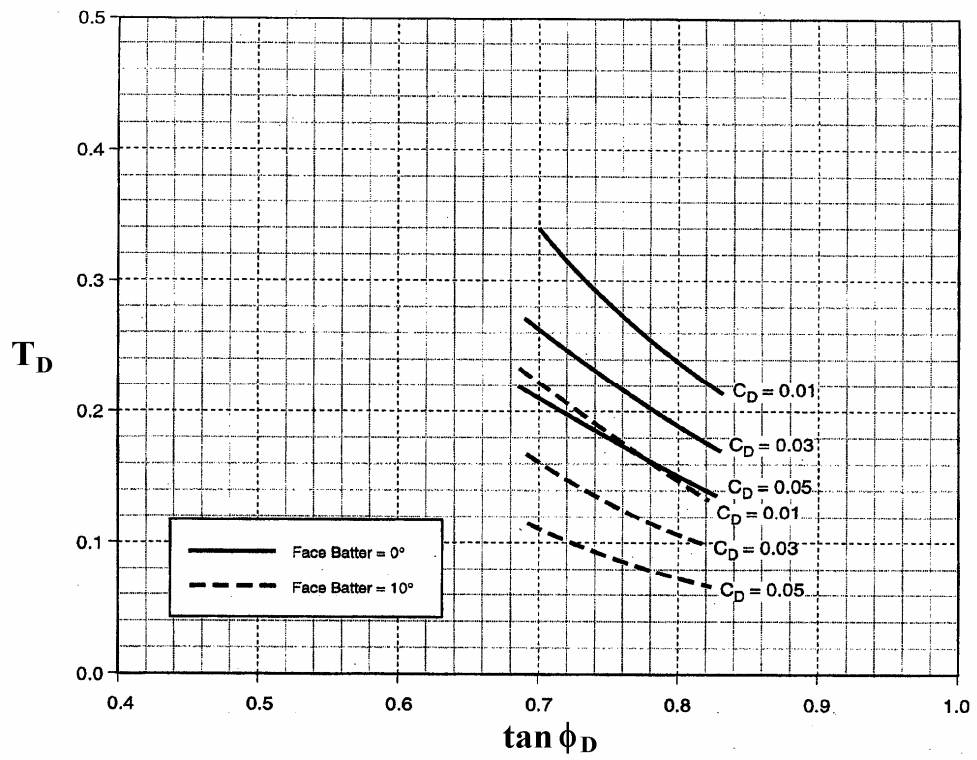
Şekil 4.17 Ön tasarım abağı 3A/ Duvar arkası eğimi =  $20^\circ$  (FHWA, 1998)



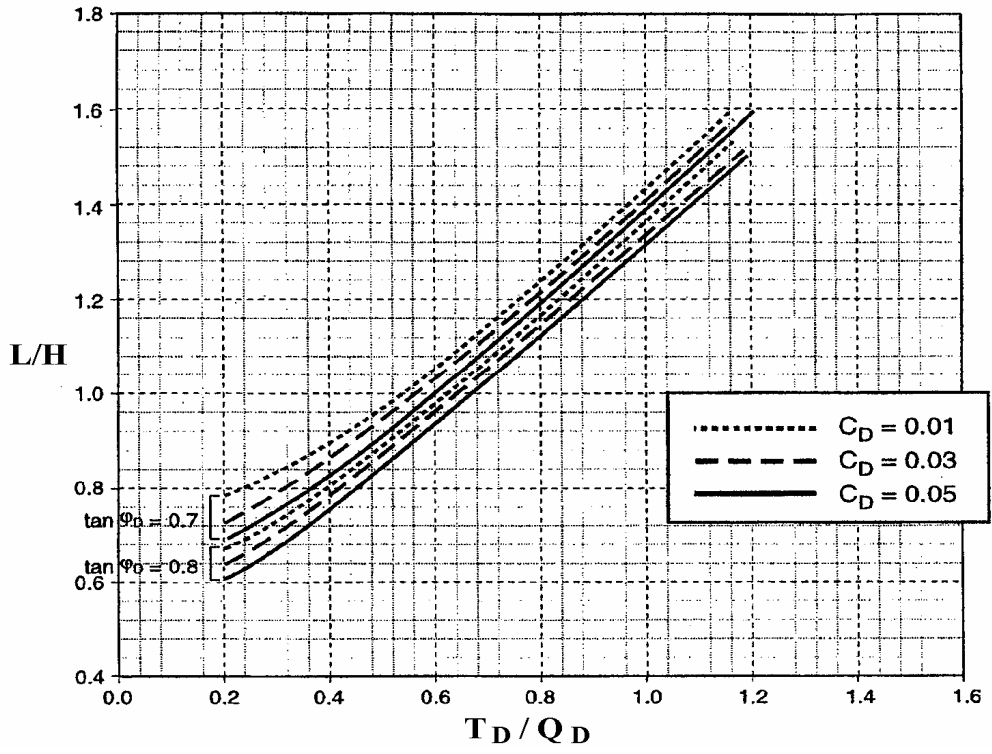
Şekil 4.18 Ön tasarım abağı 3B/ Duvar arkası eğimi =  $20^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $0^\circ$  (FHWA, 1998)



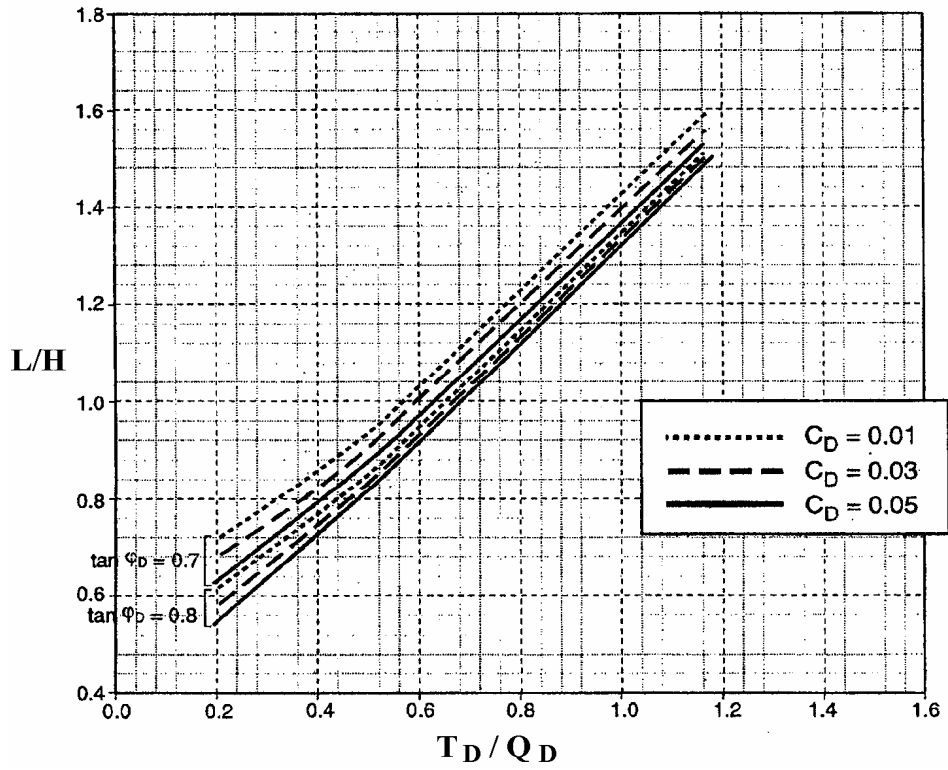
Şekil 4.19 Ön tasarım abağı 3C/ Duvar arkası eğimi =  $20^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $10^\circ$  (FHWA, 1998)



Şekil 4.20 Ön tasarım abağı 4A/ Duvar arkası eğimi =  $34^\circ$  (FHWA, 1998)



Şekil 4.21 Ön tasarım abağı 4B/ Duvar arkası eğimi =  $34^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $0^\circ$  (FHWA, 1998)



Şekil 4.22 Ön tasarım abağı 4C/ Duvar arkası eğimi =  $34^\circ$ , Duvar yüzü eğimi =  $10^\circ$  (FHWA, 1998)

## 5. ZEMİN ANKRAJLARI

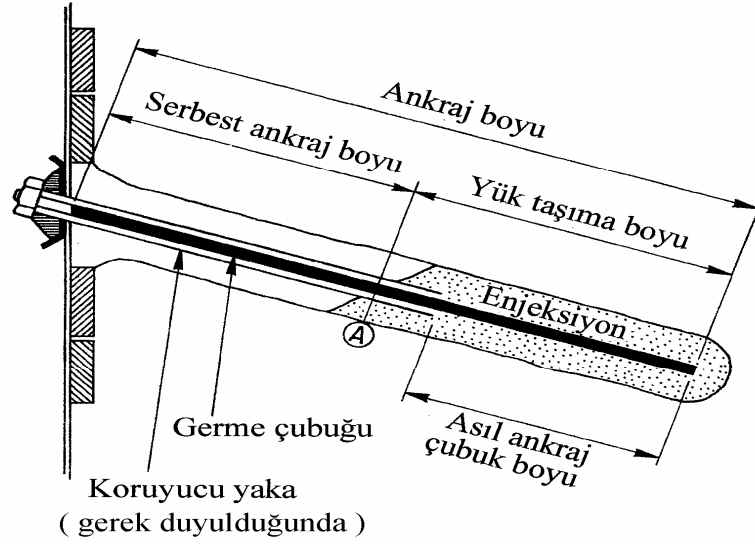
Ankrajlar derin kazıların güvenli açılması ve inşaat sırasında emniyetli olarak durması için, yüksek şev duvarlarının desteklenmesinde kullanılan destek elemanlarıdır. Ankraj, üzerine uygulanan gerilme kuvvetini elverişli zemine ileten yapısal bir parçadır. Ankraj pasif ve öngermeli olabilir. Pasif ankraj, kendi başına yük taşımaz. Zemin ilgili ankraj parçasına doğru oynadıkça, yük ankraja iletilir. Pasif ankrajın, maksimum yük taşıma gücüne ulaşabilmesi için büyük hareketlere gereksinim olabilir. Büyük hareketleri daha kabul edilebilir düzeye indirmek için zemin ankrajları, genellikle yapıya veya zemin yüzeyi levhasına veya bileşenlerine doğru çekilerek önceden gerilir. Öngermeli ankrajın, sabit ankrajdan daha dayanıklı olduğu gözlenmiştir.

Ankrajların kullanım amaçlarından bazıları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- a) Düşey yer değiştirmelerin önlenmesinde,
- b) Yapıların dönmeye karşı güvenceye alınmasında,
- c) Yapıların kritik yüzeyler boyunca kaymaya karşı emniyetinin sağlanmasında,
- d) Yeraltı yapılarının stabilitelerinin artırılmasında,
- e) Zeminin ön konsolidasyonunun sağlanmasında,
- f) Yapıların sismik duraylılığının artırılmasında ,
- g) Deney sahası dar olan yerlerde kazık yükleme deneylerinde öngerme sağlayan eleman olarak,
- h) Barajların yükseltilmesinde,
- i) Dalgakıran ve iskelelerde gemilerin iskele babalarına verdikleri yükün dağıtılmasında kullanılır.

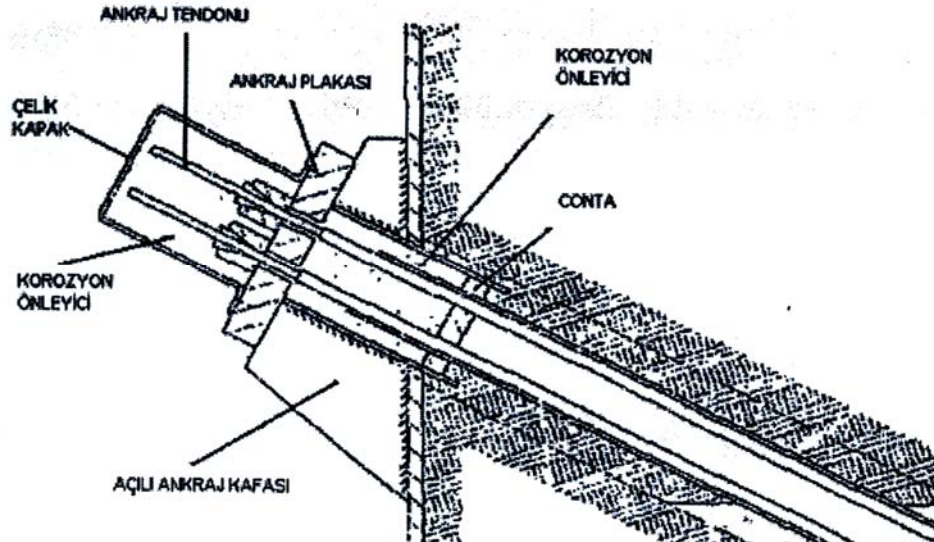
### 5.1 Ankrajların Kısımları

Zemin ankrajları uygulanan çekme yüklerini taşıyıcı zemine aktarırlar. Ankrajların ana elemanları, ankraj kafası, serbest boyu, tutulu ankraj (kök boyu) kısmından oluşur (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Tipik bir geçici ankraj

**1) Ankraj kafası :** Bu bölge öngerme kuvvetinin yüzeye yayılmasını temin eder. Öngermenin uygulandığı ve servis yüküne gerilen ankrajın kilitlenmesinin yapıldığı bölgedir. Esas olarak germe kafası, sıkıştırıcılar (kamalar), ankraj ve ankraj plakasından meydana gelir. Kontrol için açık olması gereken ankrajlarda bir de koruyucu kapak yapılması önerilir. Şekil 5.2’de tendonu örgü tel olan bir ankrajın kafa detayı görülmektedir.



Şekil 5.2 Ankraj kafası

**2) Serbest ankraj boyu :** Ankraj gövdesinin başlangıcı ile ankraj kafası arasındaki mesafedir. Germe işlemi sırasında öngerme çeliğinin engelsiz olarak uzayabileceği uzunluğa karşı gelmektedir (Şekil5.1). Serbest ankraj kısmının yapısı ankrajdan beklenen hizmete bağlıdır, bunlar:

- a) Ankrajın ömrü (geçici ya da kalıcı ankraj olması),
- b) Korozyon ve mekanik örselenmeye karşı ne düzeyde koruma gerektiği,
- c) Ankrajın aşamalı olarak gerilmesi zorunluluğu,
- d) Çekme kuvvetini her an ölçme olasılığı,
- e) Germe elemanlarının boşaltılması ve sonradan tekrar gerilmesi zorunluluğu,
- f) Zeminin olası enine yerdeğiştirmelerinin karşılanması olasılığıdır.

**3) Ankraj gövdesi :** Öngerme kuvvetini zemine aktaran kısımdır (Şekil 5.1). Çimento harcının yüksek basınç altında ankraj deliğine itilerek doldurulması ile kök bölgesi oluşturulur. Çeliğin ankraj gövdesi içine yerleştirilme şekli zeminin özelliklerine bağlıdır. Halatlar ya doğrusaldır ya da yer yer sıkılıp yer yer serbest bırakılarak bir dizi boğum meydana getirecek şekilde birbirine bağlanmıştır.

## 5.2 Ankrajların Sınıflandırılması

### 5.2.1 Kullanım Sürelerine Göre Ankrajların Sınıflandırılması

**a) Geçici ankrajlar:** Bu ankrajlar, genellikle bir projenin inşaatı sırasında kısa süreli olarak kuvvetlere karşı koyan ve böylece güvenli inşaat imkanı sağlayan ankrajlardır. Genellikle kullanım süreleri 2 yıldır. Servis ömrülerine göre 2'ye ayrılırlar.

1. Nolu geçici ankrajlar : Servis süreleri 6 aydan daha az ve göçmesi çok ciddi sorunlar yaratmayan, toplumun güvenliğini etkilemeyen (örn. kısa süreli kazık yükleme deneylerinde reaksiyon sistemi olarak kullanılan ) ankrajlardır.

2. Nolu geçici ankrajlar : Servis süreleri 2 yıl civarında olan, göçmesi sonucu oldukça ciddi sorunlar ortaya çıkabilen, uyarı olmaksızın toplum güvenliğini etkilemeyen (örn. iksa duvarlarının desteklenmesinde kullanılan ) ankrajlardır.

**b) Sürekli ankrajlar :** Sürekli yapıların ve kazı destekleme sistemlerinin servis ömrü boyunca güvenliğinin ve sabitliğinin sağlanması amacıyla yapılırlar.

**3. Nolu sürekli ankrajlar :** Korozyon riskinin yüksek olduğu ve/veya göçme durumunda çok ciddi sorunlar yaratan (örn. asma köprülerin ana gergilerinde kullanılan ya da su etkisi ile kalkan yapıların stabilitesinin sağlanması amaçlı ağırlık yapısının elemanları olarak kullanılan) ankrajlardır.

Çizelge 5.1. Zemin ankrajları için minimum güvenlik değerleri

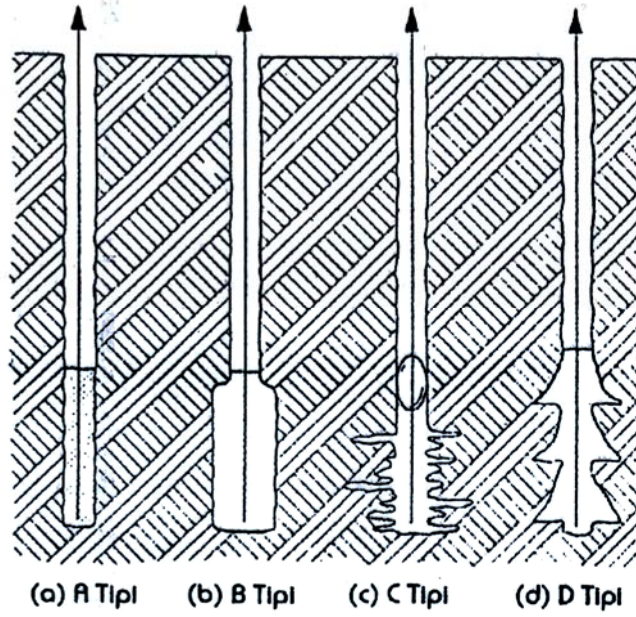
| Ankraj Sınıfı         | Minimum Güvenlik Faktörleri |                               |                                                        | Kontrol Yüğü Faktörü |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|
|                       | Tendon                      | Zemin / enjeksiyon Ara yüzeyi | Enjeksiyon / tendon ya da enjeksiyon/kapsülleme yüzeyi |                      |
| Geçici Ankrajlar (1)  | 1.40                        | 2.0                           | 2.0                                                    | 1.10                 |
| Geçici Ankrajlar (2)  | 1.60                        | 2.5*                          | 2.5*                                                   | 1.25                 |
| Sürekli Ankrajlar (3) | 2.00                        | 3.0 <sup>+</sup>              | 3.0 <sup>+</sup>                                       | 1.50                 |

Not: \* Eğer tüm araziye kapsayan deneyler yapılırsa bu değer minimum olarak 2.0 alınabilir.

<sup>+</sup> Bu değer zeminin limit sünme değerine ulaşması halinde 4.0' a kadar çıkar.

### 5.2.2 İmalat Teknikleri Dikkate Alınarak Ankrajların Sınıflandırılması

Verilen belirli bir zemin durumu altında bir ankrajın taşıma kapasitesi, geometrisi tarafından etkilenir. Bir ankrajın tasarımında, ankrajın kök kısmından çevresindeki zemine ilettiği gerilmeler, ankraja uygulanan imalat tekniği, enjeksiyon ve delme yöntemlerinden etkilenmektedir. Bu kriterler göz önünde bulundurularak ankrajlar 4 ana grup altında toplanabilir, (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Temel ankraj tipleri

**a) A Tipi Ankrajlar :** Zemin ile harç arasındaki kayma mukavemeti, kök kısmındaki sıyrılmaya karşı direnci oluşturur. Dayanım, deliğin stabilitesine bağlı olup, doğrusal ya da doğrusal olmayan düz şaftlı ankrajlardır. Çoğunlukla kayalarda ya da katı ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılır. Mukavemet, zemin-enjeksiyon yüzeyi arasında oluşan yüzey kayma gerilmelerine bağlıdır.

**b) B Tipi Ankrajlar :** Ankraj kök çapının zemin içinde minimum hasar yaratarak genişletilmesi sonrası çimento harcının  $< 1000 \text{ kN/m}^2$  değerlerindeki basınç altında boşluklara ve çatlaklara girmesi sağlanarak oluşturulan ankraj tipidir. İyi derecelenmiş kohezyonsuz zeminlerde kullanıldığı gibi, yumuşak çatlaklı kayalarda ve kaba alüvyonlarda da kullanılır. Kök çevresindeki zeminin, kohezyonsuz zeminlerde çimento sızdırmazlığından yararlanarak, basınç altında iyice sıkıştırılması ile geniş bir ankraj kökü oluştururlur. Dikkat edilmesi gereken, enjeksiyon basıncının her zaman toplam jeolojik yükten düşük olması gerektiğidir. Ankraj kök bölgesinde, kayma mukavemetinden dolayı direnç oluşur.

**c) C Tipi Ankrajlar :**  $2000 \text{ kN/m}^2$ 'den daha yüksek basınç altında çimento harcının zemin boşluklarına sızdırılması ile ankraj kökü genişletilir. Birinci enjeksiyonun sertleşmesinden sonra, çoğunlukla basınç, ikincil enjeksiyon sırasında uygulanır. İkinci enjeksiyon genellikle “manchette system” adı verilen özel bir tüp sistemi ile ya da ankraj kökü içinde çalışabilen minyatür enjeksiyon tüpleri kullanılarak yapılır. Kohezyonsuz zeminlerde, bazen de kohezyonlu zeminlerde başarılı bir şekilde kullanılır. Uniform bir kayma mukavemetinin

ankraj kökü boyunca varolduğu prensibine göre taşıma gücü hesaplanır.

**d) D Tipi Ankrajlar :** Mekanik aletlerle ya da patlayıcılarla oluşturulmuş bir dizi kökten oluşan ankrajın enjeksiyonunda “Tremie “ yöntemi uygulanır. Katı ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılan bu ankrajlarda, kayma mukavemeti ve uç mukavemeti sıyrılmaya karşı direnci oluşturur. Duvar stabilizasyonunun bazı şekillerinde D tipi ankrajların kullanılması çok yaygın bir uygulama olmamakla birlikte kohezyonsuz zeminlerde de kullanılabilir.

### 5.3 Zemin Ankrajlarının Tasarımı

Ankraj, kaya ve zemin içinde açılmış bir deliğe yerleştirilen korozyona karşı korunmalı ve yüksek mukavemetli özel çelikten yapılmış öngermeli bir halat veya halatlar demetidir. Ankraj karşı koyucu kuvvetleri zeminden alarak yapısal elemana (örn. betonarme veya fore kazık duvara) aktarır. Kısaca, ankraj, üzerine uygulanan gerilme kuvvetini elverişli zemine ileten yapısal bir parçadır. BS 8081-British Standart Code of Practice for Ground Anchorages (1989)’ e göre zemin ankrajlarının tasarımında aşağıdakiler dikkate alınır.

- 1) Toptan göçme tahkiki
- 2) Gömme derinliği
- 3) Grup etkisi
- 4) Ankraj kökünün boyutları

Temel Mühendisliği problemlerinde ankrajların kullanımının artmasıyla zemin ile ankraj arasındaki etkileşimin araştırılması önem kazanmıştır. Kaya ve zemin ankrajlarının nümerik olarak modellenmesi ile ankraj ve jeolojik ortam arasındaki davranışın hesaplanması mümkün olmaktadır.

Ankrajlar için çeşitli taşıma gücü bağıntıları geliştirilmiştir. Bu bağıntıların bir kısmı arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen ampririk formüller, bir kısmı ise analitik bağıntılardır. Ankrajların zemin içindeki davranışının analizi ise karmaşık bir zemin yapı etkileşimi problemidir. Zemin yapı etkileşimi üzerinde yapılan fiziksel ve nümerik model çalışmalarında, ankraj zemin ilişkisinde zeminin nonlineer davranış gösterdiği ve bu davranışın zeminin çeşitli özelliklerinden (başlangıç gerilme durumu, hacim değişimi, gerilme izi vb.) etkilendiği anlaşılmıştır.

### 5.3.1 Zemin Ankrajlarının Taşıma Güçleri ve Kök Boylarının Hesabı

Zemin ankrajlarının maksimum taşıma gücü hesaplarında, ankrajın çevre yüzeyi boyunca zeminin göçtüğü yük olarak kabul edilir. Bu nedenle göçme mekanizması incelenir ve stabilite analizinde bu mekanizmayı etkileyen kuvvetler dikkate alınır. Bir zemin ankrajının maksimum taşıma kapasitesini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir, fakat tasarım için kullanılan modellerle zemin-enjeksiyon ara yüzeyinin fiziksel durumu tam doğru olarak ifade edilemez. Ankrajın maksimum taşıma kapasitesini etkileyen faktörler şunlardır;

- 1) Ankraj kökünün şekli
- 2) Ankraj kökü civarındaki zeminin cinsi ve tabakalaşma durumu
- 3) Ankraj kökü üzerindeki jeolojik yük
- 4) Ankrajın boyutları
- 5) Enjeksiyon basıncı ve sayısı
- 6) Ankrajın gerilme - deformasyon bağıntısı

Ankrajın taşıma gücü hesapla da bulunabilir. Ancak taşıma gücünü etkileyen birçok parametre bulunduğu için, bulunan değer gerçekçi olması beklenemez. Taşıma gücünü en doğru şekilde ve kesin belirleme yöntemi doğrudan doğruya yerinde ankraj yükleme deneyleri yapılmasıdır.

#### 5.3.1.1 Kayada Ankraj Taşıma Gücü

A tipi ve D tipi ankrajlar kayalarda kullanılmaktadır. Buna karşılık tremie metodunun, ekonomikliği ve imalatının daha basit oluşu nedeni ile pratikte A tipi ankrajlar daha çok kullanılmaktadır. Düşük basınç altında enjeksiyonlama işlemi yapılan B tipi ankrajlar kaya-enjeksiyon aderansını sağlamak ve kaya-enjeksiyon temas yüzeyini arttırmak amacıyla zayıf ve çatlaklı kayalarda kullanılabilirler. Bağ sağlandığı zaman tasarım yönteminin güvenilirliğini kontrol etmek için arazide uygun kontrol deneyleri yapılmalıdır. D tipi ankrajlar ankraj kökünün çapını arttırmak için zayıf kayalarda kullanılabilir.

Kayada ankrajlarda tasarım uniform çevre sürtünmesi kabulü üzerine kurulmuştur. Böylece kök kısmının taşıma gücü

$$P_u = \pi \cdot d_s \cdot L_o \cdot \delta \quad (5.1)$$

bağıntısıyla verilir. Burada;

$L_o$  : Ankraj kökündeki enjeksiyon boyu

$d_s$  : Delinen shaft çapı

$\delta$  : Enjeksiyon – kayaç kesiti dayanımı

Çizelge 5.2 Bazı kayaçlar için tipik kök sıyrılma değerleri (NAVFAC, 1983)

| Kayaç tipi<br>(sağlam, bozulmamış) | Ankraj kökünde<br>son kayaç-enjeksiyon gerilmesi ( $\delta$ )<br>(kPa) |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Granit ve Bazalt                   | 1725-3100                                                              |
| Kireçtaşı                          | 2070-2760                                                              |
| Dolomitik Kireçtaşı                | 1380-2070                                                              |
| Yumuşak Kireçtaşı                  | 1035-1520                                                              |
| Kayrak ve sert Şeyl                | 830-1380                                                               |
| Yumuşak Şeyl                       | 205-830                                                                |
| Kumtaşı                            | 830-1035                                                               |
| Tebeşir                            | 205-1035                                                               |
| Marn (sert, gevşek, fissürlü)      | 170-250                                                                |

Çizelge 5.3 1m uzunluk için kökte son taşıma gücü (kN) (FHWA, 1998)

| Zemin Cinsi    |           | Son taşıma<br>gücü<br>kN | Zemin Cinsi                                                                                                            | Son taşıma<br>gücü<br>kN |
|----------------|-----------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Kum-<br>çakıl  | Gevşek    | 145                      | LL, PI, LI kısıtlamalarıyla (katı)<br>Silt-kil karışımları veya<br>İnce mikalı kum veya silt karışımları<br>(çok katı) | 30                       |
|                | Orta sıkı | 220                      |                                                                                                                        | 60                       |
|                | Sıkı      | 290                      |                                                                                                                        |                          |
| Kum            | Gevşek    | 100                      | Granit veya bazalt<br>Dolomitik kireçtaşı<br>Yumuşak kireçtaşı                                                         | 730                      |
|                | Orta sıkı | 145                      |                                                                                                                        | 580                      |
|                | Sıkı      | 190                      |                                                                                                                        | 440                      |
| Kum<br>ve silt | Gevşek    | 70                       | Kumtaşı<br>Sleyt ve sert şeyl<br>Yumuşak şeyl                                                                          | 440                      |
|                | Orta sıkı | 100                      |                                                                                                                        | 365                      |
|                | Sıkı      | 130                      |                                                                                                                        | 145                      |

### 5.3.1.2 Granüler Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü

Kohezyonsuz zeminlerde çoğunlukla B ye C tipi ankrajlar kullanılmaktadır.

**B Tipi Ankrajlar:** Ankrajın son yük taşıma gücü,

$$T_u = L \cdot n \cdot \text{tg}\phi \quad (5.2)$$

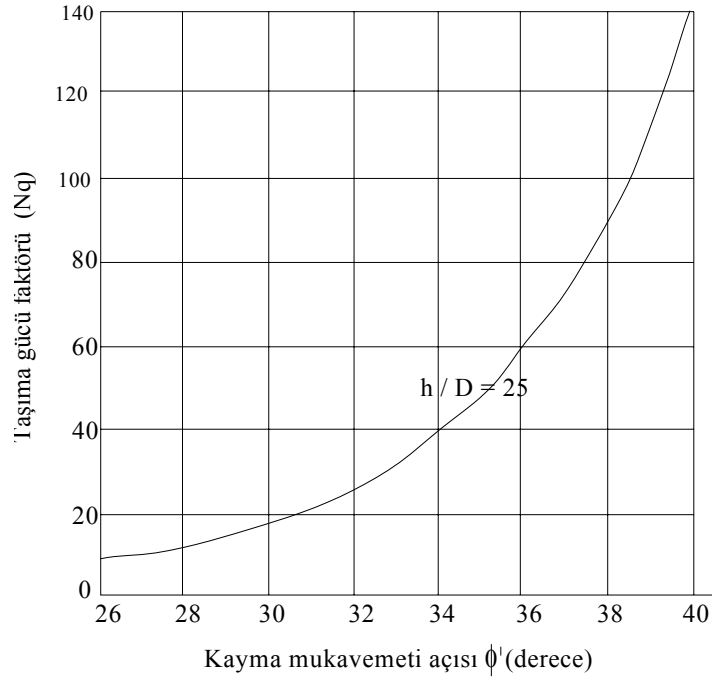
bağıntısından elde edilir.

n; delme tekniğine, ankraj çapına, enjeksiyon basıncına ( $30 \text{ kN/m}^2$ - $1000 \text{ kN/m}^2$ ), zeminin arazideki gerilmelerine, ankrajın yüzeyden olan derinliğine ve genişleyen kısmın karakteristiklerine bağlı bir katsayı olup kum ve çakıl zeminler (permeabilite katsayısı,  $k_w > 10^{-4} \text{ m/s}$  olan zeminler) için  $400$ -  $600 \text{ kN/m}$  arasında değişirken, ince kumlardan orta kumlara kadar (permeabilite katsayısı,  $k_w \leq 10^{-4} \text{ m/s}$  olan zeminler) n değeri  $130$  - $165 \text{ kN/m}$  arasında değişmektedir.

Yapılan kapsamlı deneysel çalışmalar sonucu, yük taşıma gücünün, göreceli sıklığa, zeminin dayanımına, sabit ankraj uzunluğuna ve biraz da olsa ankraj çapına bağlı olduğu görülmüştür. Bu da taşıma gücü denetiminde önemli etkenlerden birinin zemin kabarması olduğunu kanıtlamaktadır. Gevşek zeminlerde ankraj çevresinde bir genleşme meydana gelmediğinden sürtünme gerilmeleri daha düşük değerler almaktadır. Ankraj çevresinde meydana gelen giderek gelişen kemerlenme dolayısıyla, ankraj gövde boyunun belli bir değerden sonra artması ( $L > 6$ - $7\text{m}$ ), ankraj taşıma gücünü pratik olarak değiştirmemektedir. Ankraj çapı büyüdükçe, çevre alanı da büyüdüğünden, çap artışının taşıma gücüne etkisi değişik olabilmektedir. Genelde zeminin sıklığına ve dane dağılımına bağlı olarak  $D=10$ - $15 \text{ cm}$  arasında çapların ekonomik olduğu bilinmektedir. Ankraj yapım yönteminin taşıma gücünü bilinmeyen bir dereceye kadar etkilediği hiçbir zaman gözden kaçırılmamalıdır. Yani sonuç olarak, genel tasarım ölçütü özenle ve değişik ankraj yapım sistemlerinde edinilen deneyimle kullanılmalıdır. Gerekli olduğunda son taşıma gücünü garanti etmek için ankraj deneyleri uygulanmalıdır. Diğer bir bağıntı seçeneği de, ankraj taşıma gücü için, ankraj boyutlarına ve zemin özelliklerine bağlı olarak verilmiştir.

$$T_f = A \cdot \sigma'_v \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \text{tg}\phi + B \cdot \gamma \cdot h \cdot \pi (D^2 - d^2) / 4 \quad (5.3)$$

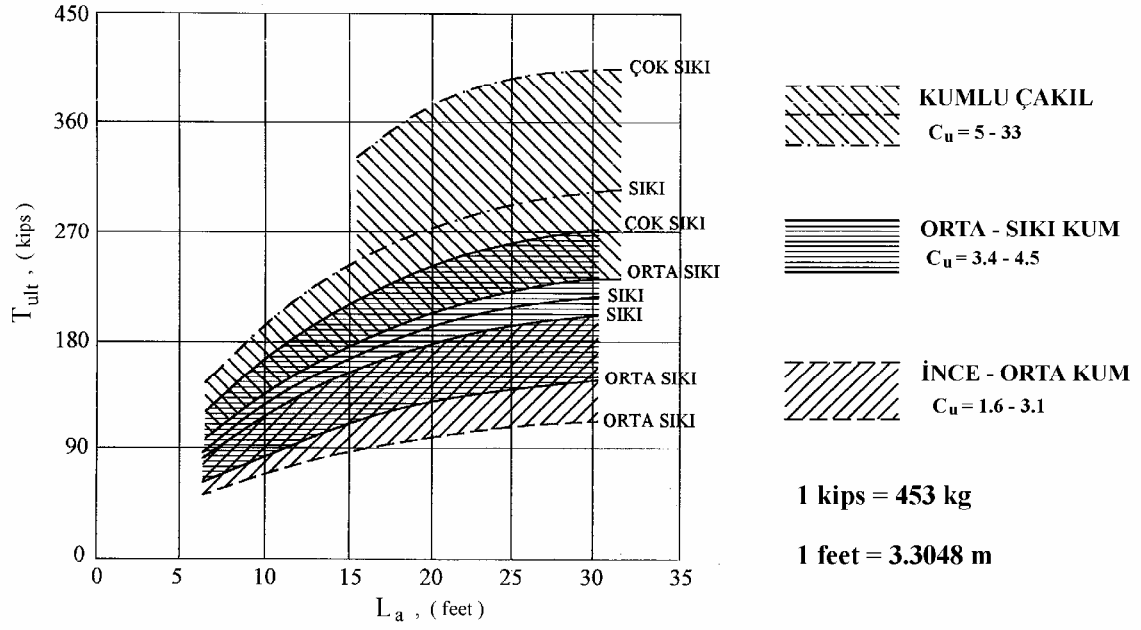
Bu bağıntıdaki birinci kısım, çevre sürtünmesini, ikinci kısım ise uç direncini temsil etmektedir.  $\sigma'_v$  jeolojik yükü ise  $\gamma \cdot (h + L/2)$  olarak alınmaktadır. B katsayısı  $N_q/1.4$ 'e eşittir ve Sekil 5.4' den alınabilir. (Clayton, Milititsky and Woods, 1993).



Şekil 5.4 Taşıma gücü kapasitesi faktörü ile efektif kayma mukavemeti açısı arasındaki ilişki

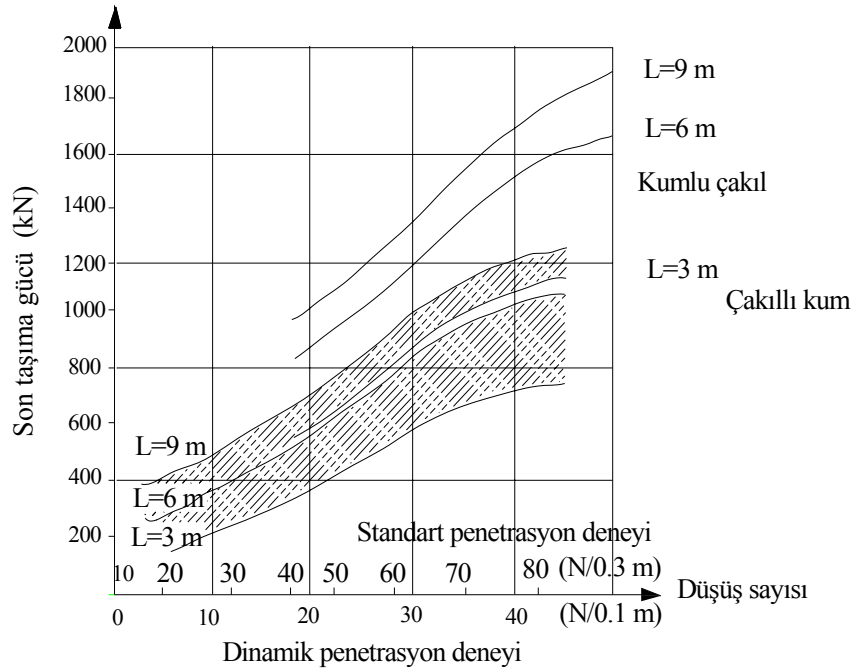
**C Tipi Ankrajlar:** C tipi ankrajların tasarımı, zeminlerin mekanik özelliklerinin kullanıldığı teorik ya da ampirik bağıntılardan yararlanarak yapılmaktan çok, belli bir zemin sınıfı aralığı için arazi deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak hazırlanmış tasarım eğrilerinin kullanılması temeline dayanır. Örneğin alüvyonlarda deney sonuçları 0.10-0.15 m çapındaki ankraj delikleri için, maksimum taşıma gücünün ankraj kökünün yapımında 1000 kN/m<sup>2</sup>'lik enjeksiyon basıncı kullanılması durumunda 90 kN/m-130 kN/m arasında, 2500 kN/m<sup>2</sup>'lik enjeksiyon basıncı için 190 kN/m-240 kN/m arasında değiştiğini göstermiştir.

Son yıllarda, C tipi ankrajlar için tasarım eğrilerinin kullanımı ankraj deneyleri için genişletilmiştir. Şekil 5.5 kumlu çakıllar ve çakıllı kumlar için maksimum taşıma gücünün yoğunluk, sıklık ve kök boyu ile değişimini göstermektedir.



Şekil 5.5 Kumlu çakıllar ve çakıllı kumlarda maksimum ankraj kapasitesi (NAVFAC, 1988)

Güvenli taşıma gücü, ankraj kök boyu ile SPT (Dinamik Penetrasyon Deneyi) sonuçları arasındaki ilişki Şekil 5.6'da görülebilir.



Şekil 5.6 Güvenli ankraj taşıma gücü, SPT (dinamik penetrasyon deneyi) arasındaki ilişki (Ostermayer ve Scheele, 1977)

**D Tipi Ankrajlar :** Eğer tutulu ankraj kısmında yükü alması için genişletmeler istenirse D tipi ankrajlar kullanılır ve bu ankrajların kohezyonsuz zeminler için kullanımında en önemli etken genişletilen kısım boyutlarıdır. Genişletmelerin sayısı önemlidir ve bu da yükün tutulu ankraj kısmında yer alan tendonlara iletilmesini etkiler.

### 5.3.1.3 Kohezyonlu Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü

Düşük enjeksiyon basıncının uygulanması ve belirli koşullar altında zemin delme işleminin yapılması ankraj yük taşıma gücüne yarar sağlar. Enjeksiyonun çatlak penetrasyonu, hidrolik çatlaklarının olmaması durumunda, çevre sürtünmesi değerleri için yarar sağlar, 0.45 değerini aşan adhezyon faktörleri mobilize olabilir, fakat bu kontrol deneyleriyle kontrol edilmelidir.

**A Tipi Ankrajlar:** Düz şaftlı olan, ve “Tremie” yöntemi ile enjeksiyonu yapılan A tipi ankrajlar için tasarım kuralları bu şekilde imal edilen fore kazıklarınki ile aynıdır ve drenajsız kayma mukavemetinin kullanımı temellerine dayalıdır.

Maksimum yük taşıma kapasitesi

$$T_f = \pi.D.L.\alpha .C_u \quad (5.4)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

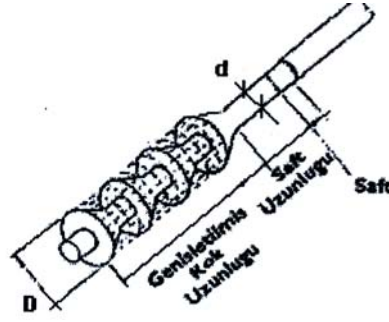
**C Tipi Ankrajlar:** Yüksek enjeksiyon basınçlarına izin verilebilen yerlerde uygulanırlar. Plastisitesi ortadan yükseğe kadar değişen katı killerde, yüzey sürtünmeleri ( $\tau_m$ ) olarak 30 kN/m<sup>2</sup> - 80 kN/m<sup>2</sup> okunan en düşük değerlerdir. Orta katı ve katıdan çok katıya kadar değişen kumlu siltli için en yüksek çevre sürtünmesi değeri ( $\tau_m > 400$  kN/m<sup>2</sup>) elde edilmiştir.

İkincil enjeksiyon uygulanması genellikle çok katı killerde çevre sürtünmesini % 25— % 50 arasında arttırır. Bununla birlikte daha da büyük artışların (120 kN/m<sup>2</sup>'den 300kN/m<sup>2</sup>'ye) yüksek plastisiteli orta katı killer için uygun olduğu iddia edilmektedir.

**D Tipi Ankrajlar:** Birden çok genişletilmiş kısımdan oluşan D tipi ankrajlar (Sekil 5.7) için maksimum yük taşıma kapasitesi,

$$T_f = \pi.D.L. c_u + \pi (D^2 - d^2) / 4.N_c. c_{ub} + \pi.d.l. c_a \quad (5.5)$$

bağıntısından hesaplanır. Bu bağıntıda ilk terim yüzey sürtünmesini, ikinci terim uç direncini, son terim de şaft direncini göstermektedir. (5.5) bağıntısındaki  $N_c$  taşıma gücü faktörü genellikle 9 olarak alınabilir.  $c_a$  ise 0.30-0.35 $c_u$  olarak alınabilir.



Şekil 5.7 D tipi ankraj

Arazide yapılmış deneme ankrajlarından elde edilen sonuçlar, bazı durumlarda (5.5) bağıntısının ilk ve ikinci terimlerine 0.75—0.95 arasında değişen amprik bir azaltma katsayısının kullanılmasının uygun olduğunu göstermiştir. Bazı özel durumlarda (örn. ankrajın kök kısmını çevreleyen kil boşluklar veya çatlakları dolduran kum içeriyorsa) azaltma katsayısı 0.5 değerine kadar düşebilir.

Kohezyonlu zeminlerde önemli bir konu da delme, genişletme ve enjeksiyon işlemlerinin süresidir. Bu süre zemin üzerinde suyun yumuşatma etkisinden etkilenmeyecek kadar kısa olmalıdır. Gecikmeler ankraj taşıma gücünün düşmesine ve büyük öngerme kayıplarına neden olmaktadır.

Genişletme için ideal zeminler drenajsız kayma mukavemeti  $c_u=50-90$  kPa olan zeminlerdir. Ayrıca plastisite indeksi ( $I_p$ )<20 olan düşük plastisiteli zeminlerde uygulanması çok zordur. Genişletmelerin aralığı ( $\delta_u$ ) ;

$$\delta_u < \frac{(D^2 - d^2)}{4D} \cdot N_c \quad (5.6)$$

bağıntısından hesaplanır.

### 5.3.2 Ankraj Kök Boyu ve Kökler Arası Etkileşim

#### Ankraj kök boyunun hesabı:

**a) Kayada Ankraj Kök Boyu :** Kök boyunun uzunluğu kaya bulonları hariç 3m'den az ve 10m'den çok olmamalıdır. Kök boyunca kayanın niteliğinde ani bir düşüş, ciddi miktarlarda yük taşıma gücünü düşürebilir. Çizelge 5.4'de çimento enjeksiyonlu kaya ankrajları için minimum kök uzunlukları verilmiştir.

Çizelge 5.4 Çimento enjeksiyonlu kaya ankrajları için kök boyları

| Kök Boyu            |            | Kaynak                                          |
|---------------------|------------|-------------------------------------------------|
| Minimum (m)         | Aralık (m) |                                                 |
| 3.0                 |            | İsviçre: Nordin (1966)                          |
| 3.0                 |            | İtalya : Berardi (1967)                         |
|                     | 4.0-6.5    | Kanada: Hanna&Seeton (1967)                     |
| 3.0                 | 3.0-10.0   | İngiltere : Littlejohn (1972)                   |
|                     | 3.0-10.0   | Fransa : Fenoux (1972)                          |
|                     | 3.0-8.0    | İtalya : Conti (1972)                           |
| 4.0 (çok sıkı kaya) |            | GüneyAfrika:Code of Practice (1972)             |
| 6.0 (sıkı kaya)     |            | GüneyAfrika : Code of Practice (1972)           |
| 5.0                 |            | Fransa: Brueau Securitas (1972)                 |
| 5.0                 |            | Amerika :White (1973)                           |
| 3.0                 | 3.0-6.0    | Almanya : Skocker (1973)                        |
| 3.0                 |            | İtalya : Mascardi (1973)                        |
| 3.0                 |            | İngiltere : Universal Anchorage Co.Ltd. (1972)  |
| 3.0                 |            | İngiltere : Ground Anchors Ltd. (1974)          |
| 3.5                 |            | İngiltere : Associated Tunneling Co.Ltd. (1973) |

**b) Kohezyonsuz Zeminlerde Ankraj Kök Boyu:** Kohezyonsuz zeminlerde yapılan ankrajlarda kök boyu 3m'den az, 10m'den fazla olmamalıdır.

**c) Kohezyonlu Zeminlerde Ankraj Kök Boyu:** Ankraj kök boyu 3m'den az ve 10m'den fazla olmamalıdır.

**Kökler Arası Etkileşim:** Ankraj kökleri arasındaki etkileşimi sınırlamak için, ankraj köklerinin merkezden merkeze olan uzaklıkları, D ankraj kökünün en büyük çapı olmak üzere 4D'den az olmamalıdır. Uygulamada, minimum aralık 1.5m ile 2.0m arasında değişmektedir.

Bir ankrajın kök kısmı ile komşu temel ya da yeraltı yapısı arasındaki uzaklık 3m'den az olmalıdır. Üstünde yüzeysel temel bulunması halinde ankraj kök kısmının derinliği 5m. ya da daha fazla olmalıdır.

**Serbest Ankraj Boyu :** Ankrajın serbest boyu aşağıdaki kriterlere göre hesaplanır:

**a)** Kökün duraylılık analizlerine göre bulunacak (dairesel veya düzlemsel) yüzeyin dışında olması sağlanmalıdır,

**b)** Kök, Rankine aktif yüzeyinden  $1/5 H$  kadar uzakta ve ona paralel bir yüzeyin dışında kalmalıdır,

c) Duvar yüzünden köke kadar ankrajın eğik serbest boyu en az 4.5m olmalıdır.

#### 5.4 Aderans

Betonarme ya da öngermeli beton alanında, aderans yardımı ile transferin nasıl mümkün olduğu ile ilgili olarak çok miktarda bilgi mevcutken, zemin ankrajları ile ilgili çalışma yapılması gerekli olmaktadır. Yerinde bir zemin ankrajının enjeksiyona aderansı sağlanmış tendonunun göçme modu, beton teknolojisinde kullanılan tendon çekme deneyindekiyle benzer değildir. Birinci durumda enjeksiyon sürekli çekmeye çalışır, oysa standart bir aderans deneyinde, en azından bir kısmında, tendonu çevreleyen beton basınç altındadır. Böylece zemin ankrajlarında, tendon ile enjeksiyon arasındaki yüzeyin aderans mekanizması çeliğin elastisite modülü ve enjeksiyona bağlıdır. Çimento enjeksiyonu-tendon arasında oluşan aderans için değerler çeşitli tendon malzemeleri için BS 8081 :1989'dan alınabilir. Çoğunlukla üç mekanizma olduğu kabul edilmiştir.

**1)Yapışma:** Bu kayma öncesi başlangıç aderansını sağlar ve esas olarak mikroskobik ölçüde girintili çıkıntılı çeliğin ve de onu çevreleyen enjeksiyonun fiziksel kenetlenmesinden (yani yapışmasından) oluşur. Çeliğin üstündeki mikro çentiklerin boyutları ile karşılaştırılabilecek boyutta kayma meydana geldiğinde yapışmanın gözden kaybolduğu kabul edilir.

**2)Sürtünme:** Sürtünme, basınç, çeliğin yüzeysel özellikleri ve ötelenmeye bağlıdır. Tendon geriliminin büyüklüğünden bağımsızdır. Yayılma ve çatlak hareketleri de, uzunlamasına gerilimin değiştiği yerde, radyal gerilmeler hareketlendikçe, sürtünme direncine katkıda bulunur.

**3)Mekanik Kenetlenme :** Bu mikro-mekanik kenetlenme ile aynıdır, fakat enjeksiyonun kesme kuvveti belli başlı kiriş düzensizliklerine, yani eğriliklere ve bükümlere doğru hareket ettikçe daha geniş çapta ortaya çıkar.

Kısa ankraj uzunlukları için yapışma unsuru en önemlisidir. Fakat daha fazla uzunluklar için her üç mekanizma da işlerlik kazanır. Başlangıçta serbest boyda meydana gelen ve ankraj kafasına doğru ilerleyen yapışma zarfı sürtünme ve/veya mekanik kenetlenme ile giderilecektir. Enjeksiyonun kayma dayanımı ve tendon malzemesinin özellikleri aderans özelliklerinin belirlenmesinde en önemli etkidir.

#### 5.4.1 Aderansı Etkileyen Faktörler

**Pasın Aderans Üzerindeki Etkisi:** Aderans özellikleri üzerinde çeliğin yüzey şartlarının etkisini araştırılmıştır. Araştırma sonuçları aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir:

- 1) 6—8 aylık açıkta bırakılmalarından sonra çubuklarda oluşan derin, pullu pas aderansı düşürür. Fakat gevşemiş olan pasların temizlenmesi, çubuğun paslanmamış durumu ile aynı, hatta daha iyi bir aderans geliştirilmesine elverişli bir yüzey kazanmasını sağlar.
- 2) Üç aylık açıkta bırakma sürecinden sonra oluşan hafif paslı çubuklar, passız veya pası temizlenmiş çubuklardan daha fazla aderans sağlarlar.
- 3) Açıkta bırakıldıklarının ilk birkaç haftasında çubuklarda beliren gevşek toz halindeki pasın çubukların aderans özellikleri üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

**Ankraj Deliğindeki Çelik Tendonun Konsantrasyonu:** Kaya bulonları için, tendon alanının, delik alanına oranı imalatçının benzer koşullarda önceki kullanımları ifade eden tavsiyelerine uygun olmalıdır. Kaplama kullanımı halinde halka şeklindeki boşluklar (çubuk ile delik arasındaki) kaplamanın bileşenlerinin etkili bir şekilde karıştırılmasına izin vermesi açısından önemlidir.

Tendonun enine kesit alanı, delik alanının birbirine paralel birden fazla elemandan oluşan tendonlarda %15'inden ve tek elemanlı tendonlarda ya da uygun düğümlenmiş birden fazla elemandan oluşan örgü tellerde %20'sinden fazla olamaz. Bunun amacı aderansın bozulmasını azaltmaktır.

**Tendon Aderans Uzunluğu:** Çimento veya reçine enjeksiyonu yapılmış zemin ankrajları için kaya bulonları hariç, aderansın uzunluğu tüm araziye kapsayan deneylerin sonuçlarına göre daha kısa bağ uzunluğunun onaylanması söz konusu olmadıkça aşağıdaki değerlerden az olmamalıdır:

- a) Tendon yerleştirilmiş ve yerinde enjeksiyonla bağlanmışsa 3.0 m.
- b) Tendon kontrollü şartlar altında enjeksiyonla bağlanmışsa 2.0 m.

Eğer uygun tendon aderans boyu konusunda şüpheye düşülürse, ankraj deneyleriyle kontrolü yapılmalıdır.

**Yüzey Koşullarının Aderansa Etkisi:** Aderansın mukavemeti çok büyük miktarda tendonun yüzey koşullarından etkilenir. Kısmen gevşek ya da yağlayıcı özellikleri olan malzemelerin

yüzeyde varlığı aderans mukavemetini etkiler. Tendonların yüzeyleri döküntü şeklindeki paslardan, zeminden, boyadan, yağdan, sabun ve diğer yağlayıcı maddelerden arındırılmalıdır. Eğer tendonlar koruyucu yağlar ile kaplanmışlarsa, bunlar buhar ya da özel olarak geliştirilmiş kimyasal çözücüler kullanılarak yüzeyden çıkarılmalıdır.

## 5.5 Malzemeler ve Bileşenleri

### 5.5.1 Enjeksiyon Malzemeleri

**1) Çimentolu Enjeksiyonlar:** Zemin ankrajlarının imalatında Standart Portland çimentosunun yanında özel katkı maddeleriyle hazırlanmış, örn. yüksek fırın cürufu, düşük ısı, sülfata dayanıklı vb. çimentolar da kullanılır. Yüksek alüminli çimentoların kullanımı, servis ömrü 6 ayı geçmeyen geçici ankrajlarda ve zemin taşıma gücünün test edilmesi için kullanılan ankrajlarda kısıtlanmalıdır. Sülfat miktarı %4'ü geçmemelidir. Klorit limiti %0.1'i geçmemelidir. Çimento enjeksiyonunda ağır dolgu malzemelerine (kum ve kireçtaşı tozları) izin verilebilir. Su çeliğe ve çimento enjeksiyonuna zarar verecek maddeler içermemelidir.

**2) Reçineli Enjeksiyonlar:** Epoksi ve polyester reçineler kaplamalarda kaya bulonları için ya da ankraj kökünün korunması için kullanılırlar. Reçineler özel olarak ve imalatçının söz konusu ankraj uygulaması için tavsiyelerine göre yapılır. Epoksiler ve polyester reçinelerin testler ve uygulamadan edinilen tecrübelerden yararlanarak istenen özellikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Kaplamalarda enjeksiyon dolgu malzemeleri %100'ü 200µm.'lik elekten geçen malzeme olmalıdır. Çok az rastlanan bir durum olan deliğin reçine ile enjeksiyonu durumunda dane çapı 1mm'ye çıkartılabilir.

### 5.5.2 Tendonlar

#### 5.5.2.1 Tendon Malzemeleri

**1) Çubuklar:** Ankraj çubuklarının mekanik özellikleri teller gibidir. Oldukça kısa, düşük ve orta kapasiteli ankrajlarda çubukların tendon olarak kullanılması söz konusu olabilir. 2m'den daha uzun olması halinde yüksek kaliteli çelikten öngermeli çubuklar kullanılır.

**2) Teller:** Öngermeli tel, soğuk çekme düz karbon çeliğinden imal edilir ve yağ ile sertleştirilmiş ve tavllanmış veya sadece yağ ile sertleştirilmiş çelikleri de vardır. Nihai çekme

mukavemeti tel çapı ile ters orantılıdır. Telin veya küçük çaplı örgü telin elastisite modülü için tipik değerin  $20000 \text{ N/mm}^2$  olduğu İngiliz şartnamelerinde belirtilmektedir. Ankrajlar için en yaygın seçim,  $84000 \text{ N/mm}^2$  elastisite modülü ve 1000 saate %6.8 gevşemeli 5 mm teldir ( $1670 \text{ N/mm}^2$ ). Tel tendonlar örgü tel ankrajların emin olunamayan burkulma ve eğilme problemlerini ortadan kaldırdıkları için tavsiye edilmektedir.

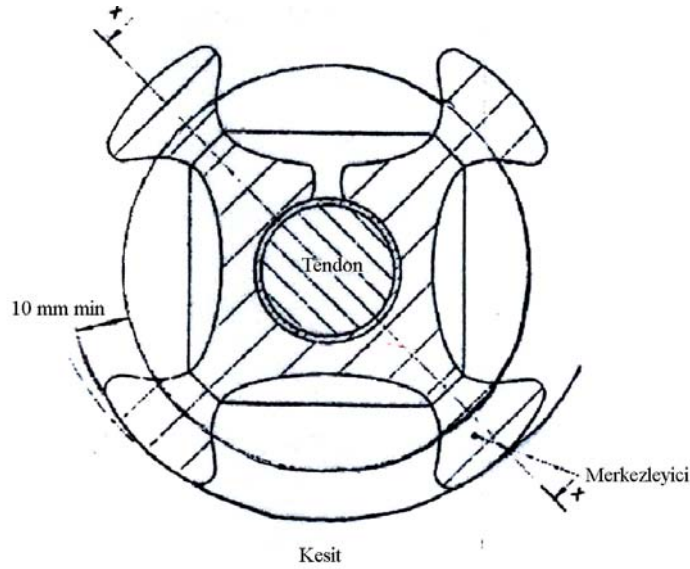
**3) Örgü Tel:** Daha büyük öngerme kuvvetleri uygulamak amacıyla belli bir sayıda telin bir araya getirilip bükülmesinden elde edilen örgü teller hem bükülebilme özelliğine sahiptir hem de tellerin mekanik özelliklerinden tam olarak yararlanmayı sağlar. Örgü teller genellikle soğuk çekme düz karbon çeliğinden yapılmış olup bugüne kadar en yaygın örgü tel 7 tel ile yapılandır. Çizelge 5.5’de öngermeli tendon malzemeleri için tipik boyutlar ve karakteristik dayanımlar verilmiştir.

Çizelge 5.5 Öngermeli tendon malzemeleri için tipik boyutlar ve karakteristik dayanımlar

| Çelik cinsi                | Çap (mm) | Spesifik Dayanım (kN) | Alan (mm <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|----------|-----------------------|-------------------------|
| Alaşımsız çelik            |          |                       |                         |
| Tel                        | 7.0      | 60.4                  | 38.5                    |
| 7 telli örgü tel           | 12.9     | 186                   | 100                     |
|                            | 15.2     | 232                   | 139                     |
|                            | 15.7     | 265                   | 150                     |
| 7 telli süper tendon       | 12.7     | 209                   | 112                     |
|                            | 15.2     | 300                   | 165                     |
|                            | 18.0     | 380                   | 223                     |
| Düşük Alaşımlı Çelik Çubuk |          |                       |                         |
| 1030/835                   | 26.5     | 568                   | 552                     |
|                            | 32       | 830                   | 804                     |
|                            | 36       | 1048                  | 1018                    |
|                            | 40       | 1300                  | 1257                    |
| 1230/1080                  | 25       | 600                   | 491                     |
|                            | 32       | 990                   | 804                     |
|                            | 36       | 1252                  | 1018                    |
| Paslanmaz Çelik            |          |                       |                         |
| Tel                        | 7        | 44.3                  | 38.5                    |
| Çubuk                      | 25       | 491                   | 491                     |
|                            | 32       | 804                   | 804                     |
|                            | 40       | 1257                  | 1257                    |

### 5.5.2.2 Tendon Merkezleyiciler ve Aralayıcılar

Tendonlarda, tendonun merkezde olmasını sağlar (Şekil 5.8).



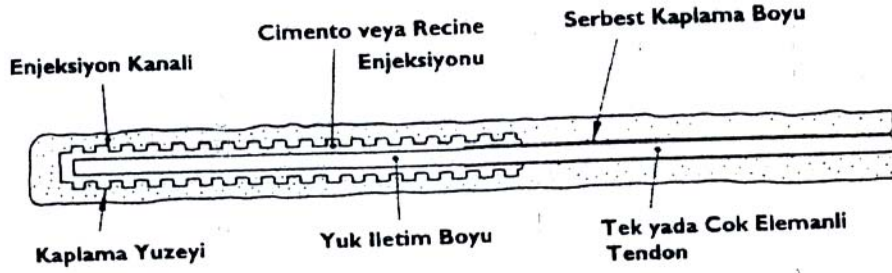
Şekil 5.8 Merkezleyiciler

Birden fazla sayıda telden oluşan tendon sistemlerinde tutulu ankraj boyunca tendonun her bir elemanının birbirinden ayrık durmasını sağlar ve böylece gerekli penetrasyon boyu sağlanacağından uygun aderans boyu oluşturulabilecektir.

Aralayıcılar tendonların hem serbest hem de sabit bölümlerinde kullanılır. Serbest boyda tendonu sondaj deliği içinde merkezlerler. Temel işlevleri tek tek çubukların, tellerin ve örgü tellerin sürtüşmesini ve dolaşmasını önlemektir. Bu özellikle uzun, esnek tendonlarda önemlidir. Tendon eğer tasarım geometrisini kaybederse, gerilme sırasında yük sürtünme ile serbest uzunlukta dağılabilir. Ayrıca, yüksek gerilmeler, özellikle elemanların sıyrılmalarının kolaylıkla meydana gelebileceği üst ankraj kafasının hemen altında gelişebilir. Ankrajın bu kısmında aralıklar delik göbekli olup aralarındaki mesafe 4-8 mm'dir.

### 5.5.2.3 Oluklu Kaplamalar

Oluklu kaplamalar, genellikle tek ya da çok elemanlı tendonlar için kullanılmaktadır ve tendonun aderans uzunluğunun korozyona karşı korunmasını sağlar. Sistem deliğinin içindeki ankraj kökünün enjeksiyonuna yükün iletilmesini kapsül elemanının yüzeyindeki girintili çıkıntılı kanallar ile sağlar. Bu yükün iletimi içerdiği çeşitli malzemelerin (örn. çelik, enjeksiyon malzemesi ve plastikler) farklı mühendislik özelliklerinden dolayı oldukça karmaşıktır. Sistemin yük altında korozyon korumasını sağlayıp sağlamadığı ankraj kontrol deneyleri ile tespit edilmelidir. Yük transfer mekanizması tipik bir oluklu kaplama sistemi için Şekil 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.9 Oluklu kaplamalarda yük transfer mekanizması

**Maksimum aderans gerilmesi;** enjeksiyon-kaplama yüzeyi üzerinde uniform kabul edilir. Bu değer çimento enjeksiyonu için  $3000 \text{ kN/m}^2$ 'dir. Maksimum aderans gerilmesinde kaplama yüzeyindeki kanalların, yüksekliği, şekli ve genişliği önemlidir .

**Kaplama boyu;** düz şaftlı ankraj kökü için 2.0 m'den kısa olamaz. Killi zeminlerde kullanılan ankrajlardaki genişletmelerin olduğu yerlerde, kapsülleme boyu üst genişletme ile enjeksiyon şaftının ezilme riskinden kaçınılacak boyutlarda olmalıdır.

Kaplama içindeki çeliğin konsantrasyonu; kapsül içindeki çeliğin enkesit alanı, ankraj deliği içindeki çeliğin kabul edilebilir kesit alanından daha büyük olmamalıdır.

## 5.6 Korozyon ve Karşı Korunum

Korozyon, ankrajın bir elemanı olan çelik çubuğun çeşitli dış etkilerden etkilenmesi sonucu ortaya çıkan ve taşıma kapasitesini azaltan bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Korozyona yol açan reaksiyonlar çelik veya çimento şerbetindeki homojen olmayan veya saflığı bozan maddelerin sonucu olarak veya çözeltide klorürlerin ya da diğer tuzların varlığı ile başlar. Yukarıda bahsedilen ve korozyona neden olan reaksiyonlar aşağıdaki gibi azaltılabilir:

- 1)Çimento şerbetinde 9-12'lik bir pH ortamı yaratarak (klorür, sülfat, sülfid ve karbonat iyonlarının hepsi, elektrolitik reaksiyona katkıda bulunarak çimento şerbetinin pH değerini düşürme eğilimindedirler, bunlardan kaçınılmalıdır),
- 2)Çelik yüzeyi ile temas eden klorürler, sülfidler, sülfatlar gibi zararlı iyonlardan kaçınarak,
- 3) Gerilim altında aşınma eğilimi düşük olan çelikleri seçerek ve çimento şerbetlerinden SH, CN,  $\text{NO}_3$  gibi hidrojenin geçişini kolaylaştıran anyonları elimine ederek,
- 4)Mümkün olduğu kadar su dolaşımı engellenmelidir. Çeliğin öngerilmesi de korozyonu

şiddetlendirmektedir. Bu korozyon, normal korozyona göre 3 nedenle daha şiddetlidir:

- a) Germe ve bırakma, eğer tekrarlanırsa; oksit. zarları durmaksızın harap eder,
- b) Öngermeli çelik yapı itibari ile normal çeliğe göre korozyona daha yatkındır,
- c) Germe mikro-çatlakların gelişimini kolaylaştırır.

Çimento şerbetinin yanı sıra zemin suyundaki bazı iyonların da korozyona sebep olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca kullanılan katkı maddelerinin de korozyona sebep olduğu bu yüzden de kalsiyum klorürlü katkıların birçok ülke standartında yasaklandığı görülmektedir.

Korozyona karşı koruma montajdan önce ve montajdan sonra koruma olarak ikiye ayrılır. Montaj öncesi koruma, teçhizat deliğe yerleştirilmeden önce, montaj sonrası koruma ise tendonun montajından sonraki korumayı içerir. İlki için koruma sistemlerinden şu anda en yaygın kullanılanı kılıftır. PVC kaplama veya suya dayanıklı yağlı bant (buglin), kaya ankrajları için hemen hemen standart bir koruma yöntemi olmuştur. Yağlı bandın kullanımı kolaydır ve %50 üst üste getirmek şeklinde uygulanmaktadır. Germe sırasında oluşan tendon genişlemesinin büyük sürtünme kayıpları olmaksızın gerçekleşebilmesi veya tendonun tahrip olmaması kaplama esnek olmalıdır. Kaplama ile ilgili olarak PVC veya polipropilen kılıflar artık araziye çelik tellerin veya halatların üzerine takılmış vaziyette getirilebilmektedir. İkinci koruma sistemleri de çok çeşitlidir ve germe sonrası serbest uzunluğu kaplama esasına dayanırlar. Kullanılan maddeler, yağlar ve kireçli sular gibi sıvılardan bitümlere ve çimentoya kadar gider.

## 5.7 Ankrajların Öngerilmesi

Öngermenin amacı, ankrajın serbest tendon bölgesinde germe aletleri vasıtasıyla elastik gerilme oluşturmaktır. Böylece ankraj yapısına önceden bilinen bir kuvvet uygulanır. Öngerme sayesinde ankrajın denenmesi yapılmış olur. Şayet varsa tasarım ve imalat sırasında oluşan hatalar ortaya çıkar. Servis yükü, ankrajın servis süresi boyunca dayanacağı yüküdür ve statik hesaplarla bulunur. Servis yükü, ankrajın nihai yük durumuna ulaşmaması için bazı emniyet sınırları içerir. Emniyet sınırı değeri ise ankraj arazi deneyleri sonuçlarından bulunur.

Çizelge 5.6'da ankraj çubuğunda emniyet katsayıları aralıkları verilmiştir.

Çizelge 5.6 Ankraj çubuğunda emniyet katsayıları

| Dikkate Alınacak Mukavemet        | Güvenlik Sayısı |
|-----------------------------------|-----------------|
| Ankraj çubuğunun nihai mukavemeti | 1.65-2.00       |
| Ankraj çubuğunun akma mukavemeti  | 1.33-1.65       |
| Ankraj kökünün nihai mukavemeti   | 1.60-1.70       |

Test yükü ise tüm ankraj yapısının, seçilen emniyet faktörlerinin kontrolü ve servis yükünün sürekli olarak zemine iletilip ileilmeyeceğinin denenmesi amacıyla kullanılır. Maksimum test yükü ise ankrajın sıyrılması için gereken yük olarak tanımlanır.

### 5.7.1 Öngerme Teknikleri

Öngerme tekniği hem kullanılan ankraj kafasının şekline, hem de germe kuvvetinin büyüklüğüne bağlıdır. Ankraj kafa kısımları civata şeklinde imal edilen kabloların öngerme işlemleri hidrolik krikolar vasıtasıyla yapılır. Hidrolik krikonun ortasından geçen civata içeride veya arka uçta bulunan bir somunla alete birleştirilir. Öngerme işlemi bitirildikten sonra ankraj kafası bir somun vasıtasıyla ankraj yapısına birleştirilir.

Ancak ankrajların çoğunluğu (tellerden ve halatlardan oluşan) kilitlemeli (sıkıştırmalı) kafa yapısına sahip olduklarından özel öngerme krikolarıyla gerilirler. Hidrolik krikoların, halat veya tellerin gövdelerine tutturuluş şekline bağlı olarak çeşitleri vardır. Öngerme işlemleri şu şekilde yapılır:

- 1)Tendonun herbir halatı, ankraj kafası ve taşıma plakası temizlenir.
- 2)Ankraj kafasının üstündeki deliklerden halatlar geçirilir ve ankraj kafası taşıma (yük dağıtma) plakasına sürülür. Daha sonra kavrama konileri halatların üstüne geçirilir ankraj kafasındaki deliklere yerleştirilirler.
- 3)Hidrolik kriko ve kriko üzerindeki germe başlığı kirişe birleştirilir. Yüksek basınçlı yağ pompası hidrolik krikoya bağlanır. Öngerme işlemine başlanır.
- 4) Kriko pistonun ilk hareketi ile kiriş germe başlığına iyice sıkıştırılır. Bu sırada serbest kalan ankraj kafası ve koniler krikonun ön ucundaki desteklere tutulur.
- 5) Krikonun basıncı gittikçe arttırılarak gerekli maksimum kuvvete ulaşır. Gerekli öngerme kuvveti bulunurken ankrajın kafasına oturması ve sıkışması sırasındaki kayıplar gözönüne alınmalıdır. Böylece servis yükü önceden tesbit edilen bir katsayıyla çarpılarak krikonun uygulaması gereken kuvvet hesaplanır. Germe işleminin her safhasında basınç ve

deformasyon okumaları alınmalıdır.

6) Belirlenen yüke gelindiğinde krikonun basıncı serbest bırakılarak halatların kendi kendine ankraj kafasına yerleşmesi sağlanır.

### 5.8 Ankrajlarda Yük Transferi

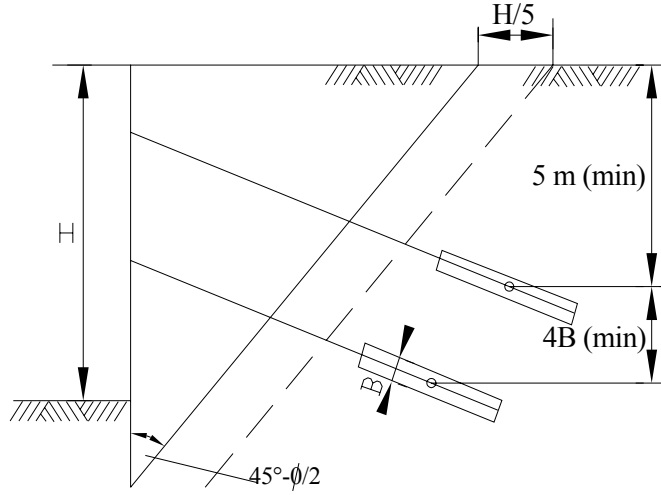
Bir ankraj, aşağıda belirtilen nedenlerden biri veya birkaçı yüzünden göçebilir.

- i) enjeksiyon / tendon göçmesi ile,
- ii) zemin / enjeksiyon göçmesi ile,
- iii) zemindeki toptan göçme ile,
- iv) tendonun kopmasıyla,
- v) tendon etrafındaki enjeksiyon kolonunun, ezilmesi veya kırılmasıyla,
- vi) bir ankraj kümesinin göçmesiyle.

Belirlenmiş bir ankrajlı sistemin güvenli olarak yükü taşıyıp taşıyamayacağını saptamak için bu etkenlerin her birini birbirleriyle bağlantılı olarak sorgulamak ve yükün yapım yöntemindeki değişikliklerden nasıl etkilenebileceğini kavramak gereklidir (Hanna, 1983).

### 5.9 Genel Stabilité

Ankrajlı sistemde duvar boyutları, serbest ankraj uzunluğu, ankraj kökü genel stabiliteyi sağlayacak şekilde belirlenmelidir. Stabilité hesapları bu parametreler belirlendikten sonra yapılmalıdır. Duvar ile birlikte zeminin dengede olabilmesi için ankraj kökünün ya sağlam bir tabakaya ya da zemin kayma kamasının dışına yerleştirilmesi gerekmektedir. Genellikle Coulomb kayma yüzeyi tercih edilmektedir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi perde ucundan  $45+\phi/2$  kadar bir açı yapan düzlemle temsil edilmektedir. Güvenlik açısından ankraj kökünün bu yüzeyden duvar yüksekliğinin beşte biri mesafede olacak şekilde yerleştirilmesi önerilmektedir.

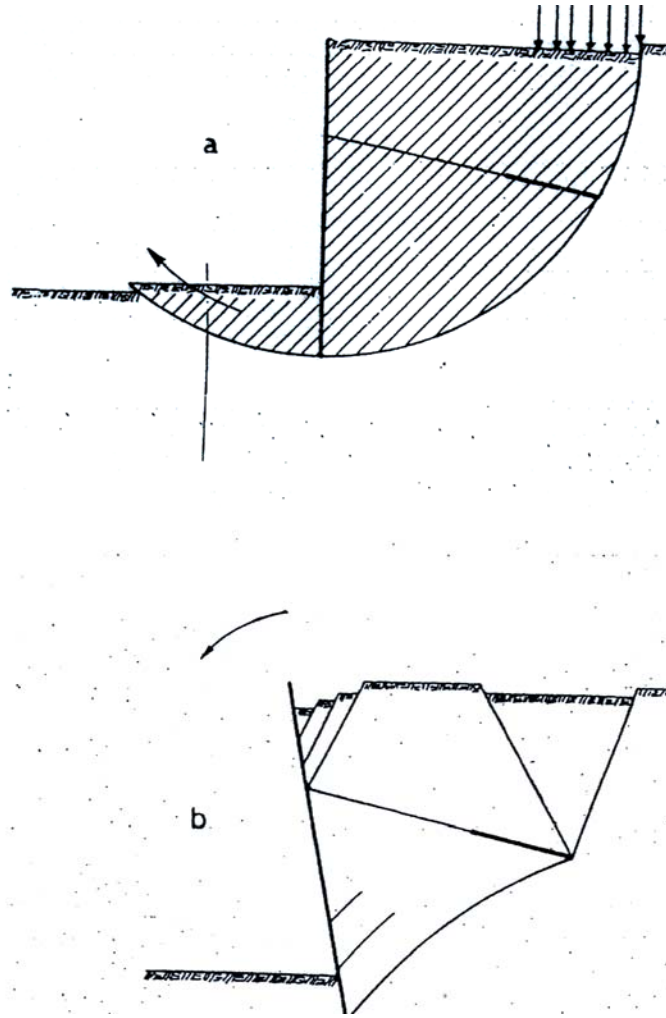


Şekil 5.10 Ankrajlı perdelerde kabul edilen kayma kaması

Ankrajlı sistemde, perde ile ankrajın dengesinin sağlanamadığı durumda göçme iki şekilde meydana gelebilir (İncecik, 1977). Bunlar;

- i) Bir kayma yüzeyi boyunca sistemin kayması (Şekil 5.11a),
- ii) Ankraj uçlarından perde ucuna doğru bir kayma düzlemi meydana gelmesi ve ankrajların boşalması sonucu perdenin devrilmesi şeklindedir (Şekil 5.11b).

Birinci tip göçme durumu için stabilite tahkiki dairesel veya logaritmik spiral bir kayma yüzeyi olduğu kabulüne göre yapılmaktadır. İkinci tip göçme durumunda, ankraj ucundan perde ayağına doğru kayma düzlemlerinin varlığı kabul edilmekte ve zeminin kayma muavemeti aşıldığı takdirde göçme meydana gelmektedir. Bu tahkik ankraj boylarının kontrolünde önemlidir.



Şekil 5.11 Ankrajlı yapılarda göçme çeşitleri a) Sistemin silindirik kayma dairesi boyunca göçmesi (Toptan göçme) b) Derin kayma düzelmünde zemin göçmesi (İncecik, 1977)

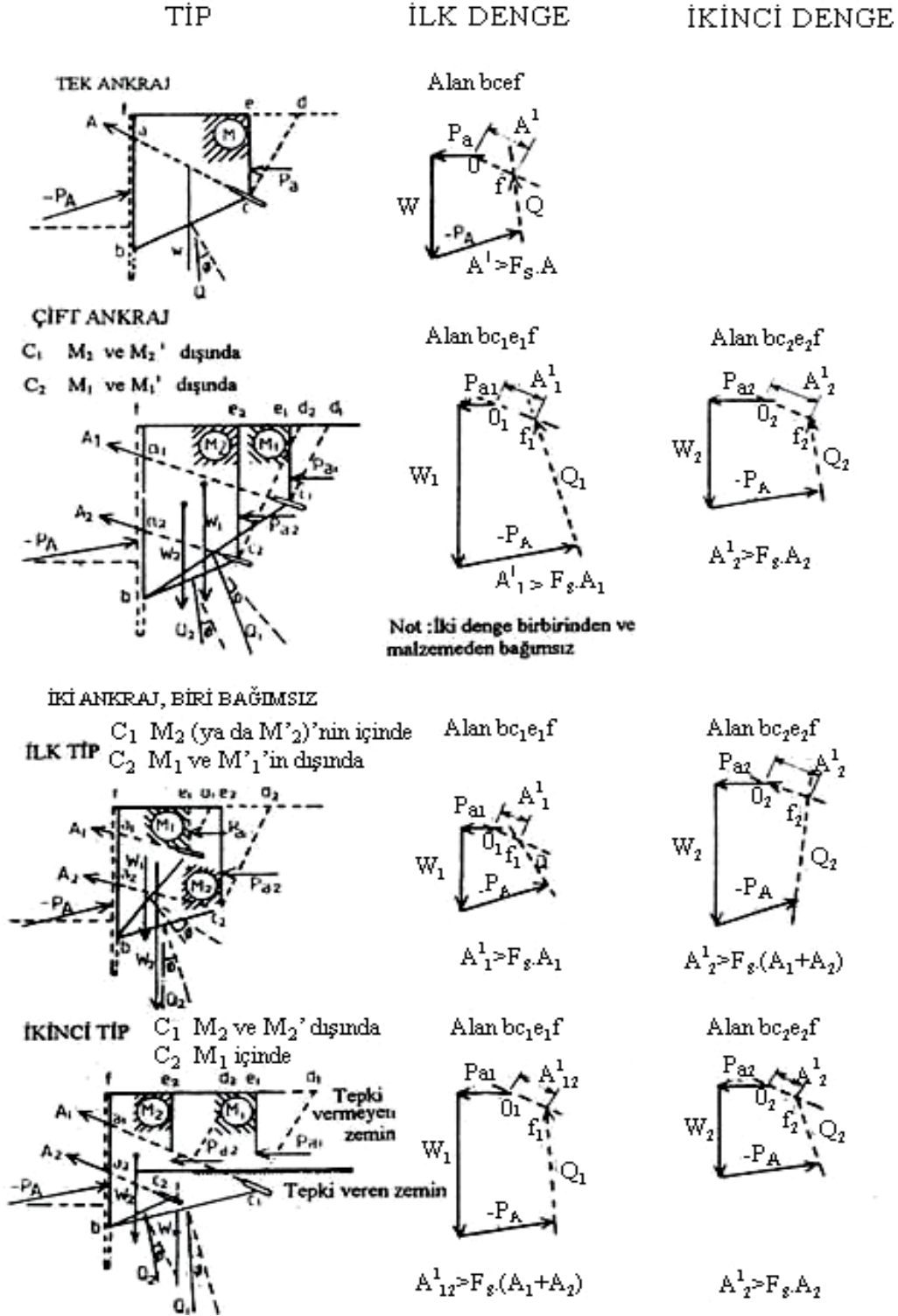
### 5.9.1 Derin Kayma Tahkiki

Ankrajlı bir perdenin derin kayma tahkikini yaparken genellikle Kranz tarafından tek ankrajlı sistemler için geliştirilen yöntemi esas alan çok ankrajlı hesap yöntemleri kullanılmaktadır.

Ankraj kökünün merkezinden geçen fiktif bir plak gözönüne alınmaktadır (Şekil 5.12).



no'lu ankrajının etkisi yok, ancak 2 yüzeyinde 1 no'lu ankraj kuvveti bloğa uygulanan bir dış kuvvet gibidir. (d) de ise 1 yüzeyinde 2 no'lu ankraj kuvveti etkili, 2 yüzeyinde 1 no'lu ankraj kuvveti etkisizdir.



Şekil 5.13 Birden fazla ankraj için genel stabilite analizleri (Bureau Securitas, 1972)

## 5.10 Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlarla Desteklenen İksa Sistemleri ve Tasarım Yöntemleri

İksa sistemleri derin kazı gerektiren inşaatlarda açılacak kazı çukurunun cidarların desteklenmesi için inşa edilirler. İksa yapılarının projelendirilmesi detaylı bir geoteknik araştırma, ekonomik ve güvenli bir destekleme sisteminin seçilmesini ve özellikle kent içi bölgelerdeki uygulamalar açısından iyi bir süre organizasyonunu gerektirir. Bu bakımlardan iksa sisteminin projelendirmesinden önce, aşama aşama birbirini takip eden bir dizi araştırmanın yapılması gerekmektedir. Aşağıda bir destekleme sisteminin projelendirmesinden önce yapılması gereken araştırmalar genel olarak açıklanmıştır.

### 5.10.1 Bir Destekleme Yapısının Projelendirilmesi ve İnşaata İçin Yapılması Gereken Çalışmalar

Bir destekleme yapısının projelendirilmesi ve inşaatı için gereken çalışmalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

#### 1) Ön çalışmalar:

- **İnşaat ve kazının geometrik gereksinimlerinin belirlenmesi:** İnşaatin ve kazının geometrik gereksinimleri projeye göre belirlenmelidir.
- **Geoteknik İnceleme:** İksa sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi geoteknik şartların iyi bilinmesi ile mümkündür. Önce ayrıntılı geoteknik etüdler yapılmalı, çevre binalarının inşaata göre konumu incelenmeli ve zeminin incelenmesi sonucu elde edilen parametreler gözönünde bulundurularak doğru hesap verileri ve yöntemleri ile çalışılmalıdır.
- **Sondajlama ile kazı sahasındaki zeminin bir geoteknik araştırmaya tabi tutulması:**Yapılacak sondajların uygun aralıklarla seçilmesi ve kazı seviyesinin yeteri kadar altına inilmesi gerekir. Kazı yapılacak alandaki zeminin özelliklerine ait daha önceden derlenmiş bilgiler mevcut değilse sondaj aralıklarının 20m'den fazla olmaması tavsiye edilmektedir. Ankrajlı destekleme sistemi uygulanması halinde ankraj köklerinin gelmesinin muhtemel olduğu bölgelerde eğer komşu yapılar mevcutsa eğimli, mevcut değilse düşey sondajlar yapılarak zeminin profili ve özellikleri belirlenmelidir.
- **Arazi ve laboratuvar deneyleri ile tabakalara ait geoteknik parametrelerin yeterli ve güvenilir olarak belirlenmesi:** Zemin profilinde rastlanan tabakalara ait geoteknik parametreler arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmeli, eğer mümkünse ankraj köklerinin

tespit edileceği yerlerde sürekli örselenmemiş numuneler alınmalıdır. Zemin kaya ise karot çapı 5 mm'den küçük olmamalı, maksimum TCR ve RQD değerleri verecek cinsten karotiyer seçilmelidir.

•**Yeraltı suyu durumunun incelenmesi:** Kazı alanında varsa yeraltı suyunun seviyesi ve özellikleri, beton için zararlı maddeler içerip içermediği araştırılmalı, inşaa süresince su pompajla çekilecekse debisi ve su taşıyan tabakalardaki basınçları belirlenmelidir.

•**Çevre yapılarının ve şehir şebekelerinin inşaaata göre konumunun ayrıntılı bir raporunun hazırlanması :** Çevre yapıların oturma toleransı, taşıyıcı sistemleri, yaşları, temel derinlikleri, bu yapıların projeleri incelenerek ve yerinde yapılan incelemelerle belirlenmelidir. Ayrıca içme suyu, havagazı, elektrik, telefon ve kanalizasyon gibi şehir şebekelerinin yerleri ve derinlikleri tespit edilerek vaziyet planına işlenmelidir.

•**Kazı çukurunun açık kalacağı süre:** Kazı çukurunun boyutlarına ve uygulanacak inşaat hızına bağlı olarak kazı çukurunun açık kalacağı zaman ve mevsimler tahmin edilmelidir.

•**Destekleme sisteminin hizmet süresi:** Destekleme sistemleri geçici ve sürekli amaçlarla tasarlanabilir. Geçici olanlar sadece kazı ve temel inşaatı süresince kazı duvarlarından gelecek basınçları karşılamak, sürekli olanlar ise yapının bir bölümünü oluşturmak üzere tasarlanırlar.

•**Malzeme sarfiyatının belirlenmesi:** Proje dikkate alınarak ve imalat sırasında karşılaşılabilecek muhtemel durumlar göz önünde bulundurularak malzeme sarfiyatı belirlenmelidir.

•**Yerel ve merkezi yönetimlerin ruhsat prensiplerinin öğrenilmesi.**

•**Uygulamacı firmaların imkanları ve deneyimlerinin irdelenmesi.**

## 2) Uygun Sistemin Seçimi ve Projelendirme:

Uygun iksa sisteminin seçimi, kazının yapılacağı zeminin özelliklerine, inşaa edilecek yapının özelliklerine, yapılacak iksa sisteminin hangi amaca hizmet ettiğine, çevre koşullarına, kazı derinliğine, ekonomik koşullara vb bağlı olmaktadır .Birçok çözüm irdelenir ve en uygunu seçilir

•**Uygun sistemin belirlenmesi:** Yapılan araştırma ve çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında aşağıdaki sistemlerin en uygun olanı belirlenmeye çalışılır:

### 1) Geçirimsiz Perdeler

#### a) Kesişmeli fore kazıklı perde (konsol veya ankrajlı)

b) Diyafram duvar (konsol veya ankrajlı)

c) Palplanş perde (konsol veya ankrajlı)

## 2) Geçirimli Perdeler

a) Ayırık fore kazıklı perde (konsol veya ankrajlı)

b) Mini kazıklı perde (konsol veya ankrajlı)

c) Betonarme perde (ankrajlı)

d) Berlin duvarı (ankrajlı)

e) Kuyu perde (konsol veya ankrajlı)

Destekleme yapıları servis yüküne göre de geçici perdeler ve sürekli perdeler olarak sınıflandırılır.

•**Destekleme sisteminin hesabında uygun yük kabülleri ve doğru hesap verileri ile çalışmak:** Destekleme sistemine gelecek toprak basınçları, su basıncı, komşu yapılardan aktarılan yükler hesaplanmalı ve bu yükler altında sistemde oluşacak kesit tesirleri ile deformasyonlar ve dönmeler hesaplanarak uygun kesitler belirlenmelidir. Destekleme

sistemine ait elemanların seçiminde şu hususlar dikkate alınmalıdır:

a) Destekleme elemanları burulmaya ve aşırı deformasyona uğramadan toprak basıncı ve sürşarj etkilerini güvenle taşımalıdır.

b) Yatay destekler mümkün olduğu kadar seyrek konularak inşaat makinalarının temel çukuru

içinde rahat çalışabilmesi sağlanmalıdır. Ankrajlı bir destekleme sistemi seçilmesi halinde yüksek kapasiteli seyrek ankraj yerine düşük kapasiteli sık ankraj kullanılması yoluna gidilmelidir.

c) Zemin yüzeyinde oturmalar istenmiyorsa destekleme sistemi ankrajlarla geriye bağlanmalı ve ankrajlara öngerme verilmelidir.

d) Esas yapıya ait radye temeli ve bodrum katları yatay destek olarak kullanmanın mümkün olup olmadığı araştırılmalıdır.

## 3) Maliyet Analizleri

Doğru ve güvenilir bir proje belirlendikten sonra yapım maliyet karşılaştırmaları yapılarak en ekonomik olan sistem belirlenir. Böylece hem güvenilirlik hem de ekonomiklik koşulunu sağlayan sistem seçilmiş olur.

#### 4) Kalite Kontrol ve Ölçümleme

Proje uygulama kadar önemli olan diğer bir konu da inşaatla kalite kontrolü ve ölçümlemedir. Uygulamanın projeye uygunluğu, işçilik ve malzeme kalitesi, imalat kaleminin başarısı, kazı aşamalarındaki uygun duvar hareketlerinin gözlemi mutlaka yapılmalıdır.

#### 5.10.2 Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlı İksa Sistemlerinin Tasarımı

Derin kazı iksa sistemlerinde ankrajların kullanılması ile çok büyük zemin itkilerinin pratik ve güvenli bir şekilde karşılanması mümkün hale gelmiştir.

Çok ankrajlı bir iksa sisteminin tasarımında hesap adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir

- a) Kazı yüzeyine etkiyen toprak basıncı dağılımının belirlenmesi
- b) Çok ankrajlı iksa sistemine gelen toprak basıncının belirlenmesi
- c) Düşeyde (kazı kesiti boyunca) ankraj aralıklarının seçimi
- d) Seçilen ankraj aralıkları için sistemin belirlenen toprak basıncı dağılımı altında sürekli giriş olarak çözümü
- e) Sistemde söz konusu yük altında oluşan ankraj kuvvetlerinin ve maksimum momentlerin belirlenmesi
- f) Yatayda (kazı kesitine dik doğrultuda) ankraj aralıklarının seçimi
- g) Sistemin (iksas perdesinin) boyutlandırılması
- h) Ankrajların serbest boylarının hesabı
- i) Ankraj kök boylarının hesabı
- j) Kök boyunun seçimi ve toplam ankraj boylarının hesabı
- k) Toplam ankraj boylarının seçimi
- 1) Öngermeli ankrajlarda ankraj tendonlarının hesabı
- m) Tahkikler: Germe yükü tahkiki, kablo aderansı tahkiki, göçme tahkikleri
- n) Göğüsleme girişinin boyutlandırılması

Düşey olarak imal edilen elemanlar taşıyıcı konsol ve açıklık momentlerine göre hesaplanır. Göğüsleme girişlerinin yerleri ve sayıları düşey taşıyıcı elemanlara düşen momentlerin en

uygun olduğu duruma göre ayarlanır. Ankrajların sıklığı ve uzunluğu tutulacak zeminin cinsine, korunacak yapıların durum ve önemine, duvar yüksekliğine, kazık ve mini kazık modülasyonuna, derin kayma düzlemlerinde kırılma tahkiki hesaplarına, ankrajların birbirlerini etkileme mesafelerine ve muhtemel kayma açısına bağlıdır.

### **5.10.2.1 Yük Varsayımları**

Söz konusu dayanma sisteminin hesaplarında kullanılacak yük dağılımları için arazide yapılan ölçümlerden elde edilen değerler sonucu belirlenen yük dağılımlarını kullanmak perdenin güvenli olarak tasarlanmasını sağlayacaktır.

Uzun dönemli olarak açık kalacak dayanma çukurlarında kohezyon değeri genellikle  $c=0$  olarak alınır. Kohezyonun  $c=0$  olması ile zemin granüler bir ortam gibi davranmaktadır. Eğer zeminde yeraltı suyu varsa bu da ayrıca hesapta göz önüne alınmalıdır. Derin kazı cidarlarının ankrajlı veya ankrajsız iksa perdelerinin hesaplanmasında, cephelerdeki zemin uzun süreli açık kalacağından, hesaplarda zemin parametreleri olarak drenajlı kayma dayanımı parametrelerine karşılık gelen efektif zemin parametreleri kullanılmalıdır.

## **5.11 Çok Sıra Ankrajlı Dayanma Sistemlerinin Hesap Yöntemleri**

Yapı çukurunu destekleyen sistemin hesabı için iki ayrı matematik model ve bunların statik çözümlerinden söz edilebilir. Bu statik hesap yöntemlerinden biri kullanılabilir.

### **5.11.1 Rijit Kiriş ve Sabit Mesnet Varsayımı**

Bu varsayımın kullanılması durumunda dayanma sistemini oluşturan elemanlar (fore kazık, mini kazık, betonarme perde, diyafram duvar v.b) sürekli kiriş olarak varsayılır. Dayanma yapısında yer alan ankrajların da birer sabit mesnet olduğu varsayımı ile hesap yapılabilir.

### **5.11.2 Elastik Mesnetli Sürekli Kiriş Varsayımı**

Bu hesap yönteminde dayanma duvarını oluşturan fore kazık, mini kazık, diyafram duvar vb elastik zemine yataklanmış kabul edilir. Ankraj ise eğilme rijitliği ( $EI=0$ ) sıfır, uzama rijitliği ( $EA \neq 0$ ) sıfırdan farklı olan ve kök bölgeleri ile zemine ankre edilmiş olan çubuklar olarak ele alınır. Perdenin kazı kotu altında kalan kısımda ise elastik zemine yataklanmış bir çubuk düşünülür. Böylece oluşturulan model, deplasman yöntemlerinden herhangi biri ile hesaplanır. Ankrajların uzayabilirliği nedeni ile bu hesap yönteminde önemli deformasyonlar meydana gelir. Deformasyonların yönü her noktada (ankraj noktaları dahil) yapı çukuru içine

doğrudur. Bu gözlem de zemin yükü olarak aktif itki yükünün alınmasının doğruluğunu ortaya koymaktadır.

### 5.12 Zemin Çivili Duvarların Ankrajlı Duvarlar ile Karşılaştırılması

Ankrajlı ve zemin çivili duvarların temel farklılıkları aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 (a) Ankrajlı ve zemin çivili duvarların işlevleri bakımından karşılaştırılması (FHWA,1998).

| Duvar Türü      | Zemin Çivili Duvar                                                                                                                       | Ankrajlı Duvar                                                                                                                                                                   |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Duvar inşaatı   | Yukarıdan aşağıya (zeminde /kayada yerinde yarma)                                                                                        | Yukarıdan aşağıya (zeminde /kayada yerinde yarma)                                                                                                                                |
|                 | Donatıların hem aktif hem de direnç bölgesindeki tüm uzunlukları boyunca yerinde delgileri ve enjeksiyonları yapılır.                    | Donatıların delgisi ve enjeksiyonu yerinde yapılır ancak taşıma gücü aktif bölgenin arkasında oluşur.                                                                            |
|                 | Yarma kazısı sürdükçe donatılar pasif olarak yüklenirler.                                                                                | Her kazı aşamasında donatılar aktif olarak yüklenirler.                                                                                                                          |
| Duvar davranışı | Donatı yükleri yukarıdan aşağı inildikçe azalır.                                                                                         | Üniforma yakın gerilme dağılışı vardır.                                                                                                                                          |
|                 | Kaplama, sadece çivi tarafından karşılanmayan zemin basıncını taşır.                                                                     | Kaplama tüm zemin basıncını karşılar.                                                                                                                                            |
|                 | Donatı ile zemin arasındaki yük aktarımı tüm donatı uzunluğu boyunca gerçekleşir.<br><br>Zemin kısmen çiviler tarafından sınırlanmıştır. | Donatı ile zemin arasındaki yük aktarımı sadece direnç bölgesinde gerçekleşir.<br>Aktif bölgede yük aktarımına izin verilmez.<br>Zemin sadece kaplama tarafından sınırlanmıştır. |
|                 | Duvar yüzünün maksimum dönmesi duvarın en üst noktasında gerçekleşir.                                                                    | Ankrajlardaki gerilmeye bağlı olarak, duvar yüzünün maksimum dönmesi genelde orta noktalarda olur.                                                                               |

Çizelge 5.7 (b) Ankrajlı ve zemin çivili duvarların işlevleri bakımından karşılaştırılması (FHWA,1998).

| Duvar Türü                 | Zemin Çivili Duvar                                                                                                                                                                                  | Ankrajlı Duvar                                                                                                                                                                              |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tasarım yaklaşımları (iç)  | İzin verilen çivi ve kaplama gücünden yararlanılarak sınır dengesi kullanılır. Buna kritik kayma yüzeyi boyunca yük ve/veya moment dengesinin sağlanması için zemin dayanımının katkısı da eklenir. | Donatı gerilmelerini hesaplamak için amprik toprak basıncı dağılımı kullanılır. Bu dağılım, donatı gücüne eşitlenerek donatı kopması ve sıyrılmasına karşı bir güvenlik sayısı belirlenir.  |
|                            | Karşı koyan yüklerin/momentlerin, devirici yükler/momentlere oranı ile bir güvenlik sayısı bulunur.                                                                                                 |                                                                                                                                                                                             |
|                            | Gerekli donatı dayanımı ve sıyrılma direnci tüm duvar için genel olarak hesaplanır. (sınır durum koşulu)                                                                                            | Gerekli donatı dayanımı ve sıyrılma direnci her donatı seviyesinde, kaplamanın yapısal olarak yanal toprak basınçlarına karşı koymasını sağlayacak olan ankraj gücüne bakılarak hesaplanır. |
|                            | Kaplamada amprik toprak basıncı dağılımı kullanılarak kaplama ve kaplama/çivi bağlantı sisteminde olası göçme biçimlerine karşı kontrol yapılır.                                                    | Yerleştirilen ankrajdaki öngerilme altında kaplamada ve kaplama/ankraj bağlantı sisteminde olası göçme biçimlerine karşı kontrol yapılır.                                                   |
| Tasarım yaklaşımları (dış) | Dönme ve taşıma gücü değerlendirilerek donatılı bölgeye rijit bir kütle gibi yaklaşılır. Duvar arkasındaki şevin duraylılığı da değerlendirilir.                                                    | Duvar arkasındaki şevin duraylılığı değerlendirilir. Elverişsiz temel koşullarında ağırlık duvarının taşıma gücünü yitirmesi de değerlendirilir.                                            |

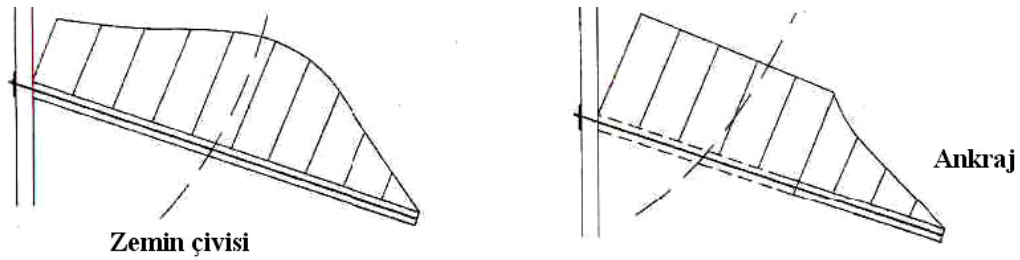
Zemin çivili ve ankrajlı duvarlar arasında kavramsal bir çok fark bulunmaktadır. Bunlar;

- 1) Ankrajlar zeminle doğrudan etkileşimde bulunmazlar ve destekleyici kuvvet, yük olmayan bölgedeki tüm olası kayma yüzeyleri için sabit bir değer alır. Oysa zemin çivisinde gerilme yükü çivi boyunca değişir ve toplam destek kuvveti de bu nedenle bir kayma yüzeyinden diğerine farklılık gösterir (Şekil 5.14).
- 2) Ankrajlar yerleştirildikten sonra gerilirler. Buna karşın zemin çivilerinde küçük bir yerleştirme yükü dışında öngerme yoktur ve destekleyici gerilme yükünün oluşması için zeminle duvar arasında az ancak sınırlı, göreceli bir harekete gereksinim duyulur.
- 3) Kazıklı – ankrajlı sistemlerde, kazıkların yanyana dizili şekilde yerleştirilip bir perde oluşturulması kazıdan önce yapıldığı için bu sistemde alın duraylılığı ve dik durma süresi zemin çivili çözümlere göre ankrajlı çözümlerde daha az kritiktir.
- 4) Zemin çivileri ankrajlardan çok daha sık olarak yerleştirilir. Buna karşın zemin çivilerinin ancak % 5'inin üzerinde yükleme deneyi yapılabilirken ankrajlı sistemlerde her bir ankrajın aldığı yük deneylerle doğrulanır.

5) Ankrajlarda maksimum donatı yükü kaplamada olduğu için duvar yüzünde zımbalama etkisi ortadan kaldırmak için uygun taşıyıcı plaka desteği sağlanmalıdır. Oysa zemin çivisinde maksimum çivi yükünün bir kısmının kaplamaya etkimesi ve de çivilerin çok sık arayla yerleştirilmesi sonucunda bireysel bakımdan daha az yük almaları, kaplamada büyük bir taşıyıcı plaka desteğine gereksinim bırakmamaktadır. Zemin çivilerinin kafalarındaki küçük çelik plakaların doğrudan püskürtme betonun üstüne yerleştirilmesinde bir sakınca yoktur.

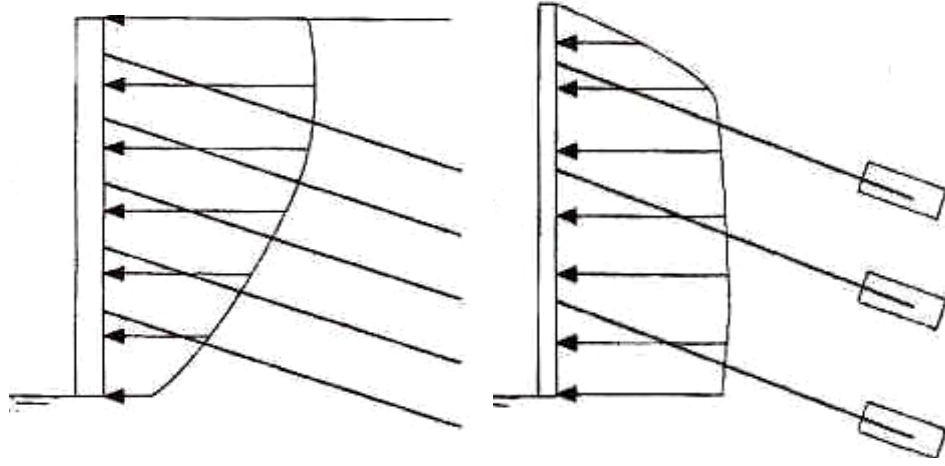
6) Ankrajlar zemin çivilerinden daha uzun olma eğilimindedir. Bu nedenle ankrajlarda kullanılan aygıtlar daha büyüktür.

Genel olarak; duraylılık sorunlarının büyük bir kitleyi içine aldığı biliniyorsa zemin ankrajına başvurulması daha iyi olacaktır. Bu durumlarda daha iyi nitelikli zemin derinlerdedir. Başka bir açıdan; uygun zemin türleri için zemin çivisi, yanal desteğin sağlandığı diğer önerilmeli zemin ankrajlarından daha çok tercih edilmektedir.



Şekil 5.14 Farklı uygulamalar için donatı boyunca gerilme dağılımı (FHWA,1998)

Donatılardaki farklı yük dağılımları Şekil 5.15’de gösterilmektedir. Zemin çivili duvarda donatı yükleri derinlikle üniformdur ve duvarın alt kısımlarında azalır, ankrajlı duvarda ise artar.



a) Zemin çivili duvar

b) Ankrajlı duvar

Şekil 5.15 Zemin çivisi ve ankrajlı duvarlarda yanal gerilme dağılımı (FHWA,1998)

## 6. ZEMİN MODELLERİ VE MALZEME PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ

Her geoteknik projenin tasarımında zeminin tanımlanması ile ilgili pek çok kabuller ve varsayımlar yapılmaktadır. Bu çalışmada da destekli kazıların nümerik olarak modellenerek deplasman analizlerinin yapılmasında, dört farklı zemin türünden oluşan homojen zemin yapıları ve bu zeminler için literatürde önerilmiş değerlerden, zemin parametreleri seçilmiştir. Bu amaçla katı kil, orta katı kil, sıkı kum ve orta sıkı kum zemin koşullarını tanımlayan malzeme parametreleri (Kazda,1975; Terzaghi-Peck,1968; AASHTO)'den yararlanılarak seçilmiştir. Nümerik analizlerde incelenen geoteknik modeller sırasıyla Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak tanımlanmıştır. Her bir geoteknik model için kazı derinliği  $H=8m$ ,  $H=10m$ ,  $H=12m$  ve  $H=15m$  olacak kazı modelleri oluşturularak, zemin çivisi ve ankrajlar ile desteklenen iksa sistemleri için nümerik analizler yapılarak, duvarların deplasman değerleri ile toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları belirlenmiştir. Böylece, iki farklı iksa sisteminin benzer zemin koşullarında davranışı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Derin kazıda destek sistemleri olarak kullanılan zemin çivili ve ankrajlı sistemlerin analizlerinde efektif gerilme parametreleri kullanılmıştır. Deplasman analizlerinde Plaxis 7.2 sonlu elemanlar programı, toptan göçmeye karşı güvenlik sayılarının belirlenmesinde ise Plaxis 7.2 ve limit denge durumunda çözüm yapan Talren 4 isimli programlar kullanılmıştır. Her iki analizde de efektif malzeme parametreleri kullanılmıştır.

Plaxis 7.2 sonlu elemanlar formülasyonunda deplasman (yer değiştirme) yöntemi kullanılmıştır. Deplasmanların esas bilinmeyen olarak kabul edildiği, sürekli ortam birçok elemana ayrılır. Sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında üçgen elemanlar kullanılmıştır. Bu elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı olarak seçilebilmektedir. Analizlerde zeminin plastik davranışını modelleyebilmek için Mohr-Coulomb Modeli kullanılmıştır. Ayrıca güvenlik faktörünün hesaplanması amacıyla geliştirilmiş Phi-c azaltma (Phi-c reduction) seçeneği kullanılarak zemin mukavemet parametrelerinin ( $\phi$  ve  $c$ ) değerleri kademeli olarak azaltılarak göçme analizi yapılabilmektedir.

Nümerik analizlerde öncelikle zeminin kendi ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlar hesaplanarak sıfırlanmıştır. Sonra perde duvar yerleştirilmiş ve perdenin önündeki zemin aşama aşama kaldırılarak zemin çivileri veya ankrajlar yerleştirilerek deformasyon analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda duvarın yatay yer değiştirmesi, duvar arkası zemin yüzünde meydana gelen düşey yer değiştirmeler, kazı tabanındaki kabarma miktarları, duvarda oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri ve çiviler ve ankrajlar üzerindeki gerilme dağılımları

belirlenmiştir.

### 6.1 Zemin Parametrelerinin Tanımlanması

Zemin çivili ve ankrajlı destek sistemlerinin karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilen analizlerde incelenen dört farklı zemin cinsi için (katı kil, orta katı kil, sıkı kum ve orta sıkı kum) parametreler seçilmiştir.

Katı kil, orta katı kil, sıkı kum, orta sıkı kum için ortalama birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 6.1'den seçilmiştir.

Çizelge 6.1 Çeşitli zeminler için boşluk oranı, porozite, birim hacim ağırlık değerleri (Kazda,1975)

| Zemin Tipi    | Zemin Durumu | Porozite (%) | Boşluk Oranı (%) | Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) |       |             |
|---------------|--------------|--------------|------------------|----------------------------------------------------|-------|-------------|
|               |              |              |                  |                                                    |       |             |
|               |              |              |                  | Kuru                                               | Doğal | Suya Doygun |
| Kumlu Çakıl   | Gevşek       | 38-42        | 0.61-0.72        | 14-17                                              | 18-20 | 19-21       |
|               | Sıkı         | 18-25        | 0.22-0.33        | 19-21                                              | 20-23 | 21-24       |
| Orta Sıkı Kum | Gevşek       | 40-45        | 0.67-0.82        | 13-15                                              | 16-19 | 18-19       |
|               | Sıkı         | 25-32        | 0.33-0.47        | 17-18                                              | 18-21 | 20-21       |
| Üniform Kum   | Gevşek       | 45-48        | 0.82-0.82        | 14-15                                              | 15-19 | 18-19       |
|               | Sıkı         | 33-36        | 0.49-0.56        | 17-18                                              | 18-21 | 20-21       |
| Silt          | Gevşek       | 45-55        | 0.82-1.22        | 13-15                                              | 15-19 | 18-19       |
|               | Sıkı         | 35-40        | 0.54-0.67        | 16-17                                              | 17-21 | 20-21       |
| Silt          | Yumuşak      | 45-50        | 0.82-1.00        | 13-15                                              | 16-20 | 18-20       |
|               | Plastik      | 35-40        | 0.54-0.67        | 16-17                                              | 17-21 | 20-21       |
|               | Sıkı         | 30-35        | 0.43-0.49        | 18-19                                              | 18-19 | 18-22       |
| Kil           | Yumuşak      | 60-70        | 1.50-2.30        | 13-15                                              | 13-18 | 14-18       |
|               | Plastik      | 40-55        | 0.67-1.22        | 15-18                                              | 15-20 | 17-21       |
|               | Katı         | 30-40        | 0.43-0.67        | 18-20                                              | 17-22 | 19-23       |

Kohezyonlu zeminlerin efektif içsel sürtünme açısı ( $\phi'$ ) değerlerinin seçiminde Çizelge 6.2'den yapılmıştır. Katı kil için 30° ve orta katı kil için 28 ° değerleri seçilmiştir.

Çizelge 6.2 Kohezyonlu zeminler için  $\phi'$  değerleri (AASHTO, T99 )

| Zemin Tanımı             | Sınıfı | $\phi'$ |
|--------------------------|--------|---------|
| siltli kil, kum-silt     | SM     | 34      |
| killi kum, kum-kil       | SC     | 30      |
| silt ve killi silt       | ML     | 32      |
| düşük plastisiteli kil   | CL     | 28      |
| killi silt, elastik silt | MH     | 25      |
| yüksek plastisiteli kil  | CH     | 19      |

Granüler zeminlerin içsel sürtünme açısı ( $\phi'$ ) değerlerinin seçiminde Çizelge 6.3'den yararlanılmıştır. Sıkı kumun içsel sürtünme açısı olarak  $40^\circ$ , orta sıkı kum için ise  $32^\circ$  değerleri seçilmiştir.

Çizelge 6.3 Granüler zeminler için  $\phi'$  değerleri (AASHTO, T99)

| Zemin Tanımı         | $\phi' (^{\circ})$ |       |
|----------------------|--------------------|-------|
|                      | Gevşek             | Sıkı  |
| üniform kum          | 27                 | 34    |
| iyi derecelenmiş kum | 33                 | 45    |
| kumlu çakıl          | 35                 | 50    |
| siltli kum           | 27-33              | 30-34 |
| inorganik silt       | 27-30              | 30-35 |

Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma mukavemetinin tahmin edilmesinde Çizelge 6.4'de verilen  $N-q_u$  korelasyonlarından yararlanılmıştır. Serbest basınç dayanımı  $q_u$  ile drenajsız kayma mukavemeti  $c_u$  arasında ise

$$q_u = 2c_u \quad (6.1)$$

bağıntısı olduğu bilinmektedir.

Katı kil için  $q_u=150$  kPa,  $c_u=75$  kPa, orta katı kil için  $q_u=75$  kPa,  $c_u=38$  kPa alınmıştır.

Çizelge 6.4 N-  $q_u$  korelasyonları

|              |       | Serbest basınç dayanımı $q_u$ (kPa) |                       |
|--------------|-------|-------------------------------------|-----------------------|
| Zemin Kıvamı | SPT N | Terzaghi-Peck (1968)                | Tschebatarioff (1973) |
| çok yumuşak  | 2     | < 25                                | 30                    |
| yumuşak      | 2-4   | 25-50                               | 30-60                 |
| orta katı    | 4-8   | 50-100                              | 60-120                |
| katı         | 8-15  | 100-200                             | 120-240               |
| çok katı     | 15-30 | 200-400                             | 240                   |
| sert         | >30   | >400                                | >450                  |

Kohezyonlu ve granüler zeminler için Çizelge 6.5’de drenajlı elastisite modülü değerleri verilmiştir. Katı kil için 23000 kPa, orta katı kil için 6300 kPa, sıkı kum için 90000 kPa, orta sıkı kum için 63000 kPa değerleri seçilmiştir.

Çizelge 6.5 Drenajlı elastisite modülü değerleri (Kazdı, 1975)

| Zemin Cinsi | Zemin Kıvamı | E' (kPa)     |
|-------------|--------------|--------------|
| Kohezyonlu  | Yumuşak      | 1400-4200    |
|             | Orta Katı    | 4200-8400    |
|             | Katı         | 8400-20000   |
| Granüler    | Gevşek       | 28000-56000  |
|             | Orta Sıkı    | 56000-70000  |
|             | Sıkı         | 70000-110000 |

Çizelge 6.6’da ve Çizelge 6.7’de zemin türlerine göre Poisson oranları verilmiştir. Analizlerde bu aralıklardan parametreler seçilmiştir.

Çizelge 6.6 Drenajlı Poisson oranları (AASHTO , T99)

| Zemin Türü | Zemin Kıvamı | E(ksf) (ksf=50 kPa) | v        |
|------------|--------------|---------------------|----------|
| kil        | yumuşak      | 50-300              | 0.4-0.5  |
|            | orta katı    | 300-1000            | 0.4-0.5  |
|            | katı         | 1000-2000           | 0.4-0.5  |
| lös        |              | 300-1200            | 0.1-.3   |
| silt       |              | 40-400              | 0.3-0.35 |
| ince kum   | gevşek       | 160-240             | 0.25     |
|            | orta sıkı    | 240-400             | 0.25     |
|            | sıkı         | 400-600             | 0.25     |
| kum        | gevşek       | 200-600             | 0.2-0.3  |
|            | orta sıkı    | 600-1000            | 0.3-0.4  |
|            | sıkı         | 1000-1600           | 0.3-0.4  |
| çakıl      | gevşek       | 600-1600            | 0.2-0.35 |
|            | sıkı         | 1600-2000           | 0.2-0.35 |
|            | çok sıkı     | 2000-4000           | 0.2-0.35 |

Çizelge 6.7 Drenajlı Poisson oranları

| Zemin Gurubu | Zemin Tipi     | Converse (1962) | Poulos (1975) | Bowles (1977) | Cernica (1982) | Lee (1983) | Winterkorn (1975) |
|--------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|------------|-------------------|
| Kil          | Yumuşak        |                 |               |               | 0.40           | 0.3-0.4    |                   |
|              | Orta katı      |                 | 0.30-0.35     |               | 0.30           |            |                   |
|              | Katı           |                 |               |               |                | 0.2-0.3    |                   |
|              | Plastik        |                 |               |               |                |            |                   |
|              | Katı plastik   | 0.4-0.45        |               |               |                |            |                   |
|              | Doygun         |                 |               |               | 0.4-0.5        |            | 0.5               |
|              | Doygun olmayan |                 |               |               | 0.1-0.3        |            | 0.35-0.40         |
|              | Yumuşak N/C    |                 | 0.35-0.45     |               |                |            |                   |
|              | Kumlu          |                 |               | 0.2-0.3       | 0.25           |            |                   |
|              | Kumlu silt     |                 |               |               |                |            | 0.3-0.42          |
| Çakıl ve Kum | Gevşek         |                 |               |               | 0.20           |            |                   |
|              | Sıkı           |                 |               |               | 0.30           | 0.2-0.4    |                   |

Çizelge 6.8’de nümerik analizlerde kullanılan zemin modelleri ve malzeme parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 Model zemin parametreleri

| Model   | Zemin         | $\gamma_k$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_n$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\phi'$<br>(°) | $c'$<br>(kPa) | $E'$<br>(kPa) | $\nu'$ |
|---------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|---------------|---------------|--------|
| Model 1 | Katı kil      | 19                                 | 20                                 | 21                                 | 30             | 10            | 23000         | 0.45   |
| Model 2 | Orta katı kil | 17                                 | 18                                 | 19                                 | 28             | 1             | 6300          | 0.35   |
| Model 3 | Sıkı kum      | 18                                 | 20                                 | 21                                 | 40             | 1             | 90000         | 0.37   |
| Model 4 | Orta sıkı kum | 14                                 | 18                                 | 19                                 | 32             | 5             | 63000         | 0.35   |

Zemin çivili ve ankrajlı destekleme sistemleri önce klasik analiz yöntemleri ile projelendirilmiş, daha sonra tasarlanan sistemlerin deformasyon davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, zemin çivili ve ankrajlı sistemlerin stabilite analizleri hem sonlu elemanlar yöntemi ile hem de limit denge analizi ile gerçekleştirilmiştir.

Nümerik analizlerde perde yüzeyleri geçirimsiz olarak alınmıştır. Zemin taneleri ile perde yüzeyi arasında sürtünmeyi modelleyebilmek için ara yüzey elemanları kullanılmıştır. Plaxis 7.2 ile yapılan sonlu elemanlar analizlerinde drenajlı malzeme parametreleri kullanılmıştır.

## 7. ZEMİN ÇİVİSİ DESTEKLİ KAZILARDA ÇİVİ TASARIMI, ANALİZLER VE SONUÇLARI

Derin kazıların zemin çivisi ile desteklenmesi hesap adımları Bölüm 3 ve 4’de detaylı olarak anlatılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen derin kazı modellerinin nümerik analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle Bölüm 4’de anlatıldığı gibi servis yükü tasarımı (SLD) yöntemine göre çivi boyları hesaplanmıştır. Herbir model ve yükseklik için zemin çivilerinin adedi, boyu ve aralıkları belirlendikten sonra Plaxis 7.2 programında herbir kesit nümerik olarak modellenmiş ve deformasyon ve stabilite analizleri yapılmıştır. Bu analizlerden zemin çivili destekli kazıların gerilme–şekil değiştirme davranışı, duvara gelen yükler ve toptan göçme durumundaki güvenlik sayıları belirlenmiştir. Ayrıca, şev stabilitesi analizi yapan Talren 4 isimli bir programla da göçmeye karşı güvenlik sayısı belirlenerek, Plaxis 7.2’den elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmada, dört farklı zemin (katı kil, orta katı kil, sıkı kum, orta sıkı kum) için H=8, 10, 12, 15 m yükseklikte kazılar olmak üzere, toplam 16 farklı kazı modeli için nümerik analizler yapılmıştır. Zemin çivili iksa sistemleri için hesap adımları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

### 7.1 Zemin Çivisi Hesap Adımları

Çivili duvarlarda çiviler arası zemin duraylılığı 20 cm’lik çelik ağla donatılandırılmış püskürtme betonla sağlanmıştır. Yatay ve düşey çivi aralıkları 1.5 m seçilmiştir. Çiviler zemine 15°’lik açı ile yerleştirilmişlerdir. Çivi boyları Bölüm 4’de anlatıldığı üzere servis yükü tasarımına (SLD) göre boyutlandırılmıştır. Kullanılan zemin malzeme parametreleri Çizelge 6.8’de verilmiştir. Bu bölümde 10 m’lik kazı için yapılan hesaplar ve sonuçları gösterilmiş, diğer yükseklikler (8m, 12 m ve 15m ) için yapılan hesap sonuçları EKLER kısmında sunulmuştur.

#### 7.1.1 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Zemin Çivisi Tasarımı

a) Boyutsuz kohezyon  $c_D = c_u / F_c \cdot \gamma \cdot H$  yani  $c_D = 10 / 1.35 \times 20 \times 10 = 0.04$  bulunmuştur.

$\text{tg}\phi_D = \text{tg}30 / 0.90 = 0.64$  bulunmuştur.

b) Duvar arkası zemin açısının değerine göre Bölüm 4’de Şekil 4.11 abağına gidilerek  $\text{tg}\phi_D$ ,  $c_D$  ve duvar yüzünün  $0^\circ$  veya  $10^\circ$  değerleri için boyutsuz çivi taşıma gücü  $T_D = 0.16$  olarak elde edilmiştir. Gerekli nominal çivi tendon dayanımı ;

$T_D = \alpha_N \cdot T_{NN} / \gamma \cdot H \cdot S_V \cdot S_H$  ise  $0.16 = 0.55 \times T_{NN} / 20 \times 10 \times 1.5 \times 1.5$  ve  $T_{NN} = 130.91$  kN olarak bulunmuştur.

Nominal çivi tendon dayanımı için gerekli çivi alanı ;

$A_N = T_{NN} \times 1.5 / F_y = 130.91 \times 1.5 / (420 \times 1000) = 467.53$  mm<sup>2</sup> bulunmuş ve gerekli çivi alanı için 29 mm çapında çivi seçilmiştir.

c) Çivi sıyrılma direnci ;  $Q_D = \alpha_Q \cdot Q_U / \gamma \cdot S_V \cdot S_H$  (birimsiz) ile bulunur.

$Q_U$  ; tendonun 1m boyu için taşınabilecek son sıyrılma yükü, deneyle bulunması önerilmekle birlikte yaklaşık değerler de kullanılmaktadır. Katı kil için 100 kN/m alınmış ve bu değer çivi deliği çevresi ile çarpılmış 1m boy için sıyrılma yükleri bulunmuştur.

$Q_D = 0.5 \times 100 \times (3.14 \times 0.10) / 20 \times 1.5 \times 1.5$  ve  $Q_D = 0.35$  bulunmuştur.

d)  $T_D / Q_D = 0.16 / 0.35 = 0.46$  ve  $c_D = 0.04$  ile Bölüm 4’de Şekil 4.12 abağına gidilerek

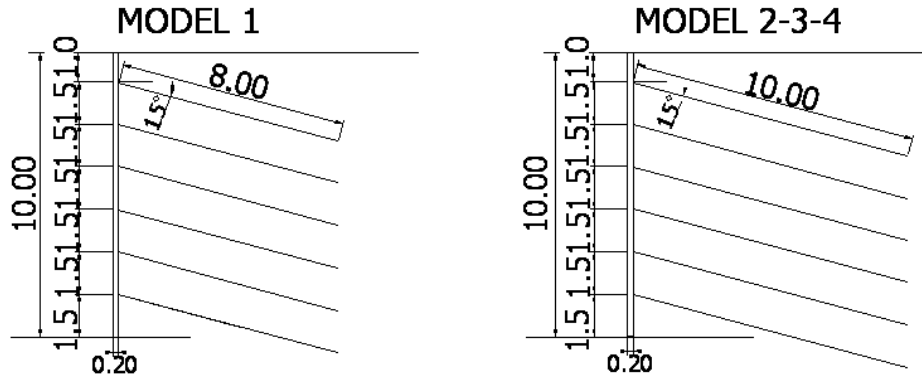
$L / H = 0.8$  okunmuştur.

$L = 0.8 \times 10 = 8.00$  m bulunmuştur Çizelge 7.1’de  $H = 10.00$  m için belirlenen çivi boyları verilmiştir. Benzer şekilde diğer yükseklikler için hesaplanan çivi boyları da EKLER kısmında sunulmuştur. Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4’de  $H = 10$ m için yapılan hesaplar sonucunda belirlenen zemin çivisi boyları ve yerleşimleri ise Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1  $H = 10.00$  m için çivi boyları

| Model   | Zemin türü    | $c_D$ | $\tan \phi_D$ | $T_D$ | $T_{NN}$<br>(kN) | $A_N$<br>(mm <sup>2</sup> ) | Çivi çapı<br>(mm <sup>2</sup> ) | $Q_u$<br>(kN/m) |
|---------|---------------|-------|---------------|-------|------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Model 1 | Katı kil      | 0.04  | 0.64          | 0.16  | 130.91           | 467.53                      | 29                              | 100             |
| Model 2 | Orta katı kil | 0.01  | 0.59          | 0.25  | 184.09           | 657.47                      | 32                              | 90              |
| Model 3 | Sıkı kum      | 0.01  | 0.93          | 0.19  | 155.45           | 555.20                      | 29                              | 80              |
| Model 4 | Orta sıkı kum | 0.02  | 0.69          | 0.19  | 139.91           | 499.68                      | 29                              | 65              |

| Model   | $Q_D$ | $T_D / Q_D$ | $L / H$ | $L(m)$ |
|---------|-------|-------------|---------|--------|
| Model 1 | 0.35  | 0.46        | 0.8     | 8      |
| Model 2 | 0.35  | 0.72        | 1       | 10     |
| Model 3 | 0.28  | 0.68        | 0.95    | 10     |
| Model 4 | 0.25  | 0.75        | 1       | 10     |



Şekil 7.1 H=10 m için belirlenen zemin çivili sistem kesitleri

H=8, 10, 12 ve 15m yükseklikte kazılar için modellenen zemin çivisi destekli iksa sistemlerinde kullanılan perde duvar ve zemin çivisine ait malzeme özellikleri Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Zemin çivisi destekli iksa sistemlerinde kullanılan malzeme özellikleri

| Malzeme | d<br>(m) | E<br>(kPa) | EA<br>(kN/m) | EI<br>(kNm <sup>2</sup> /m) | w<br>(kN/m/m)                            | v    |
|---------|----------|------------|--------------|-----------------------------|------------------------------------------|------|
| Duvar   | 0.20     | 30.000.000 | 6.000.000    | 20.000                      | Model 1 ve 3= 2.80<br>Model 2 ve 4= 3.00 | 0.15 |
| Çivi    | 0.10     | 30.000.000 | 235.500      | -                           | -                                        | -    |

Çizelge 7.2’de d duvar kalınlığı veya çivi çapı, E elastisite modülü, EA imal edilen duvarın ağırlık modülü ve ankraj kökü rijitliği, EI imal edilen duvarın rijitlik modülü, v duvarın Poisson oranı, w duvarın bir metresinin ağırlığı olarak tanımlanır.

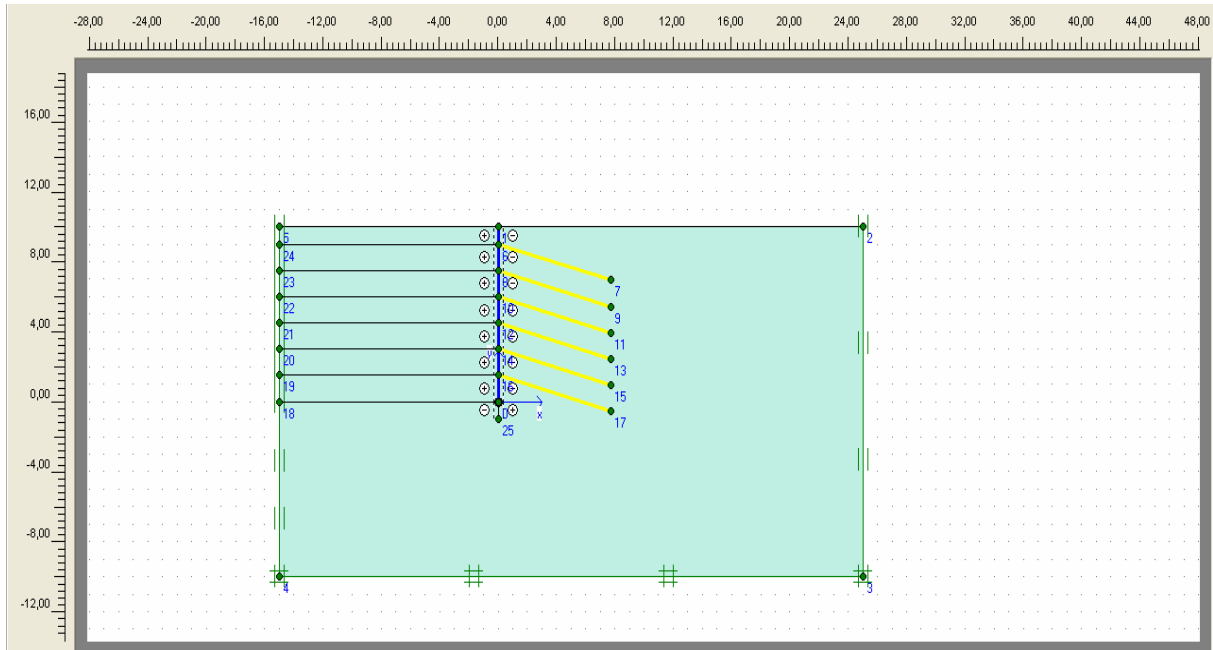
## 7.2 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Zemin Çivisi Destekli Kazının Nümerik Analizi ve Sonuçları

Her bir zemin modeli ve yükseklik için zemin çivilerinin adedi, boyu ve aralıkları belirlendikten sonra Plaxis 7.2 programı kullanılarak herbir kesit nümerik olarak modellenmiş ve analizler yapılmıştır.

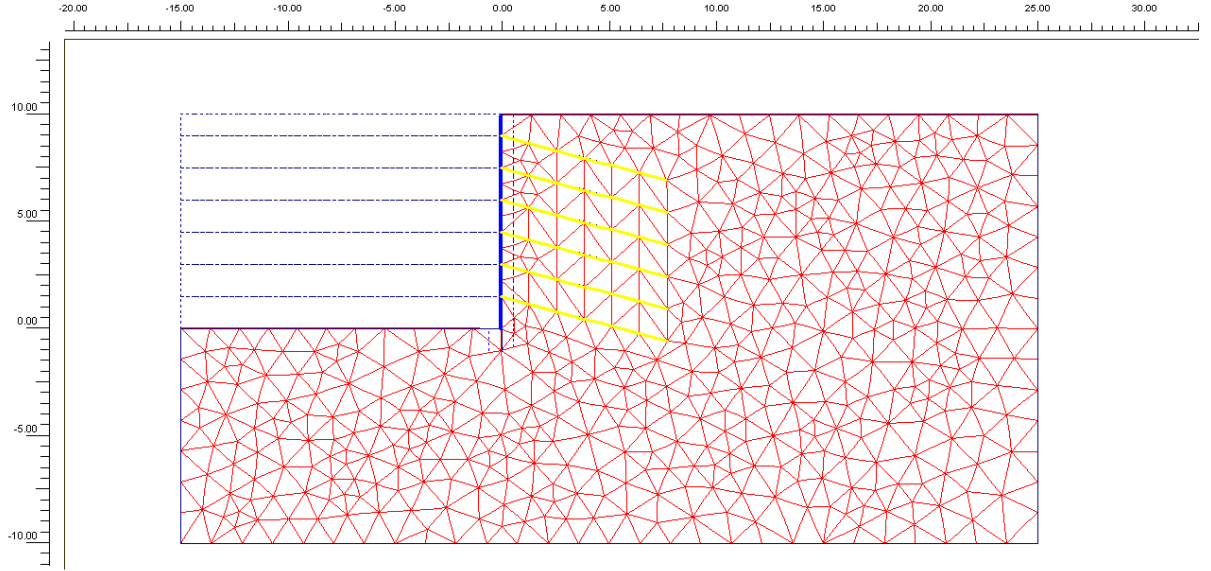
Analizlerde öncelikle zeminin kendi ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlar hesaplanarak sıfırlanmıştır. Sonra perde duvar yerleştirilmiş ve perdenin önündeki zemin aşama aşama kaldırılarak zemin çivileri yerleştirilmiş ve deformasyon analizleri yapılmıştır.

Model 1,  $H=10\text{m}$  için zemin çivisi destekli kazıya ait nümerik analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur. Benzer şekilde bütün modeller ve yükseklikler için analizler yapılmış ve belirlenen sonuçlar EKLER kısmında verilmiştir. Şekil 7.2’de zemin çivisi destekli duvarın Plaxis 7.2’de hazırlanan nümerik modeli gösterilmiştir. Şekil 7.3’de ise kazı işlemi tanmamlandıktan sonraki deforme olmuş sonlu elemanlar ağı ve meydana gelen maksimum yatay deplasman değeri gösterilmiştir. Şekil 7.4’te kazıdan sonra toplam gerilmelerin değişimi, Şekil 7.5’de toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı, Şekil 7.6’da ise toplam yerdeğiştirmelerin dağılımı sunulmuştur.

Plaxis 7.2 ile yapılan nümerik analizlerde duvarın yerdeğiştirmesi ve duvarda oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri de belirlenebilmektedir. Şekil 7.7’de zemin çivisi destekli kazıda duvarın yatay deplasmanı, Şekil 7.8’de düşey deplasmanı, Şekil 7.9’da duvarda meydana gelen kesme kuvvetleri ve Şekil 7.10’da da duvarda meydana gelen eğilme momentleri gösterilmiştir.

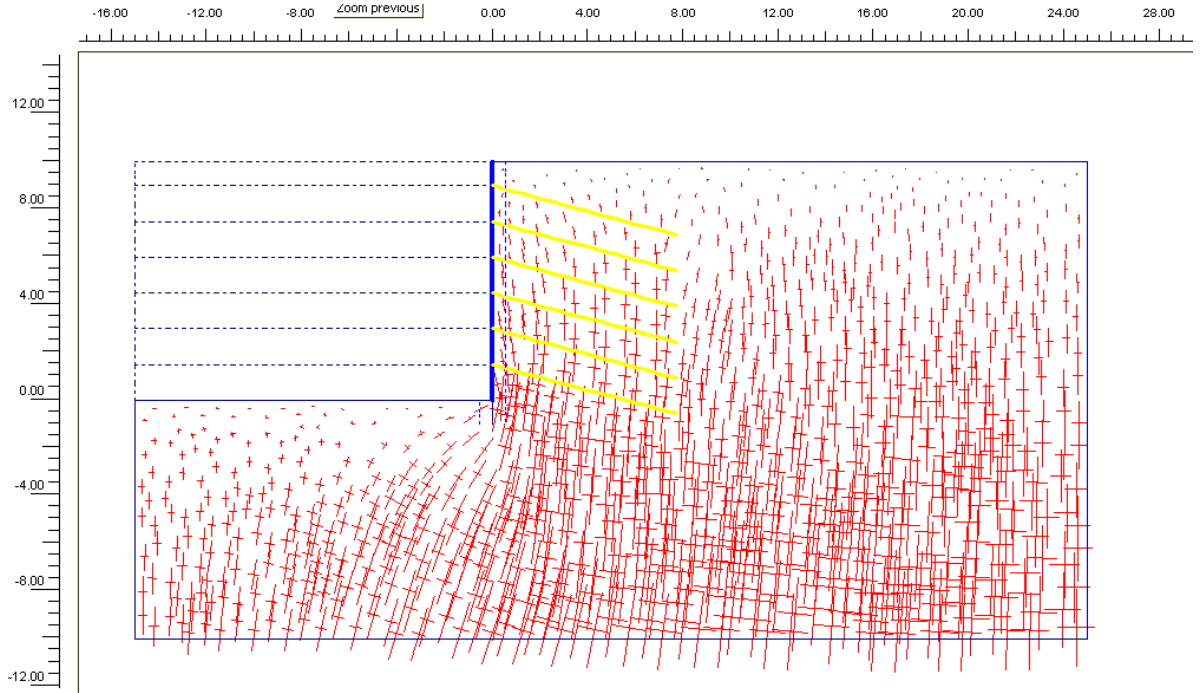


Şekil 7.2 Model 1 zemin çivisi destekli kazı için nümerik model



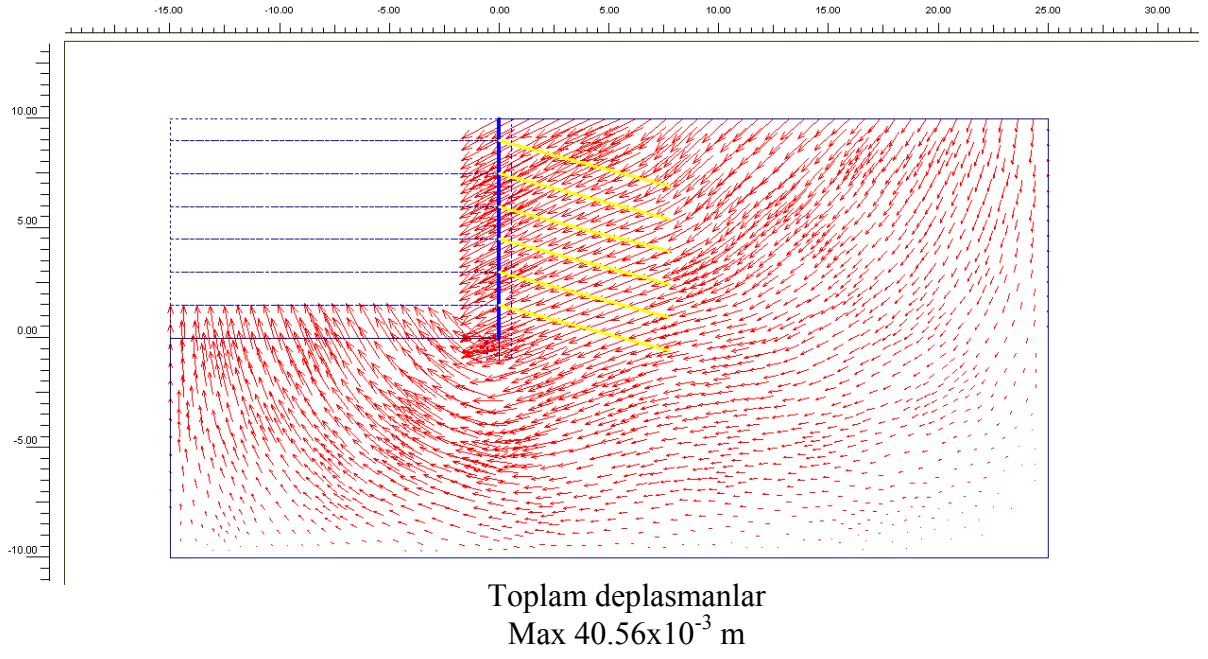
Yatay deplasmanlar  
Max  $40.56 \times 10^{-3}$  m

Şekil 7.3 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı

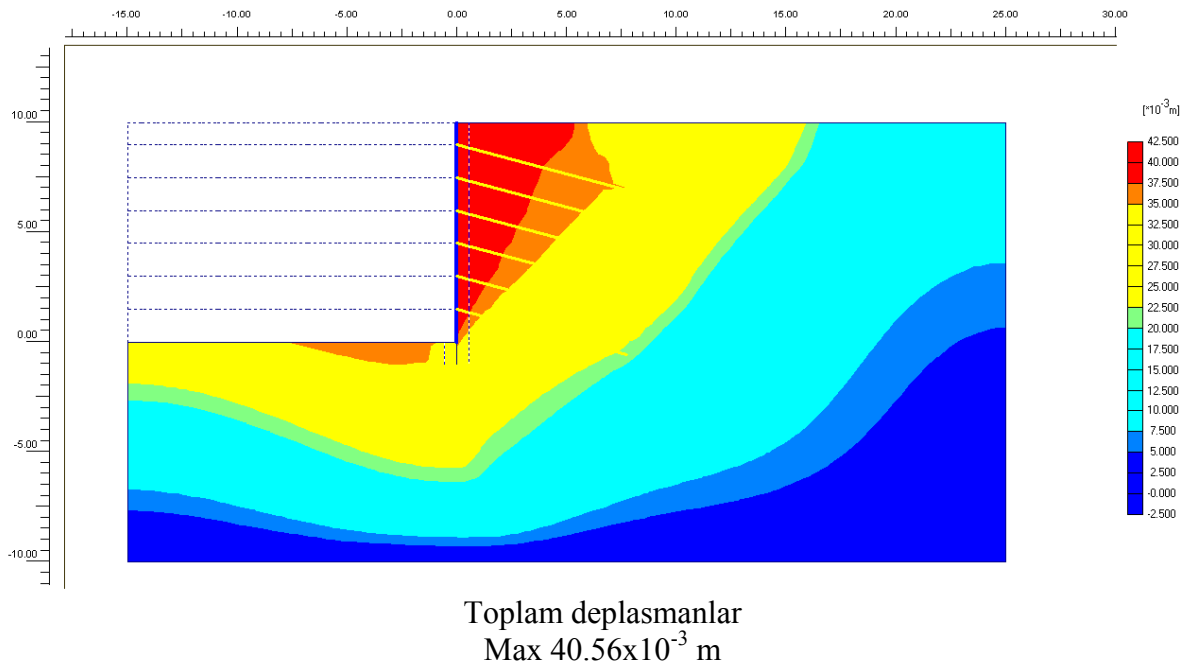


Toplam gerilmeler  
Max  $-330.24 \text{ kN/m}^2$

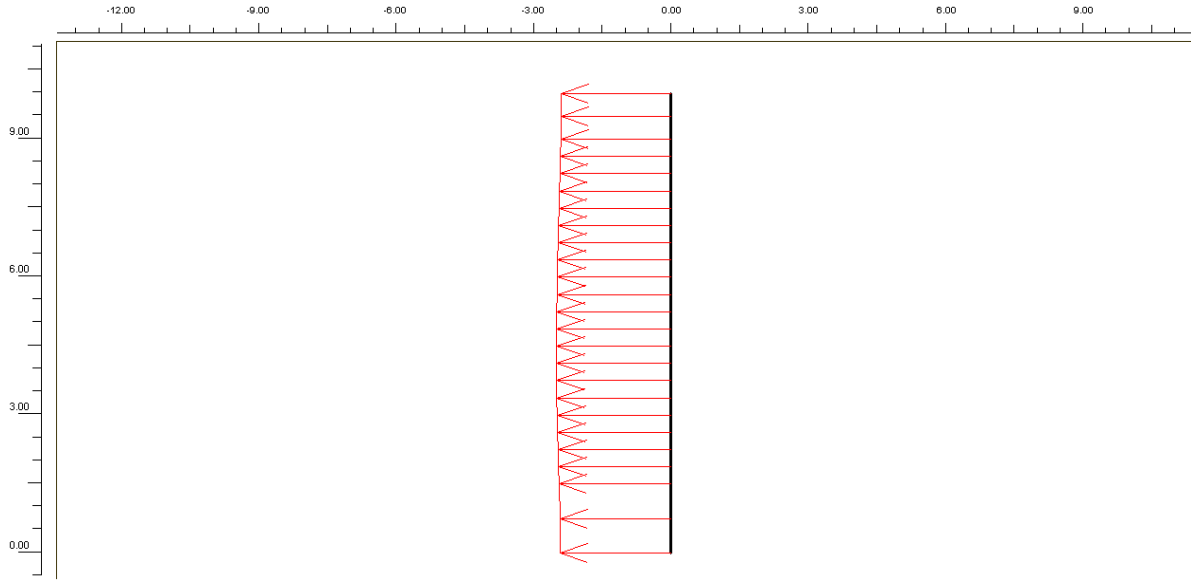
Şekil 7.4 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



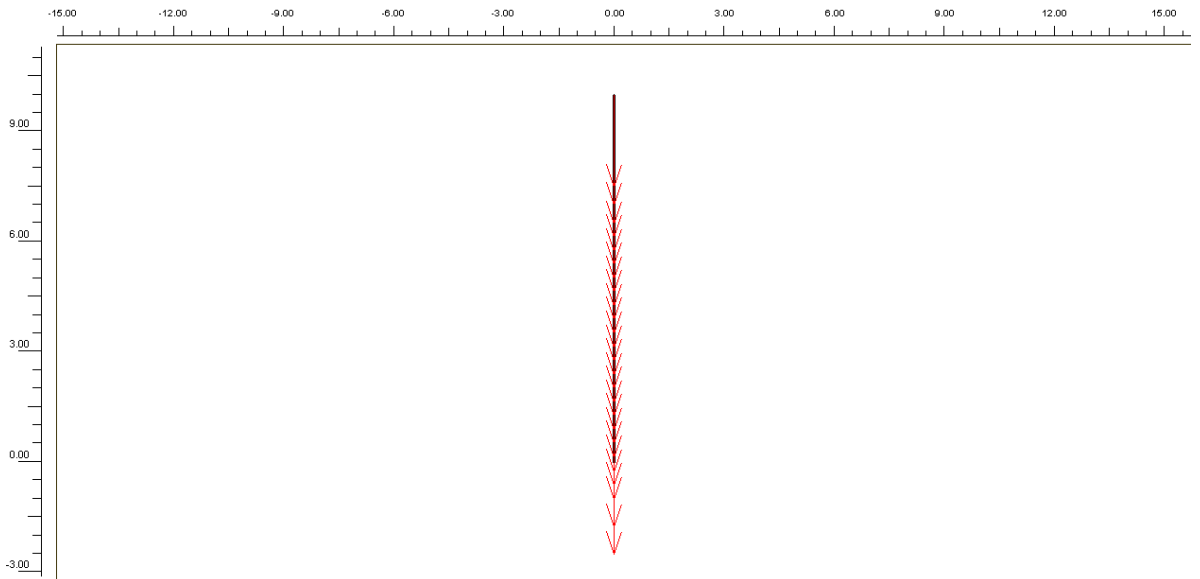
Şekil 7.5 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



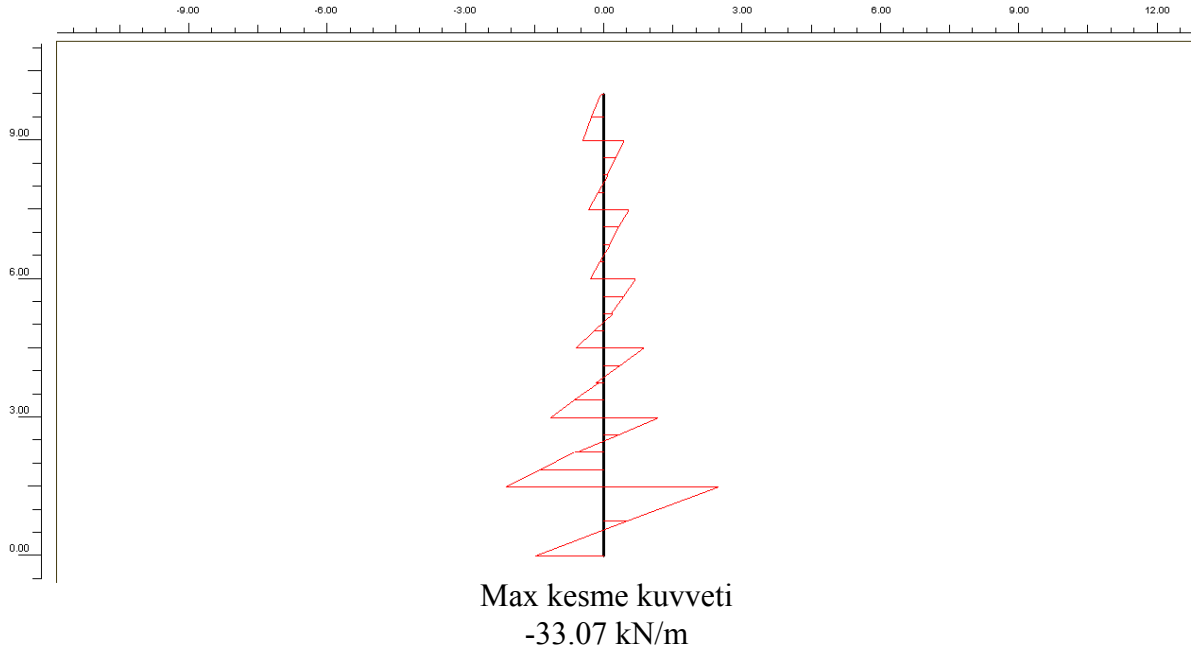
Şekil 7.6 Model 1 zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



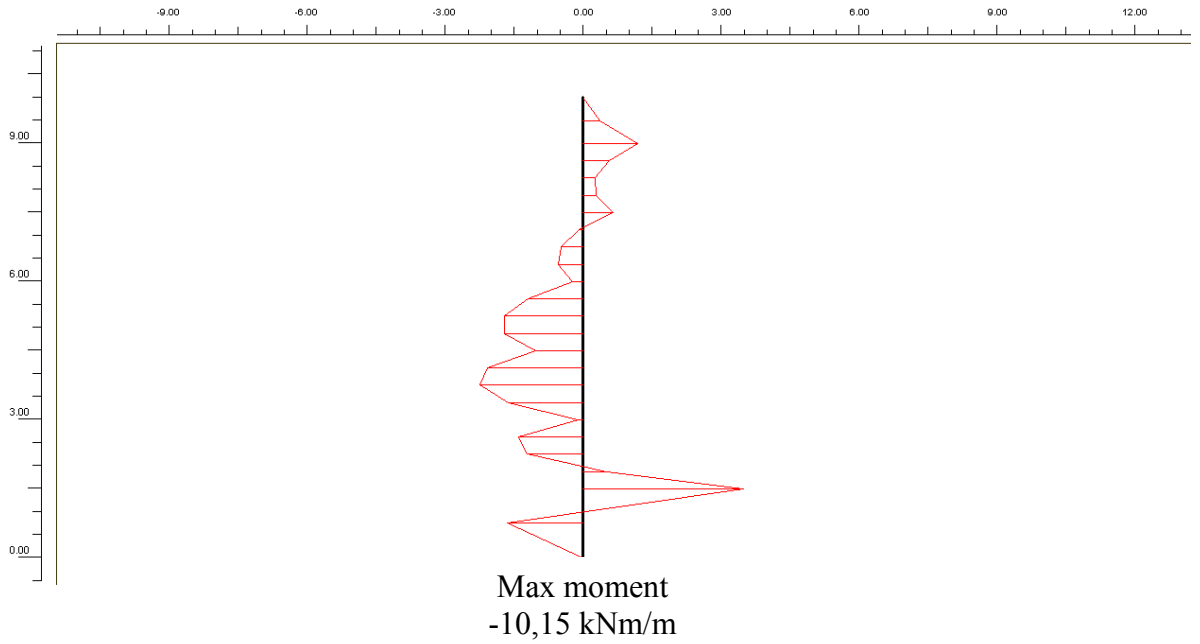
Şekil 7.7 Model 1 zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



Şekil 7.8 Model 1 zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Şekil 7.9 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda oluşan kesme kuvveti diyagramı



Şekil 7.10 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda oluşan moment diyagramı

Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4’de zemin çivisi destekli H=8m’lik kazı için nümerik analizler sonucunda belirlenen yatay deplasmanlar, düşey deplasmanlar, maksimum kesme kuvveti, maksimum eğilme momenti ve toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı Çizelge 7.3’de

sunulmuştur. Benzer şekilde nümerik analiz sonuçlarından H=10m, H=12m ve H=15m'lik kazılar için belirlenen sonuçlar sırasıyla Çizelge 7.4, Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6'da sunulmuştur. Bu çizelgelere bakıldığında maksimum yatay deplasman, orta katı kil zemin (Model 2) de görülmektedir. Daha sonra katı kil (Model 1), orta sıkı kum (Model 4) ve sıkı kum (Model 3) da belirlenmiştir.

Çizelge 7.3 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=8 m'lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Çivi Boyu (m) | Adet | Max.Yatay Deplasman (m) | Max.Düşey Deplasman (m) | Max.Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) |
|-----------|---------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Model 1   | 6.50          | 5.00 | $26.85 \times 10^{-3}$  | $10.14 \times 10^{-3}$  | 21.27                    | 9.04                        |
| Model 2   | 8.00          | 5.00 | $72.44 \times 10^{-3}$  | $10.51 \times 10^{-3}$  | 49.59                    | 22.97                       |
| Model 3   | 8.00          | 5.00 | $3.84 \times 10^{-3}$   | $389.6 \times 10^{-6}$  | 17.69                    | 6.87                        |
| Model 4   | 8.00          | 5.00 | $4.25 \times 10^{-3}$   | $1.62 \times 10^{-3}$   | 22.63                    | 8.46                        |

Çizelge 7.4 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=10 m'lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Çivi Boyu (m) | Adet | Max.Yatay Deplasman (m) | Max.Düşey Deplasman (m) | Max.Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) |
|-----------|---------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Model 1   | 8.00          | 6.00 | $36.22 \times 10^{-3}$  | $18.29 \times 10^{-3}$  | 33.07                    | 10.15                       |
| Model 2   | 10.00         | 6.00 | $170.1 \times 10^{-3}$  | $79.23 \times 10^{-3}$  | 81.14                    | 68.17                       |
| Model 3   | 10.00         | 6.00 | $6.84 \times 10^{-3}$   | $2.01 \times 10^{-3}$   | 24.33                    | 8.82                        |
| Model 4   | 10.00         | 6.00 | $6.71 \times 10^{-3}$   | $1.34 \times 10^{-3}$   | 25.96                    | 10.62                       |

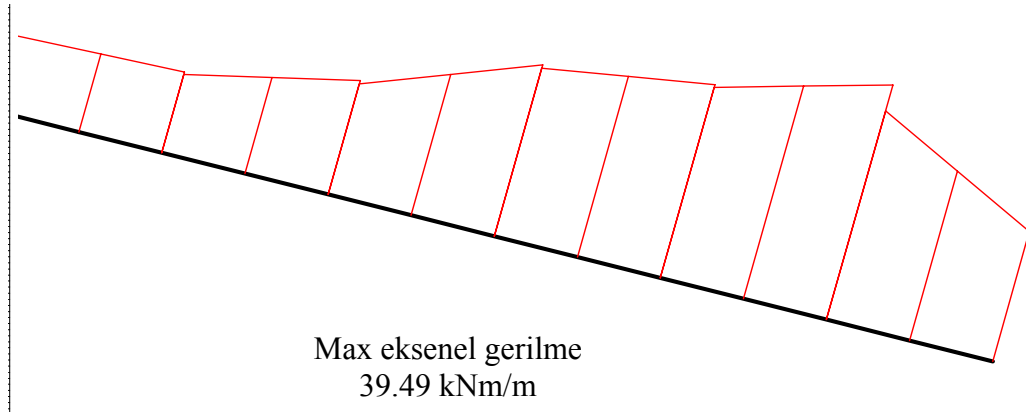
Çizelge 7.5 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=12 m'lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Çivi Boyu (m) | Adet | Max.Yatay Deplasman (m) | Max.Düşey Deplasman (m) | Max.Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) |
|-----------|---------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Model 1   | 11.00         | 8.00 | $48.33 \times 10^{-3}$  | $19.45 \times 10^{-3}$  | 36.61                    | 19.57                       |
| Model 2   | 12.00         | 8.00 | $231.65 \times 10^{-3}$ | $119.58 \times 10^{-3}$ | 94.50                    | 86.52                       |
| Model 3   | 11.00         | 8.00 | $12.01 \times 10^{-3}$  | $4.71 \times 10^{-3}$   | 27.63                    | 8.66                        |
| Model 4   | 12.00         | 8.00 | $9.62 \times 10^{-3}$   | $972.99 \times 10^{-6}$ | 26.29                    | 13.52                       |

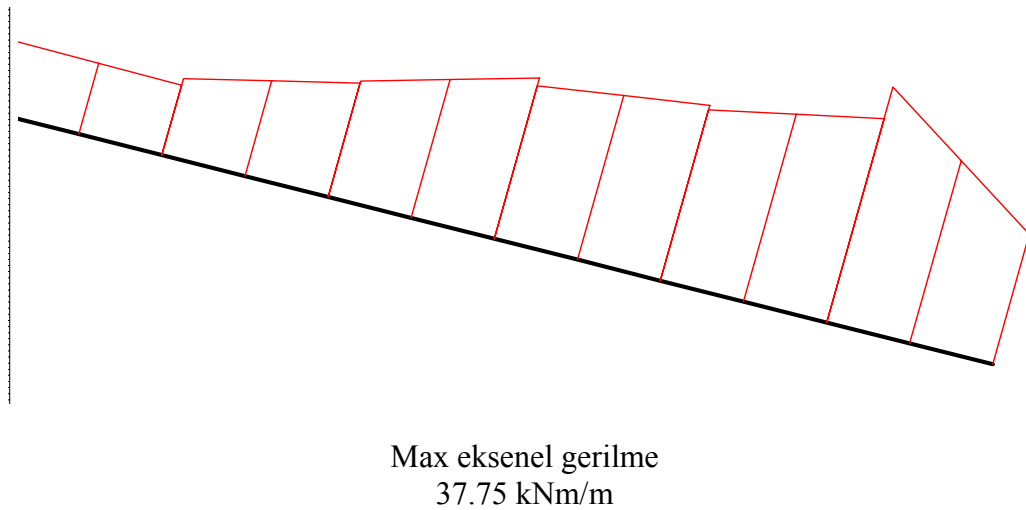
Çizelge 7.6 Farklı zemin koşullarında yapılan çivi destekli H=15 m’lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Çivi Boyu (m) | Adet | Max.Yatay Deplasman (m) | Max.Düşey Deplasman (m) | Max.Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) |
|-----------|---------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Model 1   | 13.00         | 9.00 | $77.28 \times 10^{-3}$  | $34.42 \times 10^{-3}$  | 53.31                    | 12.56                       |
| Model 2   | 15.00         | 9.00 | $304.83 \times 10^{-3}$ | $130.58 \times 10^{-3}$ | 131.58                   | 110.94                      |
| Model 3   | 12.00         | 9.00 | $19.62 \times 10^{-3}$  | $7.40 \times 10^{-3}$   | 37.64                    | 12.46                       |
| Model 4   | 15.00         | 9.00 | $21.97 \times 10^{-3}$  | $11.11 \times 10^{-3}$  | 48.1                     | 20.51                       |

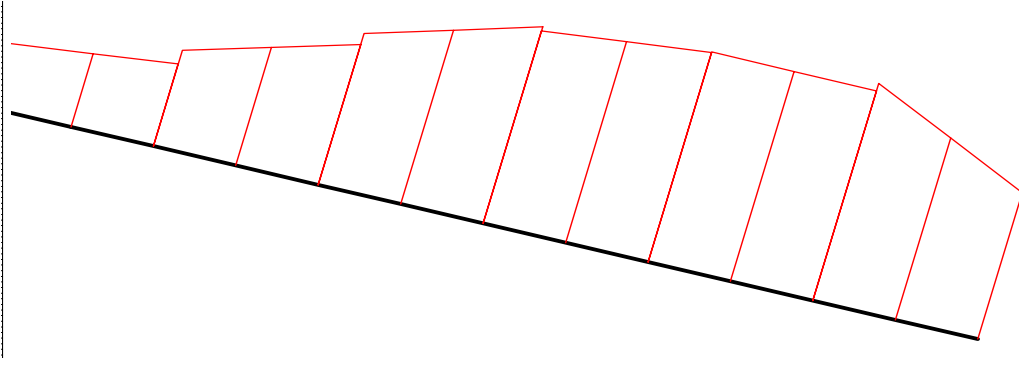
Zemin çivili sistemde Model 1 H=10m için analiz sonucu donatılar boyunca elde edilen eksenel gerilmelerin dağılışı Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15 ve Şekil 7.16’da verilmiştir. Şekil 5.14 ‘de gösterilen çivi boyunca gerilme dağılımı ile uyumludur.



Şekil 7.11 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 1.donatı boyunca gerilme dağılımı

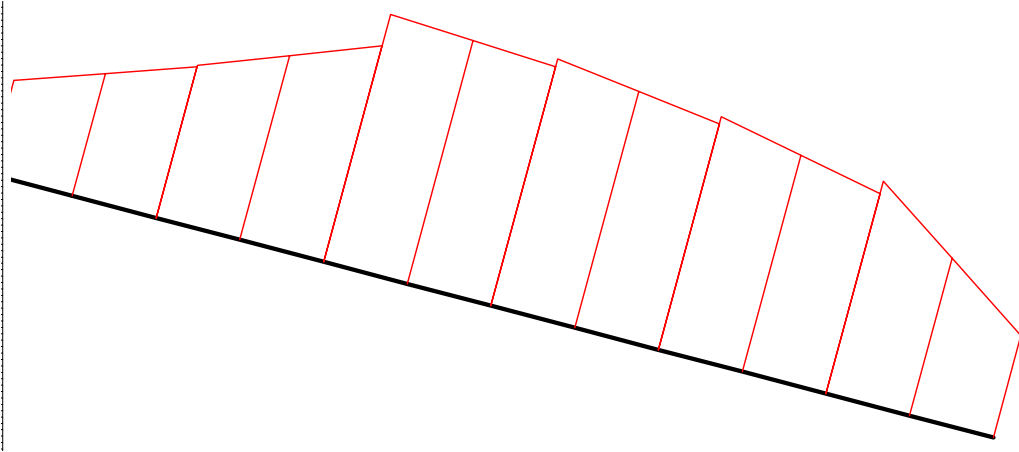


Şekil 7.12 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 2.donatı boyunca gerilme dağılımı



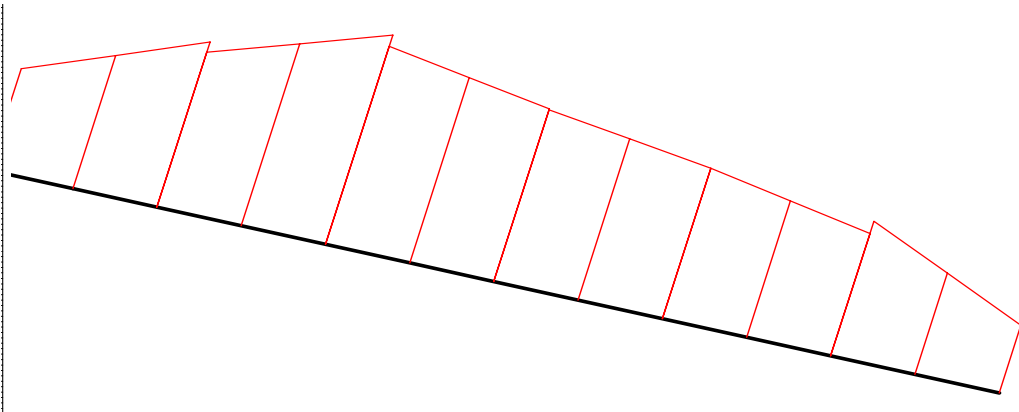
Max eksenel gerilme  
37.95 kNm/m

Şekil 7.13 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 3.donatı boyunca gerilme dağılımı



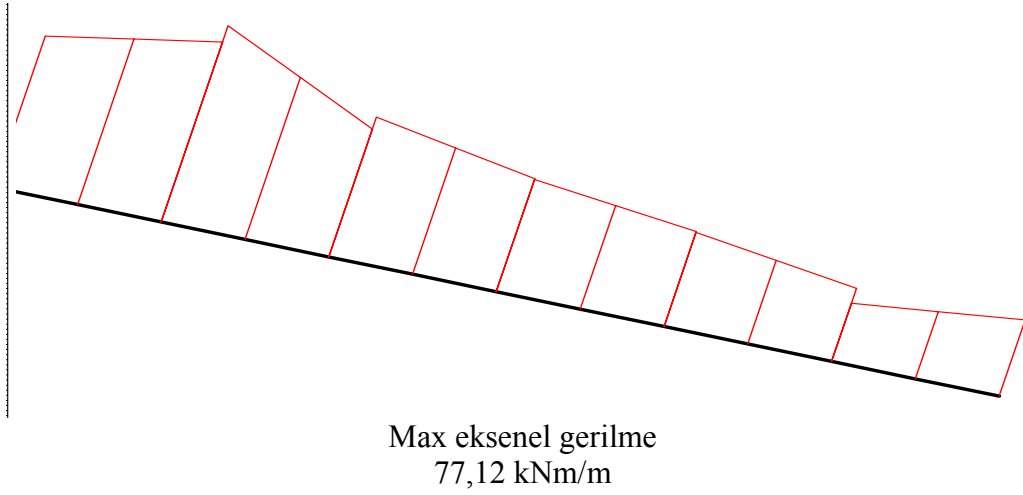
Max eksenel gerilme  
42.16 kNm/m

Şekil 7.14 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 4.donatı boyunca gerilme dağılımı



Max eksenel gerilme  
56.59 kNm/m

Şekil 7.15 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 5.donatı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 7.16 Model 1 zemin çivisi destekli duvarda 6.donatı boyunca gerilme dağılımı

Çivili sistemler için toplam yer değiştirmenin vektörel dağılımı ve konturlü gösteriminden, deplasmanların yönü ve değeri belirlenebilmektedir. Kazı derinliği arttıkça taban kabarması da konturlü gösterimde daha net görülmektedir. Zemin çivili sistemlerde analizler sonucu elde edilen maksimum taban kabarması değerleri, Çizelge 7.7 de gösterilmiştir. Zemin cinsine ve kazı derinliğine bağlı olarak kabarma miktarlarının arttığı analizler sonuçlarından görülmektedir. Detaylı gösterimler EKLER’de verilmiştir.

Çizelge 7.7 Zemin çivili sistemlerdeki maksimum taban kabarması değerleri

| Kazı<br>Derinliği (m) | Kazı tabanı maksimum kabarma miktarları (m) |         |         |         |
|-----------------------|---------------------------------------------|---------|---------|---------|
|                       | Model 1                                     | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 8                     | 0.028                                       | 0.148   | 0.010   | 0.012   |
| 10                    | 0.031                                       | 0.184   | 0.012   | 0.015   |
| 12                    | 0.042                                       | 0.222   | 0.015   | 0.018   |
| 15                    | 0.055                                       | 0.275   | 0.019   | 0.023   |

Çivi modellerinde toplam yer değiştirme şekilleri incelendiği zaman göçmenin, şev topuğundan  $0.4H-0.5H$  yüksekliğindeki çivilerin sıyrılması ve şev topuğuna yakın donatıların ön kısımlarında aşırı deformasyonların meydana gelmesi sonucu oluştuğu görülmektedir.

Zemin çivili sistemlerin analiz sonuçlarından, killi zeminlerde perde duvarlarında oluşan kesme ve eğilme moment değerlerinin kumlu zeminlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Killi zeminlerde aktif zemin basıncının daha yüksek ve zemin rijitliğinin daha az olması nedeniyle kesme kuvveti ve moment değerlerinin kuma göre daha yüksek olacağı söylenebilir.

Plaxis 7.2 ile yapılan analizler sonucunda sistemlerin toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları (G.S) belirlenmiştir. Ayrıca toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı, şev stabilitesi analizi yapan Talren 4 isimli bir programla da belirlenmiştir. Talren 4 şev stabilite analiz programı olup göçme anının güvenlik sayısını vermektedir (limit plastik denge durumunda Bishop yöntemine göre çözüm yapmaktadır). Ancak, limit denge analizlerinde deplasmanlar hesaplanmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında zemin çivili derin kazı kesitlerinin nümerik modeli Talren 4’de oluşturularak analizler yapılmıştır. İncelenen dört zemin modeli için farklı yüksekliklerdeki kazılarda elde edilen güvenlik sayıları Çizelge 7.8’de özetlenmiştir. H=10 m ve H=15 m’lik kazılarda tüm zemin modelleri için Talren 4 programından elde edilen göçme yüzeyleri ve güvenlik sayılarını gösteren şekiller sırasıyla Şekil 7.17, Şekil 7.18, Şekil 7.19, Şekil 7.20, Şekil 7.21, Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24’de verilmiştir.

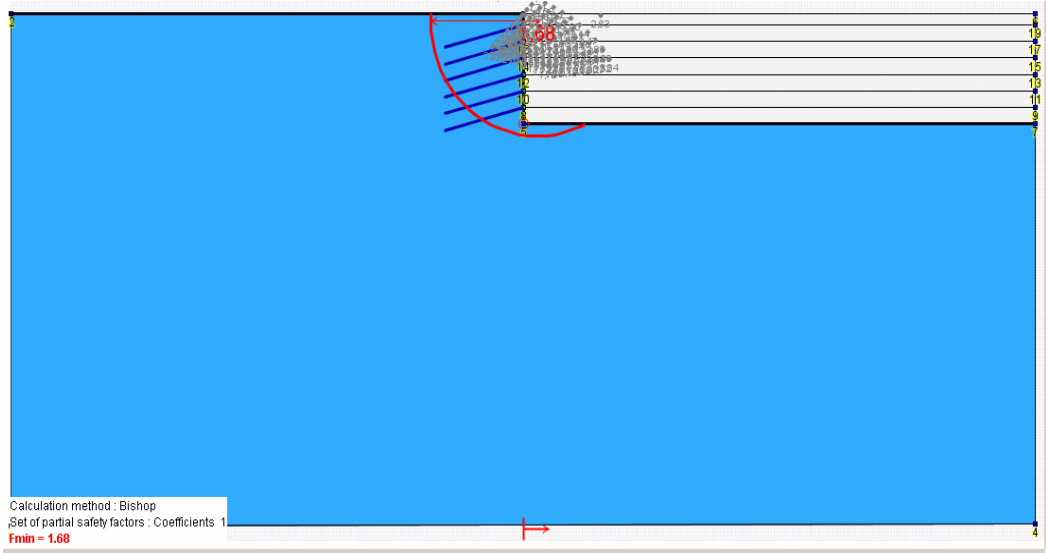
Çizelge 7.8 Zemin çivili sistemlerde sonlu elemanlar ve limit denge analizi ile hesaplanan toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları

(a) Plaxis 7.2’den belirlenen güvenlik sayıları

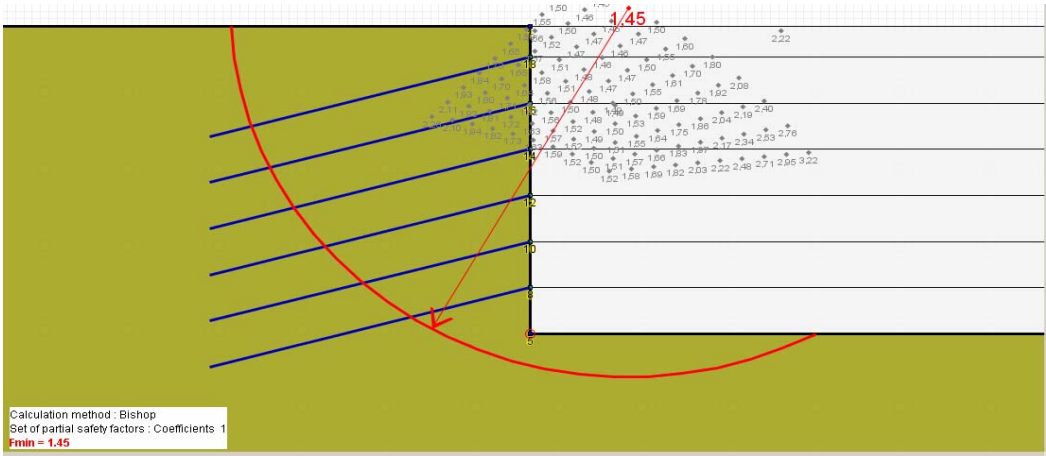
| Kazı<br>Derinliği (m) | Güvenlik Sayıları |         |         |         |
|-----------------------|-------------------|---------|---------|---------|
|                       | Model 1           | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 8                     | 1.83              | 1.57    | 2.36    | 2.05    |
| 10                    | 1.75              | 1.46    | 2.29    | 2.02    |
| 12                    | 1.87              | 1.35    | 2.32    | 1.82    |
| 15                    | 1.72              | 1.39    | 2.00    | 1.73    |

(b) Talren 4’den belirlenen güvenlik sayıları

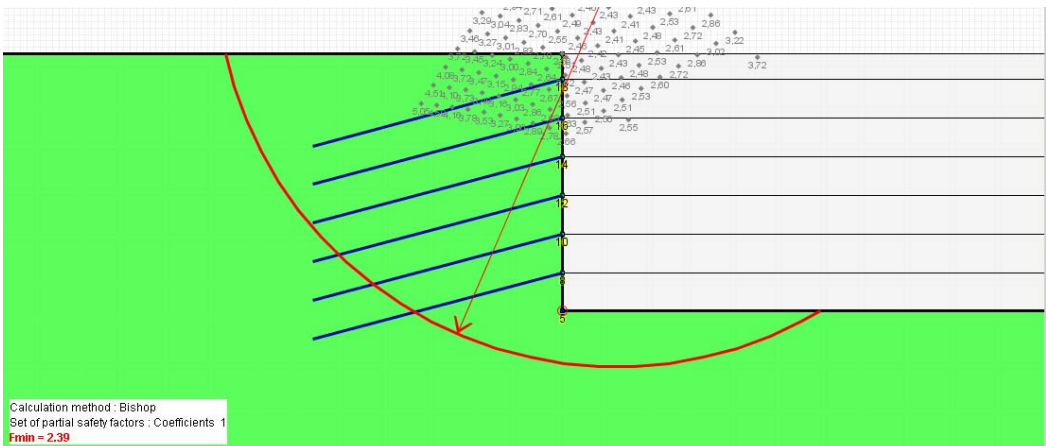
| Kazı<br>Derinliği (m) | Güvenlik Sayıları |         |         |         |
|-----------------------|-------------------|---------|---------|---------|
|                       | Model 1           | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 10                    | 1.68              | 1.45    | 2.39    | 1.98    |
| 15                    | 1.82              | 1.61    | 2.27    | 1.99    |



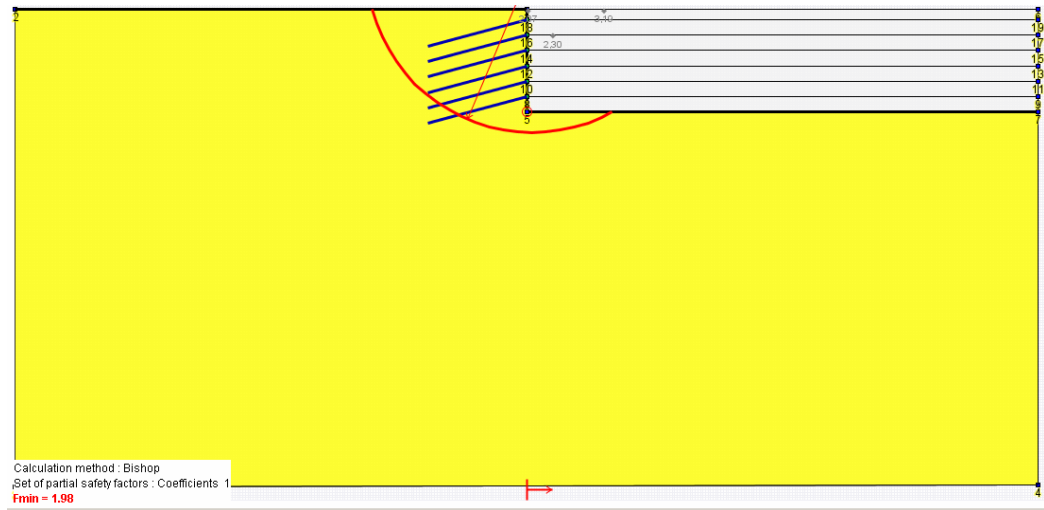
Şekil 7.17 Model 1 için çivili duvarın stabilite analizi (H = 10m) (G.S=1.68)



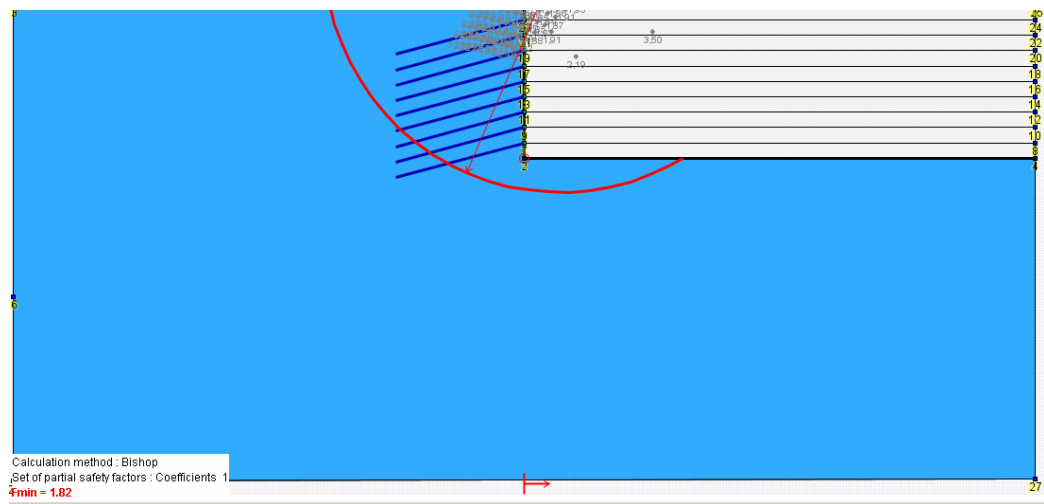
Şekil 7.18 Model 2 için çivili duvarın stabilite analizi (H = 10m) (G.S=1.45)



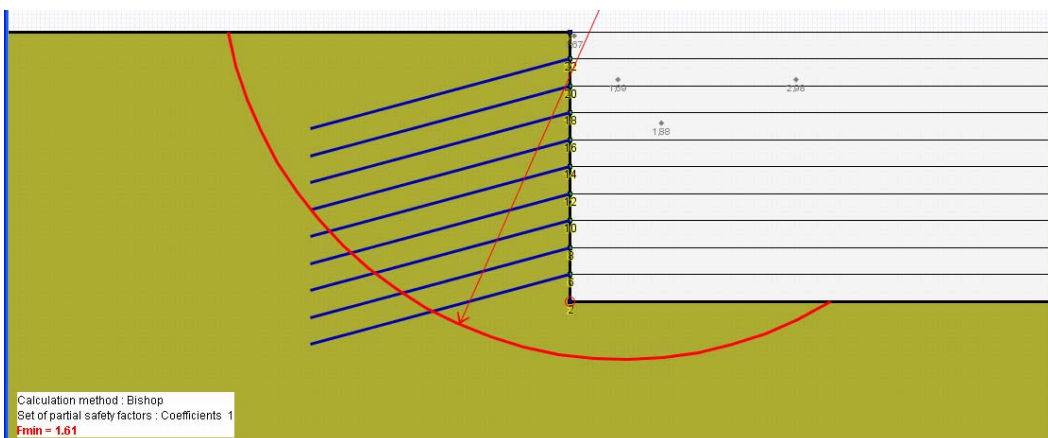
Şekil 7.19 Model 3 için çivili duvarın stabilite analizi (H = 10m) (G.S=2.39)



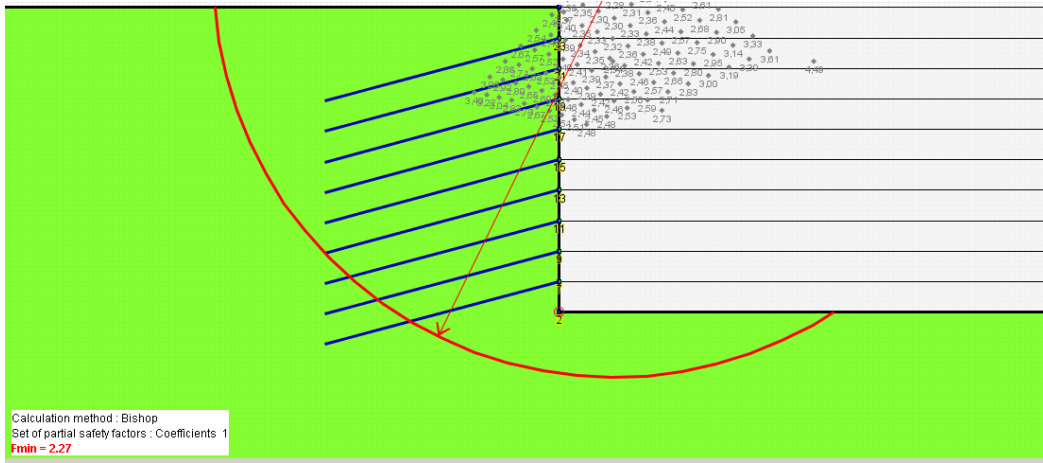
Şekil 7.20 Model 4 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=1.98$ )



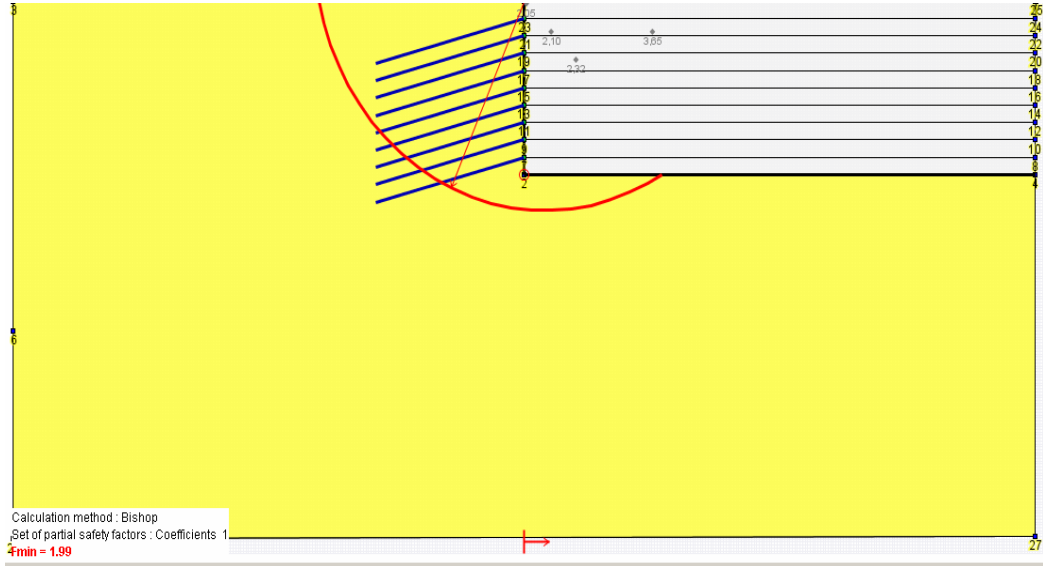
Şekil 7.21 Model 1 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.82$ )



Şekil 7.22 Model 2 için çivili duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.61$ )



Şekil 7.23 Model 3 için çivili duvarın stabilite analizi (H = 15m) (G.S=2. 27)



Şekil 7.24 Model 4 için çivili duvarın stabilite analizi (H = 15m) (G.S=1.99)

Talren 4 hesap sonuçlarının Plaxis 7.2 sonuçları ile uyumlu olduğu güvenlik sayılarından anlaşılmaktadır. Göçme yüzeyleri de benzerlik göstermektedir.

## 8. ANKRAJ DESTEKLİ KAZILARDA ANKRAJ TASARIMI, ANALİZLER VE SONUÇLARI

Farklı zeminlerde ankraj tasarımı yapmak için öncelikle Bölüm 2’de anlatıldığı üzere duvara gelen yanal toprak basınçları Terzaghi-Peck’e göre hesaplanmıştır. Ankrajlar 15°’lik açı ile yerleştirilerek ankraj taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve hesaplanan yatay aralıklarda yerleştirilmiştir. Ankrajların düşey aralıkları 1.7 m ile 2.5m arasında değişmektedir. Ankraj kök bölgesi göçme yüzeyinin arkasında kalacak şekilde oluşturulmuştur. Bölüm 5’de anlatıldığı gibi ankraj taşıma kapasiteleri bulunarak güvenliği hesaplanmıştır. Hesaplanan ankraj kuvvetleri nümerik analizlerde her bir ankraja, ankraj öngerme kuvveti olarak girilmiştir. Bu bölümde 10 m’lik kazı için yapılan hesaplar ve sonuçları gösterilmiş, diğer yükseklikler (8m, 12 m ve 15m ) için yapılan hesap sonuçları EKLER kısmında sunulmuştur.

### 8.1 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Ankraj Tasarımı

Zemin ve duvara ait malzeme parametreleri Bölüm 6’da verilmiştir. Buna göre;

H= 10 m Model 1 (katı kil) için çözüm yapılırsa;

$$\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3, \phi' = 30^\circ, c' = 10 \text{ kPa}, c_u = 75 \text{ kPa}, K_a = \tan^2(45 - \phi'/2) = 0.33$$

$$N_b = \gamma_n \cdot H / c_u = 20 \cdot 10 / 75 = 2.7 < 4$$

Terzaghi - Peck’e göre hesaplanan toprak basınçları;

$$p_a = 0.3 \gamma_n \cdot H \text{ ise } p_a = 2(1/2 \times 60 \times 2.5) + (60 \times 5) = 450 \text{ kN/m bulunmuştur.}$$

Sistemde ki ankrajların taşıma kapasiteleri hesaplanır. Killi zeminlerde ;

$P = 0.75 \times \pi \times D \times L \times \tau$  ( $\tau = c' + \sigma_v' \tan \phi'$ ) ve ( $\sigma_v' = \gamma_n \cdot h$ ) h ise her bir ankrajın orta noktasının yüzeye olan uzaklığı olarak belirlenmiştir.)

$$P_A = 0.75 \times \pi \times 0.15 \times 8.00 \times (10 + 20 \times 4.5 \times 0.577) = 175.01 \text{ kN}$$

$$P_B = 0.75 \times \pi \times 0.15 \times 8.00 \times (10 + 20 \times 6.5 \times 0.577) = 240.24 \text{ kN}$$

$$P_C = 0.75 \times \pi \times 0.15 \times 8.00 \times (10 + 20 \times 8.5 \times 0.577) = 305.46 \text{ kN}$$

$$P_D = 0.75 \times \pi \times 0.15 \times 8.00 \times (10 + 20 \times 10.5 \times 0.577) = \underline{370.69 \text{ kN}}$$

$$\text{Toplam } 1091.40 \text{ kN}$$

Ankraj taşıma kapasitesi  $\frac{1091.40 \times \cos 15^\circ}{1.50} = 702.79 \text{ kN}$  bulunmuştur.

$$1.50$$

Ankraj yatay aralığı ise;  $S = 702.79/450 = 1.6 \text{ m}$  bulunmuştur.

Bu hesaplar her bir Model ve 8, 10, 12 ve 15m kazı derinlikleri için yapılarak oluşturulan destek sistemleri Plaxis 7.2 ve Talren 4 ile gerçekleştirilen nümerik analizlerde kullanılmıştır.

Öngermeli ankraj imalatında kullanılacak 0.6" (15.2 mm) çapında 1 adet öngermeli ankraj halatının teknik özellikleri Çizelge 8.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 8.1. Tendon (ankraj) halatı teknik özellikleri

| Cinsi        | Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> ) | Kopma Kuvveti (kN) | Halatın Emniyetli Taşıma Kapasitesi (kN) |
|--------------|--------------------------------|--------------------|------------------------------------------|
| Süper tendon | 140                            | 232                | 145                                      |

Ankrajı gelen kuvvet 370.69 kN, emniyetli taşıma kapasitesi 145 kN ise

gerekli halat adeti  $370.69/145 = 3$  adet olmalıdır.

Ankrajlı sistemde duvar boyutları, ankraj kökü ve serbest boy bulunarak sistem oluşturulur. Bölüm 5'de genel stabilite kısmında anlatıldığı üzere sistemin blok analizi yapılmıştır. Aşağıda Şekil 8.1'de Model 1 için ankrajlı duvarın blok göçme analizini yapmak için gerekli çizimler gösterilmiştir.

## 8.2 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Ankraj Blok Göçme Hesabı

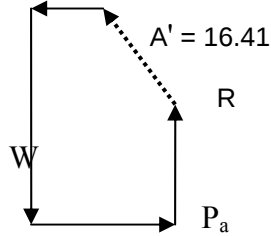
Ankrajlı duvarların duraylılığında gözetilmesi gerekli diğer bir durum ankrajın gerilmesi ile birlikte ankraj kökünün belirlediği bir zemin kamasının ana kitleden koparılmasına karşı yeterli güvenliğin sağlanıp sağlanmadığıdır. Bu amaçla yapılan blok analizinde, göz önüne alınan ankraj kökünün ortasını düşeyle ve duvarın altıyla birleştiren yüzeylerin belirlediği bloğun dengesi düşünülmektedir.

İncelenen her bir zemin model için Şekil 8.1'deki gibi ankrajlı duvarın blok göçme analizi için gerekli çizimler yapılmıştır. Oluşturulan bloklar için  $P_1$  ; ankraj plağına gelen toprak basıncı,  $W$ ; bloğun ağırlığı,  $R$ ; blok destek kuvveti,  $P_a$ ; duvara gelen yanal toprak basıncı ve  $A$ ; ankraj çekme kuvveti değerleri hesaplanarak kuvvet poligonu çizilmiştir.  $A'$  kuvveti; bloğu dengede tutan kuvvet olarak bulunmaktadır. Bulunan  $A'$  ankraj kuvvetinin, mevcut  $A$  ankraj

kuvvetine oranı güvenlik sayısını vermektedir. Bu değer en az 1.3, önemine göre 1.5 olmalıdır.

Model 1 için yapılan blok göçme analizinin adımları aşağıda sunulmuştur. Diğer modeller içinde benzer hesaplar yapılmıştır.

1)  $P_1$



$$P_1 = ((4.50)^2 \times 20 \times 0.33) / 2 = 66.83 \text{ kN} ; P_1 = 1 \text{ cm}$$

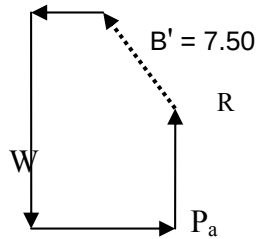
$$W = (4.50 + 10.00) / 2 \times 12.0 \times 20.0 = 1740 \text{ kN/m} ; W = 26 \text{ cm}$$

$$P_a = 450 \text{ kN/m} ; P_a = 6.73 \text{ cm} , P_A = A = 175.01 \text{ kN}$$

$$R = 19.4 \text{ cm} , R = 66.83 \times 19.2 = 1295.92 \text{ kN}$$

$$FS = A' / A = 16.41 \times 66.83 / 175.01 = 8.39 > 1.3 \text{ güvenli}$$

2)  $P_1$



$$P_1 = ((6.50)^2 \times 20 \times 0.33) / 2 = 139.4 \text{ kN} ; P_1 = 1 \text{ cm}$$

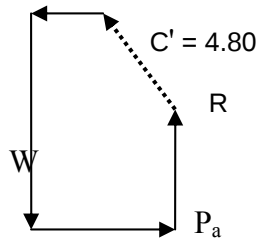
$$W = (6.50 + 10.00) / 2 \times 10.7 \times 20.0 = 1765.5 \text{ kN/m} ; W = 12.71 \text{ cm}$$

$$P_a = 450 \text{ kN/m} ; P_a = 3.3 \text{ cm} , P_B = 240.24 \text{ kN}$$

$$R = 9.3 \text{ cm} , R = 139.4 \times 9.3 = 1296.42 \text{ kN}$$

$$FS = B' / B = 7.50 \times 139.4 / 240.24 = 4.35 > 4.4 \text{ güvenli}$$

3)  $P_1$



$$P_1 = ((8.50)^2 \times 20 \times 0.33) / 2 = 238.43 \text{ kN} ; P_1 = 1 \text{ cm}$$

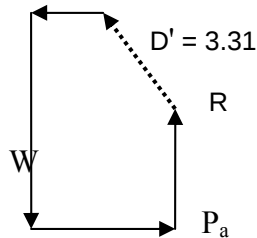
$$W = (8.50 + 10.00) / 2 \times 9.5 \times 20.0 = 1757.5 \text{ kN/m} ; W = 7.4 \text{ cm}$$

$$P_a = 450 \text{ kN/m} ; P_a = 1.9 \text{ cm} , P_C = 305.46 \text{ kN}$$

$$R = 6.7 \text{ cm} , R = 238.43 \times 6.7 = 1597.48 \text{ kN}$$

$$FS = C' / C = 4.80 \times 238.43 / 305.46 = 3.70 > 1.3 \text{ güvenli}$$

4)  $P_1$



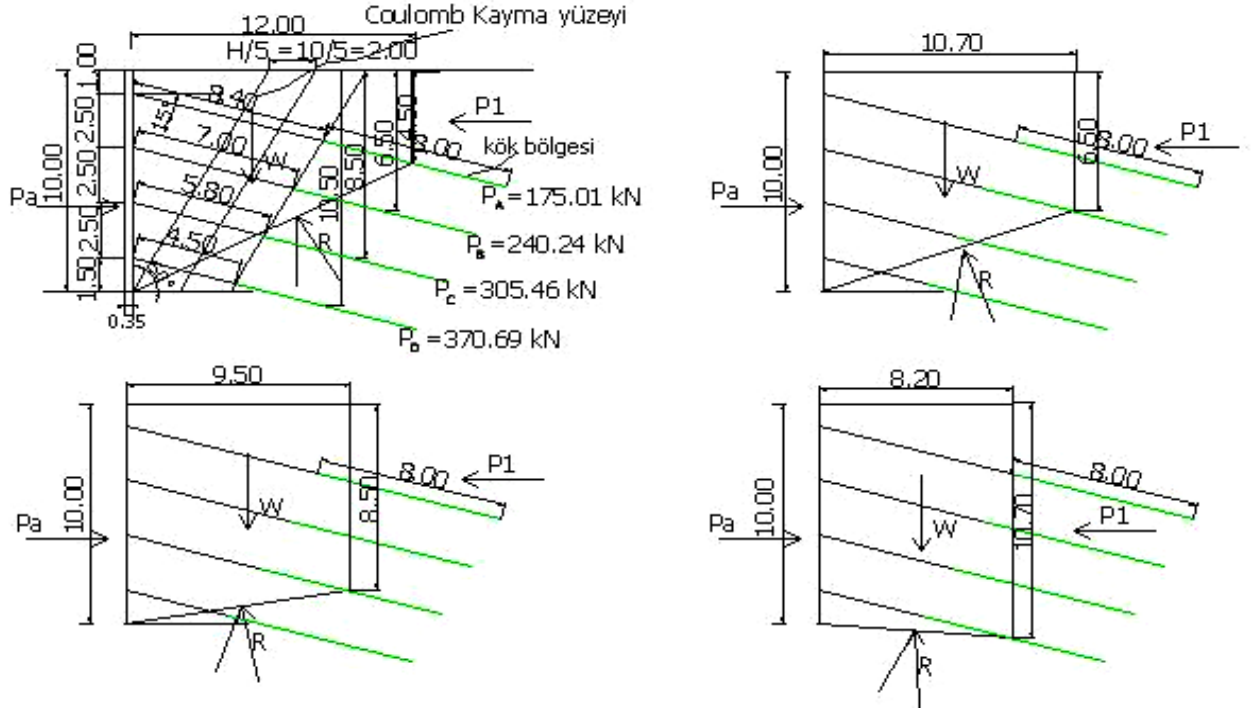
$$P_1 = ((10.7)^2 \times 20 \times 0.33) / 2 = 377.82 \text{ kN} ; P_1 = 1 \text{ cm}$$

$$W = (10.7 + 10.00) / 2 \times 8.2 \times 20.0 = 1697.4 \text{ kN/m} ; W = 4.5 \text{ cm}$$

$$P_a = 450 \text{ kN/m} ; P_a = 1.2 \text{ cm} , P_D = 370.69 \text{ kN}$$

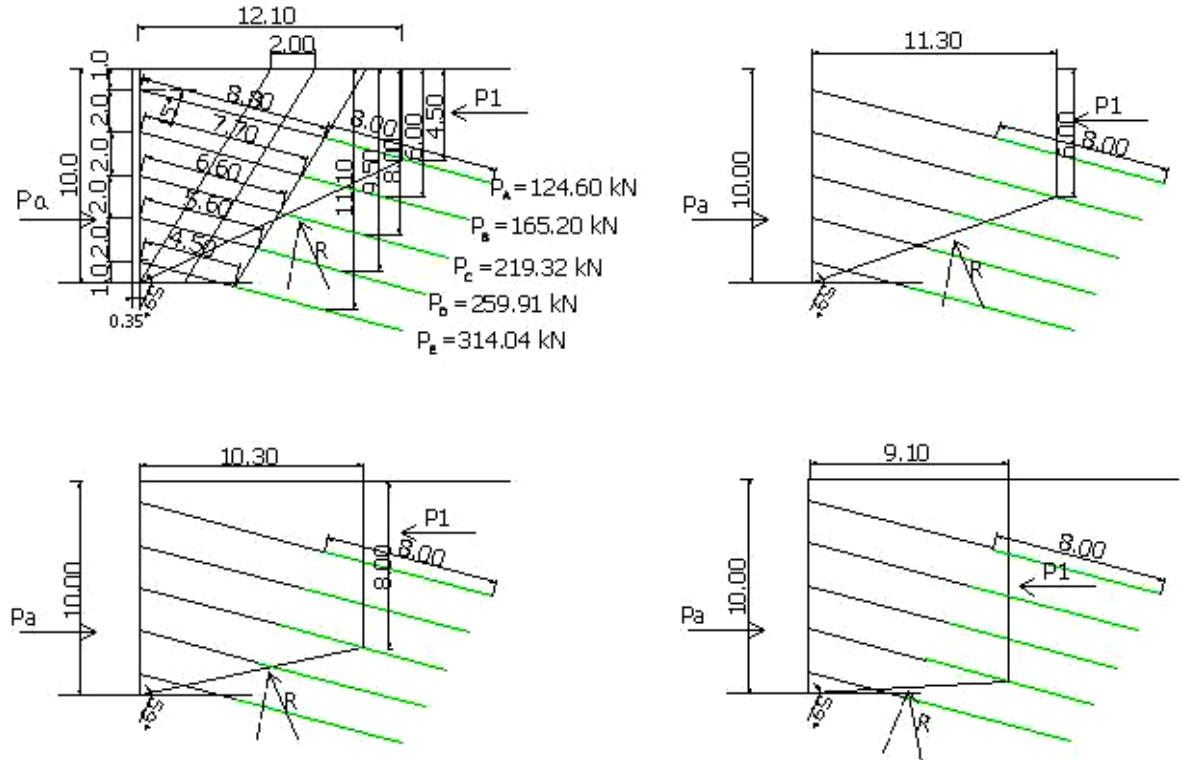
$$R = 4.2 \text{ cm} , R = 377.82 \times 4.2 = 1418.76 \text{ kN}$$

$$FS = D' / D = 3.31 \times 377.82 / 370.69 = 3.36 > 1.3 \text{ güvenli}$$

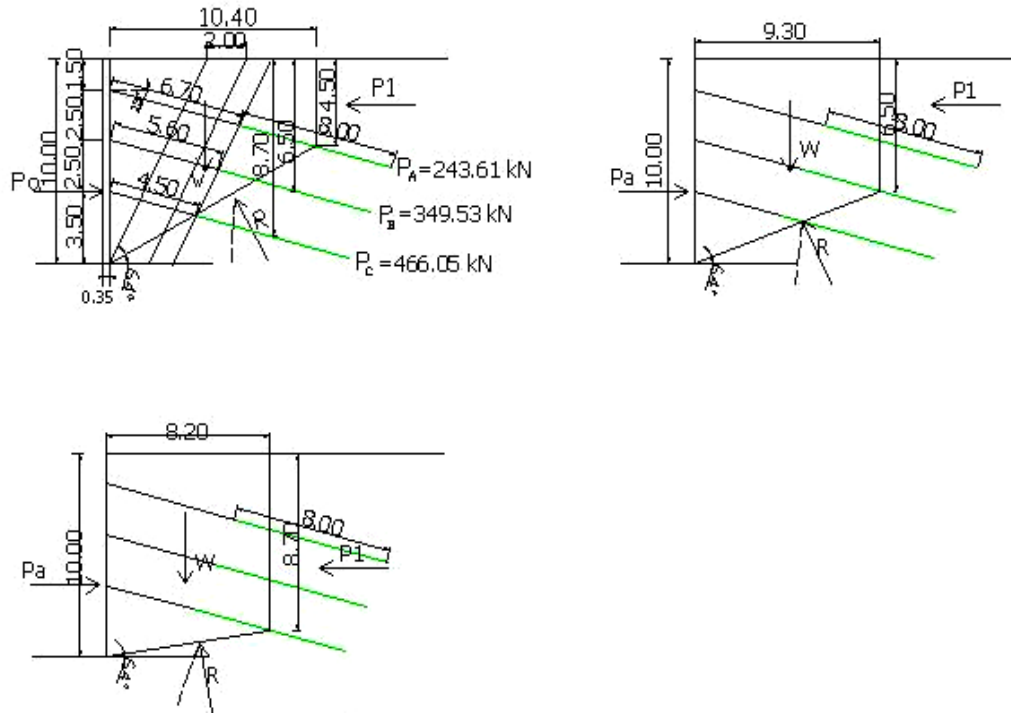


Şekil 8.1 Model 1 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi (H=10 m)

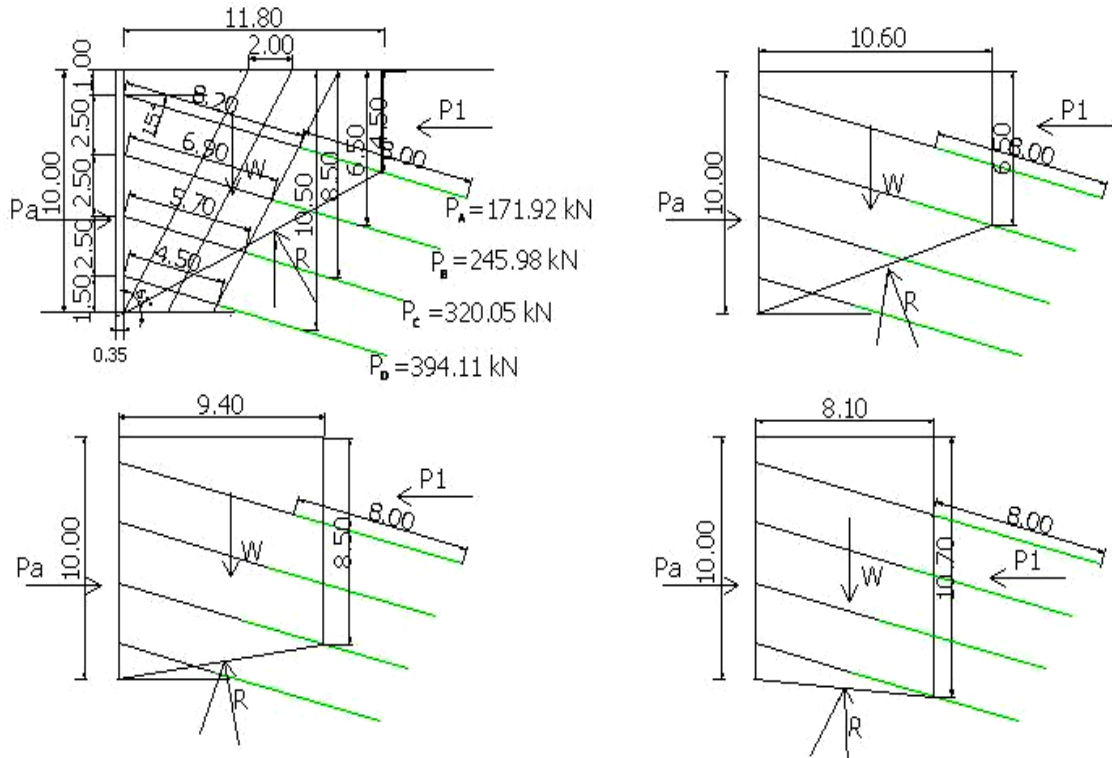
Benzer hesaplar H=10 m'lik kazıda diğer zemin modelleri için tekrarlanmış ve Şekil 8.2'de Model 2, Şekil 8.3'de Model 3 ve Şekil 8.4'de Model 4 için gözönüne alınan adımlar gösterilmiştir.



Şekil 8.2 Model 2 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi (H=10 m)



Şekil 8.3 Model 3 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi (H=10 m)



Şekil 8.4 Model 4 için ankrajlı duvarın blok göçme analizi (H=10 m)

H=8, 10, 12 ve 15 m kazı derinliği için modellenen ankraj destekli iksa sistemlerinde kullanılan perde duvar ve ankraja ait malzeme özellikleri Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Ankraj destekli iksa sistemlerinde kullanılan malzeme özellikleri

| Malzeme        | d<br>(m) | E<br>(kPa) | EA<br>(kN/m) | EI<br>(kNm <sup>2</sup> /m) | w<br>(kN/m/m)                            | v    |
|----------------|----------|------------|--------------|-----------------------------|------------------------------------------|------|
| Duvar          | 0.35     | 30.000.000 | 10.500.000   | 107.187.50                  | Model 1 ve 3= 4.90<br>Model 2 ve 4= 5.25 | 0.15 |
| Ankraj<br>kökü | 0.15     | 30.000.000 | 529.875      | -                           | -                                        | -    |

Çizelge 8.2’de d duvar kalınlığı veya ankraj kökü, E elastisite modülü, EA imal edilen duvarın ağırlık modülü ve ankraj kökü rijitliği, EI imal edilen duvarın rijitlik modülü, v duvarın Poisson oranı, w duvarın bir metresinin ağırlığı olarak tanımlanır.

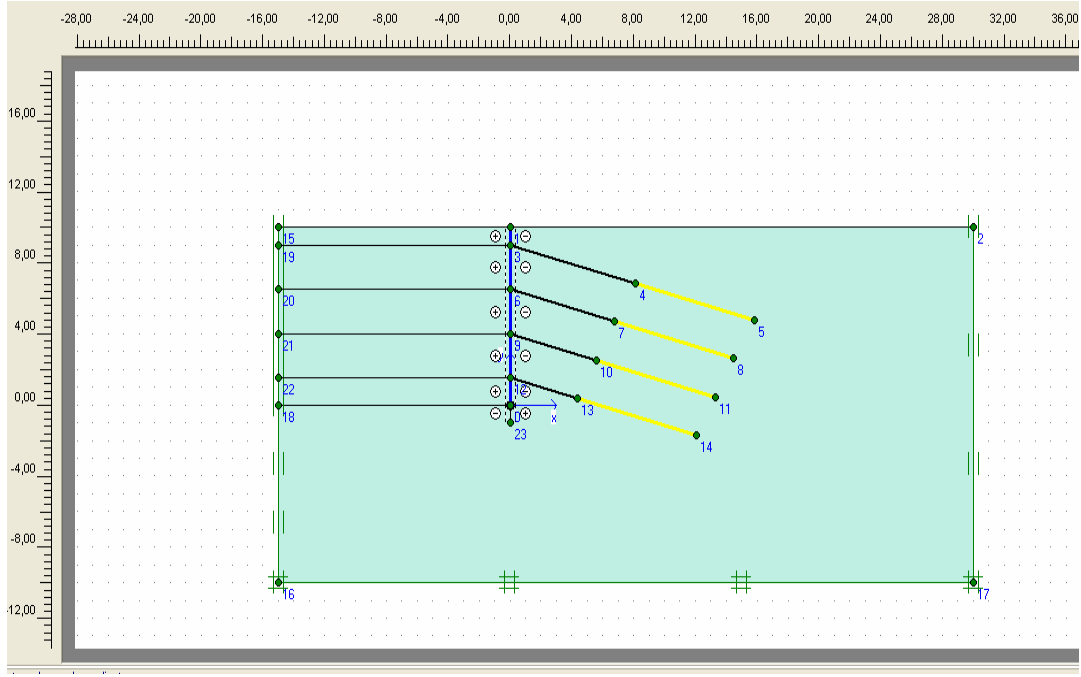
Blok analizleri sonucu güvenli olduğu gösterilen ankrajlı destek sistemlerinin deformasyon davranışı, genel stabilite durumu nümerik analizler ile incelenmiştir.

### 8.3 H=10 m ve Model 1 (katı kil) İçin Nümerik Analizler ve Sonuçları

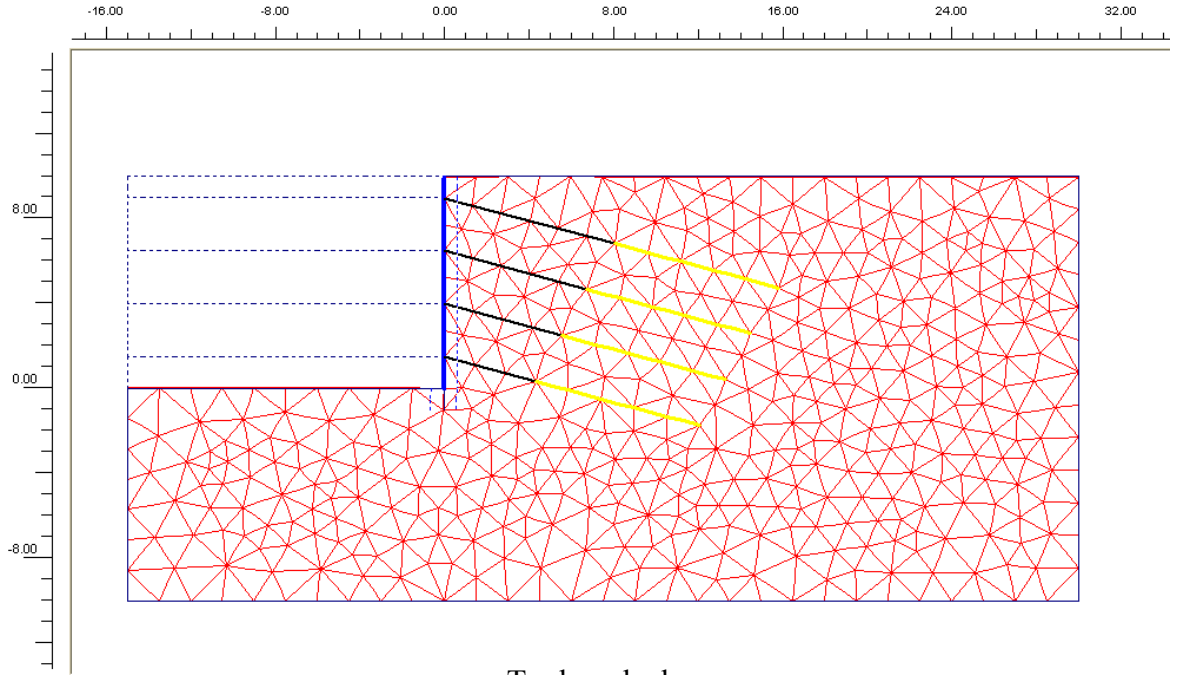
Her bir zemin modeli ve yükseklik için toprak basınçları hesaplandıktan sonra ankraj sayıları, boyları ve aralıkları hesaplanarak Plaxis 7.2 kullanılan modeller oluşturulmuş ve nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Nümerik analiz sonuçları Model 1’de H=10m’lik kazı durumu için verilmiştir.

Model 1, H=10m için ankraj destekli kazıya ait nümerik analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur. Benzer şekilde bütün zemin modelleri ve yükseklikler için analizler yapılmış ve belirlenen sonuçlar EKLER kısmında verilmiştir. Şekil 8.5’de ankraj destekli duvarın Plaxis 7.2’de hazırlanan nümerik modeli gösterilmiştir. Şekil 8.6’da ise kazı işlemi tamamlandıktan sonra oluşan deforme olmuş sonlu elemanlar ağı ve meydana gelen max yatay deplasman değeri gösterilmiştir. Şekil 8.7’de kazıdan sonra toplam gerilmelerin değişimi, Şekil 8.8’de toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı, Şekil 8.9’da ise toplam yerdeğiştirmelerin dağılımı sunulmuştur.

Nümerik analizlerden ankraj destekli duvarın yerdeğiştirmesi ve duvarda oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri de belirlenebilmektedir. Şekil 8.10’da ankraj destekli kazıda duvarın yatay deplasmanı, Şekil 8.11’de düşey deplasmanı, Şekil 8.12’de duvarda meydana gelen kesme kuvvetleri ve Şekil 8.13’de de duvarda meydana gelen momentler gösterilmiştir.

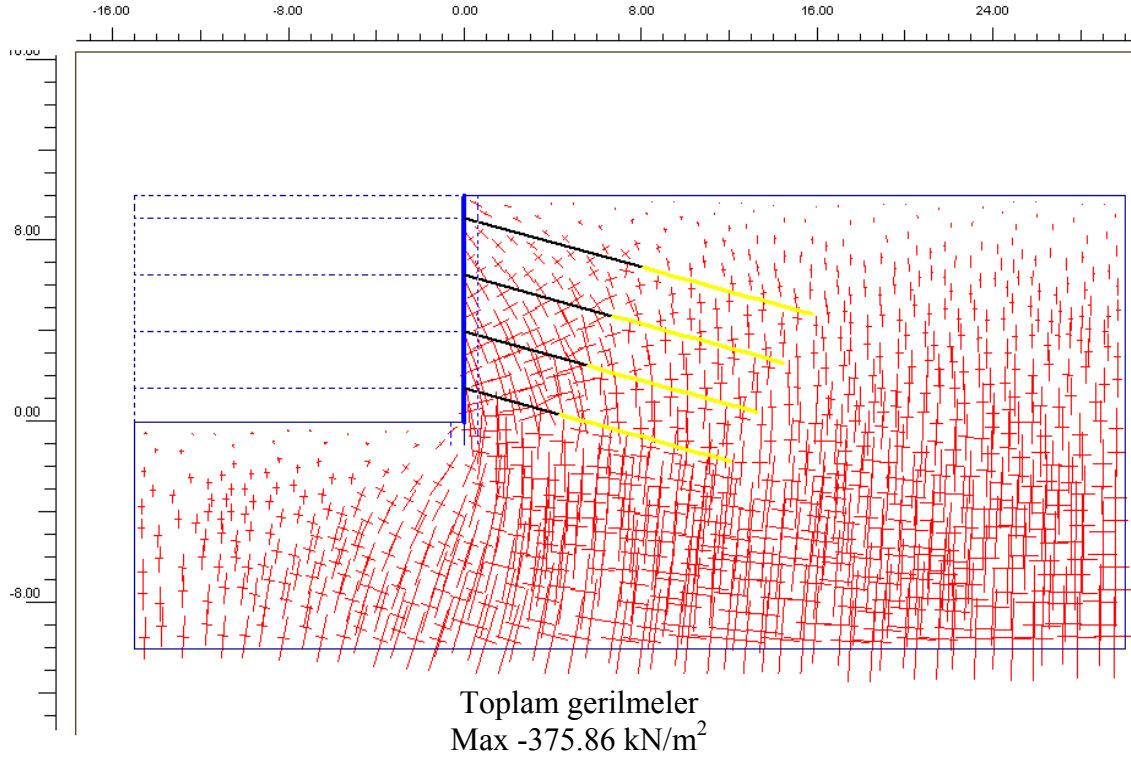


Şekil 8.5 Model 1 ankraj destekli kazı için nümerik model

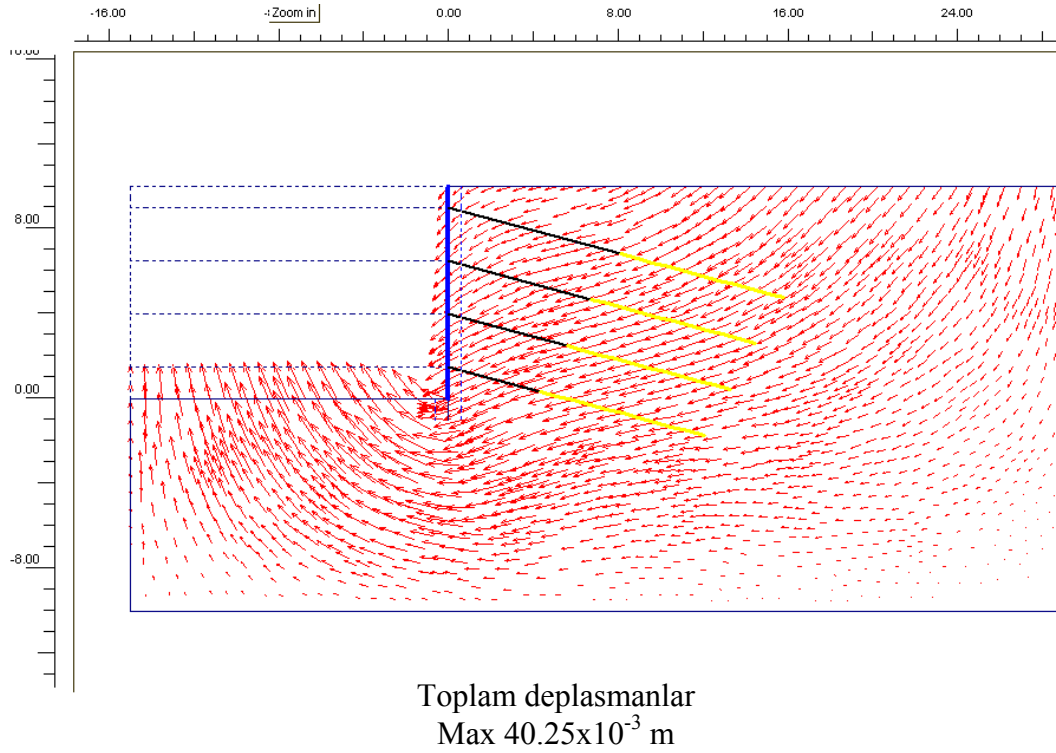


Toplam deplasman  
 $40.25 \times 10^{-3} \text{ m}$

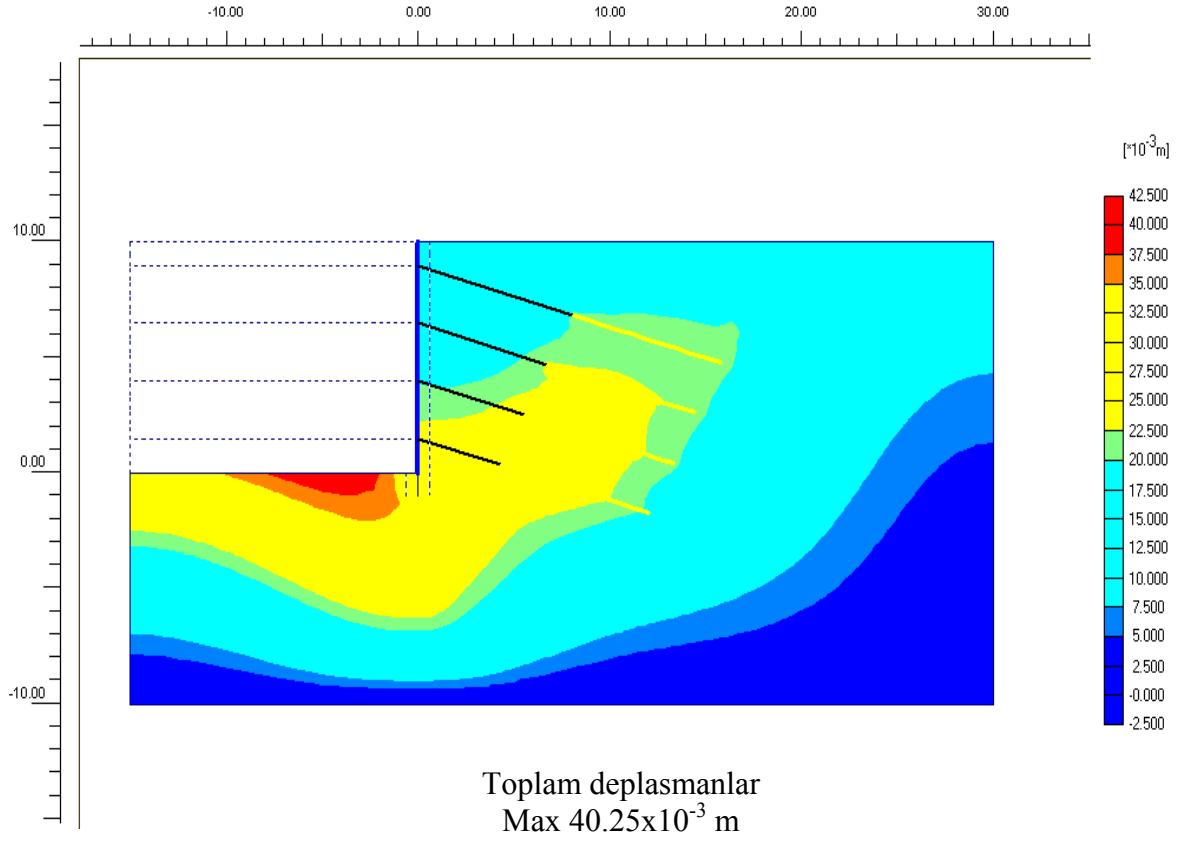
Şekil 8.6 Model 1 ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



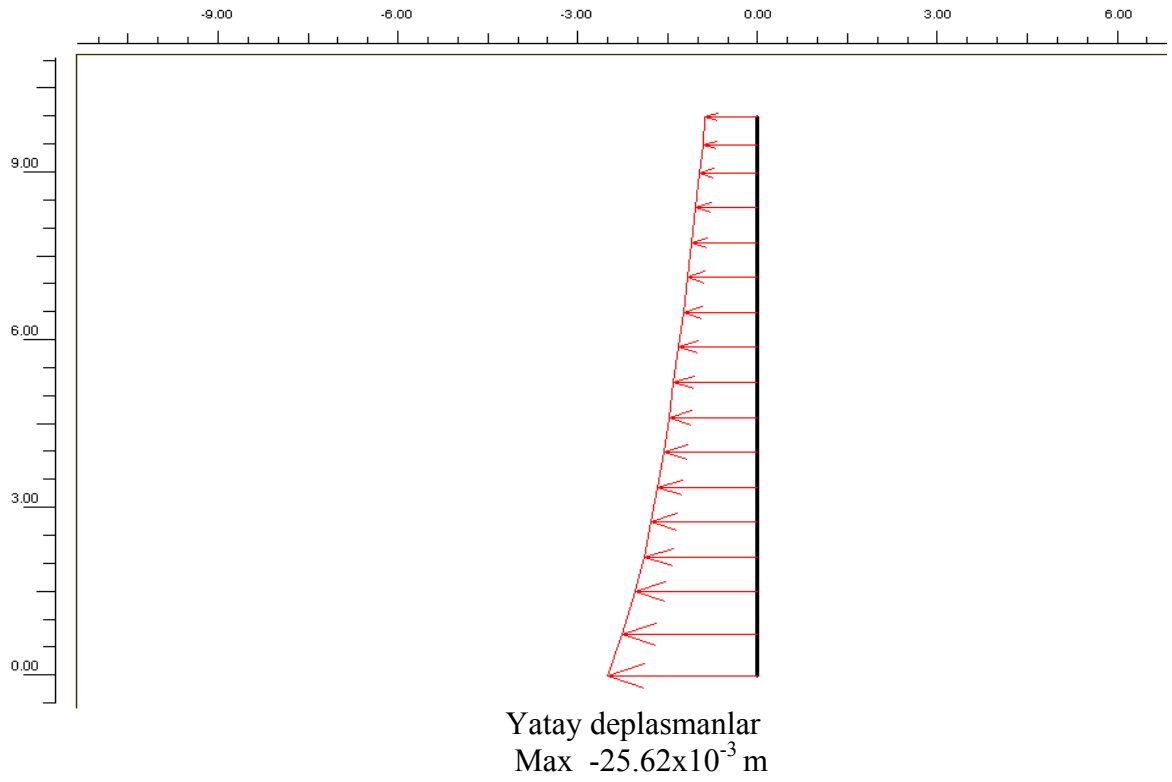
Şekil 8.7 Model 1 ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



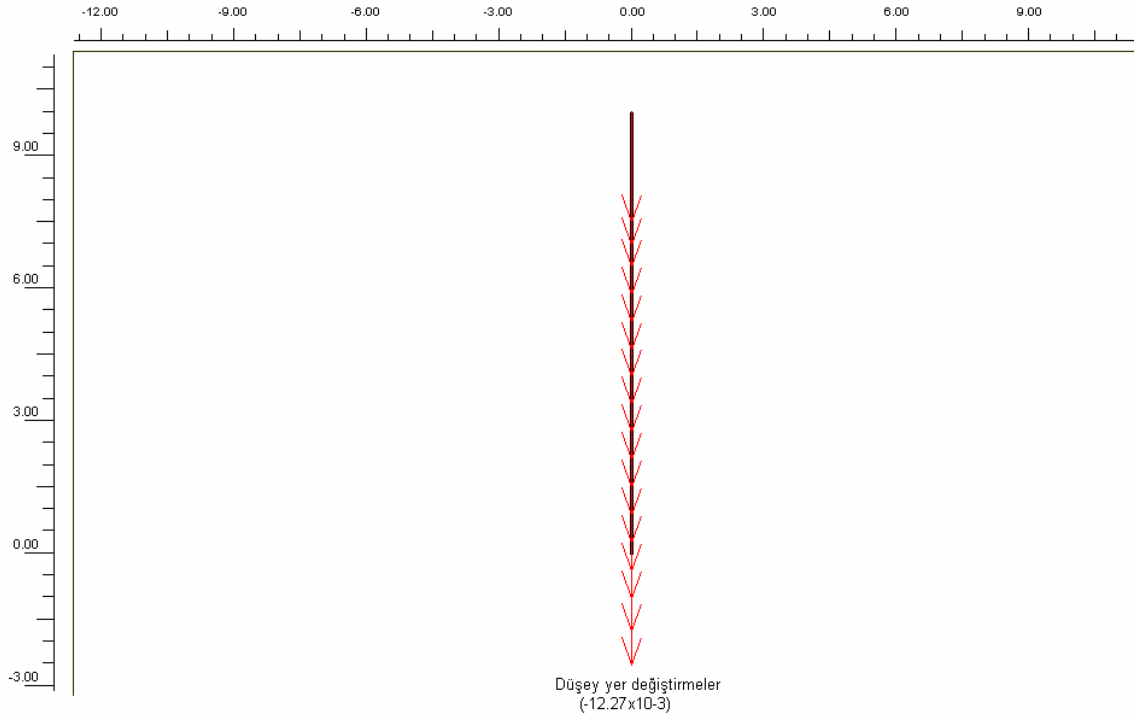
Şekil 8.8 Model 1 ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



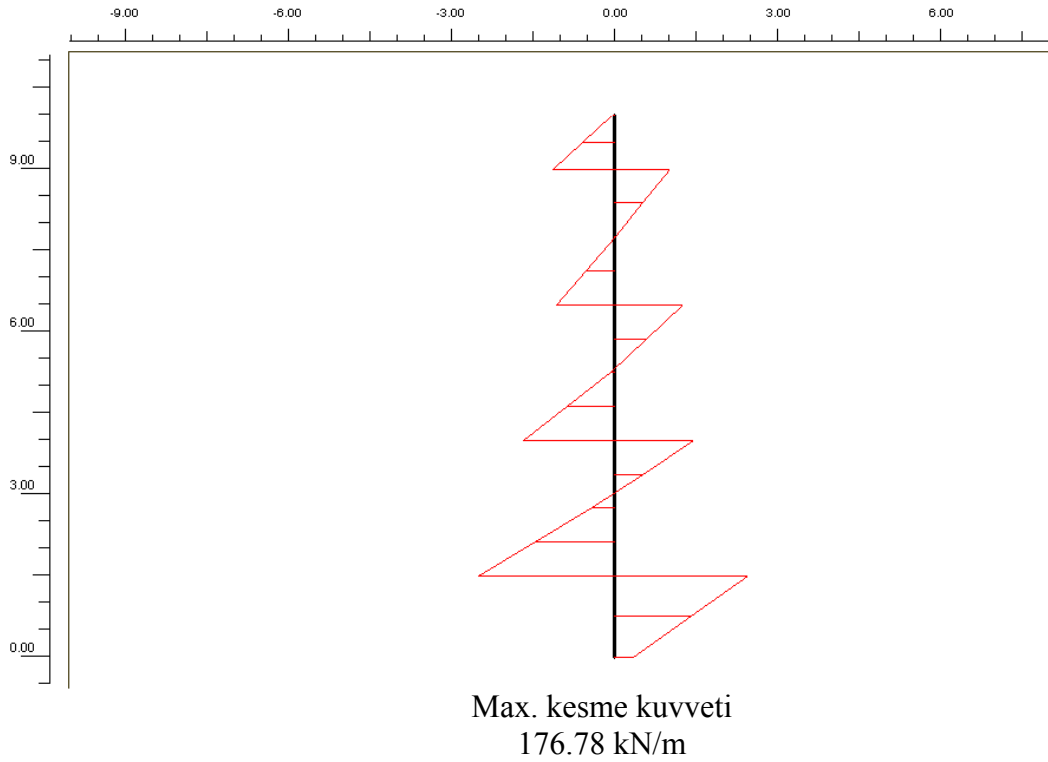
Şekil 8.9 Model 1 ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



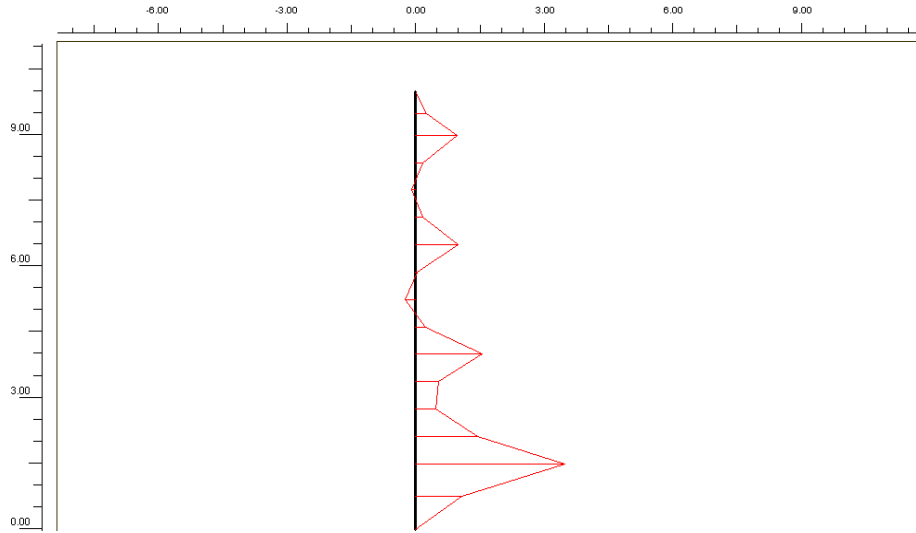
Şekil 8.10 Model 1 ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



Şekil 8.11 Model 1 ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



Şekil 8.12 Model 1 ankraj destekli duvarda oluşan kesme kuvveti diyagramı



Max moment  
-149.26 kNm/m

Şekil 8.13 Model 1 ankraj destekli duvarda oluşan moment diyagramı

Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak tanımlanan zemin modelleri için nümerik analizler sonucunda belirlenen maksimum yatay ve düşey deplasmanlar, maksimum kesme kuvveti, maksimum eğilme moment değerleri, herbir ankraja gelen kuvvetler ve toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı H=8m'lik duvar için Çizelge 8.3, H=10m'lik duvar için Çizelge 8.4'de, H=12m'lik duvar için Çizelge 8.5 ve H=15m'lik duvar için Çizelge 8.6'da sunulmuştur.

Çizelge 8.3 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=8 m'lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Yatay Aralık (m) | Max. Yatay Deplasman (m) | Max. Düşey Deplasman (m) | Max. Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) | Max. Ankraj Kuvvetleri (kN/m) |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Model 1   | 1.60             | $13.85 \times 10^{-3}$   | $4.79 \times 10^{-3}$    | 153.08                    | 128.62                      | 1.ankraj 135.90               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 177.40               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 312.20               |
| Model 2   | 1.60             | $32.19 \times 10^{-3}$   | $16.90 \times 10^{-3}$   | 127.17                    | 78.15                       | 1.ankraj 105.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 72.06                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 90.41                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 255.00               |
| Model 3   | 3.80             | $3.25 \times 10^{-3}$    | $1.06 \times 10^{-3}$    | 252.48                    | 192.61                      | 1.ankraj 208.50               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 294.10               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 519.90               |
| Model 4   | 2.00             | $1.91 \times 10^{-3}$    | $533.2 \times 10^{-6}$   | 149.40                    | 114.55                      | 1.ankraj 136.10               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 192.10               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 313.50               |

Çizelge 8.4 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=10 m’lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Yatay Aralık (m) | Max. Yatay Deplasman (m) | Max. Düşey Deplasman (m) | Max. Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) | Max. Ankraj Kuvvetleri (kN/m) |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Model 1   | 1.50             | $25.62 \times 10^{-3}$   | $12.27 \times 10^{-3}$   | 176.78                    | 149.26                      | 1.ankraj 151.60               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 171.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 229.50               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 370.10               |
| Model 2   | 1.50             | $50.87 \times 10^{-3}$   | $26.63 \times 10^{-3}$   | 163.26                    | 98.32                       | 1.ankraj 113.00               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 90.50                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 112.50               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 398.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 398.70               |
| Model 3   | 2.40             | $8.25 \times 10^{-3}$    | $3.36 \times 10^{-3}$    | 257.81                    | 200.01                      | 1.ankraj 215.10               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 288.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 532.30               |
| Model 4   | 2.00             | $2.88 \times 10^{-3}$    | $913.2 \times 10^{-6}$   | 182.50                    | 132.04                      | 1.ankraj 142.10               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 161.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 259.80               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 375.00               |

Çizelge 8.5 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=12 m’lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Yatay Aralık (m) | Max. Yatay Deplasman (m) | Max. Düşey Deplasman (m) | Max. Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) | Max. Ankraj Kuvvetleri (kN/m) |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Model 1   | 1.60             | $30.97 \times 10^{-3}$   | $17.90 \times 10^{-3}$   | 234.21                    | 141.38                      | 1.ankraj 150.10               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 181.0                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 234.5                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 305.4                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 440.6                |
| Model 2   | 1.60             | $77.70 \times 10^{-3}$   | $42.70 \times 10^{-3}$   | 181.16                    | 100.29                      | 1.ankraj 04.60                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 78.06                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 90.95                |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 121.80               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 141.30               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 6.ankraj 169.90               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 7.ankraj 364.60               |
| Model 3   | 3.50             | $2.60 \times 10^{-3}$    | $3.40 \times 10^{-3}$    | 301.73                    | 186.23                      | 1.ankraj 210.90               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 283.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 406.90               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 521.40               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 619.70               |
| Model 4   | 2.10             | $1.59 \times 10^{-3}$    | $3.00 \times 10^{-3}$    | 263.95                    | 165.63                      | 1.ankraj 138.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 210.50               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 291.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 382.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 530.10               |

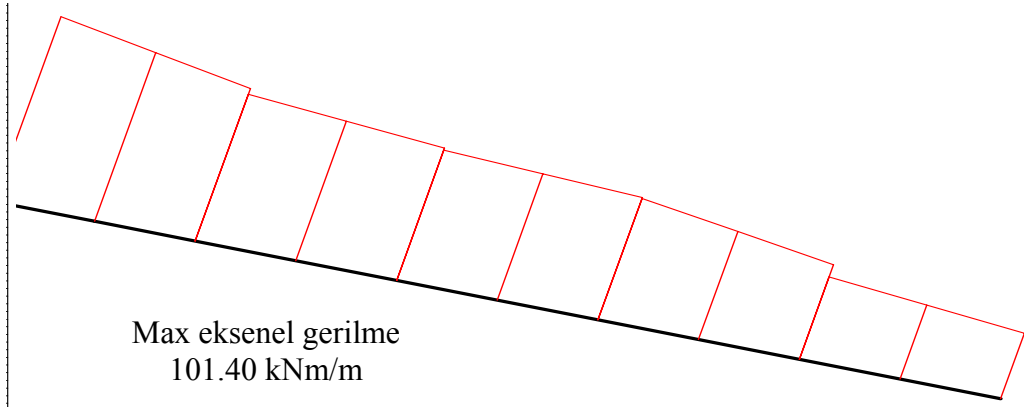
Çizelge 8.6 Farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli H=15 m’lik kazı için nümerik analiz sonuçları

| Model No: | Yatay Aralık (m) | Max. Yatay Deplasman (m) | Max. Düşey Deplasman (m) | Max. Kesme Kuvveti (kN/m) | Max. Eğilme Momenti (kNm/m) | Max. Ankraj Kuvvetleri (kN/m) |
|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Model 1   | 1.60             | $45.50 \times 10^{-3}$   | $25.08 \times 10^{-3}$   | 291.45                    | 161.40                      | 1.ankraj 162.80               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 171.80               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 217.40               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 277.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 339.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 6.ankraj 391.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 7.ankraj 550.20               |
| Model 2   | 1.50             | $168.33 \times 10^{-3}$  | $93.91 \times 10^{-3}$   | 149.51                    | 137.33                      | 1.ankraj 164.40               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 117.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 117.80               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 131.80               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 145.00               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 6.ankraj 162.60               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 7.ankraj 175.80               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 8.ankraj 229.00               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 9.ankraj 259.90               |
| Model 3   | 3.00             | $6.70 \times 10^{-3}$    | $4.40 \times 10^{-3}$    | 419.21                    | 277.98                      | 1.ankraj 221.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 314.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 426.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 534.10               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 663.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 6.ankraj 830.70               |
| Model 4   | 2.10             | $11.40 \times 10^{-3}$   | $4.18 \times 10^{-3}$    | 112.19                    | 46.57                       | 1.ankraj 155.90               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 2.ankraj 156.50               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 3.ankraj 163.70               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 4.ankraj 175.90               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 5.ankraj 190.20               |
|           |                  |                          |                          |                           |                             | 6.ankraj 201.00               |

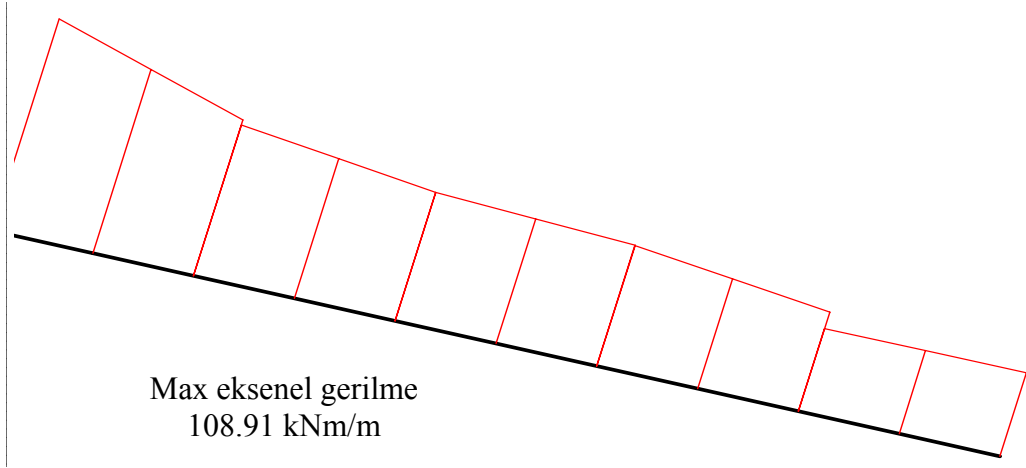
Ankrajlı destek sistemleri için maksimum deplasmanlar ve tepe noktasındaki deplasmanlar incelenmiştir. Çizelge 8.3, 8.4, 8.5 ve 8.6’da farklı zemin koşullarında yapılan ankraj destekli kazılar için nümerik analizler ile hesaplanan maksimum deplasman değerleri verilmiştir. Bu çizelgelere bakıldığında maksimum yatay deplasman, orta katı kil zemin (Model 2) de görülmektedir. Daha sonra katı kil (Model 1), orta sıkı kum (Model 4) ve sıkı kum (Model 3) da görülmektedir.

Ankraj destekli sistemde Model 1 H=10m için analizler sonucu elde edilen donatılar boyunca

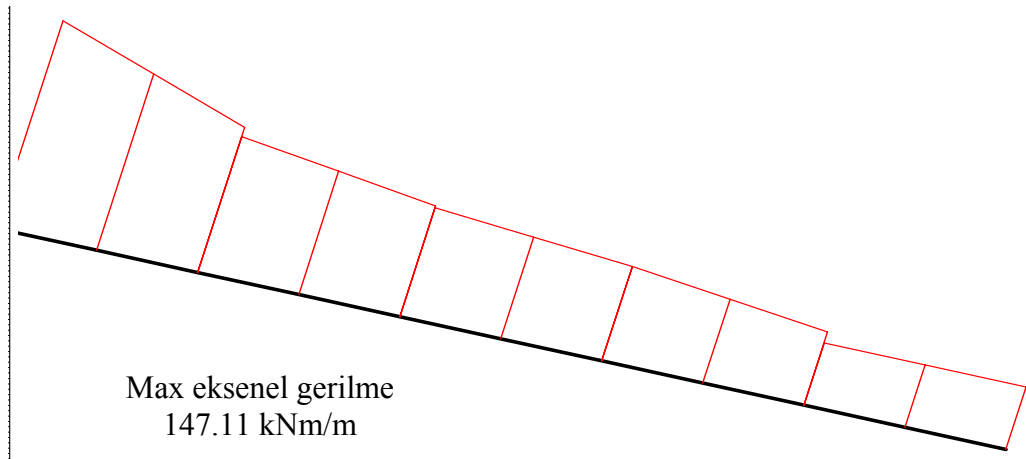
eksenel gerilmeler Şekil 8.14, Şekil 8.15, Şekil 8.16 ve Şekil 8.17’de verilmiştir. Ankrajların duvarla birleşim noktalarında maksimum gerilmelerin oluştuğu görülmektedir.



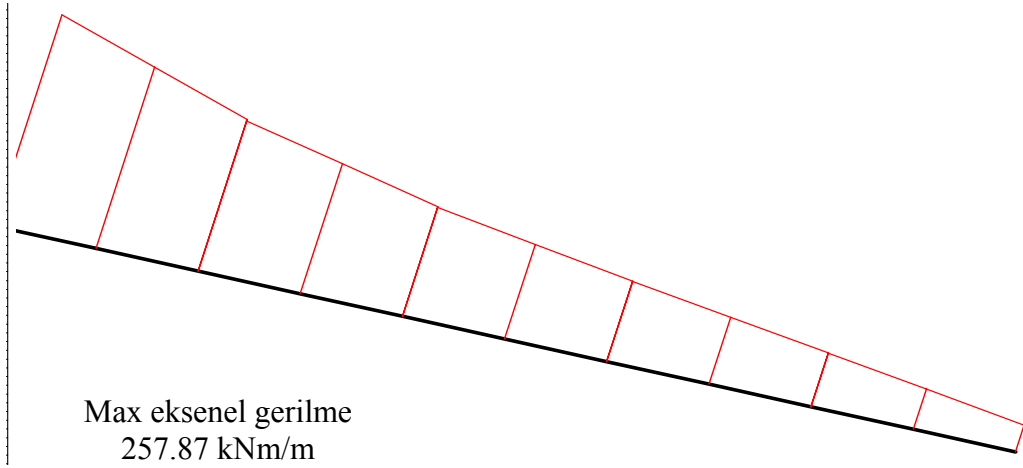
Şekil 8.14 Model 1 ankraj destekli duvarda 1.donatı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 8.15 Model 1 ankraj destekli duvarda 2.donatı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 8.16 Model 1 ankraj destekli duvarda 3.donatı boyunca gerilme dağılımı



Şekil 8.17 Model 1 ankraj destekli duvarda 4.donatı boyunca gerilme dağılımı

Ankrajlı sistemde, kaplama tüm zemin basıncını karşıladığı ve sistem daha rijit olduğu için ankrajların bulunduğu noktalarda deplasman değerleri fazla olmamaktadır. Analizler sonucu elde edilen maksimum taban kabarması değerleri, Çizelge 8.7’de gösterilmiştir. Detaylı gösterimler EKLER’de verilmiştir. Zemin cinsine ve kazı derinliğine bağlı olarak kazı tabanında kabarma miktarın yoğunlaştığı, toplam yer değiştirmenin vektörel dağılımı ve konturlu gösteriminden anlaşılmaktadır.

Çizelge 8.7 Ankrajlı sistemlerde maksimum taban kabarması değerleri

| Kazı<br>Derinliği (m) | Kazı Tabanı Maksimum Kabarma Miktarları (m) |         |         |         |
|-----------------------|---------------------------------------------|---------|---------|---------|
|                       | Model 1                                     | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 8                     | 0.031                                       | 0.146   | 0.010   | 0.011   |
| 10                    | 0.035                                       | 0.184   | 0.012   | 0.015   |
| 12                    | 0.043                                       | 0.222   | 0.014   | 0.018   |
| 15                    | 0.055                                       | 0.278   | 0.018   | 0.022   |

İncelenen ankrajlı sistemlerde, killi zeminlerde ankrajların yatay aralıkları kumlu zemin modellerinden küçüktür. Aralıkların aynı değerlerde olduğu düşünülürse, killi zemin modellerinde perde duvarında oluşan kesme ve eğilme moment değerlerinin kumlu zemin modellerine göre daha yüksek olduğu görülür.

Zemin çivili destek sistemlerin analiz sonuçlarının da gösterdiği gibi, ankraj destekli sistemlerde de, killi zeminlerde perde duvarlarında oluşan kesme ve eğilme moment değerleri kumlu zemin modellerine göre daha yüksektir. Aktif zemin basıncının daha yüksek ve zemin rijitliğinin daha az olması nedeni ile killi zeminlerde daha büyük kesme kuvveti ve moment

değerleri ortaya çıkmaktadır.

Plaxis 7.2 ile yapılan analizler sonucunda incelenen kazı destek sistemlerinin toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları da belirlenmiştir. Ayrıca, bütün sistemlerin genel stabilite analizi Talren 4 programı ile de yapılmıştır. Bu amaçla, Talren 4 ile yapılan limit denge (stabilite) analizleri için ankraj destekli derin kazı kesitlerinin nümerik modeli oluşturulmuştur. Limit denge analizi ile hesaplanan toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları Çizelge 8.8’de özetlenmiştir. H=10 m ve H=15m’lik kazılarda tüm zemin modelleri için Talren 4 programından elde edilen göçme yüzeyleri ve güvenlik sayılarını gösteren şekiller sırasıyla Şekil 8.18, Şekil 8.19, Şekil 8.20, Şekil 8.21, Şekil 8.22, Şekil 8.23, Şekil 8.24 ve Şekil 8.25’de verilmiştir. Analizi yapılan kazı destek sistemleri güvenlik sayıları kabul edilebilir değerler üzerinde bulunmuştur.

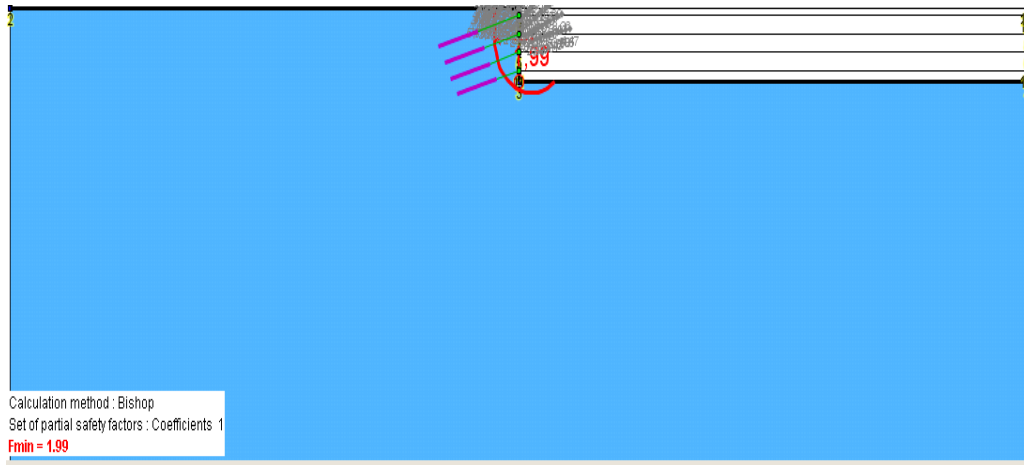
Çizelge 8.8 Ankrajlı sistemlerde sonlu elemanlar ve limit denge analizleri ile hesaplanan toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları

a )Plaxis 7.2’den belirlenen güvenlik sayıları

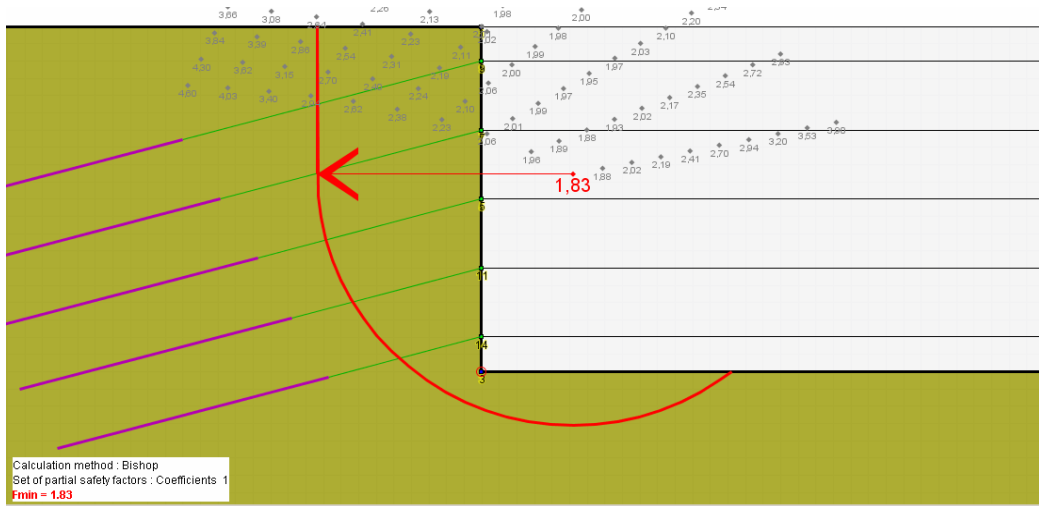
| Kazı<br>Derinliği (m) | Güvenlik Sayıları |         |         |         |
|-----------------------|-------------------|---------|---------|---------|
|                       | Model 1           | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 8                     | 1.93              | 1.10    | 2.34    | 1.50    |
| 10                    | 1.90              | 1.40    | 1.60    | 1.80    |
| 12                    | 1.83              | 1.30    | 2.25    | 1.51    |
| 15                    | 1.81              | 1.30    | 2.10    | 1.62    |

b )Talren 4’den belirlenen güvenlik sayıları

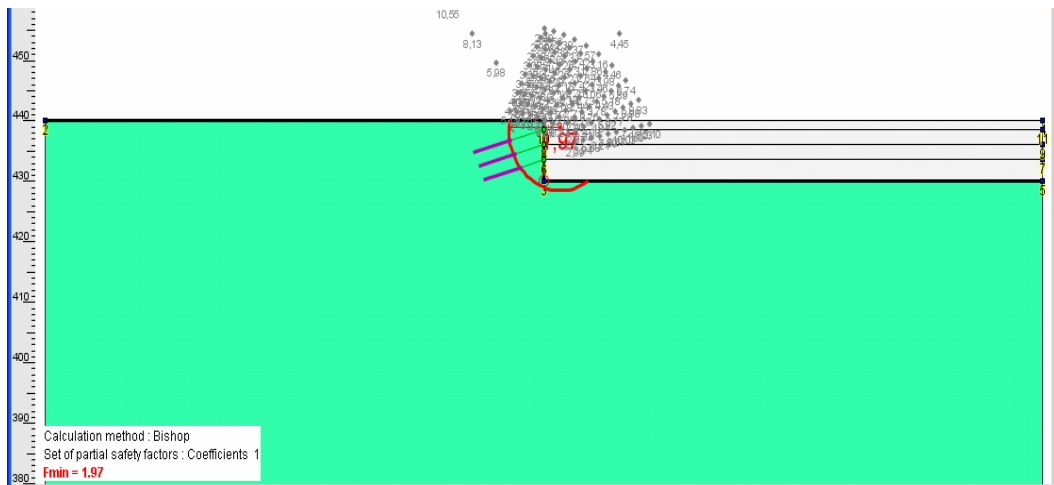
| Kazı<br>Derinliği (m) | Güvenlik Sayıları |         |         |         |
|-----------------------|-------------------|---------|---------|---------|
|                       | Model 1           | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 10                    | 1.99              | 1.83    | 1.97    | 2.11    |
| 15                    | 1.95              | 1.67    | 2.11    | 1.84    |



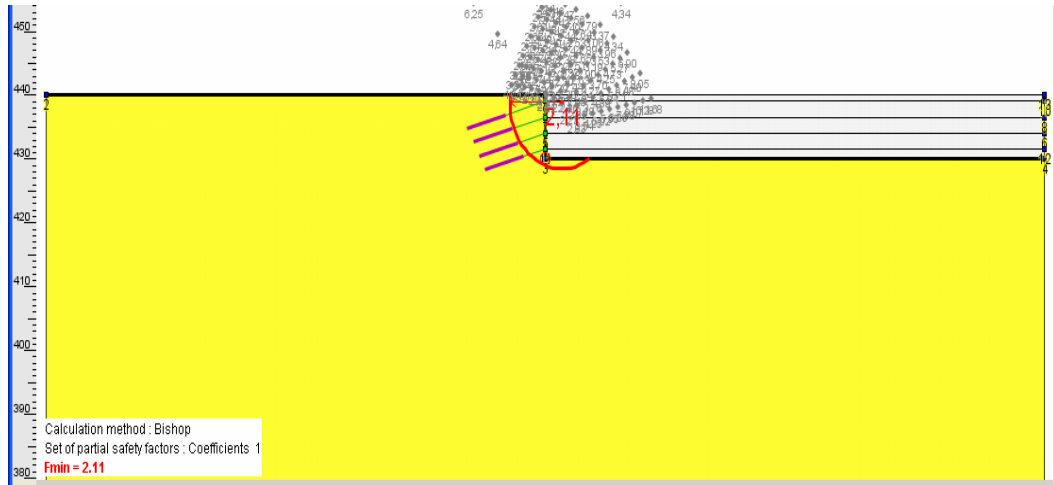
Şekil 8.18 Model 1 için ankrajlı duvarın stabilite analizi (H = 10m) (G.S=1.99)



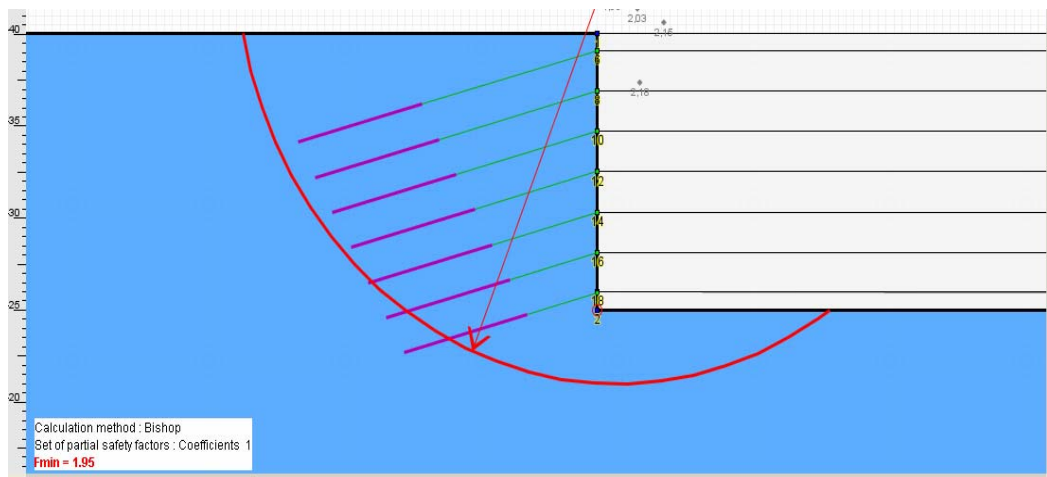
Şekil 8.19 Model 2 için ankrajlı duvarın stabilite analizi (H = 10m) (G.S=1.83)



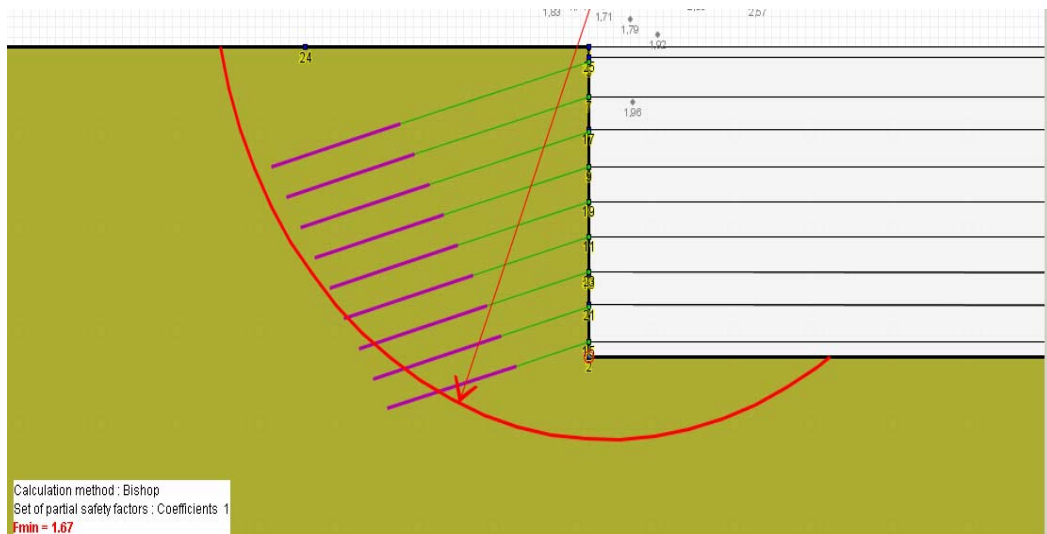
Şekil 8.20 Model 3 için ankrajlı duvarın stabilite analizi (H = 10m) (G.S=1.97)



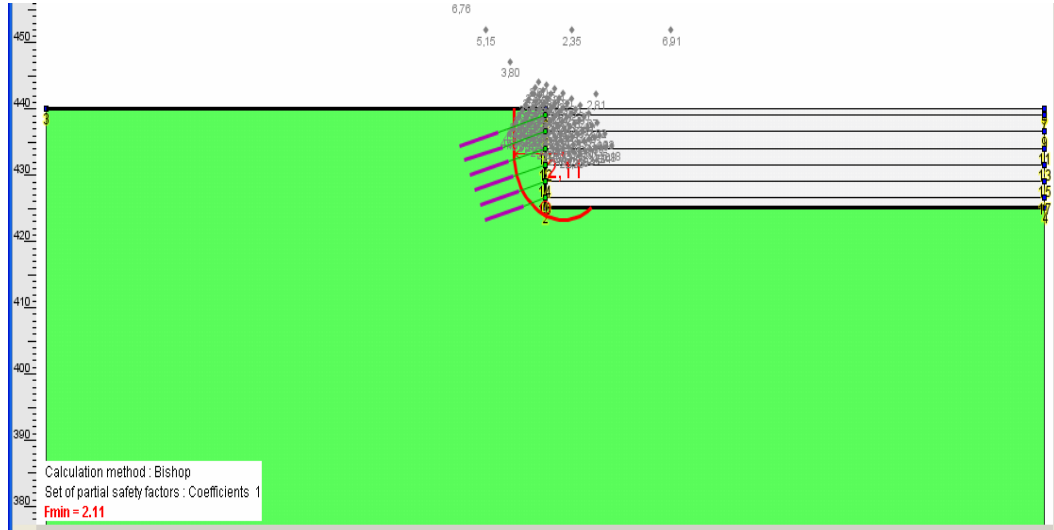
Şekil 8.21 Model 4 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 10\text{m}$ ) ( $G.S=2.11$ )



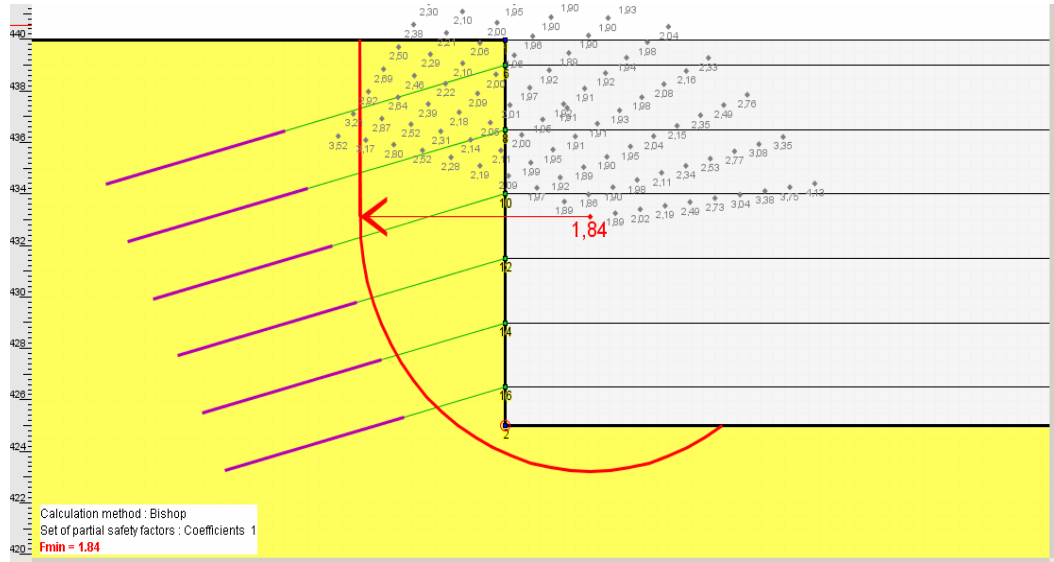
Şekil 8.22 Model 1 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.95$ )



Şekil 8.23 Model 2 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.67$ )



Şekil 8.24 Model 3 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=2.11$ )



Şekil 8.25 Model 4 için ankrajlı duvarın stabilite analizi ( $H = 15\text{m}$ ) ( $G.S=1.84$ )

## 9. ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE MALİYET ANALİZİ

Zemin çivisi ve ankraj destekli kazı iksa sistemlerinde, değişik zemin modelleri (Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4) için yapılan hesap ve nümerik analiz sonuçları Bölüm 7 ve Bölüm 8’de sunulmuştur. Bu bölümde zemin çivili ve ankraj destekli kazıların davranışları ve maliyetleri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmektedir.

### 9.1 Analizlerden Belirlenen Duvar Deplasmanlarının Karşılaştırılması

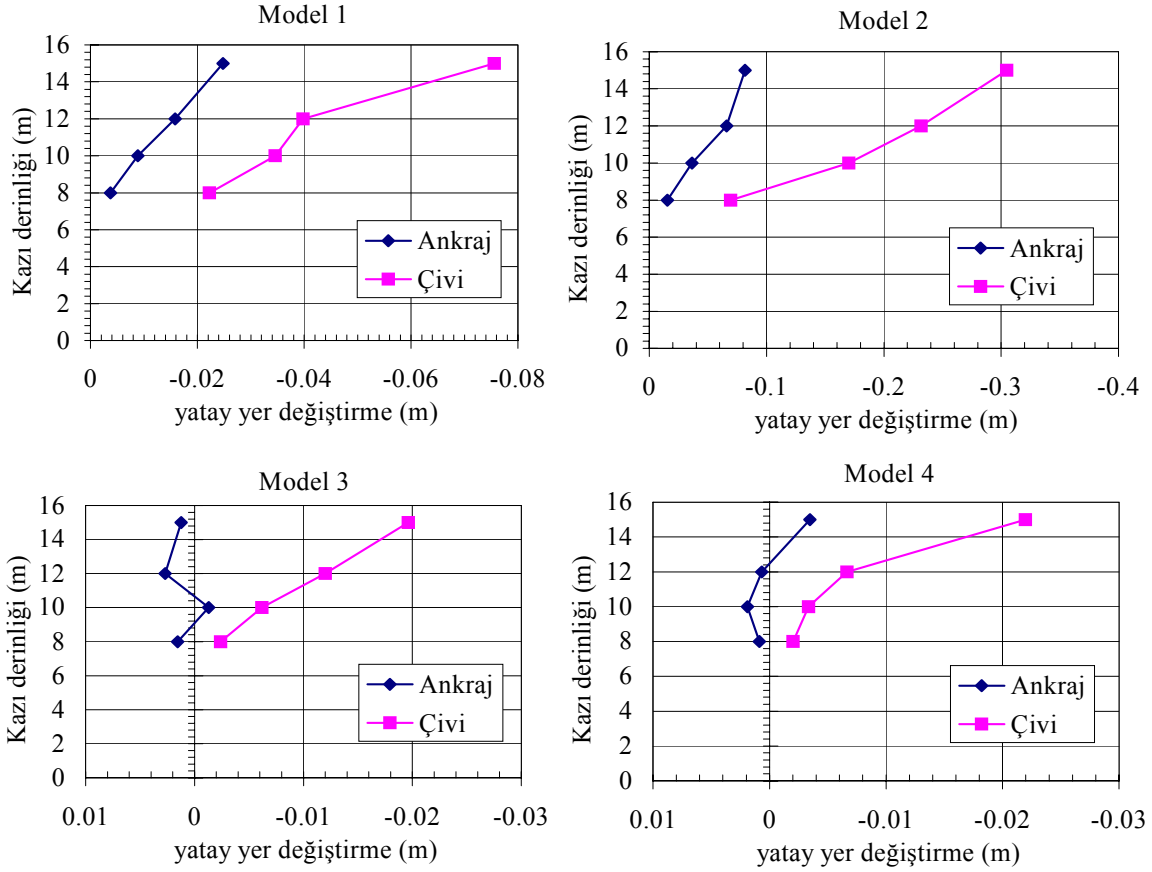
Destekli kazılarda duvar ve duvar arkası zeminde oluşacak yer değiştirmelerin izin verilebilir sınırlar altında kalması istenir. Genellikle, duvar yer değiştirmesinin tepe noktasında aldığı değerlerin; ince daneli zeminlerde  $H$  (duvar yüksekliği)’nin % 4’ü, granüler zeminlerde % 2’si, aşınmış kaya ve sıkı zeminlerde %1’i veya daha azı olması beklenilir. Buna göre farklı kazı yükseklikleri için ince daneli ve granüler zeminlerde izin verilebilir pik duvar yerdeğiştirmesi miktarları Çizelge 9.1’de verilmiştir.

Çizelge 9.1 Duvar yüksekliklerine göre tepe noktasındaki olası maksimum yer değiştirmeler

| Duvar yüksekliği | İnce daneli zeminlerde (m) | Granüler zeminlerde (m) |
|------------------|----------------------------|-------------------------|
| $H$ (m)          | (4 %)                      | (2 %)                   |
| 8                | 0.32                       | 0.16                    |
| 10               | 0.40                       | 0.20                    |
| 12               | 0.48                       | 0.24                    |
| 15               | 0.60                       | 0.30                    |

Bu araştırma kapsamında incelenen zemin modelleri ve kazı yükseklikleri için, ankraj ve zemin çivisi destekli duvarlarda, duvarların tepe noktasında nümerik analizler sonucunda belirlenen yatay yer değiştirmelerin karşılaştırılması Şekil 9.1’de sunulmuştur.

Şekil 9.1’de gösterilen, duvarların tepe noktalarında elde edilen yatay yer değiştirmenin kazı derinliği ile değişimi incelendiğinde, zemin çivili sistemlerde, bütün zemin modelleri için, duvar tepe noktasının yer değiştirme miktarı derinlikle artarken, duvar hareketinin tamamen öne doğru meydana geldiği gözlenmektedir. Ankrajlı sistemlerde, kil zeminlerde derinlikle deplasmanlar artarken duvar hareketinin öne doğru olduğu, kum zeminlerde ise uygulanan öngerme gerilmesine bağlı olarak duvarın geriye doğru veya çok az hareket ettiği gözlenmektedir.



Şekil 9.1 Duvarların tepe noktasında elde edilen yatay yer değiştirmelerin kazı derinliği ile değişimi

Plaxis 7.2 sonlu eleman analizi sonuçlarına göre, çivili duvar tepe noktası deplasmanlarının, beklenildiği gibi, ankrajlı duvardan daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki iksa sisteminde genellikle duvar yüksekliği arttıkça deplasman değerlerinde de artış meydana gelmiştir. Her iki destek sisteminin deplasman değerlerinin duvar yüksekliğine göre beklenen sınırlar içinde kaldığı, dolayısıyla incelenen sistemlerin yeterli kabul edilebileceği görülmektedir. Çivili sistemlerin deplasman değerlerinin her bir zemin ve yükseklik için ankrajlı sistemlerden fazla olduğu, ancak beklenen sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

Her iki destek sistemi için, değişik zemin modelleri göz önüne alındığında, duvar ve duvar arkası zeminde oluşan yatay deplasmanlar EKLER bölümünde Plaxis çıktılarında görülmektedir.

Modellerde duvar arkası zemin yüzünde oluşan düşey deplasmanların duvardan olan uzaklık ile değişimi de incelenmiştir. Çizelge 9.2’de zemin çivili, Çizelge 9.3’de ankrajlı destek sistemlerinde, duvar arkasında zemin yüzünde oluşan maksimum düşey deplasmanlar ve

duvara olan uzaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 9.2 Farklı zemin koşullarında yapılan çivili destek sistemlerinde duvar arkası zemin yüzü maksimum düşey deplasmanlar ve duvara olan uzaklıkları

a) H=8.0 m için

| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 9.0                     | $-14.00 \times 10^{-3}$      |
| Model 2   | 9.0                     | $-29.00 \times 10^{-3}$      |
| Model 3   | 12.0                    | $-1.20 \times 10^{-3}$       |
| Model 4   | 12.0                    | $1.58 \times 10^{-3}$        |

b) H=10.0 m için

| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 9.0                     | $-22.00 \times 10^{-3}$      |
| Model 2   | 9.0                     | $-90.37 \times 10^{-3}$      |
| Model 3   | 9.0                     | $-1.81 \times 10^{-3}$       |
| Model 4   | 9.0                     | $-3.11 \times 10^{-3}$       |

c) H=12.0 m için

| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 12.0                    | $-30.22 \times 10^{-3}$      |
| Model 2   | 12.0                    | $-147.19 \times 10^{-3}$     |
| Model 3   | 12.0                    | $-3.13 \times 10^{-3}$       |
| Model 4   | 12.0                    | $-8.49 \times 10^{-3}$       |

c) H=15.0 m için

| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 15.0                    | $-47.83 \times 10^{-3}$      |
| Model 2   | 15.0                    | $-176.15 \times 10^{-3}$     |
| Model 3   | 15.0                    | $-11.84 \times 10^{-3}$      |
| Model 4   | 15.0                    | $-13.73 \times 10^{-3}$      |

Çizelge 9.3 Farklı zemin koşullarında yapılan ankrajlı destek sistemlerinde duvar arkası zemin yüzü maksimum düşey deplasmanlar ve duvara olan uzaklıkları

a) H=8.0 m için

| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 15.0                    | $-9.35 \times 10^{-3}$       |
| Model 2   | 18.0                    | $-26.79 \times 10^{-3}$      |
| Model 3   | 15.0                    | $-2.00 \times 10^{-3}$       |
| Model 4   | 12.0                    | $2.50 \times 10^{-3}$        |

b) H=10.0 m için

| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 18.0                    | $-14.19 \times 10^{-3}$      |
| Model 2   | 18.0                    | $-38.44 \times 10^{-3}$      |
| Model 3   | 18.0                    | $2.25 \times 10^{-3}$        |
| Model 4   | 15.0                    | $-4.18 \times 10^{-3}$       |

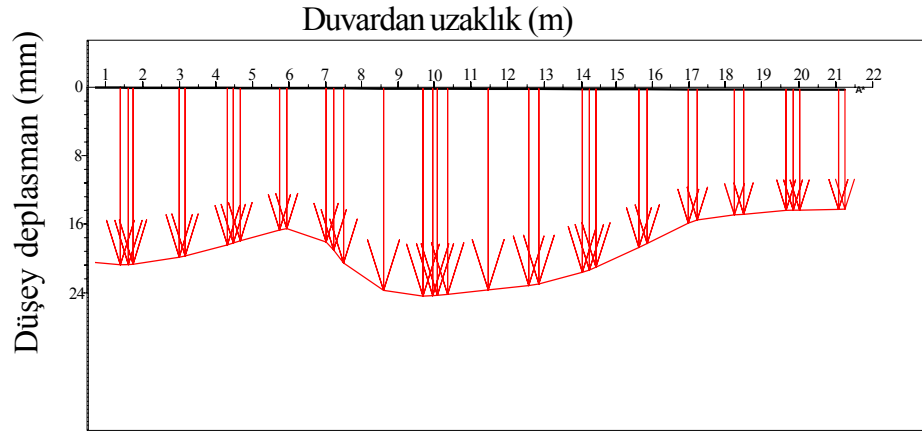
c) H=12.0 m için

| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 18.0                    | $-23.68 \times 10^{-3}$      |
| Model 2   | 18.0                    | $-68.26 \times 10^{-3}$      |
| Model 3   | 18.0                    | $2.94 \times 10^{-3}$        |
| Model 4   | 18.0                    | $-5.15 \times 10^{-3}$       |

c) H=15.0 m için

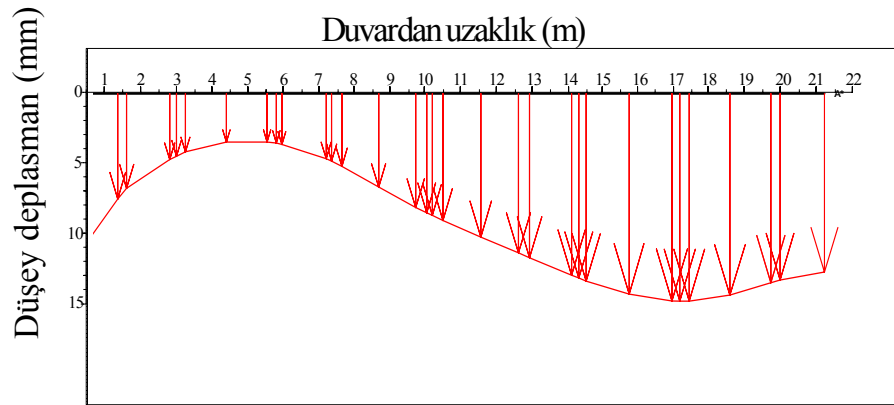
| Model No: | Duvara olan uzaklık (m) | Maksimum düşey deplasman (m) |
|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Model 1   | 21.0                    | $-36.23 \times 10^{-3}$      |
| Model 2   | 21.0                    | $-142.77 \times 10^{-3}$     |
| Model 3   | 18.0                    | $-6.19 \times 10^{-3}$       |
| Model 4   | 21.0                    | $-7.31 \times 10^{-3}$       |

Katı kilde 10 m yüksekliğinde kazı için duvar arkası zemin yüzünde oluşan düşey deplasmanların duvardan olan uzaklık ile değişimi, zemin çivili iksa sistemi için Şekil 9.2’de, ankrajlı iksa sistemi için ise Şekil 9.3’de verilmiştir. H=8, 10, 12 ve 15 m’de tüm zemin modelleri için elde edilen duvar arkası zemin yüzü düşey deplasmanları EKLER’de verilmiştir.



Max. düşey deplasman  
 $-22.00 \times 10^{-3} \text{ m}$

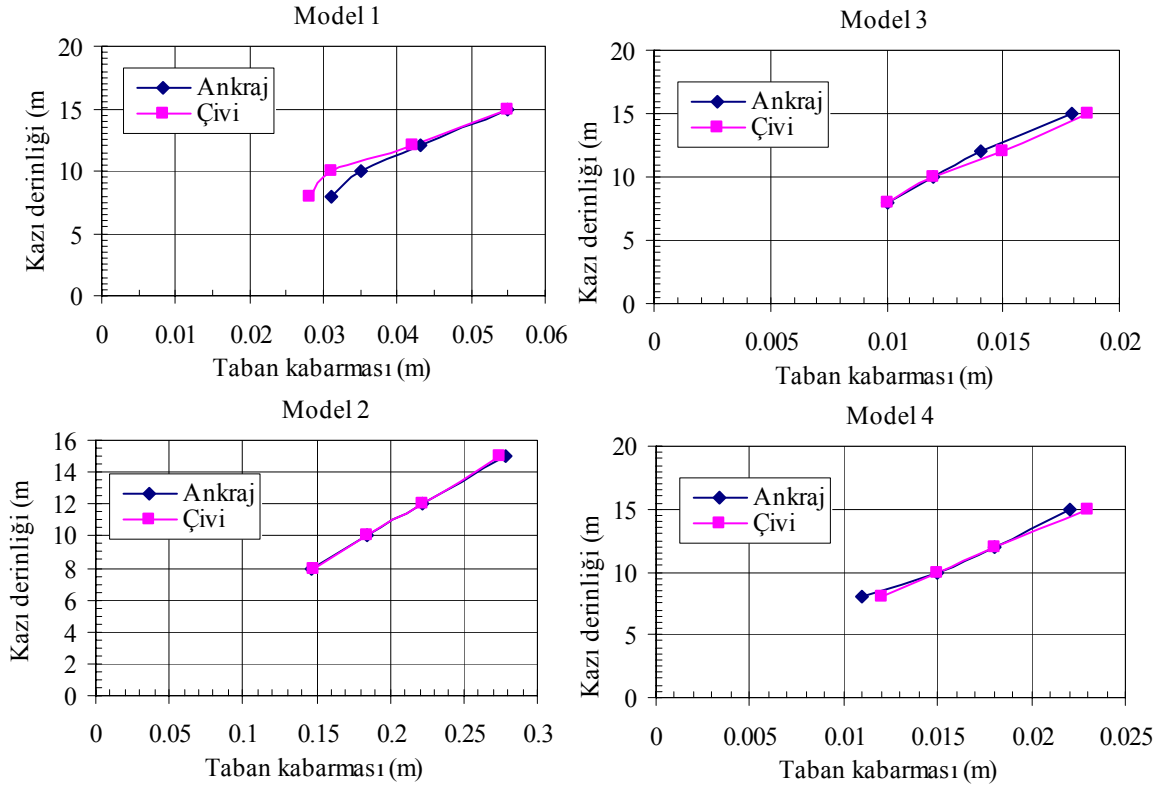
Şekil 9.2 Zemin çivili sistemde Model 1 (H=10 m) için duvar arkasında zemin yüzü boyunca düşey deplasmanlar



Düşey deplasmanlar  
 Max  $-14.19 \times 10^{-3} \text{ m}$

Şekil 9.3 Ankrajlı sistemde Model 1 (H=10 m) için duvar arkasında zemin yüzü boyunca düşey deplasmanlar

Zemin çivili ve ankraj destekli duvarların kazı tabanında oluşan maksimum taban kabarmalarının kazı derinliği ile değişimi Şekil 9.4’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarından, taban kabarmasının kazı derinliğine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Killi zeminlerde kumlu zeminlere göre daha büyük taban kabarması oluşması beklenirken, zemin çivili ve ankrajlı sistemler için hesaplanan taban kabarması, değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 9.4 Zemin çivili ve ankraj destekli duvarların kazı tabanında oluşan maksimum taban kabarmasının kazı derinliği ile değişimi

Zemin çivili destek sistemlerinde, yatay ve düşey aralıklar 1.5 m olup, değişen çivi boyları dikkate alınarak Plaxis 7.2 ile göçme (phi-c reduction) analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından, kazılarda toptan göçmeye karşı güvenliğin sırasıyla sıkı kum, orta sıkı kum, katı kil ve orta katı kil olarak azaldığı belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 7.8’ de verilmiştir.

Ankraj destekli sistemlerde, sıkı kumlu zemin modellerinde yatay ve düşey ankraj aralıkları diğer zemin modellerinden büyük olup,  $H=8, 10, 12$  ve  $15$  m kazı derinlikleri için ankraj adeti gerekli olan en az sayıda tasarlanmıştır. Bununla birlikte sıkı kumlu zemin modellerinde toptan göçmeye karşı en büyük güvenlik sayısı ve en küçük deplasman değerleri hesaplanmıştır. Ankrajlı sistemler için hesaplanan güvenlik sayıları, sırasıyla büyükten küçüğe doğru, sıkı kum, orta sıkı kum, katı kil ve orta katı kil için elde edilmiştir. Sonuçlar, Çizelge 8.8’de verilmiştir.

Plaxis 7.2 ile nümerik analizi yapılan destekli sistemlerin, ayrıca bir şev stabilitesi analiz (limit denge analizi) programı olan Talren 4 ile de çözümler yapılarak, sonuçlar

karşılaştırılmıştır. Her iki analizde efektif parametreler kullanılmıştır.

İncelenen tüm zemin modelleri için, çivi destekli kazılarda H=10 m ve H=15 m kazı yükseklikleri için elde edilen güvenlik sayıları Çizelge 9.4 ve Çizelge 9.5’de verilmiştir. Aynı şekilde, ankraj destekli kazılarda H=10 m ve H=15 m kazı yükseklikleri için elde edilen güvenlik sayıları Çizelge 9.6 ve Çizelge 9.7’de verilmiştir.

Çizelge 9.4 H=10m çivi destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler sonucunda belirlenen güvenlik sayılarının karşılaştırılması

| Model No:        | Yatay Aralık (m) | G.S <sub>TALREN</sub> | G.S <sub>PLAXIS</sub> |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Model 1 (L=8 m)  | 1.50             | 1.68                  | 1.75                  |
| Model 2 (L=10 m) | 1.50             | 1.45                  | 1.46                  |
| Model 3 (L=8 m)  | 1.50             | 2.39                  | 2.30                  |
| Model 4 (L=8 m)  | 1.50             | 1.98                  | 2.02                  |

Çizelge 9.5 H=15m çivi destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler sonucunda belirlenen güvenlik sayıları

| Model No:        | Yatay Aralık (m) | G.S <sub>TALREN</sub> | G.S <sub>PLAXIS</sub> |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Model 1 (L=13 m) | 1.50             | 1.82                  | 1.72                  |
| Model 2 (L=15 m) | 1.50             | 1.61                  | 1.40                  |
| Model 3 (L=12 m) | 1.50             | 2.27                  | 2.00                  |
| Model 4 (L=15 m) | 1.50             | 1.99                  | 1.73                  |

Çizelge 9.6 H=10 m ankraj destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler sonucunda belirlenen güvenlik sayıları

| Model No:          | Yatay Aralık (m) | G.S <sub>TALREN</sub> | G.S <sub>PLAXIS</sub> |
|--------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Model 1 ( 4 adet ) | 1.50             | 1.99                  | 1.80                  |
| Model 2 ( 5 adet ) | 1.50             | 1.83                  | 1.40                  |
| Model 3 ( 3 adet ) | 2.40             | 1.97                  | 1.60                  |
| Model 4 ( 4 adet ) | 2.00             | 2.11                  | 1.80                  |

Çizelge 9.7 H=15 m ankraj destekli kazı için Talren ve Plaxis ile yapılan analizler sonucunda belirlenen güvenlik sayıları

| Model No:          | Yatay Aralık (m) | G.S <sub>TALREN</sub> | G.S <sub>PLAXIS</sub> |
|--------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Model 1 ( 7 adet ) | 1.60             | 1.95                  | 1.81                  |
| Model 2 ( 9 adet ) | 1.50             | 1.65                  | 1.30                  |
| Model 3 ( 6 adet ) | 3.00             | 2.11                  | 2.10                  |
| Model 4 ( 6 adet ) | 2.10             | 1.84                  | 1.62                  |

Birçok değişkene bağlı olarak dört farklı zeminde, dört farklı yükseklik için çözülen çivili ve ankrajlı destek sistemleri için hesaplanan güvenlik sayıları karşılaştırıldığında,

a) Sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan güvenlik sayılarının, kumlu zeminlerde inşa edilen

zemin çivili duvarlarda ankrajlı duvarlara göre biraz daha büyük olduğu,

b) Limit denge analizi ile hesaplanan güvenlik sayılarının, killi zeminlerde inşa edilen zemin çivili duvarlarda ankrajlı duvarlara göre biraz daha küçük olduğu,

c) Sonlu elemanlar yöntemi ve limit denge analizi ile hesaplanan güvenlik sayılarının zemin çivili duvarlar için birbirine yakın, ankrajlı duvarlar için ise biraz farklı olduğu

görülmektedir. Destek sistemlerinin, ankraj (veya zemin çivisi) sayısının ve zemin cinsinin farklılıkları göz önüne alındığında, iki analiz yöntemi sonuçlarının birbirine yeterince yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.

## 9.2 Maliyet Analizi

Bu tez çalışmasında gözönüne alınan dört farklı zemin modeli için, tasarlanan zemin çivili ve ankraj destekli derin kazı sistemlerinin nümerik olarak analizleri ve sonuçları Bölüm 7 ve Bölüm 8’de sunulmuştur. Bu tasarımlar için piyasadan alınan fiyatlara göre, 10 m boyda bir iksa sistemi için hesap yapılmıştır.

Analizlerde kullanılan birim fiyatlar aşağıdaki gibidir.

Her tür zeminde ve çapta ankraj imalatı ( 3 halatlı) 45.00 YTL / m

İlave halat sayısı için 5.00 YTL / m

Her tür zeminde ve çapta zemin çivisi imalatı 35.00 YTL / m

Demirli BS 25 betonu 110.00 YTL / m<sup>3</sup>

8-12 mm ince nervürlü çeliğin bükülerek yerine konması 1120.00 YTL / ton

Düz yüzeyli betonarme kalıbı 27.00 YTL / m<sup>2</sup>

İncelenen dört zemin modeli (Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4) için zemin çivisi ve ankraj destekli derin kazıların maliyetleri hesaplanmış ve sırasıyla Çizelge 9.8, Çizelge 9.9, Çizelge 9.10 ve Çizelge 9.11’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 9.8 Model 1 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar

(a)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Çivi Boyu (m) | Çivi Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|---------------|------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 6.50          | 5          | 1.50            | 10.480.83     |
| 2               | 10                | 8.00          | 6          | 1.50            | 15.080.00     |
| 3               | 12                | 11.00         | 8          | 1.50            | 26.253.33     |
| 4               | 15                | 13.00         | 9          | 1.50            | 34.695.00     |

(b)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Ankraj Boyu (m) | Ankraj Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 8.00            | 3            | 1.60            | 10.910.00     |
| 2               | 10                | 8.00            | 4            | 1.50            | 14.890.00     |
| 3               | 12                | 8.00            | 5            | 1.60            | 17.670.00     |
| 4               | 15                | 8.00            | 7            | 1.60            | 24.045.00     |

Çizelge 9.9 Model 2 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar

(a)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Çivi Boyu (m) | Çivi Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|---------------|------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 8.00          | 5          | 1.50            | 12.493.33     |
| 2               | 10                | 10.00         | 6          | 1.50            | 18.300.00     |
| 3               | 12                | 11.00         | 8          | 1.50            | 28.400.00     |
| 4               | 15                | 12.00         | 9          | 1.50            | 39.525.00     |

(b)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Ankraj Boyu (m) | Ankraj Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 8.00            | 3            | 3.80            | 13.520.00     |
| 2               | 10                | 8.00            | 3            | 2.40            | 17.650.00     |
| 3               | 12                | 8.00            | 5            | 3.50            | 22.890.00     |
| 4               | 15                | 8.00            | 6            | 3.00            | 30.615.00     |

Çizelge 9.10 Model 3 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar

(a)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Çivi Boyu (m) | Çivi Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|---------------|------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 8.00          | 5          | 1.50            | 12.493.33     |
| 2               | 10                | 10.00         | 6          | 1.50            | 18.300.00     |
| 3               | 12                | 11.00         | 8          | 1.50            | 26.253.33     |
| 4               | 15                | 12.00         | 9          | 1.50            | 32.280.00     |

(b)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Ankraj Boyu (m) | Ankraj Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 8.00            | 3            | 3.80            | 7.002.11      |
| 2               | 10                | 8.00            | 3            | 2.40            | 9.430.00      |
| 3               | 12                | 8.00            | 5            | 3.50            | 13.105.71     |
| 4               | 15                | 8.00            | 6            | 3.00            | 17.215.00     |

Çizelge 9.11 Model 4 için maliyet karşılaştırması a) zemin çivili duvar b) ankrajlı duvar

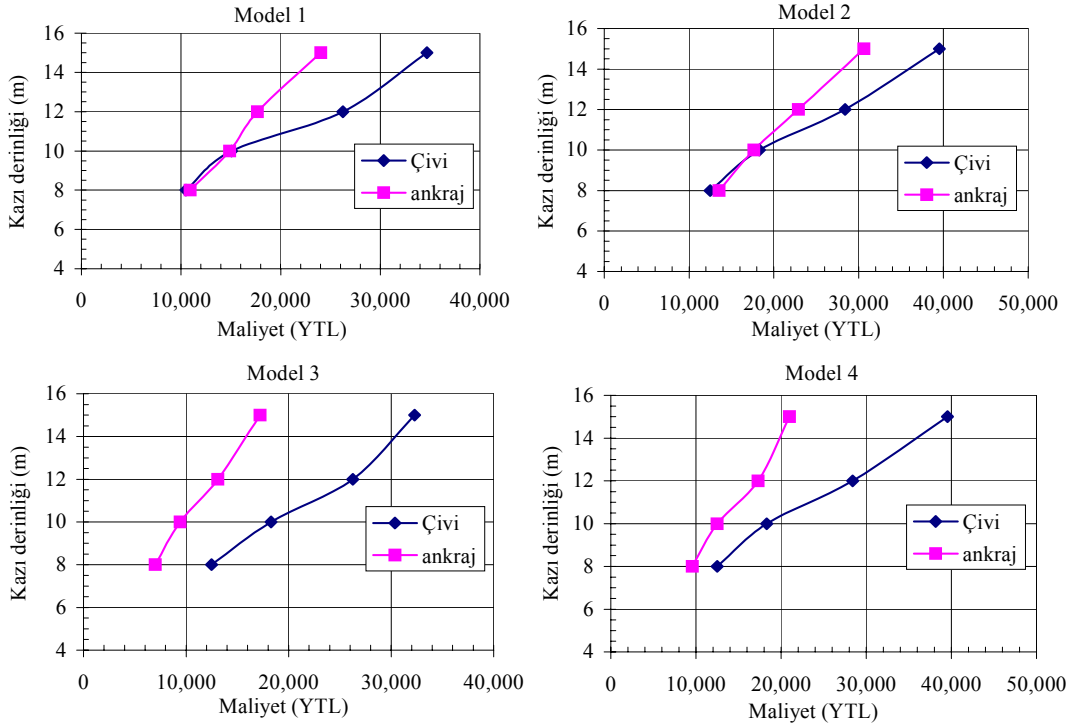
(a)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Çivi Boyu (m) | Çivi Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|---------------|------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 8.00          | 5          | 1.50            | 12.493.33     |
| 2               | 10                | 10.00         | 6          | 1.50            | 18.300.00     |
| 3               | 12                | 11.00         | 8          | 1.50            | 28.400.00     |
| 4               | 15                | 12.00         | 9          | 1.50            | 39.525.00     |

(b)

| Maliyet Analizi | Kazı Derinliği(m) | Ankraj Boyu (m) | Ankraj Adeti | Yatay Aralık(m) | Maliyet (YTL) |
|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|
| 1               | 8                 | 8.00            | 3            | 3.80            | 9.560.00      |
| 2               | 10                | 8.00            | 3            | 2.40            | 12.490.00     |
| 3               | 12                | 8.00            | 5            | 3.50            | 17.296.19     |
| 4               | 15                | 8.00            | 6            | 3.00            | 20.986.43     |

Çizelge 9.8 ve Çizelge 9.9’da killi, Çizelge 9.10 ve Çizelge 9.11’de kumlu zeminler için iki farklı destek sistem için hesaplanan maliyetler gösterilmektedir. Şekil 9.5’de zemin çivisi ve ankrajlı destek sistemlerinin maliyetlerinin kazı derinliği ile değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 9.5 Modellerde zemin çivisi ve ankraj destekli kazı maliyetlerinin kazı derinliği ile değişimi

Her iki iksa sistemi için dört farklı zemin modeli göz önüne alınarak hesaplanan değerler, killi zeminlerde 8 ve 10m kazı derinlikleri için zemin çivili ve ankrajlı sistemlerinin maliyetlerinin birbirine yakın olduğunu, 12 ve 15 m derinlikler için ankrajlı sistemlerin daha ekonomik olacağını göstermektedir. Kumlu zeminlerde açılacak destekli kazılarda ise ankrajlı sistemlerin maliyetinin bütün kazı derinlikleri için zemin çivili sistemlere göre daha ucuz olacağını, kazı derinliği arttıkça sağlanacak ekonominin artacağını göstermektedir. Doğal olarak, bu karşılaştırmalara temel olan birim fiyatların piyasa koşullarına göre güncel değerlerinin maliyet karşılaştırmasını büyük ölçüde değiştirebileceği açıktır.

Uygulamalarda, göçmeye karşı güvenlik sayıları, zemin deplasmanları ve maliyet karşılaştırması sonuçları göz önünde bulundurularak çivili veya ankrajlı destek sistemlerinden birinin arazi ve yakın çevresinin durumuna göre seçilmesi gerekmektedir.

## 10. SONUÇ ve ÖNERİLER

Derin bir kazının yapılmasında zemin çoğu kez kendini yeterli süre tutabilir özelliğe sahip olmamaktadır. Bu durumda çeşitli yöntemlere başvurarak kazı alanında güvenliği sağlamak amacıyla kazının desteklenmesi gerekmektedir. Zemin çivili ve ankrajlı destek sistemleri bunlardan bazılarıdır.

Bu çalışmada, derin kazılarda zemin çivili ve ankrajlı iksa yöntemleri incelenerek, zemin çivili ve ankrajlı destekleme sistemleri önce klasik analiz yöntemleri ile projelendirilmiş, daha sonra tasarlanan sistemlerin deformasyon davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Destekli kazıların nümerik olarak modellenerek deplasman analizlerinin yapılmasında, dört farklı zemin türünden oluşan homojen zemin yapıları ve bu zeminler için literatürde önerilmiş değerlerden zemin parametreleri seçilmiştir. Bu amaçla katı kil, orta katı kil, sıkı kum ve orta sıkı kum zemin koşullarını tanımlayan malzeme parametreleri (Kezdi, 1975; Terzaghi-Peck, 1968; AASHTO, T99)'den yararlanılarak seçilmiştir. Nümerik analizlerde incelenen geoteknik modeller sırasıyla Model 1 (katı kil), Model 2 (orta katı kil), Model 3 (sıkı kum) ve Model 4 (orta sıkı kum) olarak tanımlanmıştır. Her bir geoteknik model için kazı derinliği  $H=8m$ ,  $H=10m$ ,  $H=12m$  ve  $H=15m$  olacak şekilde modeller oluşturularak, zemin çivisi ve ankrajlar ile desteklenen iksa sistemleri için nümerik analizler Plaxis 7.2 sonlu elemanlar programı ile yapılmıştır. Bu analizlerden duvarların deplasman değerleri ile toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları belirlenmiştir. Ayrıca, zemin çivili ve ankrajlı sistemlerin stabilite analizleri limit denge analizi ile çözüm yapan Talren 4 programı ile de yapılarak güvenlik sayıları karşılaştırılmıştır. Böylece, iki farklı iksa sisteminin benzer zemin koşullarında davranışı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Nümerik analizlerde öncelikle zeminin kendi ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlar hesaplanarak sıfırlanmıştır. Sonra perde duvar yerleştirilmiş ve perdenin önündeki zemin aşama aşama kaldırılarak zemin çivileri veya ankrajlar yerleştirilerek deformasyon analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda duvarın yatay yer değiştirmesi, duvar arkası zemin yüzünde meydana gelen düşey yer değiştirmeler, kazı tabanındaki kabarma miktarları, duvarda oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri ve çiviler ve ankrajlar üzerindeki gerilme dağılımları belirlenmiştir.

Zemin çivili sistemlerin analiz sonuçlarından belirlenen kesme kuvveti ve eğilme momentlerinin, killi zeminlerde kumlu zeminlere göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Çivili sistemlerde duvar tepe noktasında elde edilen yatay yer değiştirmelerin

killi zeminlerde kumlu zeminlere göre çok daha fazla olduğu ve orta katı kilde duvar yüksekliğinin %2'sine ulaşabildiği görülmektedir. Kumlu zeminlerde ise duvar yüksekliğinin %0.10 - %0.20'si arasında duvar tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri hesaplanmıştır. Aynı şekilde duvar arkası zemin yüzünde oluşan düşey deplasmanların da killi zeminlerde kumlu zeminlere göre çok daha fazla olduğu ve orta katı kilde duvar yüksekliğinin yaklaşık %1'ine ulaşabildiği görülmektedir.

Ankrajlı sistemlerde, bütün zemin modelleri için hesaplanan duvar tepe noktası yatay yer değiştirmelerinin zemin çivili sistemlere göre çok daha küçük olduğu belirlenmiştir. En fazla yatay yer değiştirmenin meydana geldiği orta katı kilde dahi %0.5'den küçük, kumlu zeminlerde ise  $\pm 0.01$ 'den daha küçük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde ankrajlı sistemlerde duvar arkası zemin yüzünde çok küçük düşey yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Zemin çivili destek sistemlerinde oluşan yer değiştirme şekilleri incelendiğinde, göçmenin şev topuğundan  $0.4H-0.5H$  yüksekliğindeki çivilerin sıyrılması ve şev topuğuna yakın donatıların ön kısımlarında aşırı deformasyonların meydana gelmesi sonucu oluştuğu görülmektedir.

Plaxis 7.2 ile gerçekteştirilen sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre, çivili duvarlarda tepe noktası deplasmanları beklenildiği gibi, ankrajlı duvardan daha fazla olmuştur. Her iki iksa sisteminde genellikle duvar yüksekliği arttıkça deplasman değerlerinde de artış meydana gelmiştir. Her iki destek sisteminin deplasman değerlerinin duvar yüksekliğine göre beklenen sınırlar içinde kaldığı, dolayısıyla incelenen sistemlerin yeterli kabul edilebileceği görülmektedir.

Zemin çivili ve ankrajlı sistemlerle desteklenen kazıların tabanında hesaplanan kabarmaların birbirine çok yakın olduğu gözlenirken, killi zeminlerde daha büyük kabarma değerleri (orta katı kilde  $0.30m$ 'ye varan) hesaplanmıştır.

Birçok değişkene bağlı olarak dört farklı zeminde, dört farklı yükseklik için çözülen çivili ve ankrajlı destek sistemleri için hesaplanan güvenlik sayıları karşılaştırıldığında,

- a) Sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan güvenlik sayılarının, kumlu zeminlerde inşa edilen zemin çivili duvarlarda ankrajlı duvarlara göre biraz daha büyük olduğu,
- b) Limit denge analizi ile hesaplanan güvenlik sayılarının, killi zeminlerde inşa edilen zemin çivili duvarlarda ankrajlı duvarlara göre biraz daha küçük olduğu,
- c) Sonlu elemanlar yöntemi ve limit denge analizi ile hesaplanan güvenlik sayılarının zemin çivili duvarlar için birbirine oldukça yakın, ankrajlı duvarlar için ise biraz farklı olduğu

belirlenmiştir. Destek sistemlerinin, ankraj (veya zemin çivisi) sayısının ve zemin cinsinin farklılıkları göz önüne alındığında, iki analiz yöntemi sonuçlarının birbirine yeterince yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Her iki iksa sistemi için dört farklı zemin modeli ve her bir modelde farklı kazı derinlikleri göz önüne alınarak yapılan maliyet hesapları, killi zeminlerde yapılan kazılarda, 8 ve 10 m kazı derinlikleri için zemin çivili ve ankrajlı sistemlerinin maliyetlerinin birbirine yakın olduğunu, 12 ve 15 m derinlikler için ankrajlı sistemlerin daha ekonomik olacağını göstermektedir. Kumlu zeminlerde açılacak destekli kazılarda ise ankrajlı sistemlerin maliyetinin, bütün kazı derinlikleri için, zemin çivili sistemlere göre daha ucuz olacağını göstermektedir. Doğal olarak, bu karşılaştırmalara temel olan birim fiyatların piyasa koşullarına göre güncel değerleri, hangi destek sisteminin daha ekonomik olacağını büyük oranda değiştirebilecektir.

Uygulamalarda, göçmeye karşı güvenlik sayıları, zemin deplasmanları ve maliyet karşılaştırması sonuçları göz önünde bulundurularak çivili veya ankrajlı destek sistemlerinden birinin arazi ve yakın çevresinin durumuna göre seçilmesi gerekmektedir.

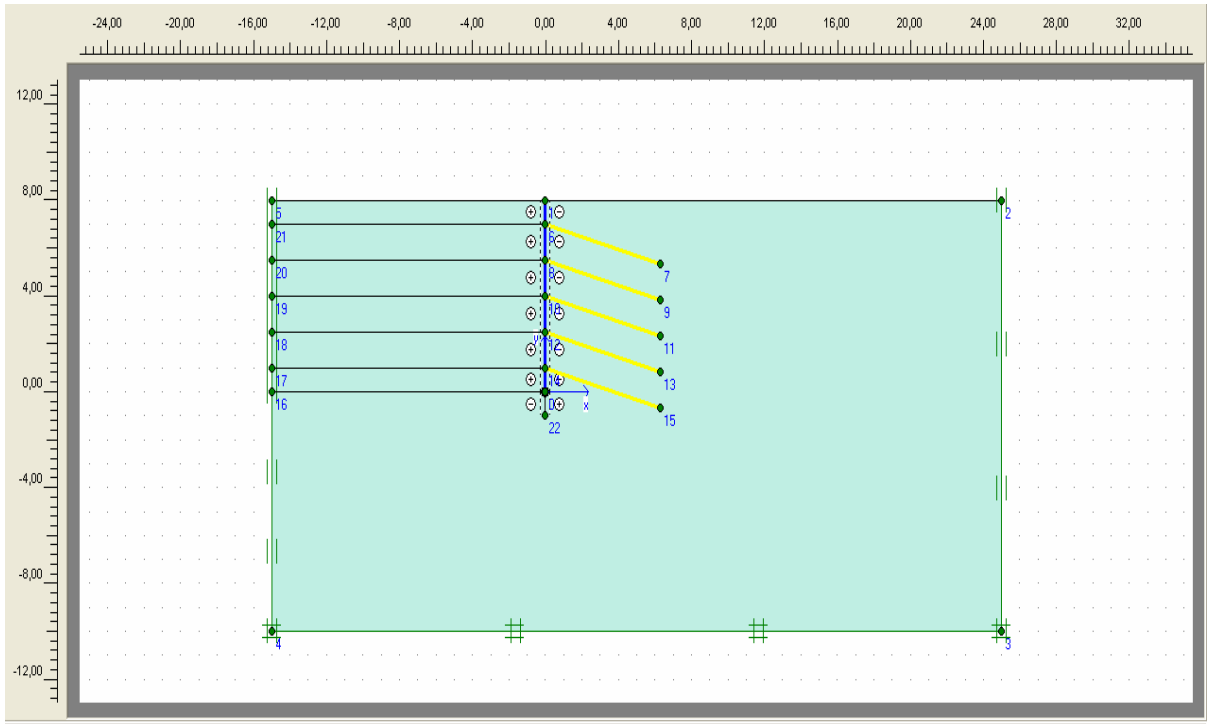
## KAYNAKLAR

- Bayur A.O., (2005), “Zemin Çivisi ile Dayanma Yapısı Tasarımı ve Arazi Denetimi”, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Berilgen M.M., (1996), “ Ankrajlı Perdelerde Zemn Yapı Etkileşiminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bowles J.E., (1998), “ Foundation Analysis and Design”, McGraw Hill.
- BS-8081,(1989) British Standart Code of Practice for Ground Anchorages”, British Standart Institution
- Byrne R.J., Cotton D., Porterfield J., Wolschlog C. Ve Ueblacher G., (1998), “Manual For Design and Construction Monitoring of Soil Nail Wall (FHWA-SA-96-069R)”, 1-268, Washington, USA.
- Carter M., Bentley S.P., (1991), “Correlations of Soil Properties”, London.
- Das B.M., 1941, “Principles of Foundation Engineering”, California State University, Sacramento.
- Hall G.J., (1995), “E.C. Civil Engineering Limited”, United Kingdom.
- Günsever, İ. (1999), “Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlı İksa Sistemlerinin Tasarımı ve Bir Bilgisayar Programı ile Desteklenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hana, T.H., (1983), “Foundations in Tension: Ground Anchors", Mc. GawHill, UK.
- İncecik M., (1980), “Kohezyonsuz Zeminlerde Ankrajların Davranışı”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Müh. Mim. Fak. Matbaası, İstanbul.
- Nalçakan M.S., Mercan M., Karacatönük G., ve Ergun U., (2002), “Geçirimsiz Ankrajlı Bir İksa Duvarının Yumuşak Zemindeki Davranışı”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Önalp A., Özar B., Özocak A., İnanır M. ve İnanır O., (2000), “Temel Kazısında Ankrajlı Kazık Perde Desteği”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, İ.TÜ, İstanbul.
- P.J.Sabatini, D.G. Pass, R.C. Bachus, (1999), “Ground Anchors and Anchored System”, FHWA-IF-99-015, USA.
- Terzaghi K., Peck, R.B., (1967), “Soil Mechanics in Engineering Practice”, John Wiley and Sons, Newyork.
- Turner J.P., Asce M. ve Jensen W.G., (2005), “ Landslide Stabilization Using Soil Nail and Mechanically Stabilized Earth Walls : Case Study”, ASCE, 141- 150.
- Yıldırım S., (2002), “ Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı”, İstanbul.

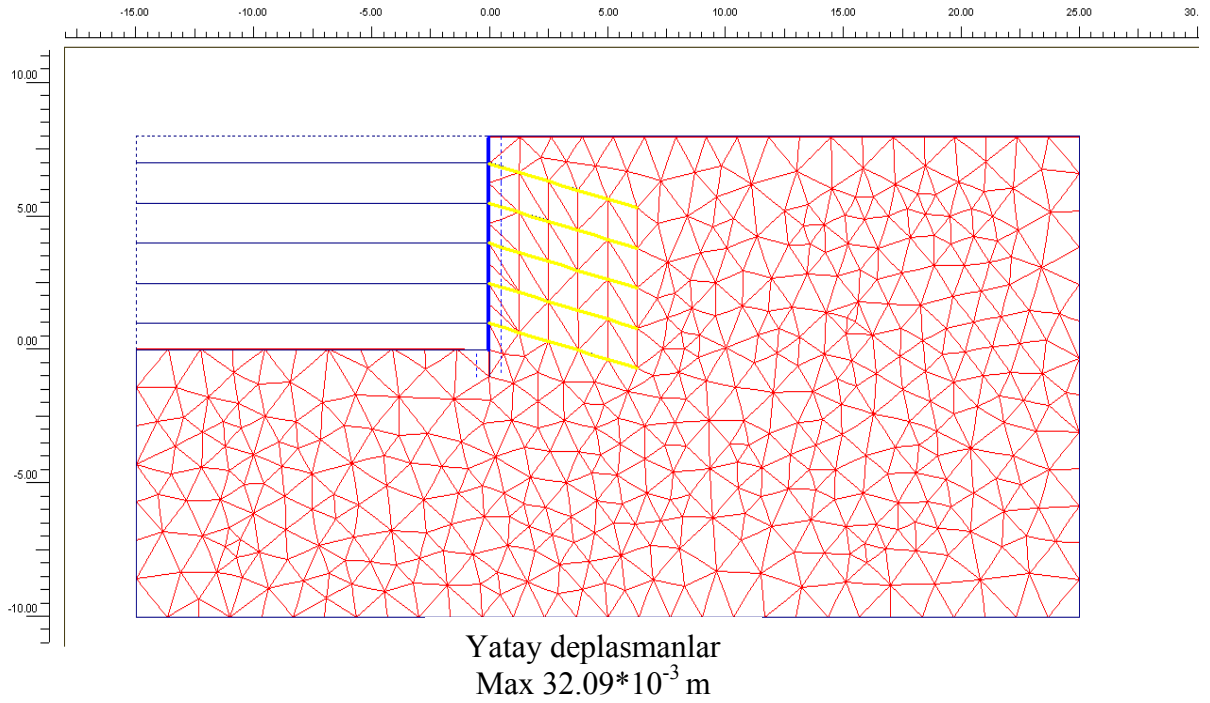
**EKLER**

|      |                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------|
| Ek 1 | H=8.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları  |
| Ek 2 | H=10.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları |
| Ek 3 | H=12.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları |
| Ek 4 | H=15.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları |
| Ek 5 | H=8.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları        |
| Ek 6 | H=10.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları       |
| Ek 7 | H=12.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları       |
| Ek 8 | H=15.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları       |

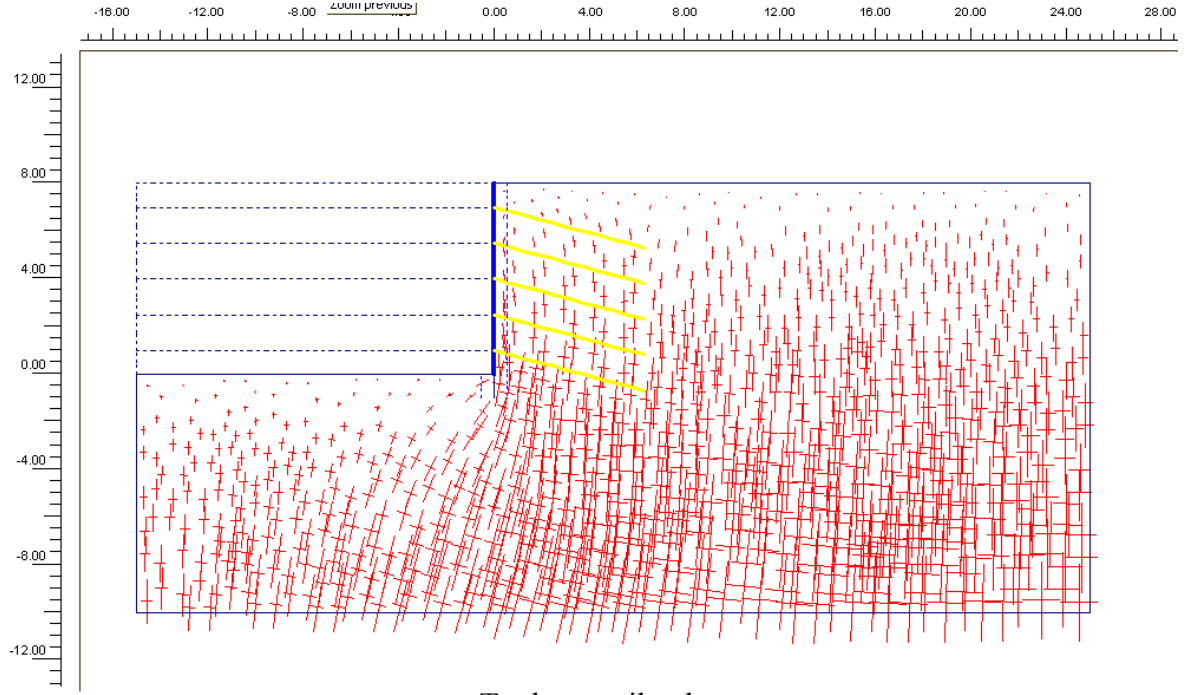
# Ek 1 H=8.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları



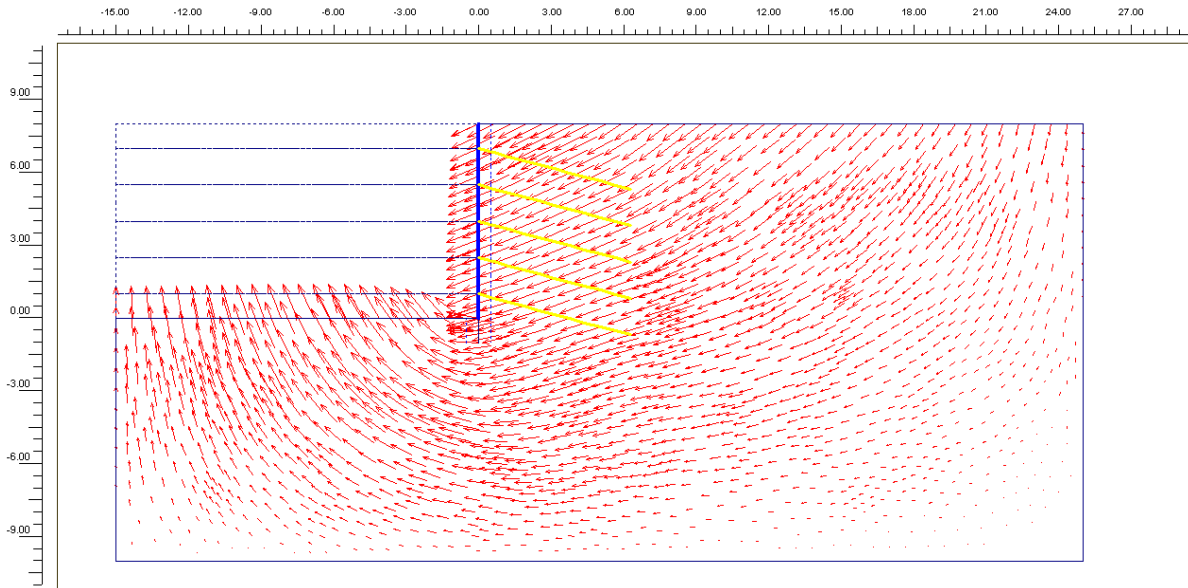
Ek 1 Şekil 1 Model 1 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model H=8.00 m



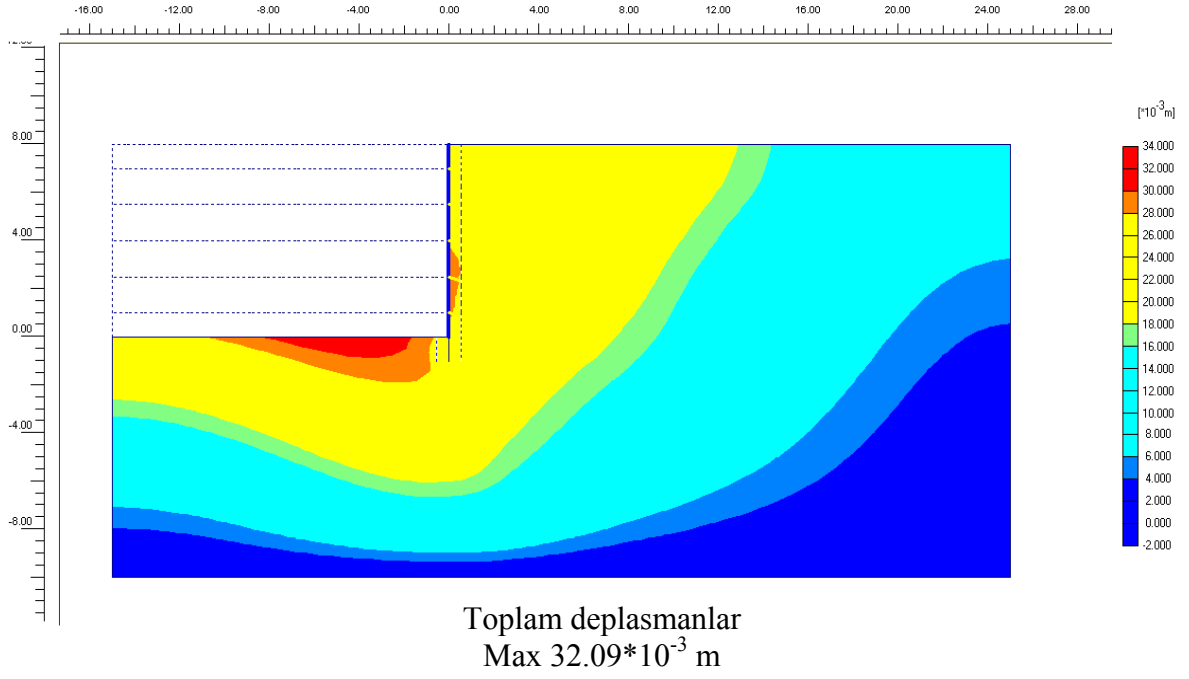
Ek 1 Şekil 2 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



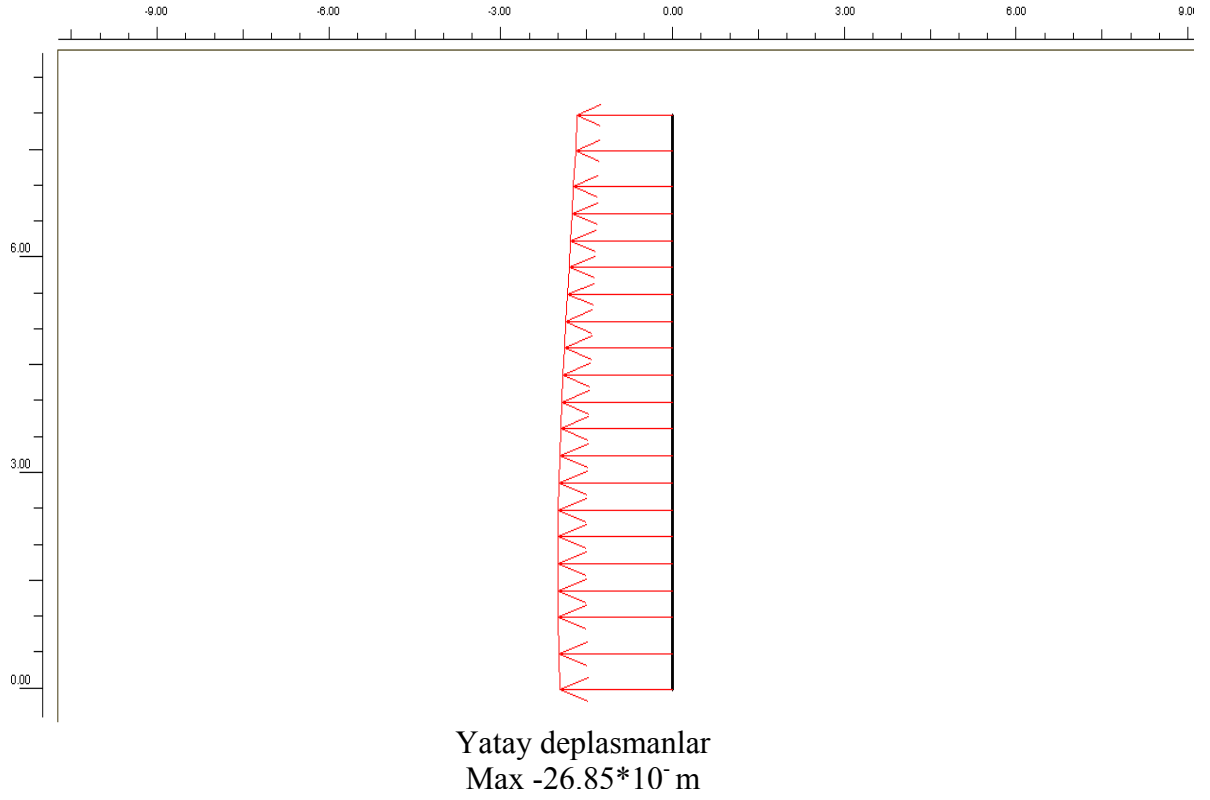
Ek 1 Şekil 3 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



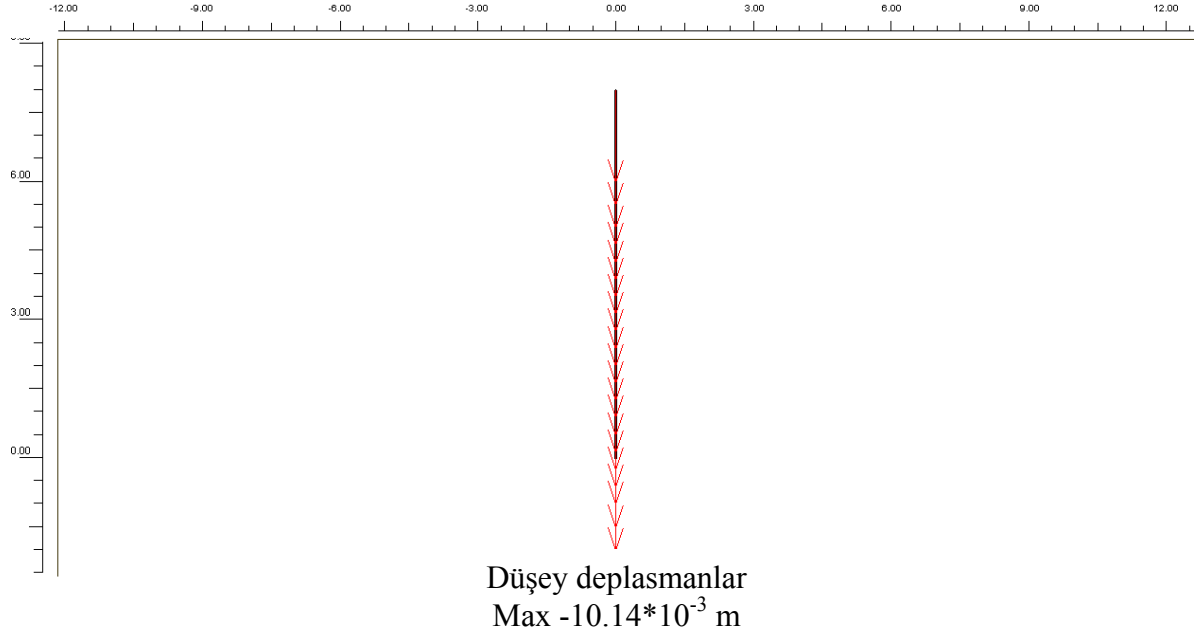
Ek 1 Şekil 4 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



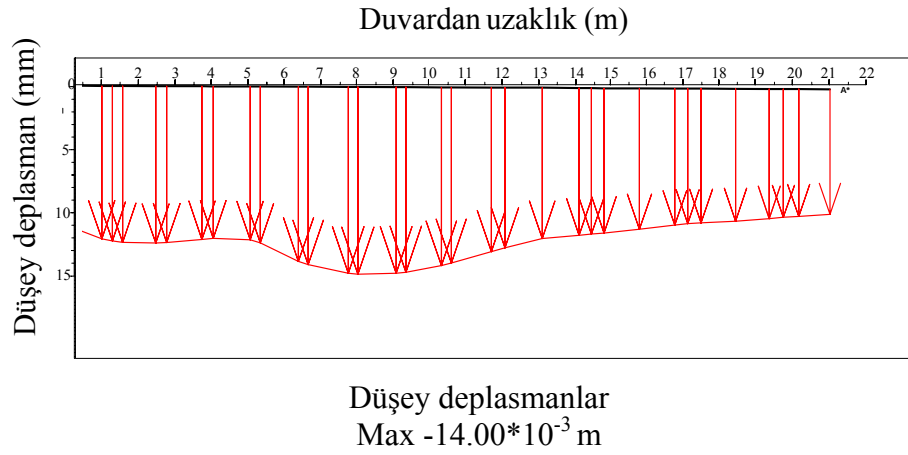
Ek 1 Şekil 5 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



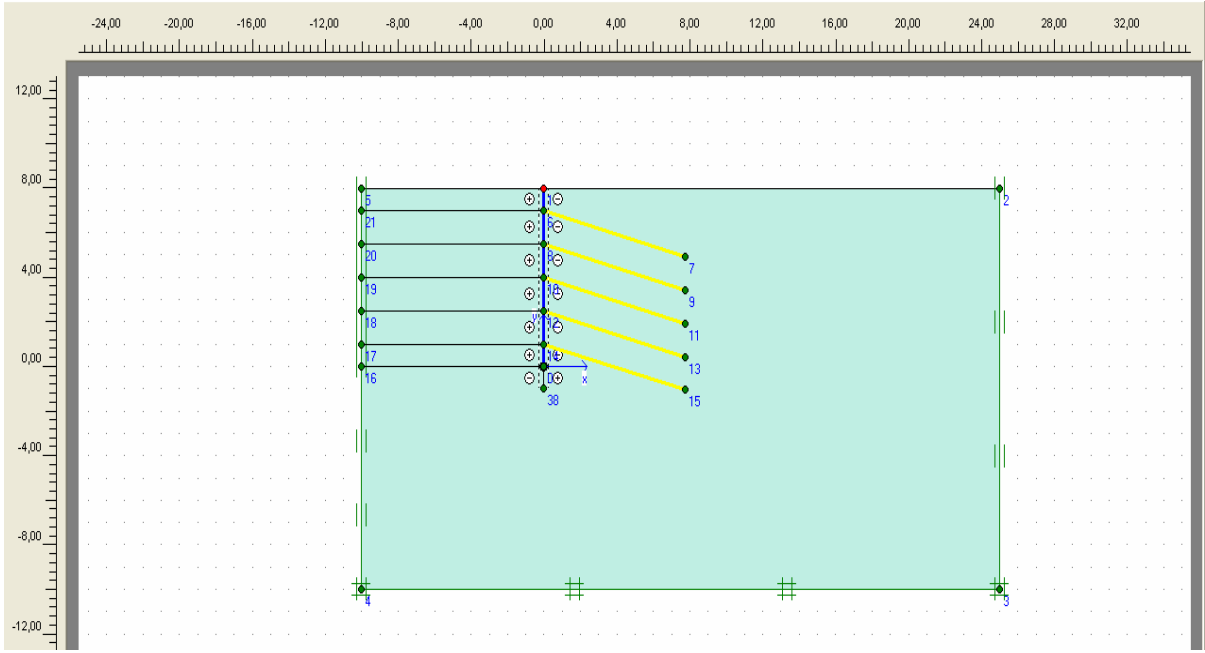
Ek 1 Şekil 6 Model 1 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



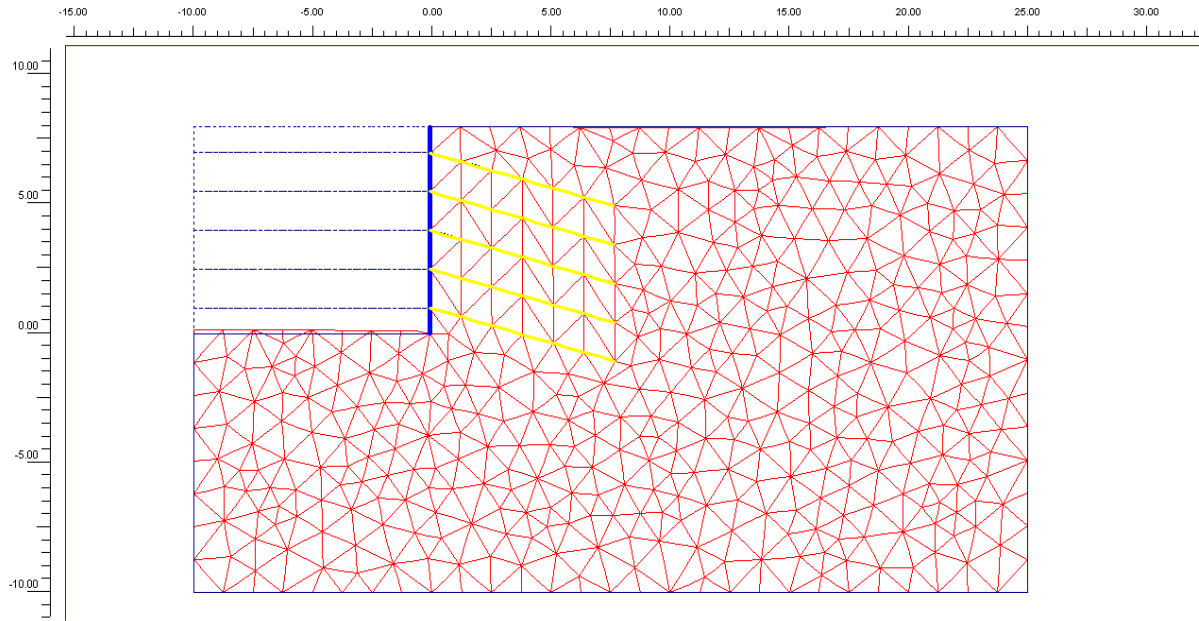
Ek 1 Şekil 7 Model 1 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 1 Şekil 8 Model 1 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

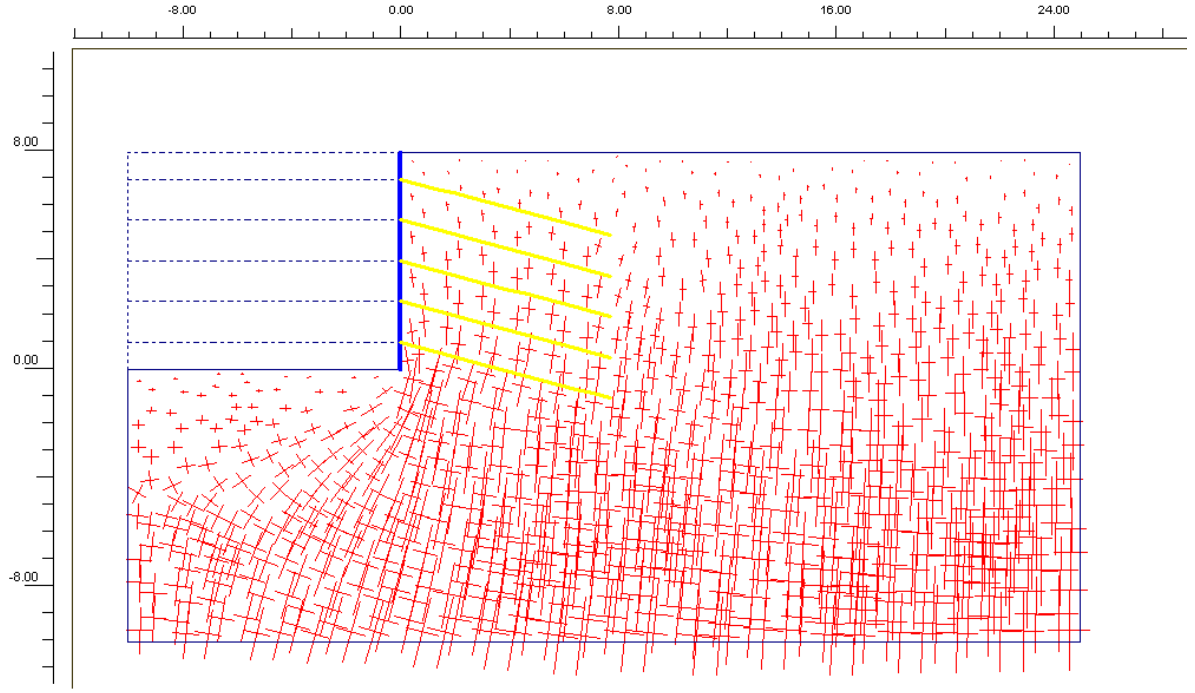


Ek 1 Şekil 9 Model 2 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=8.00 m



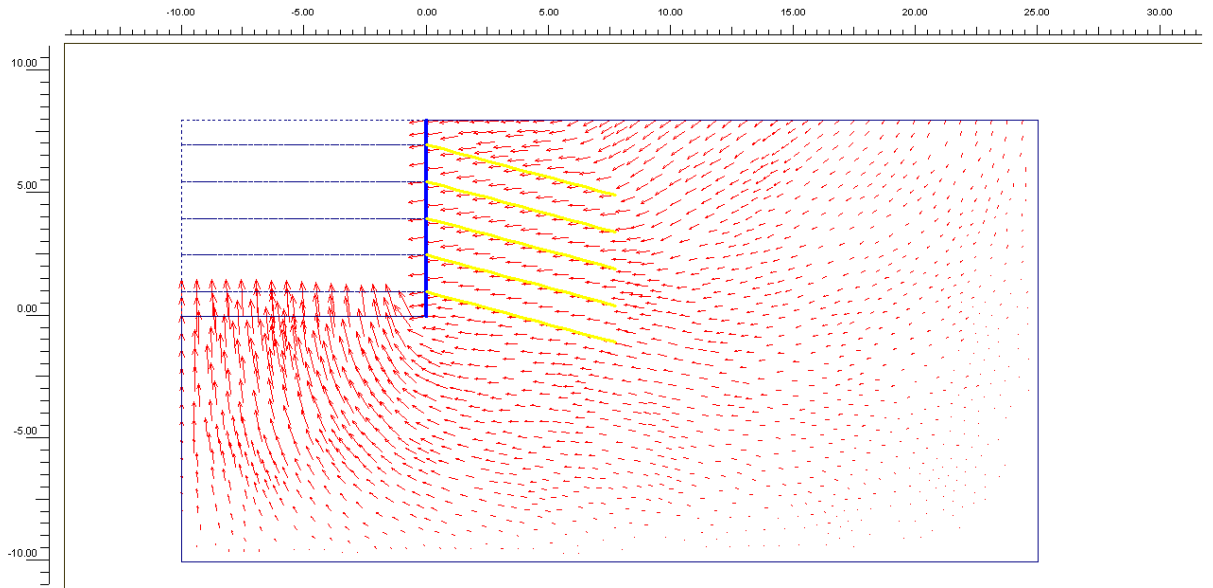
Yatay deplasmanlar  
Max  $152.6 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 1 Şekil 10 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



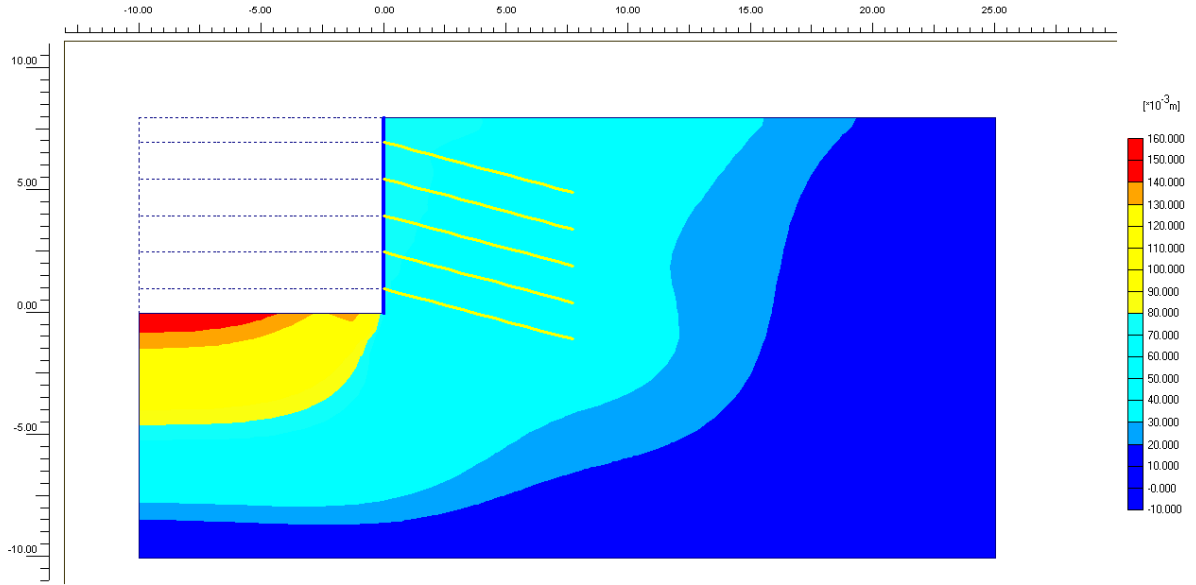
Toplam gerilmeler  
Max -298.10 kN/m<sup>2</sup>

Ek 1 Şekil 11 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

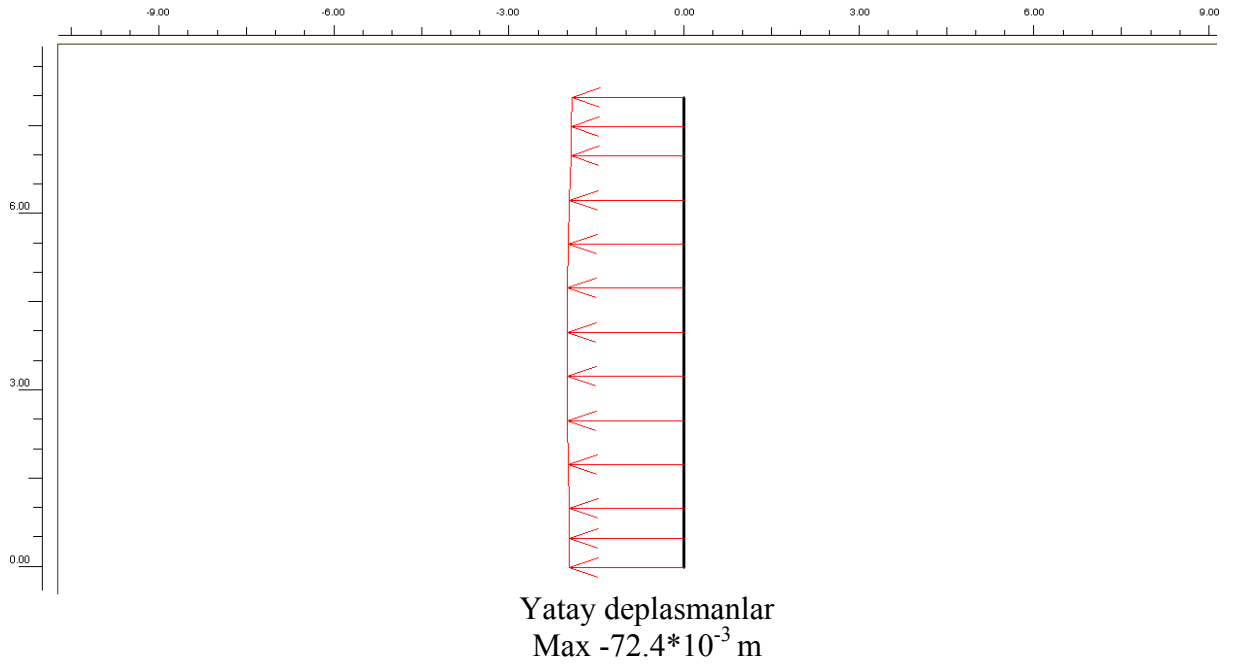


Toplam deplasmanlar  
Max 152.66\*10<sup>-3</sup> m

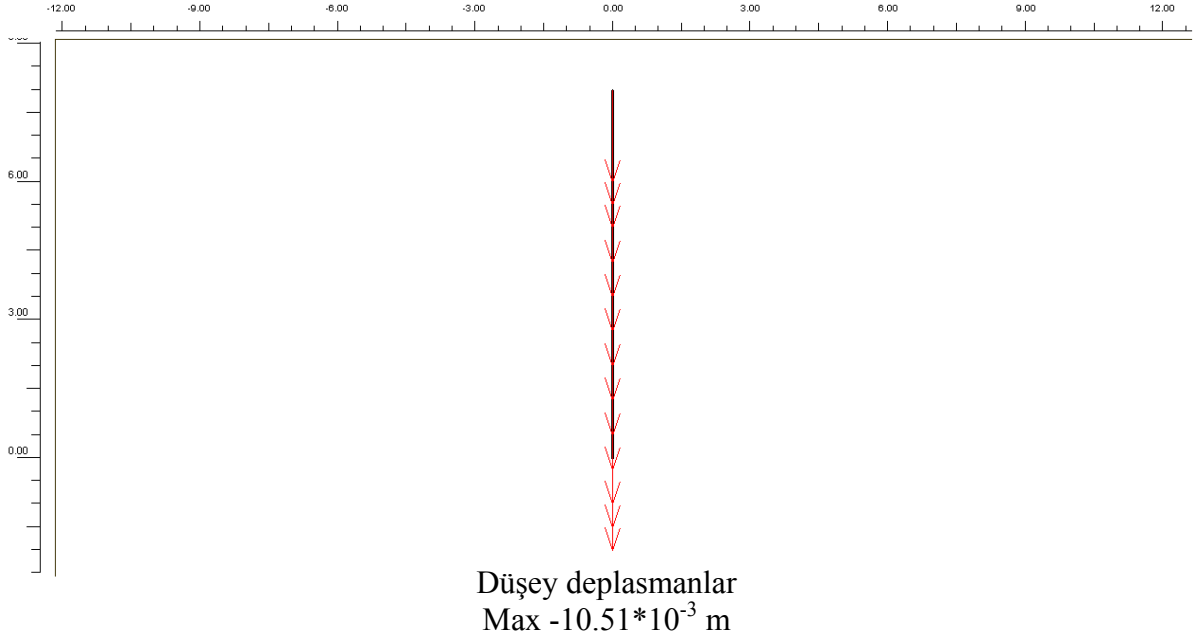
Ek 1 Şekil 12 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



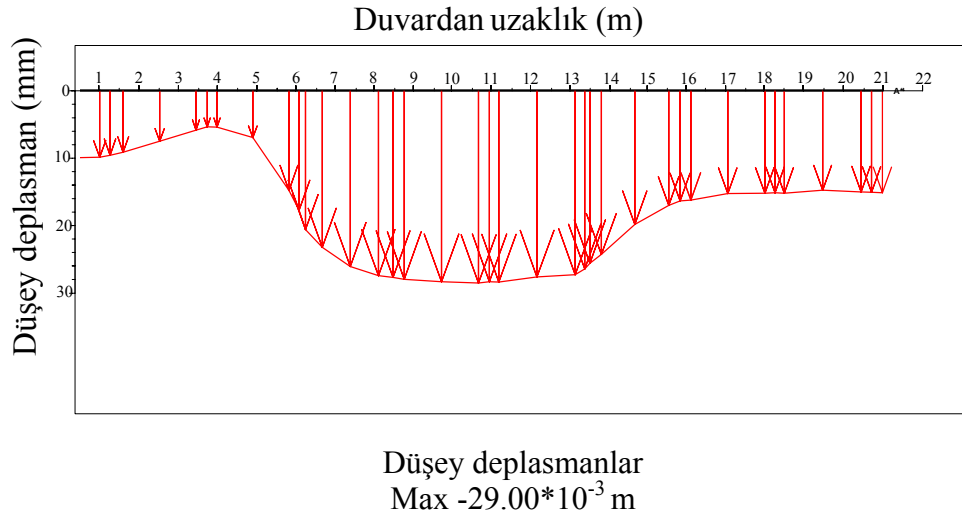
Ek 1 Şekil 13 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



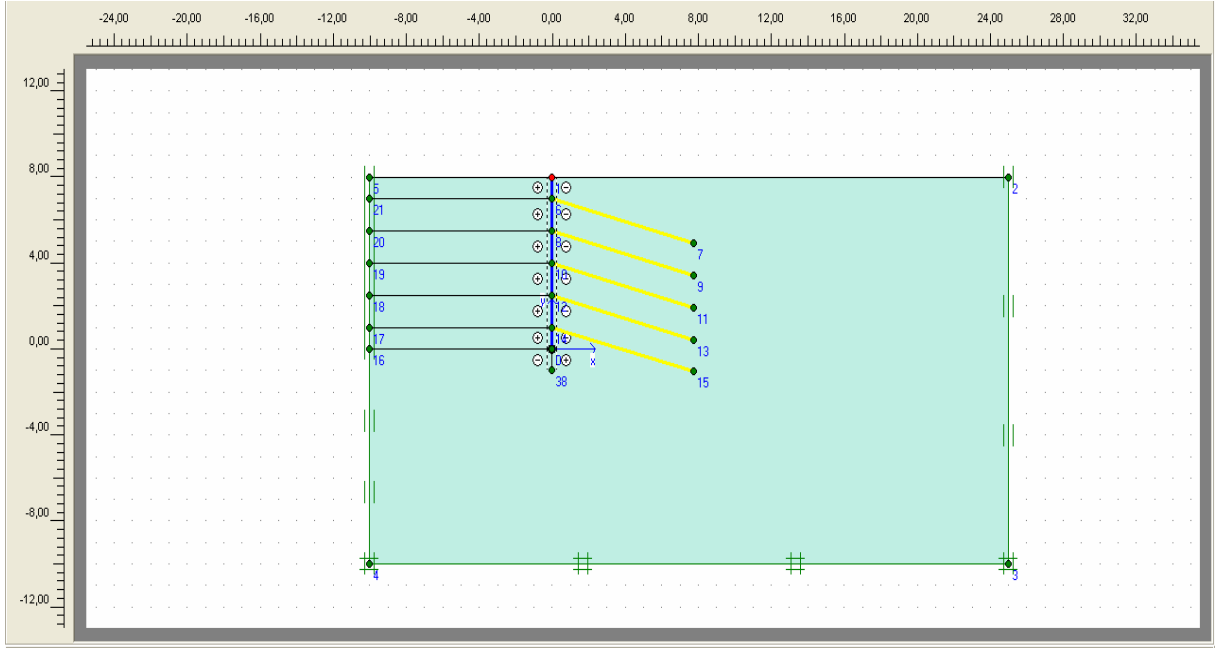
Ek 1 Şekil 14 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



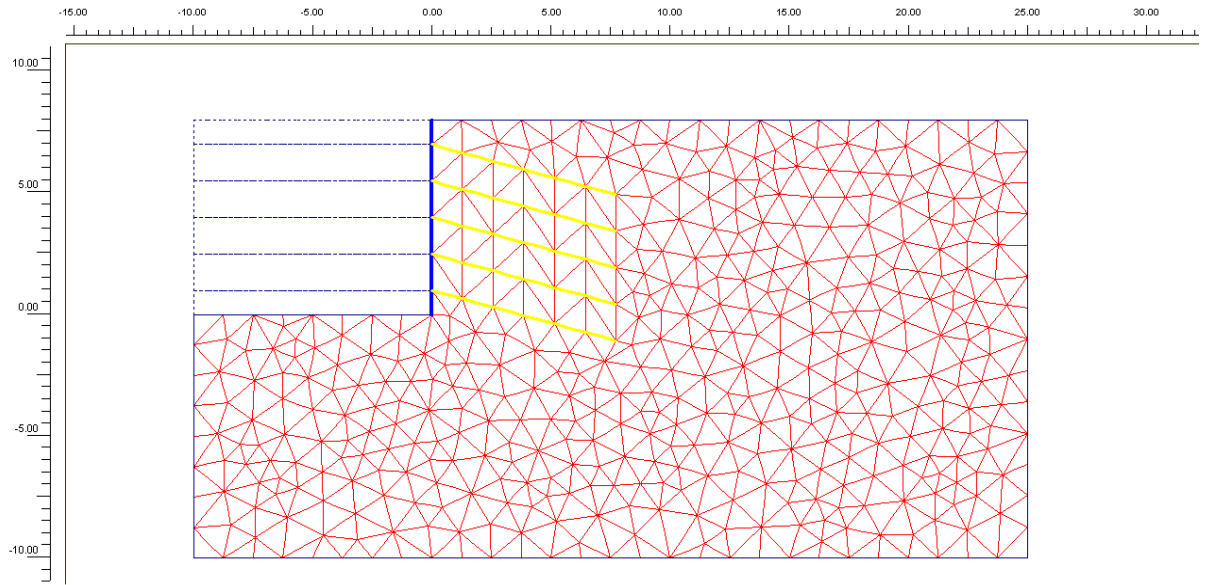
Ek 1 Şekil 15 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 1 Şekil 16 Model 2 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

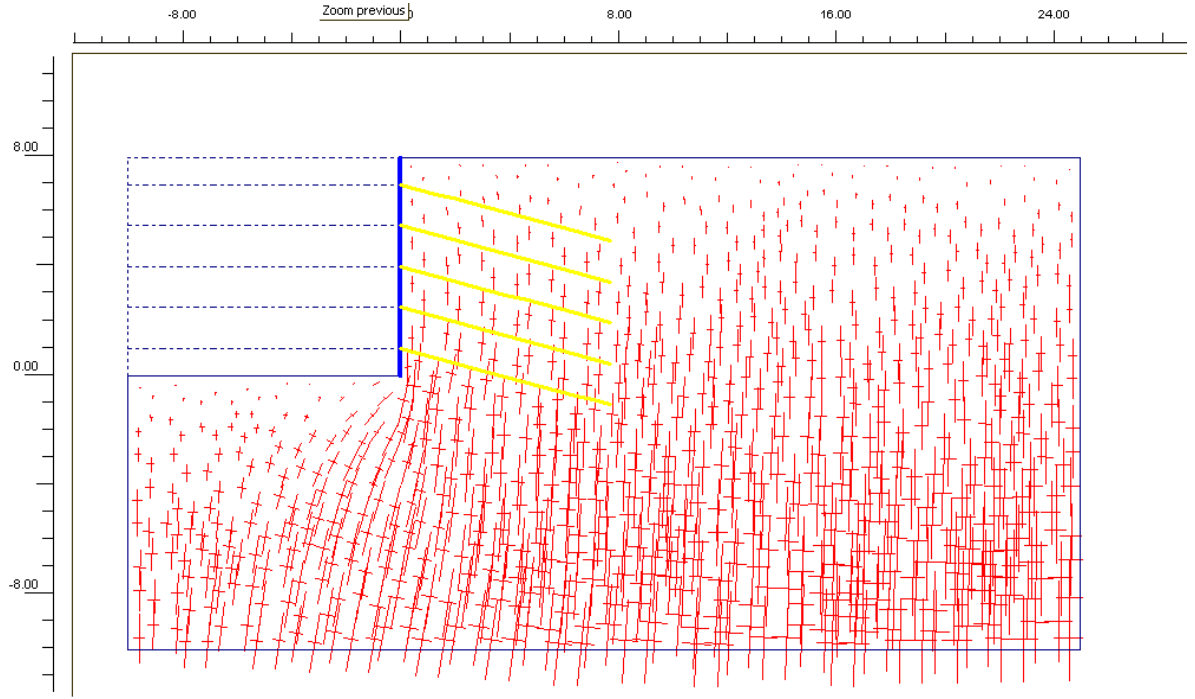


Ek 1 Şekil 17 Model 3 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=8.00 m



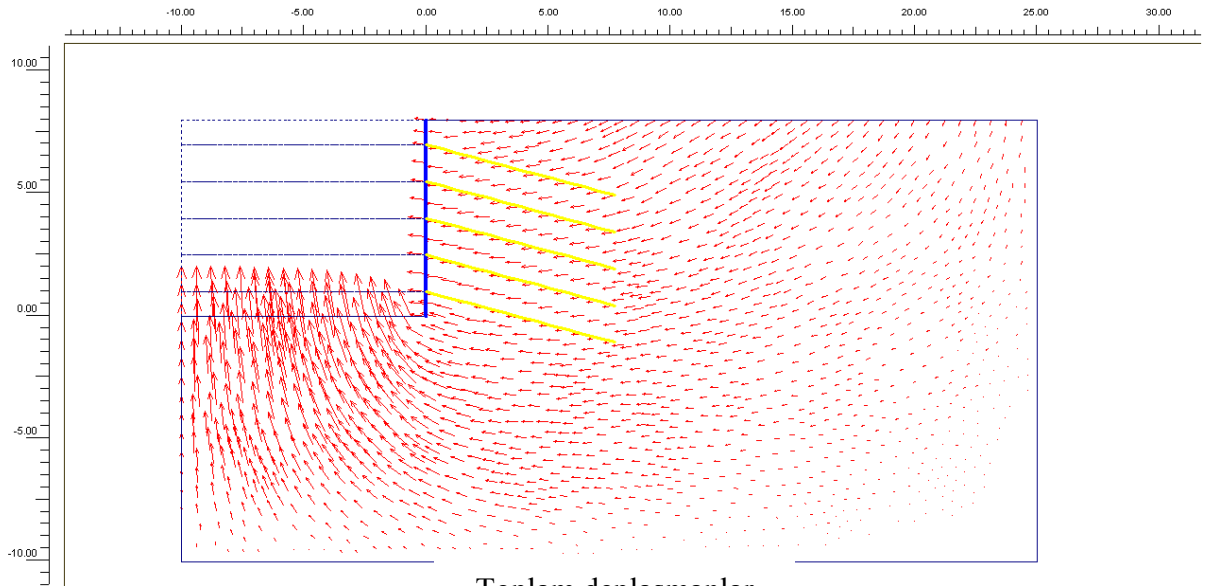
Yatay deplasmanlar  
Max  $10.29 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 1 Şekil 18 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



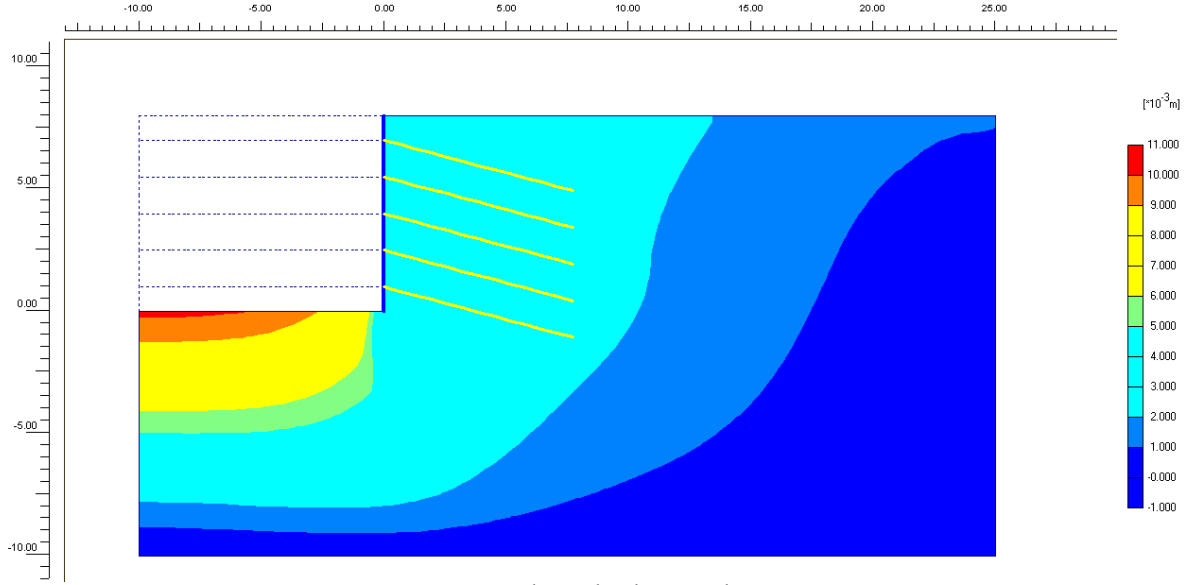
Toplam gerilmeler  
Max -317.38 kN/m<sup>2</sup>

Ek 1 Şekil 19 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

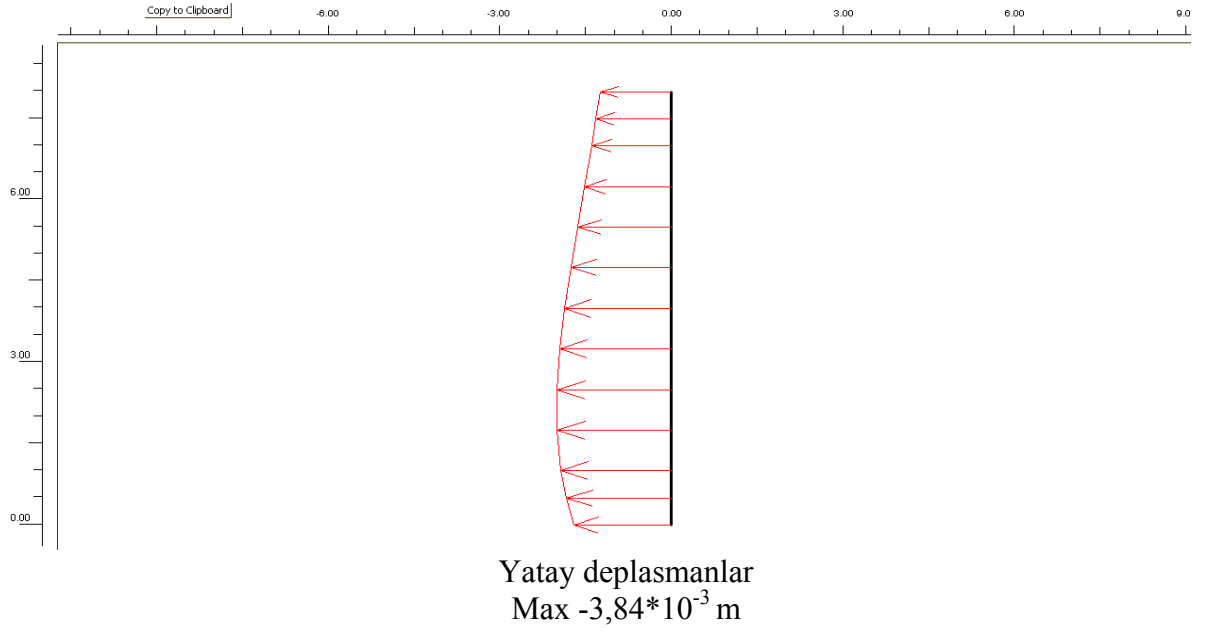


Toplam deplasmanlar  
Max  $10.28 \cdot 10^{-3}$  m

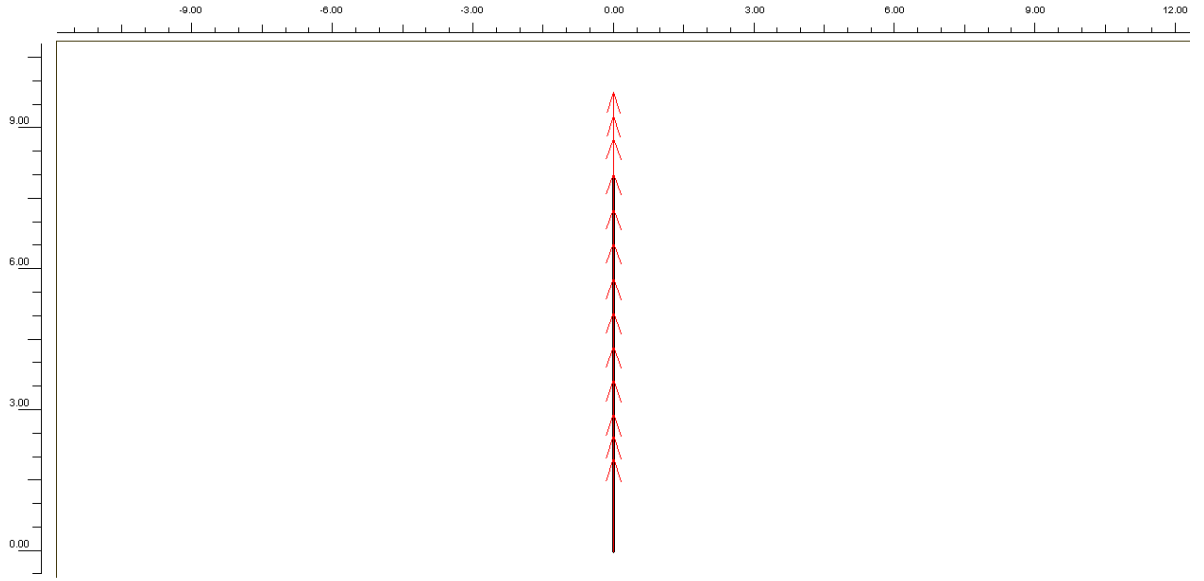
Ek 1 Şekil 20 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



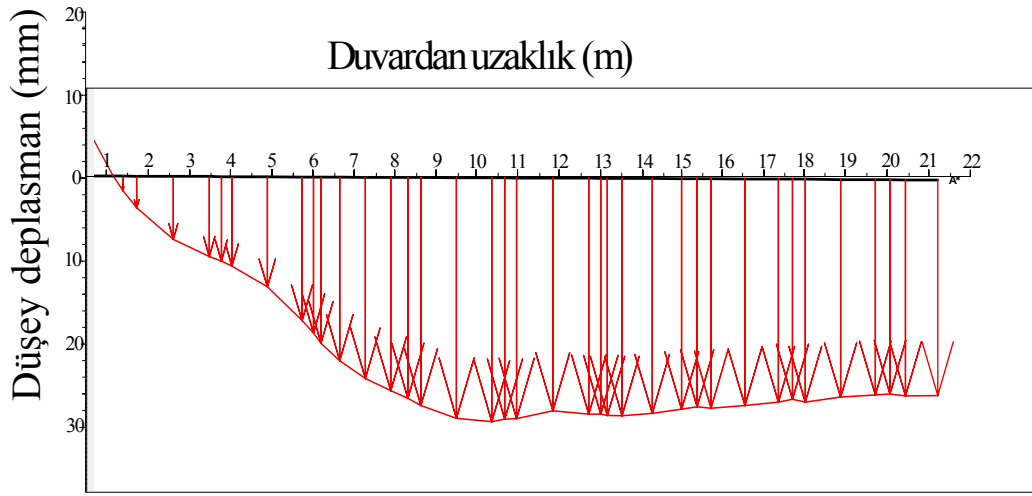
Ek 1 Şekil 21 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



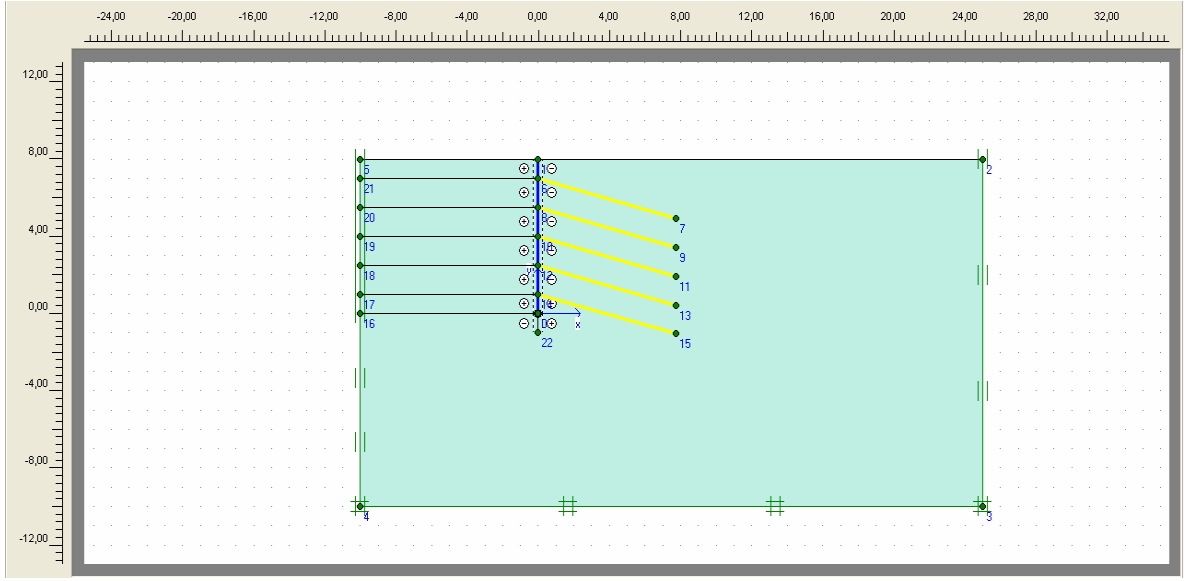
Ek 1 Şekil 22 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



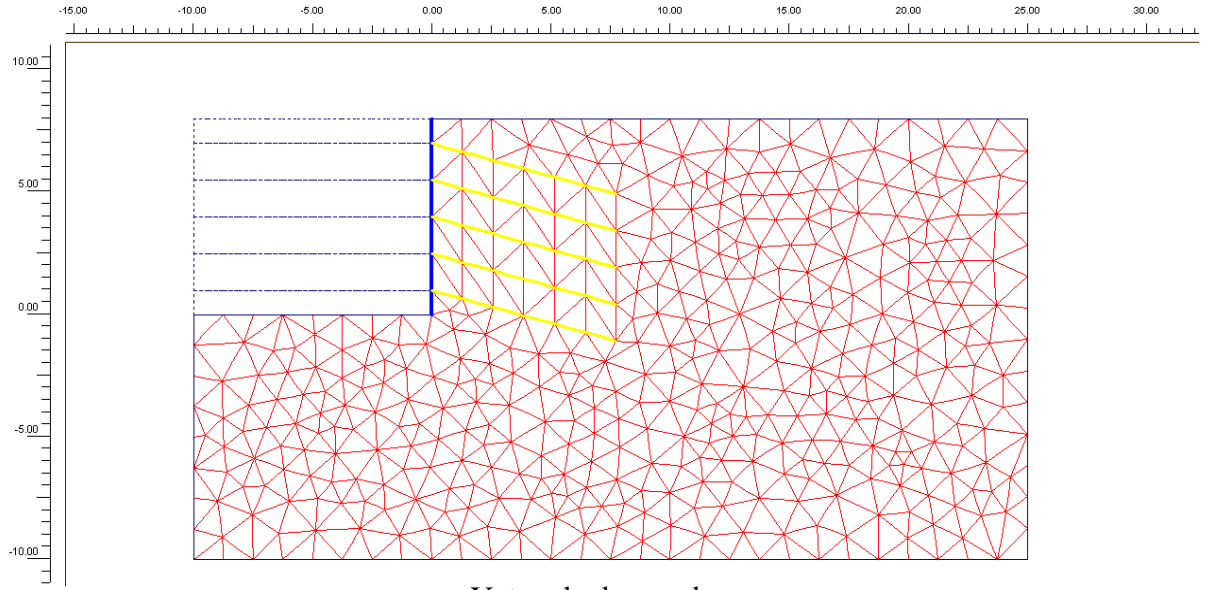
Ek 1 Şekil 23 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 1 Şekil 24 Model 3 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

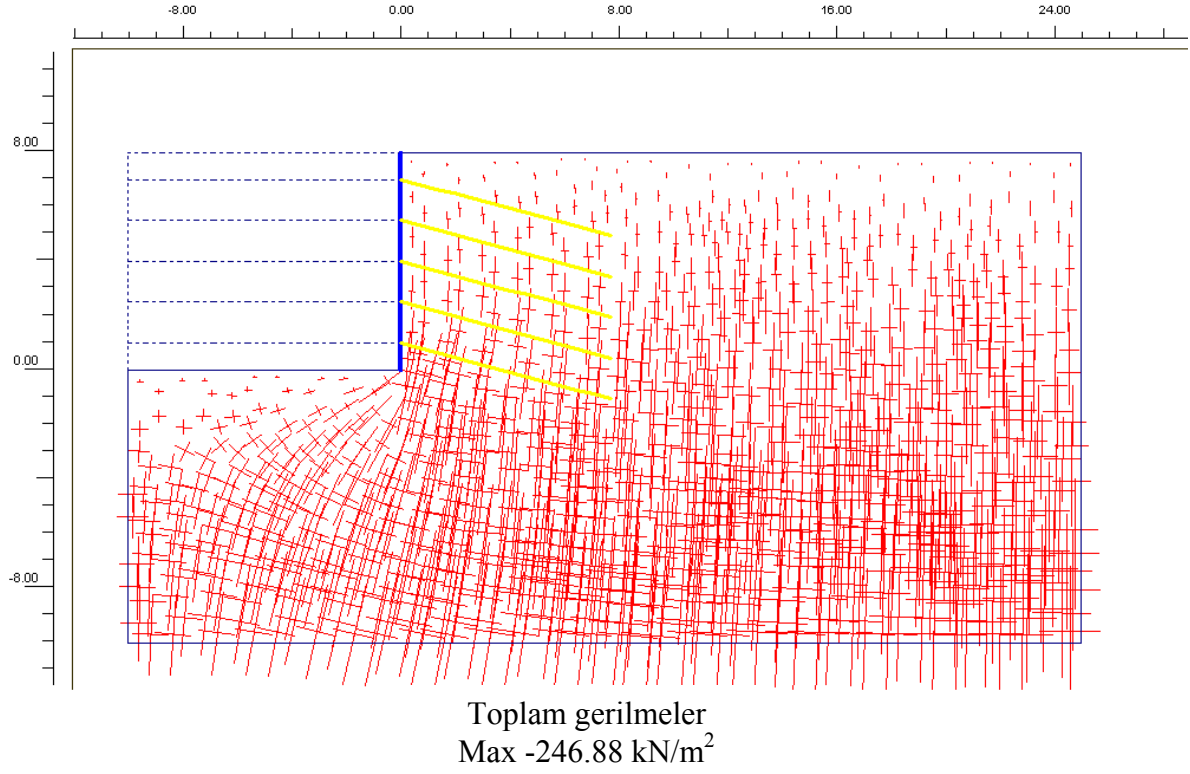


Ek 1 Şekil 25 Model 4 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=8.00 m

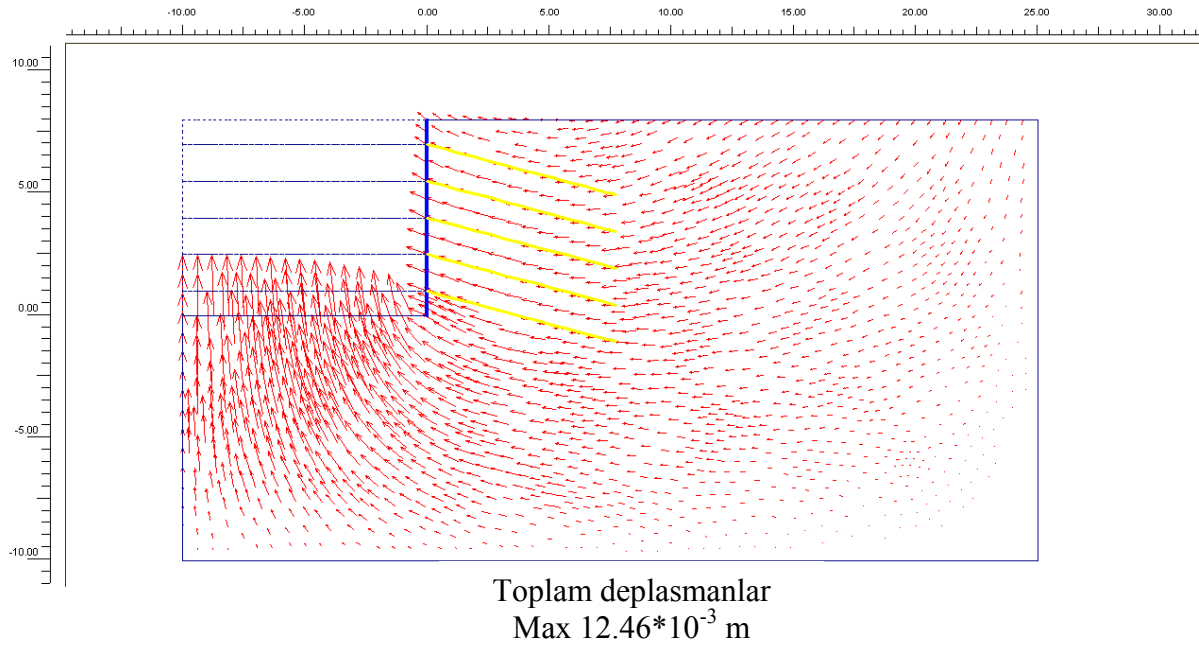


Yatay deplasmanlar  
Max  $12.46 \cdot 10^{-3}$  m

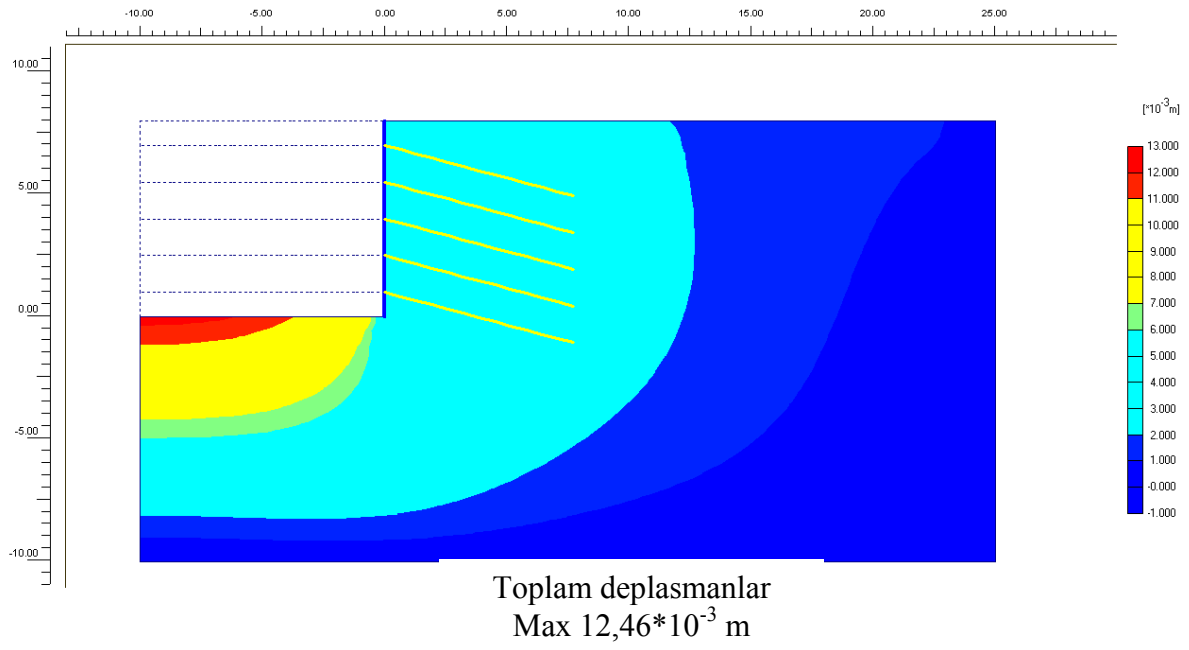
Ek 1 Şekil 26 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



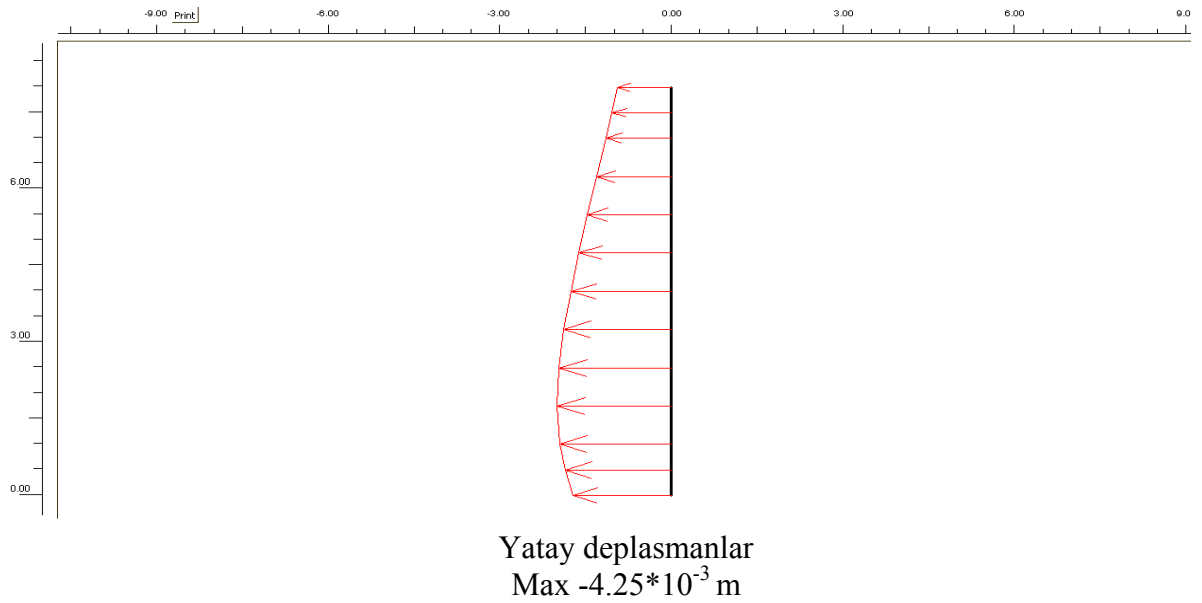
Ek 1 Şekil 27 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



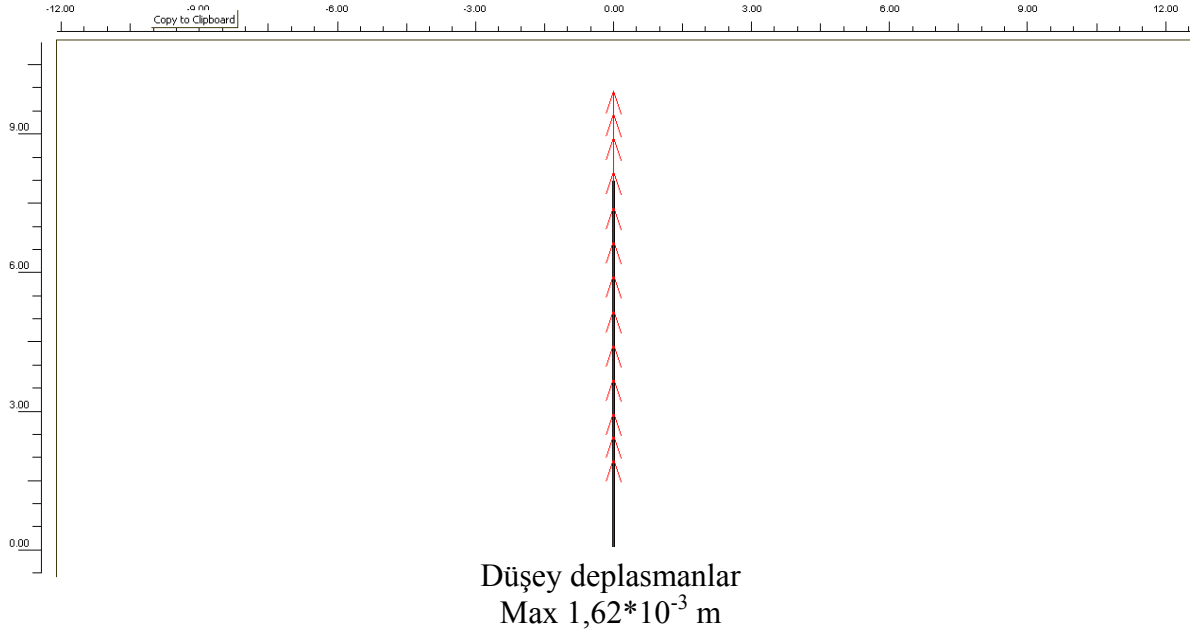
Ek 1 Şekil 28 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



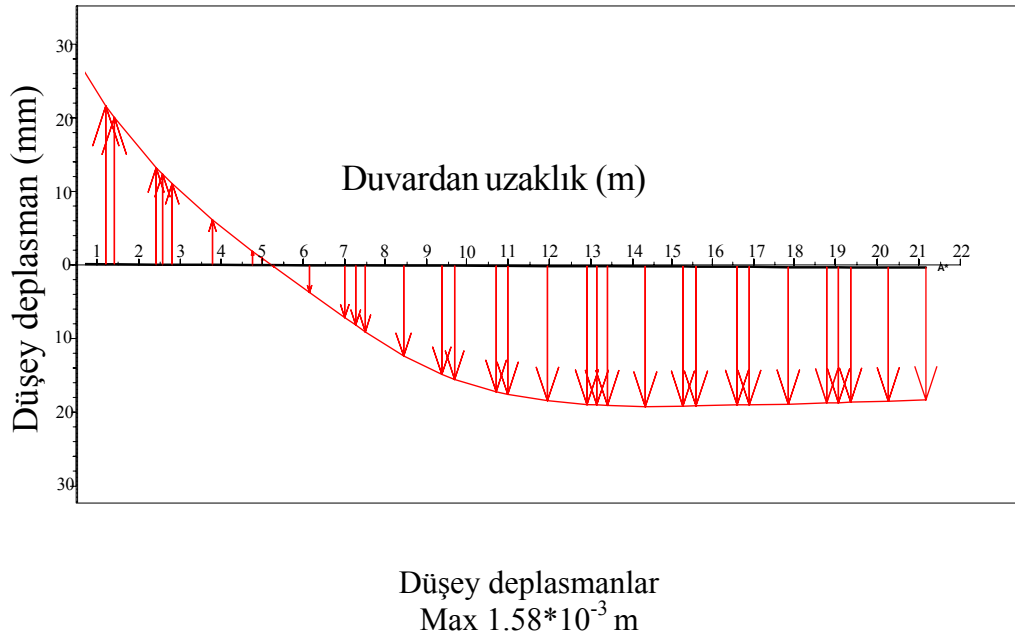
Ek 1 Şekil 29 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



Ek 1 Şekil 30 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı

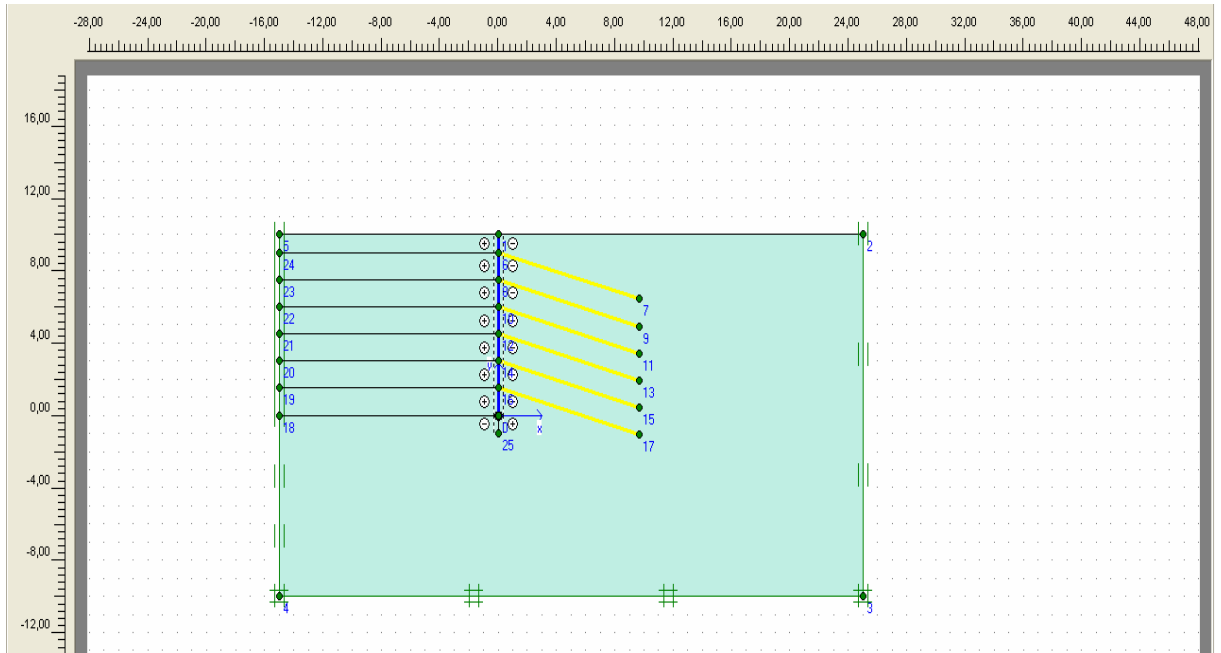


Ek 1 Şekil 31 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı

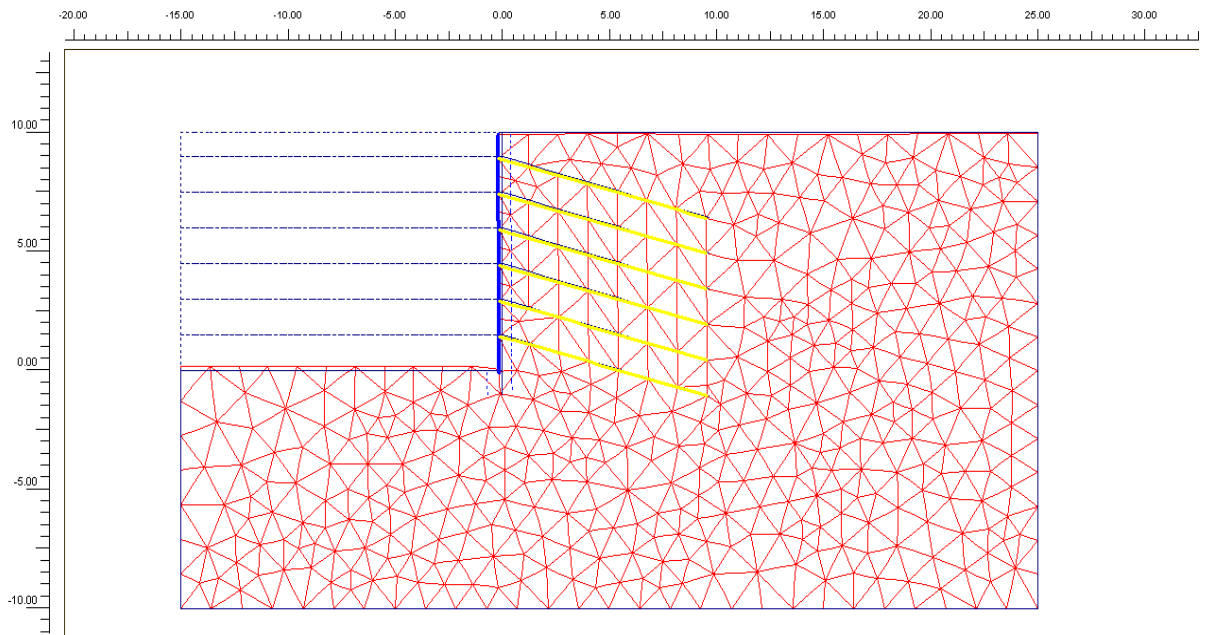


Ek 1 Şekil 32 Model 4 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

## Ek 2 H=10.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları

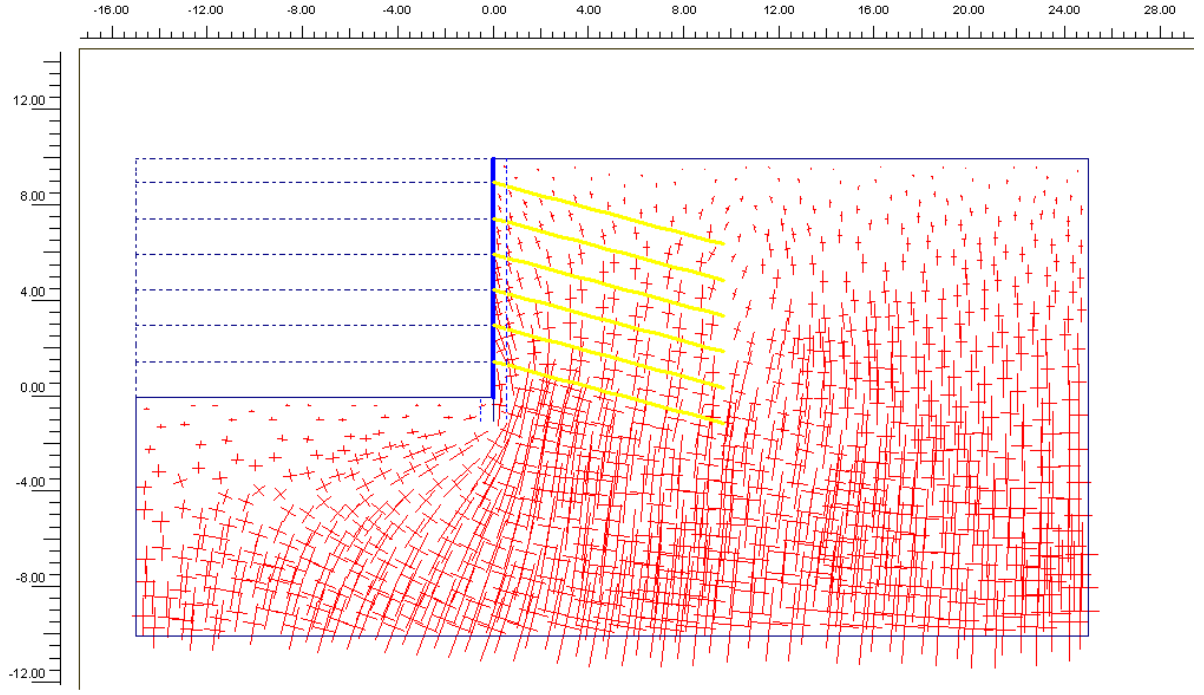


Ek 2 Şekil 1 Model 2 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=10.00 m



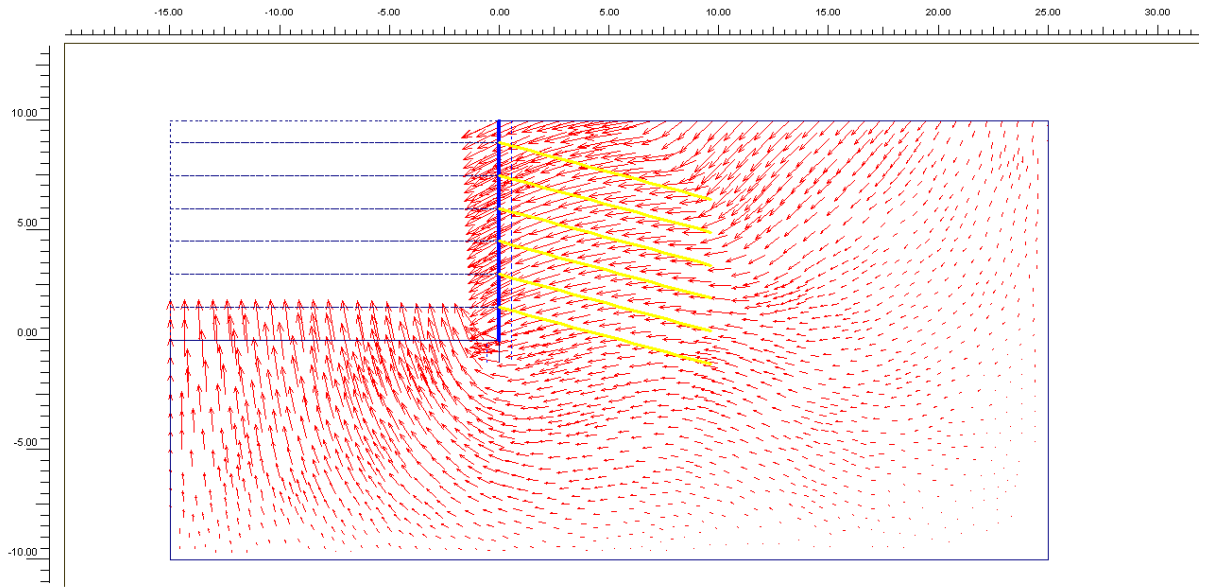
Yatay deplasmanlar  
Max  $187.65 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 2 Şekil 2 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



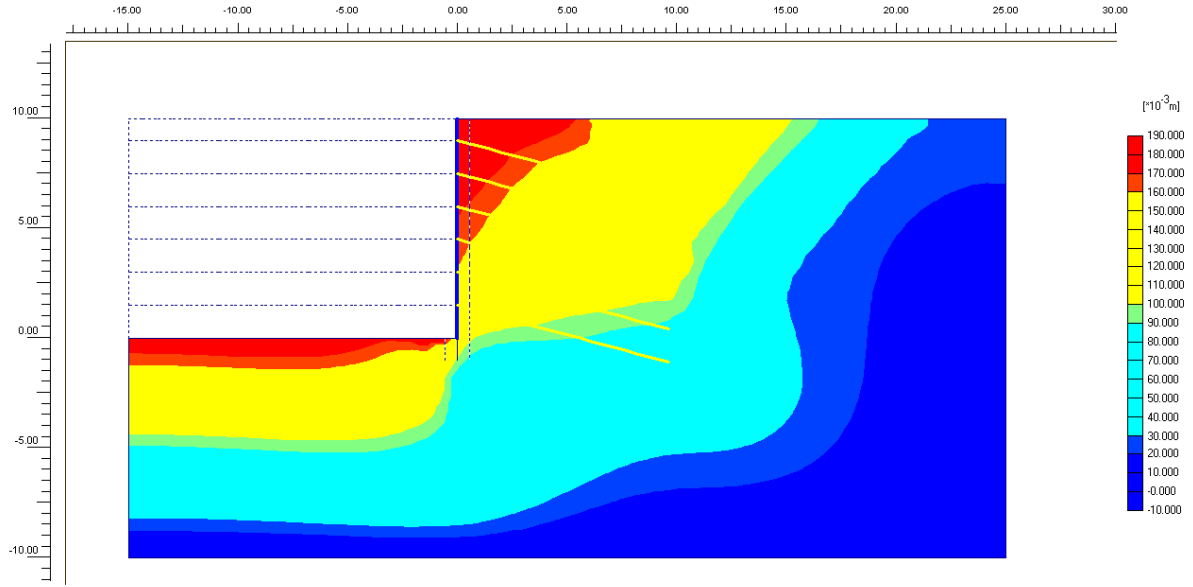
Toplam gerilmeler  
Max -329.4 kN/m<sup>2</sup>

Ek 2 Şekil 3 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



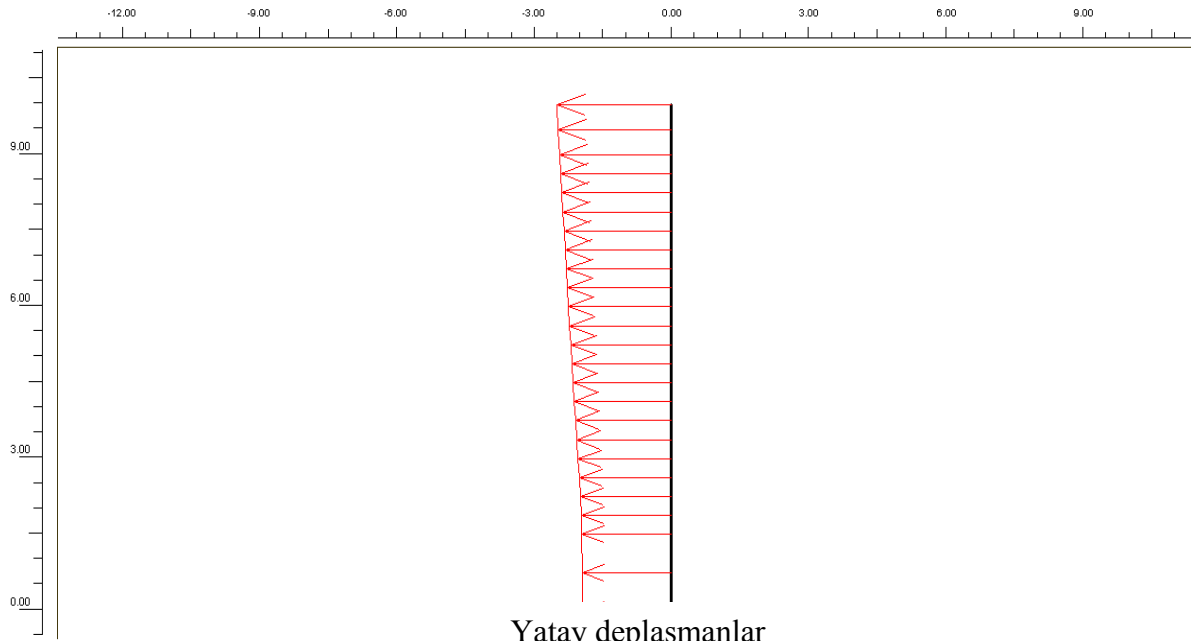
Toplam deplasmanlar  
Max 187.65\*10<sup>-3</sup> m

Ek 2 Şekil 4 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



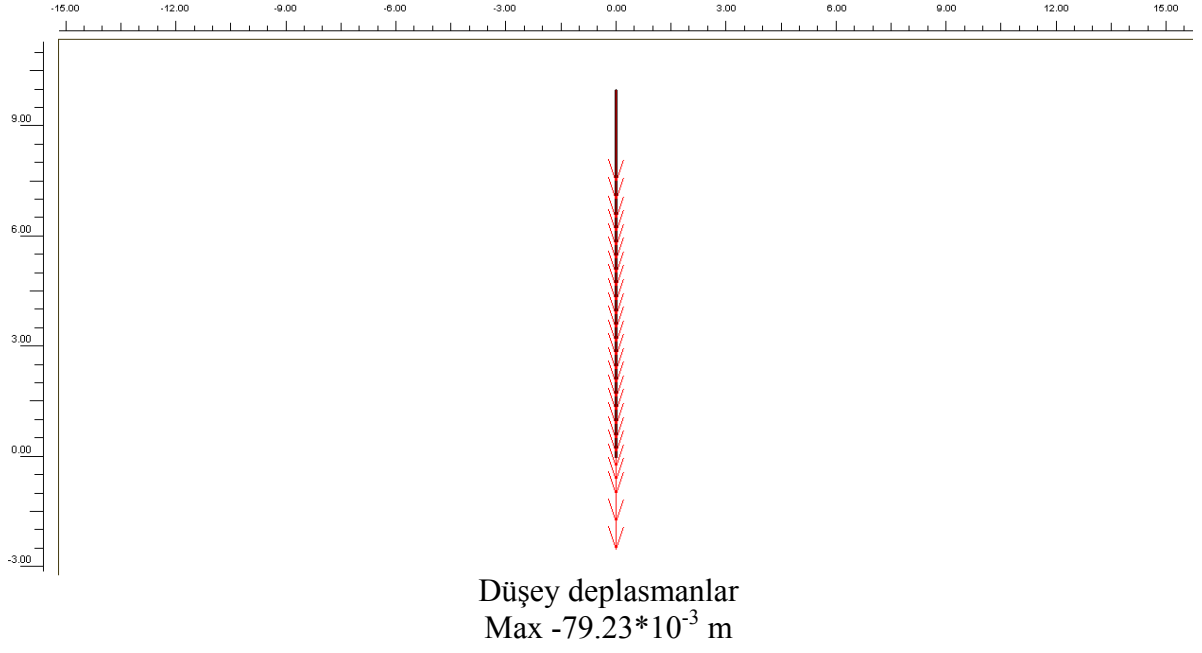
Toplam deplasmanlar  
Max  $187.50 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 2 Şekil 5 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

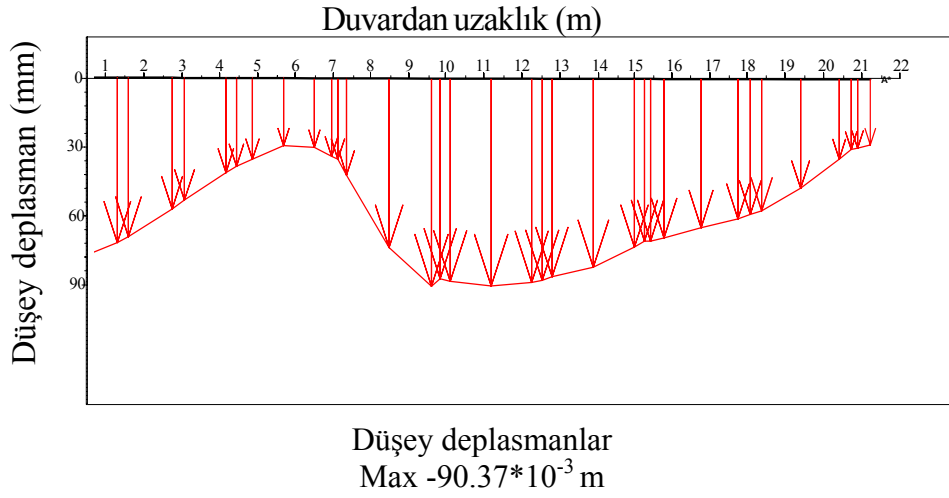


Yatay deplasmanlar  
Max  $-170.10 \cdot 10^{-3}$  m

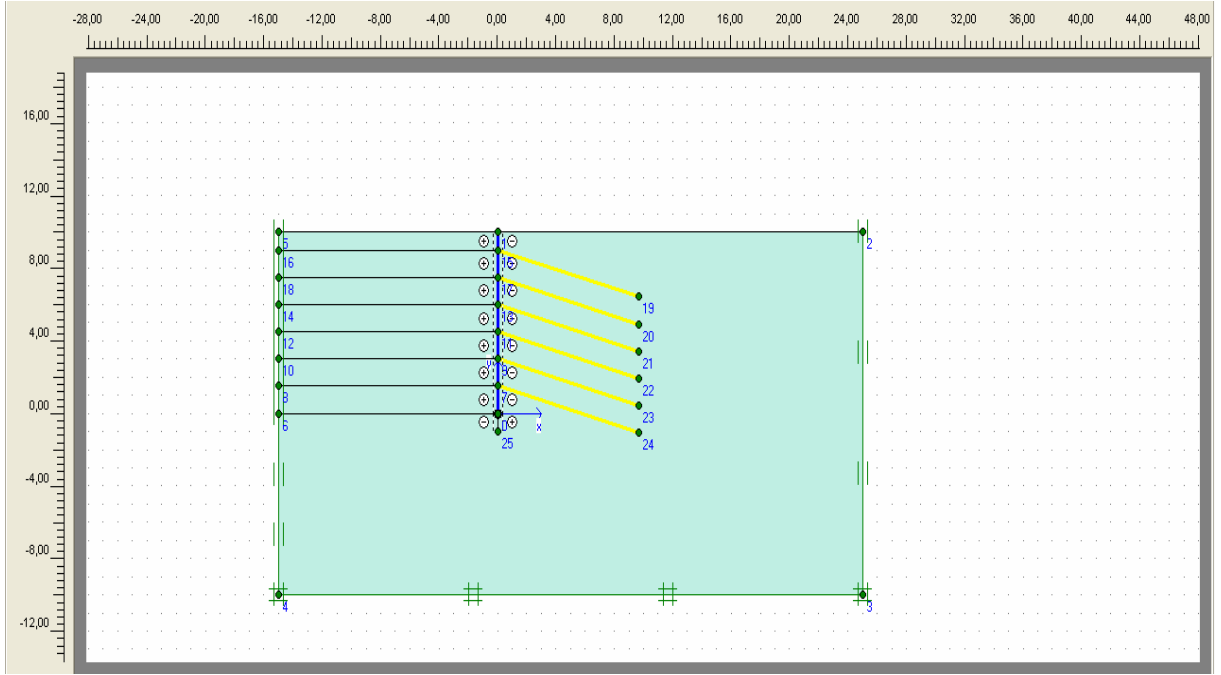
Ek 2 Şekil 6 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



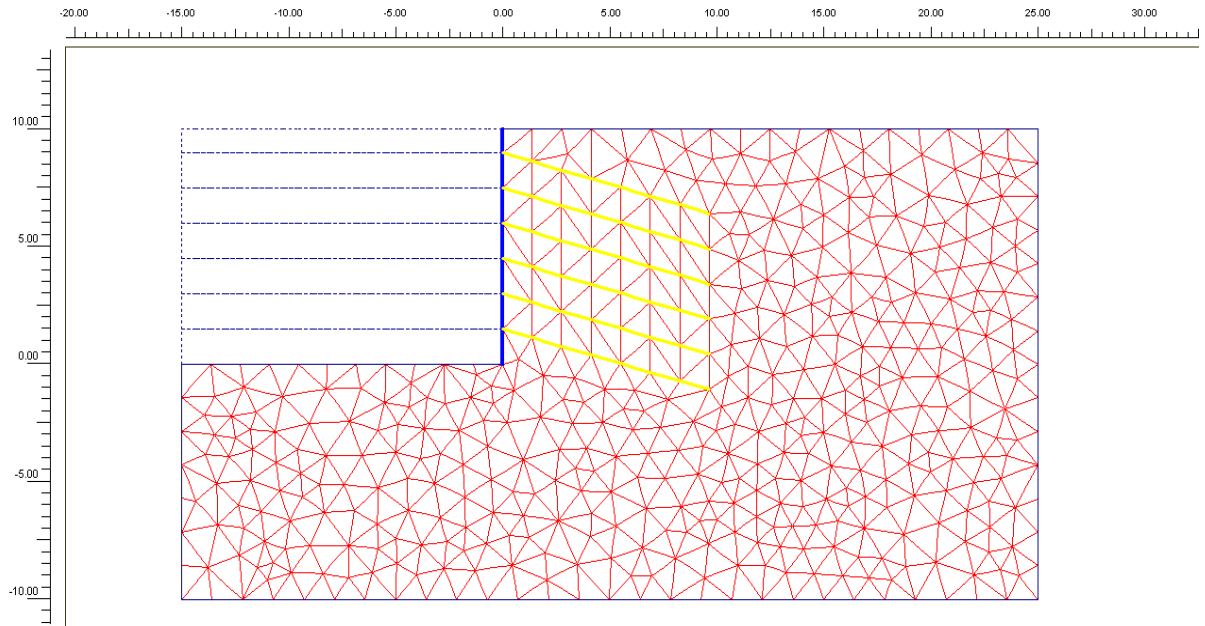
Ek 2 Şekil 7 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 2 Şekil 8 Model 2 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

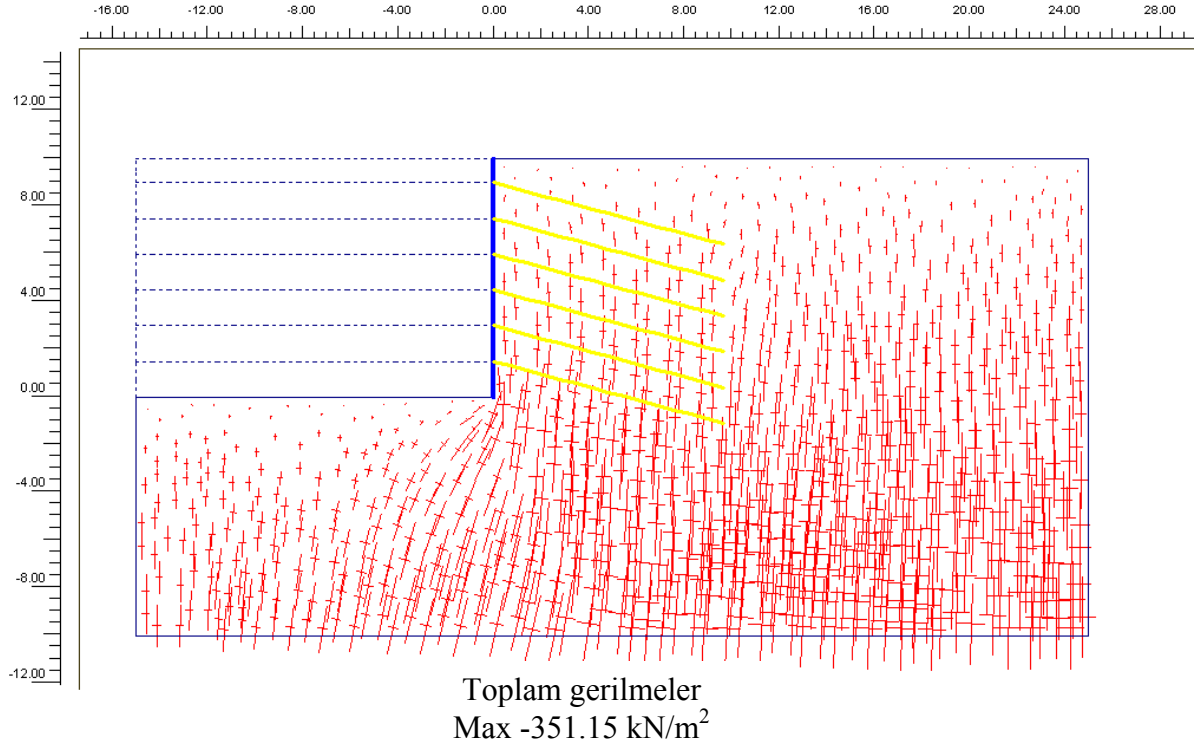


Ek 2 Şekil 9 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=10.00 m

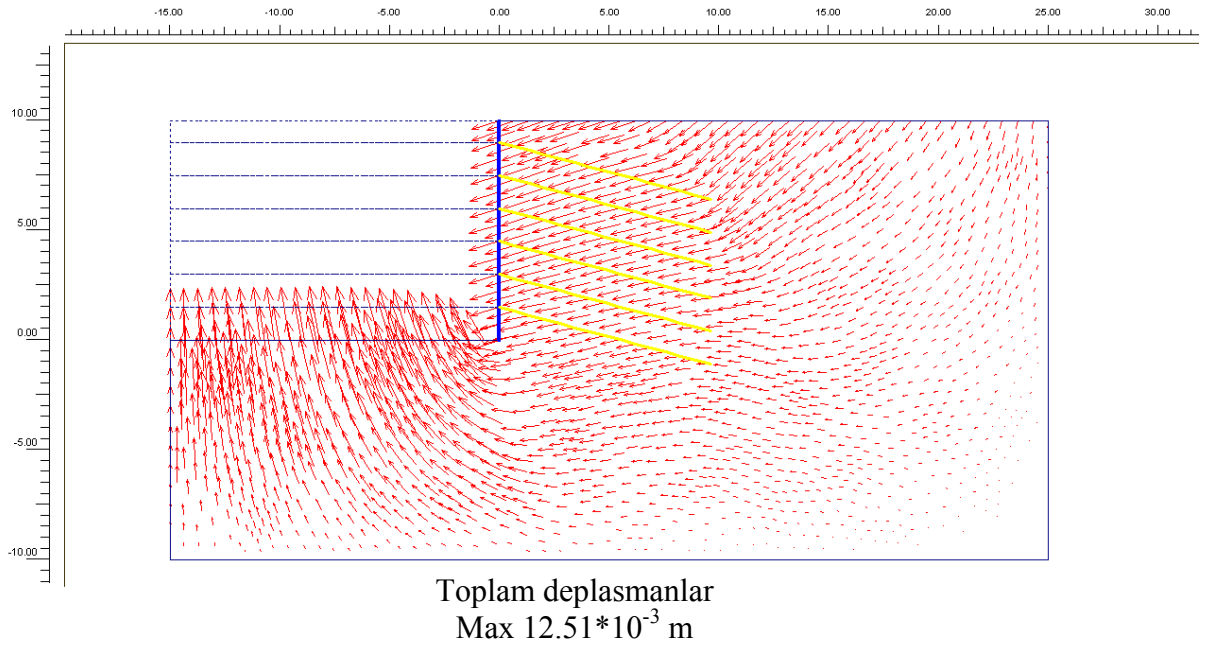


Yatay deplasmanlar  
Max  $12.51 \cdot 10^{-3}$  m

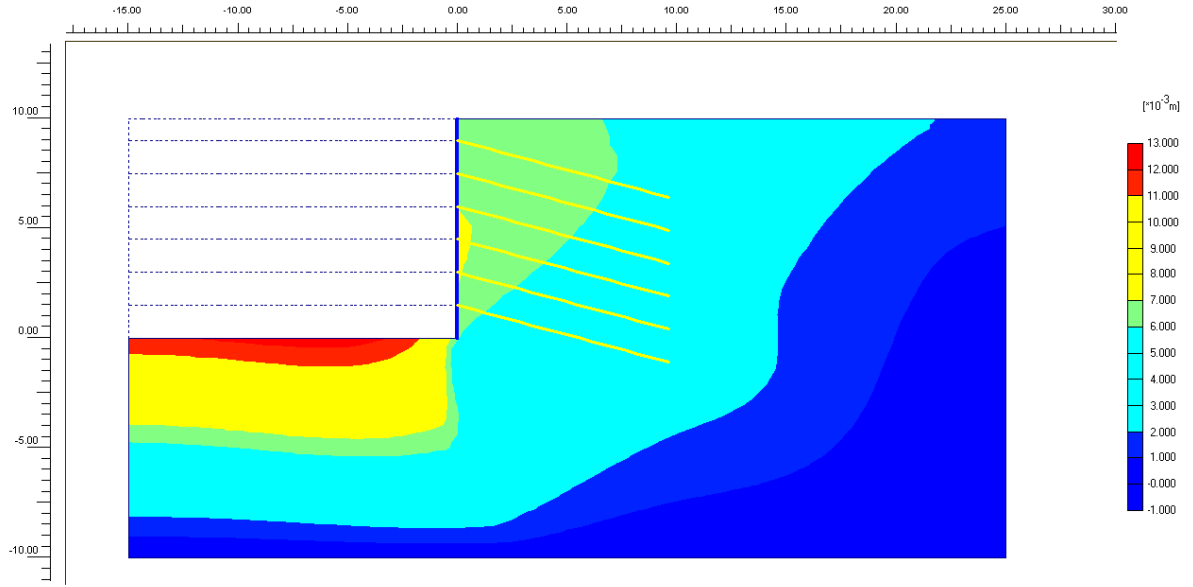
Ek 2 Şekil 10 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



Ek 2 Şekil 11 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

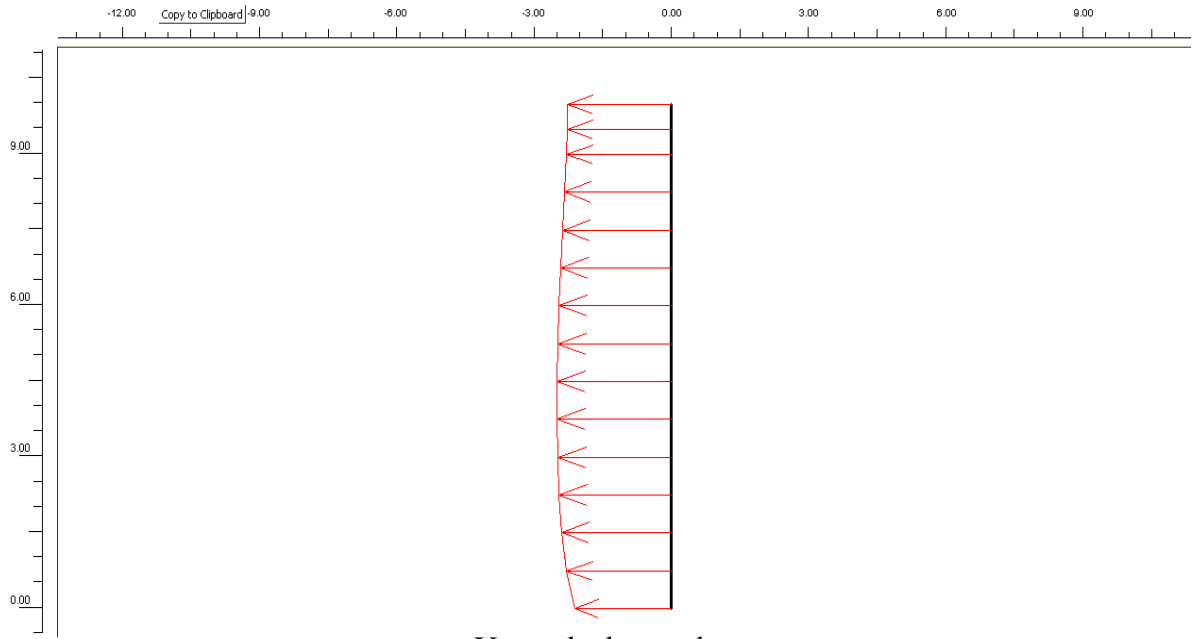


Ek 2 Şekil 12 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



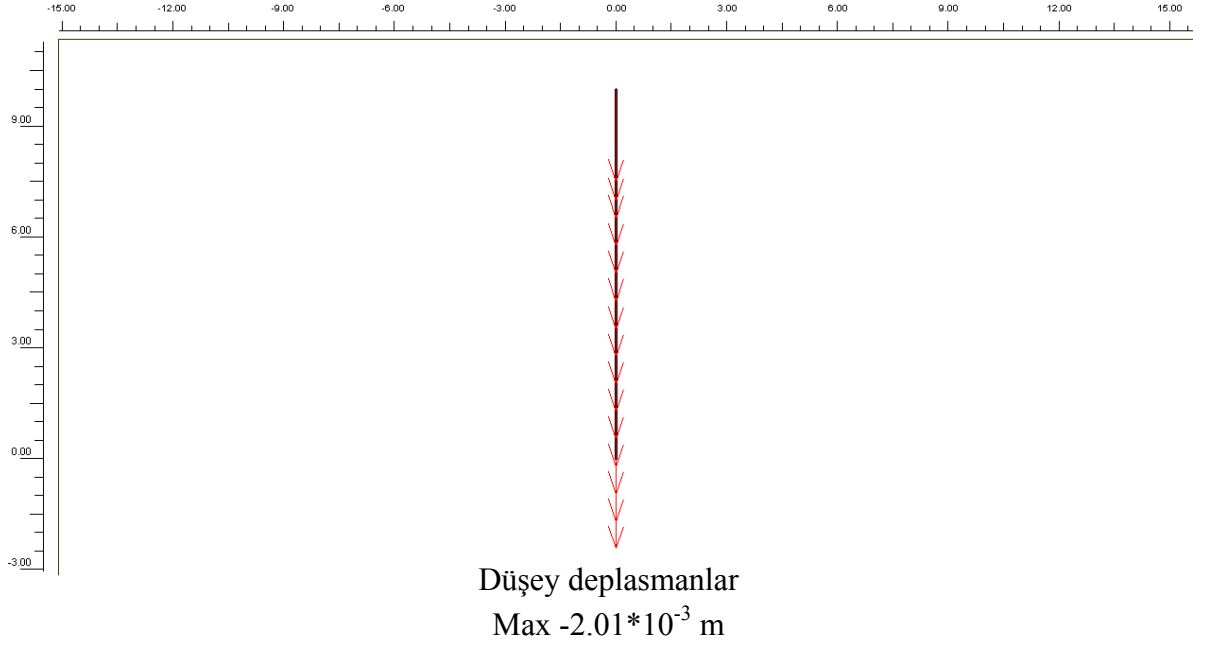
Toplam deplasmanlar  
Max  $12.51 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 2 Şekil 13 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

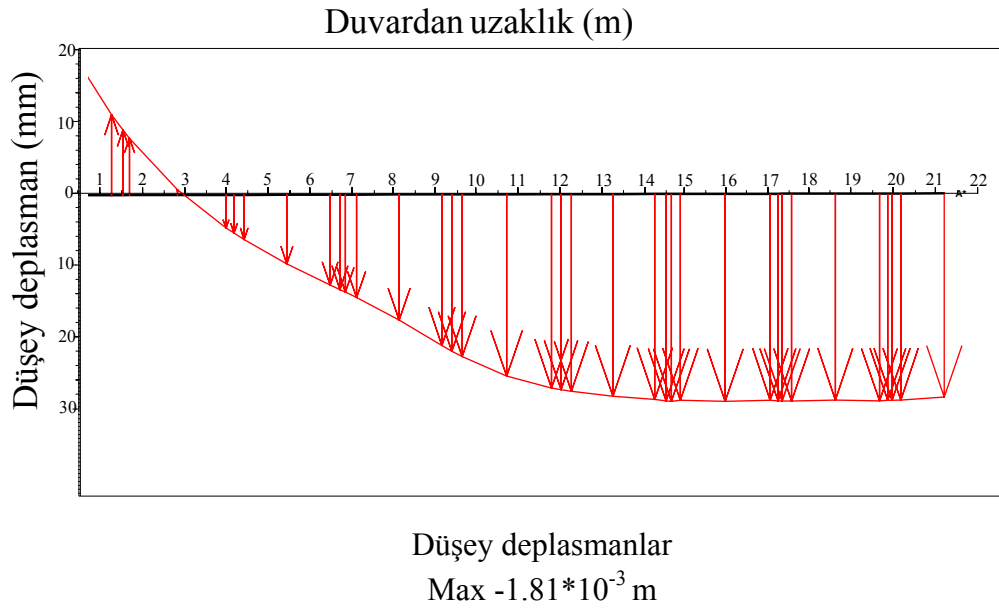


Yatay deplasmanlar  
Max  $-6.84 \cdot 10^{-3}$  m

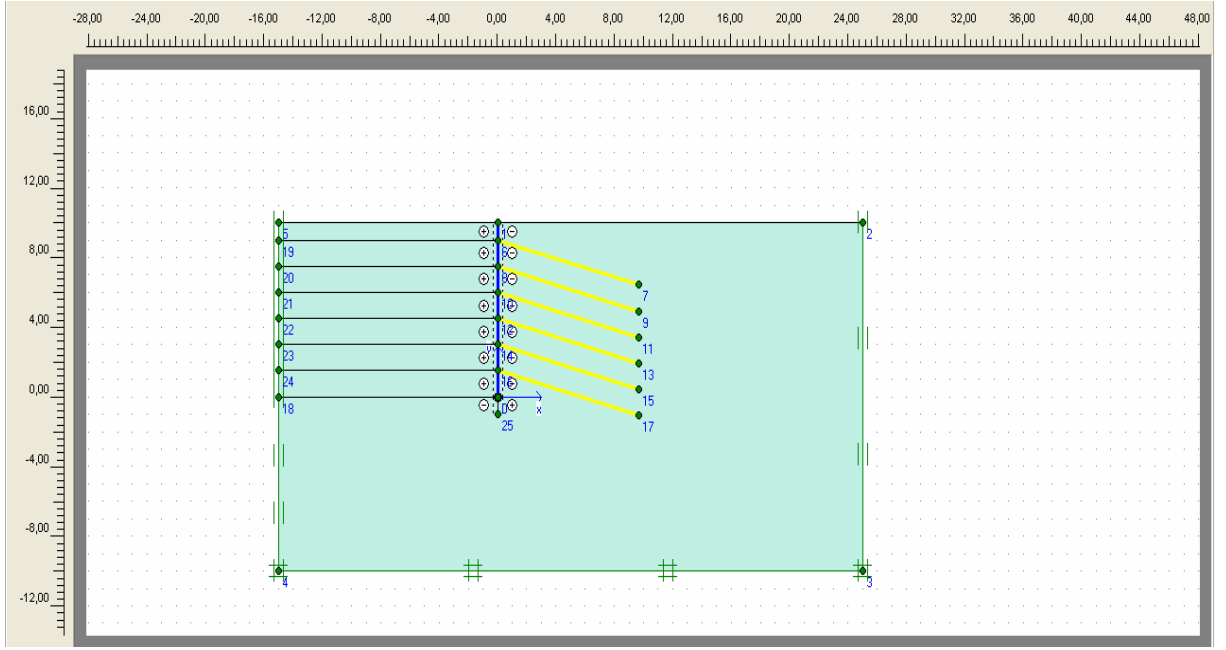
Ek 2 Şekil 14 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



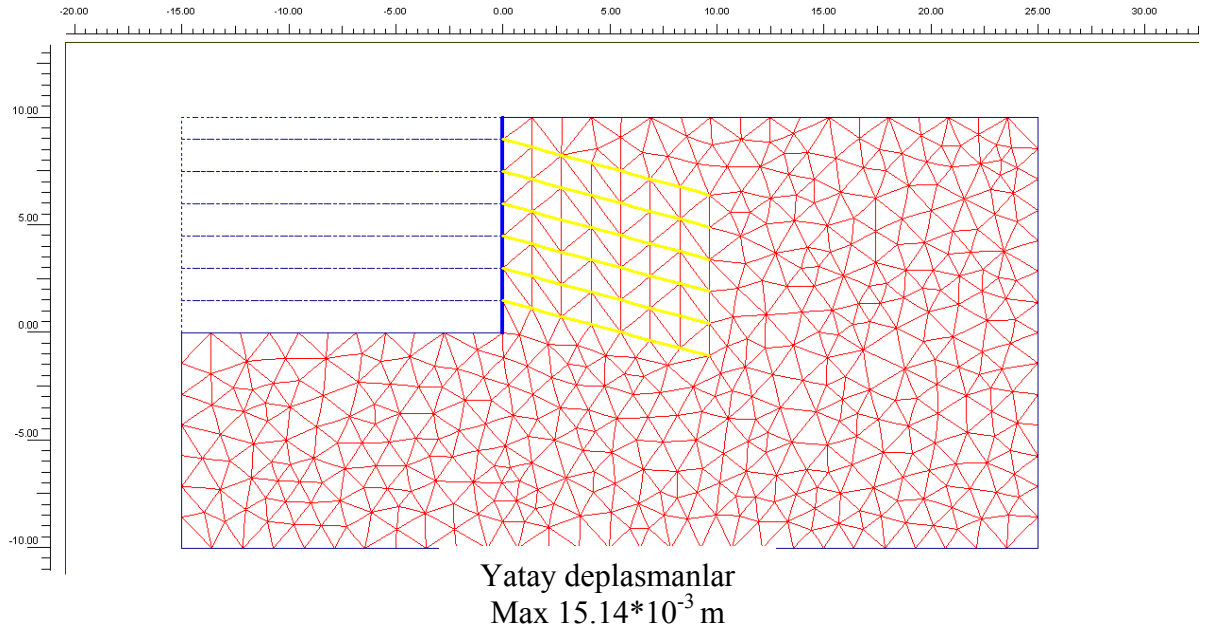
Ek 2 Şekil 15 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



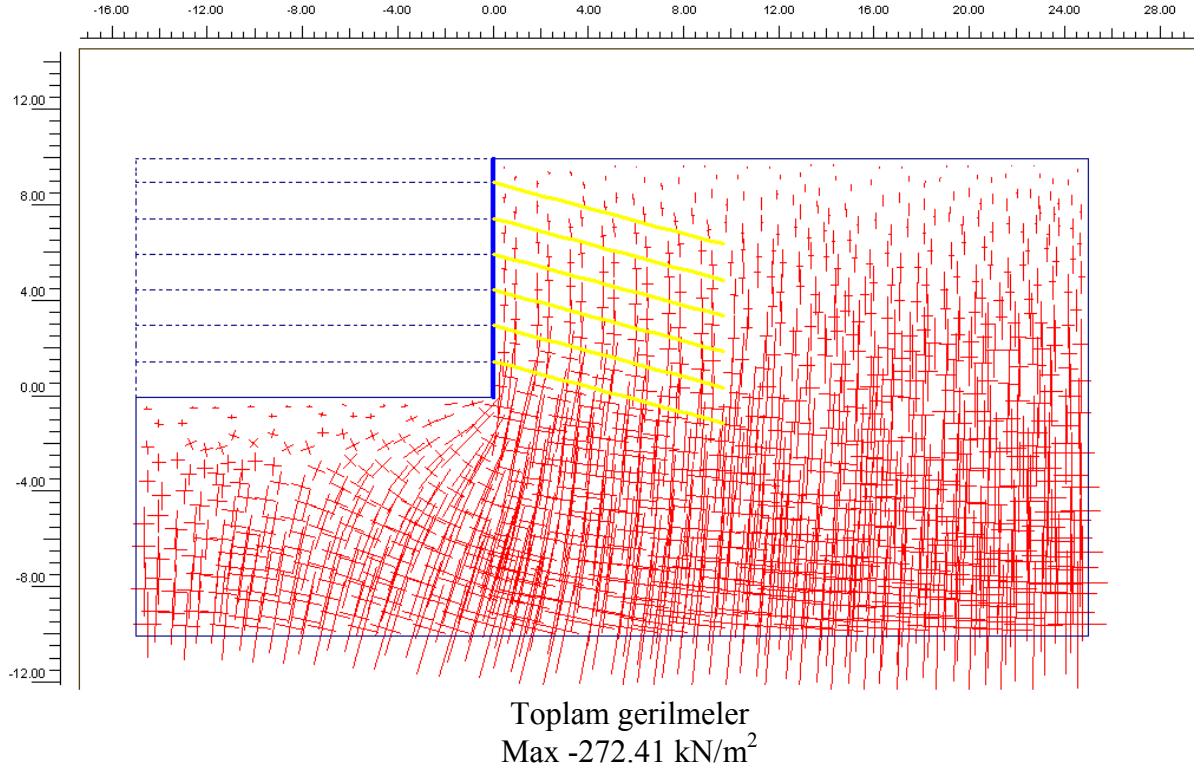
Ek 2 Şekil 16 Model 3 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar



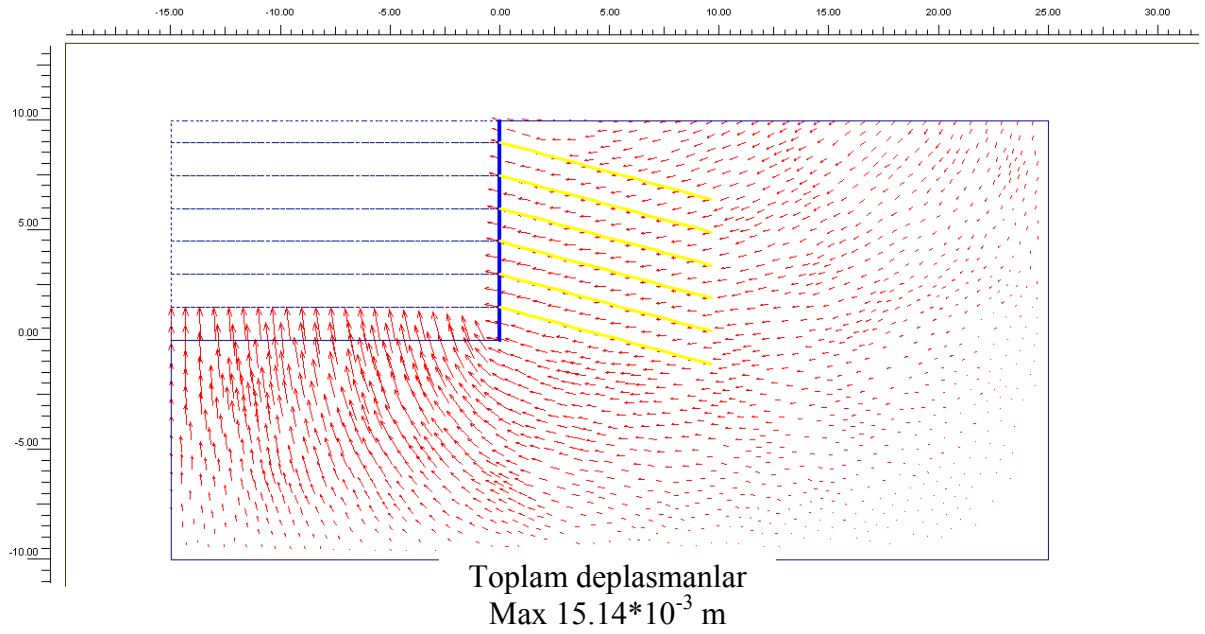
Ek 2 Şekil 17 Model 4 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=10.00 m



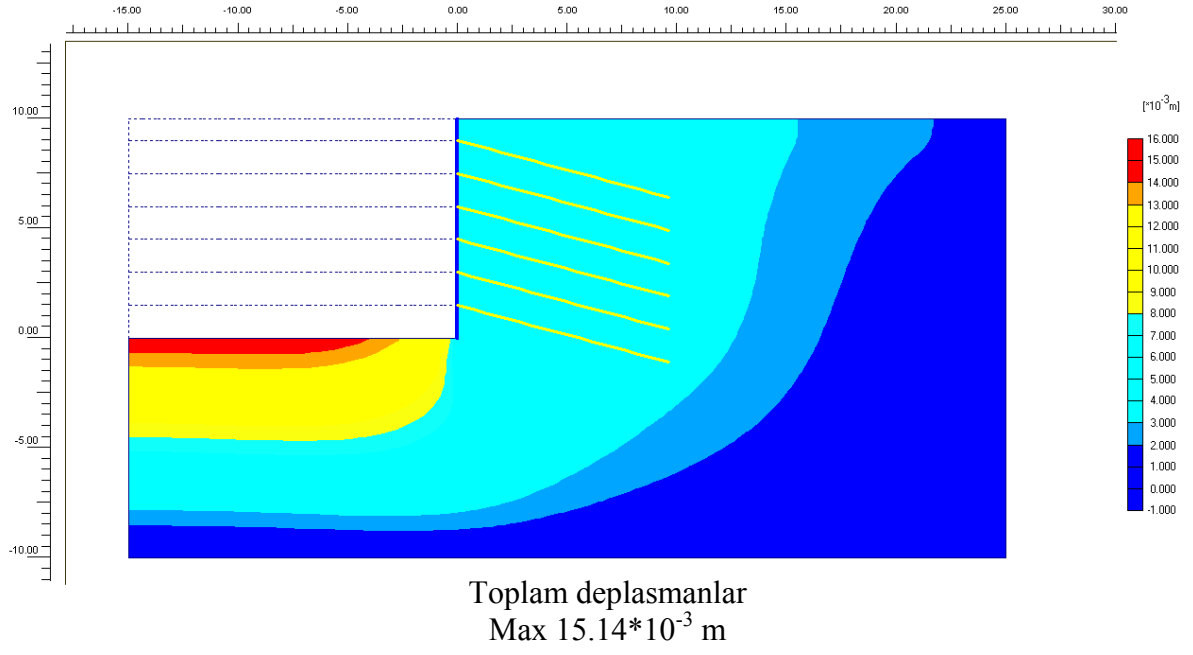
Ek 2 Şekil 18 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



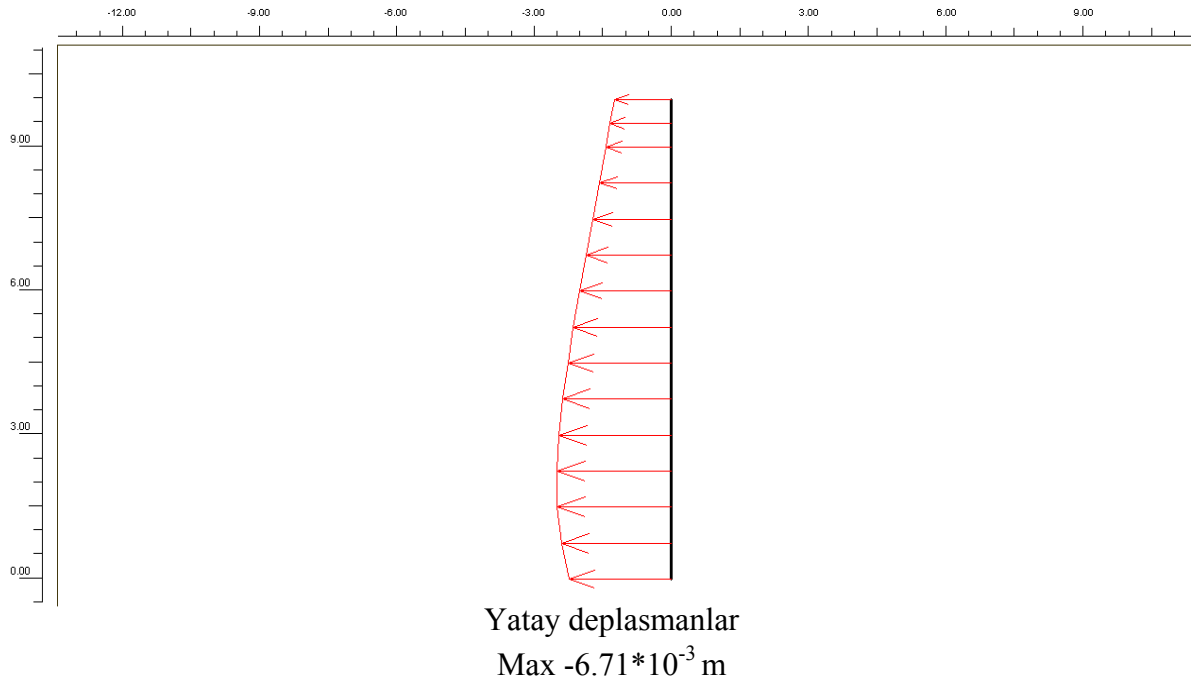
Ek 2 Şekil 19 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



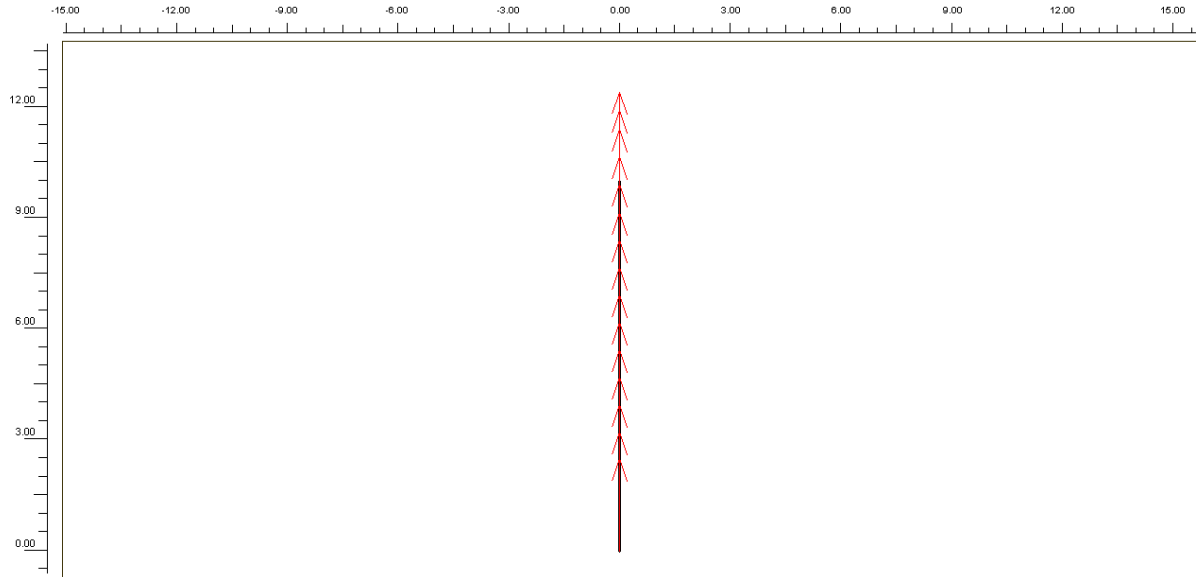
Ek 2 Şekil 20 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



Ek 2 Şekil 21 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

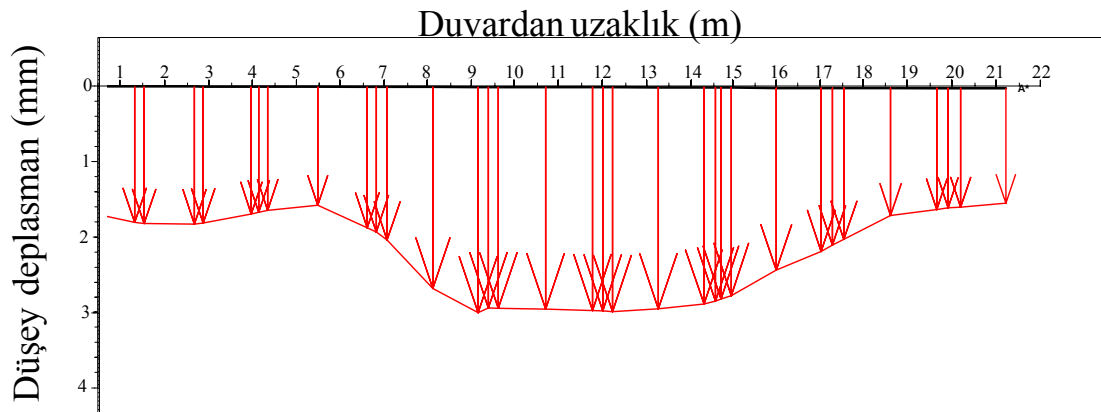


Ek 2 Şekil 22 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



Düşey deplasmanlar  
Max  $1.34 \cdot 10^{-3}$  m

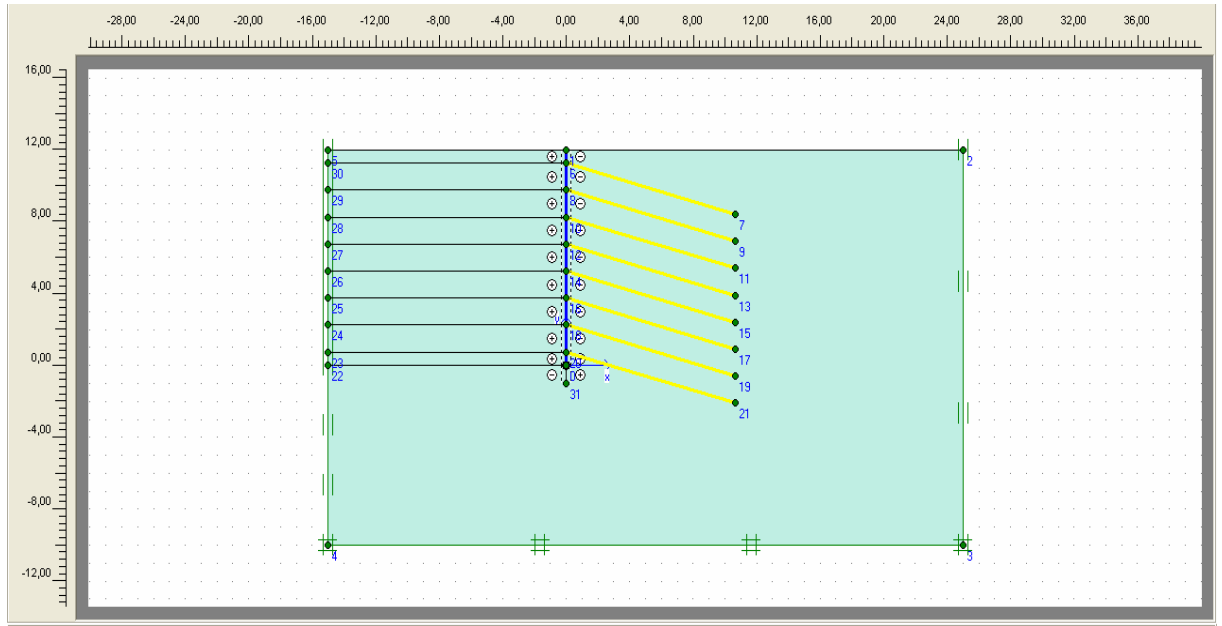
Ek 2 Şekil 23 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



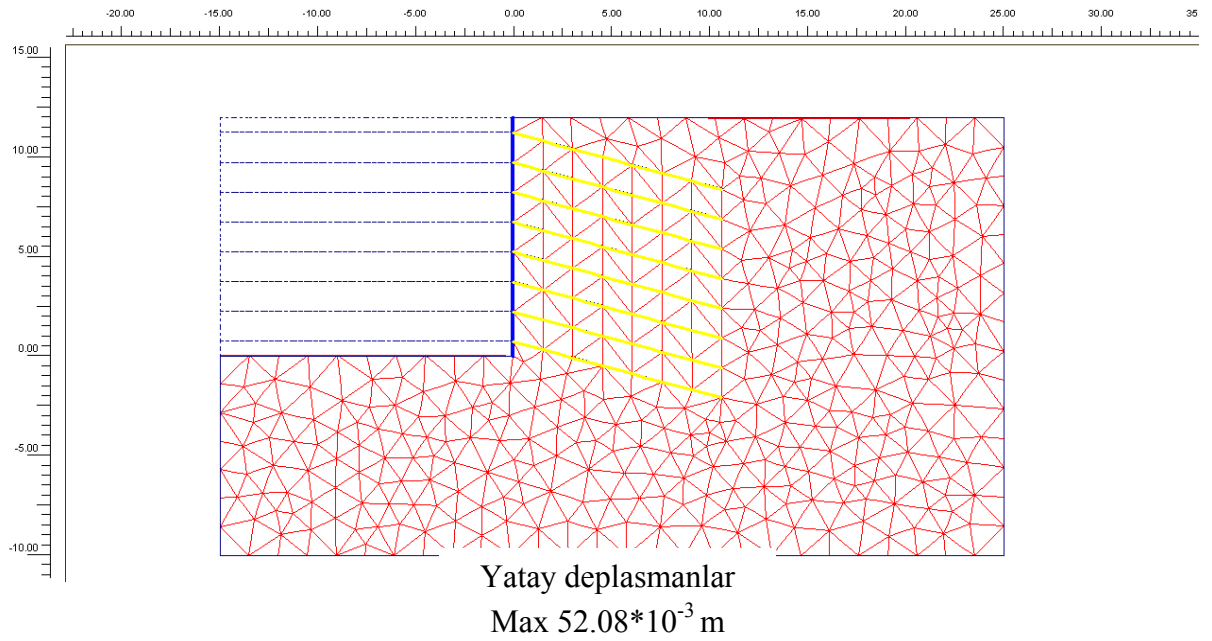
Düşey deplasmanlar  
Max  $-3.11 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 2 Şekil 24 Model 4 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

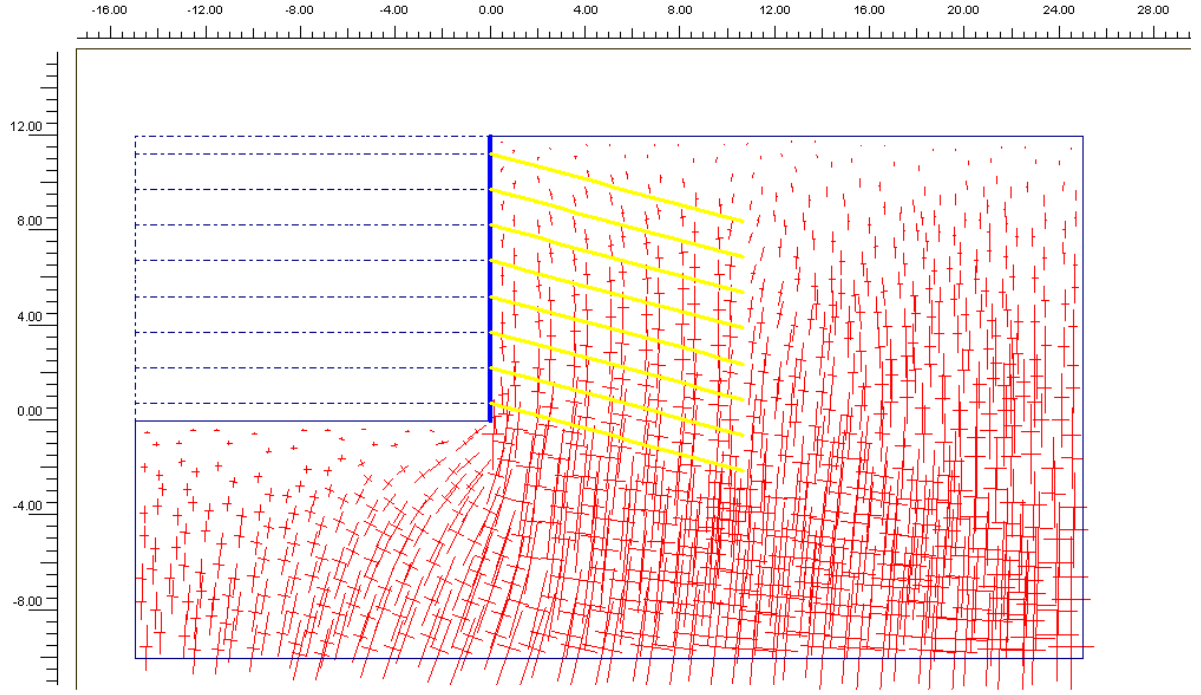
### Ek 3 H=12.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları



Ek 3 Şekil 1 Model 1 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=12.00 m

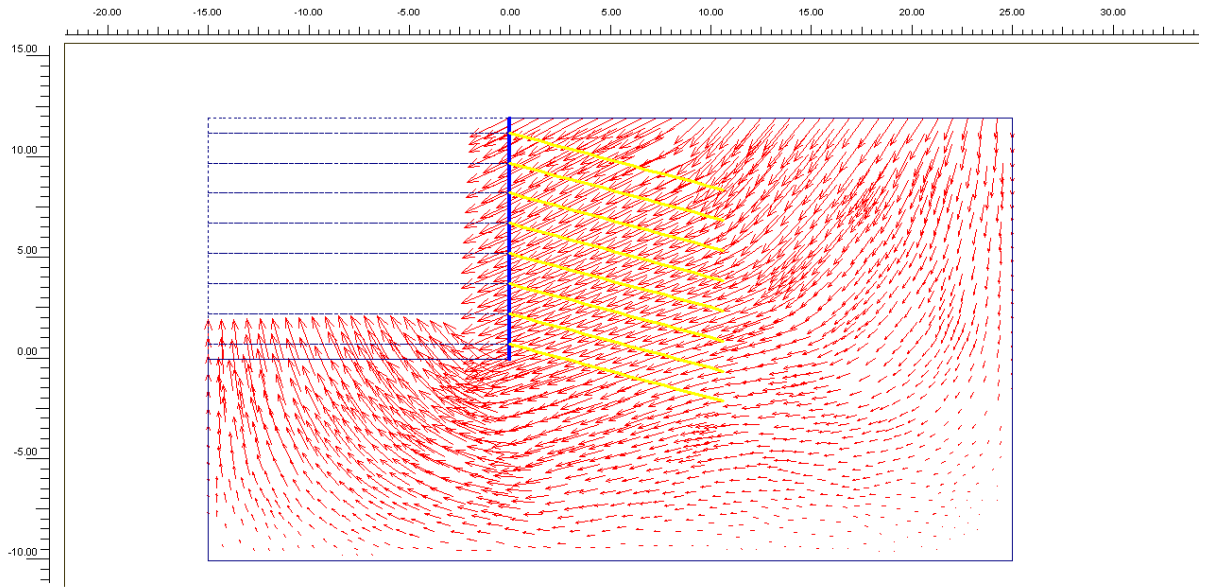


Ek 3 Şekil 2 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



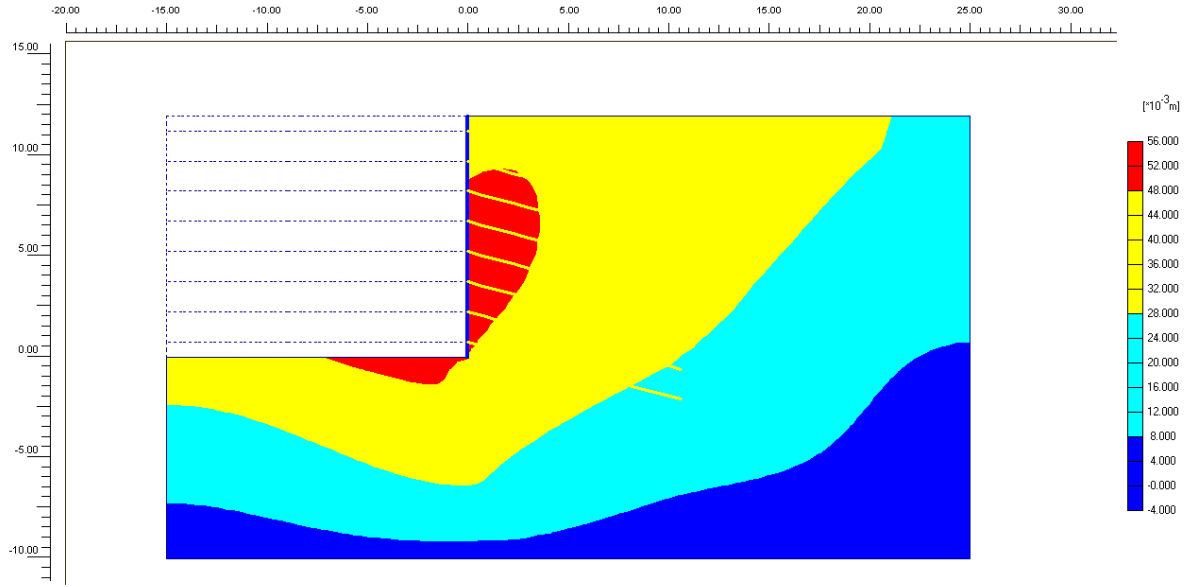
Toplam gerilmeler  
Max -441.31 kN/m<sup>2</sup>

Ek 3 Şekil 3 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

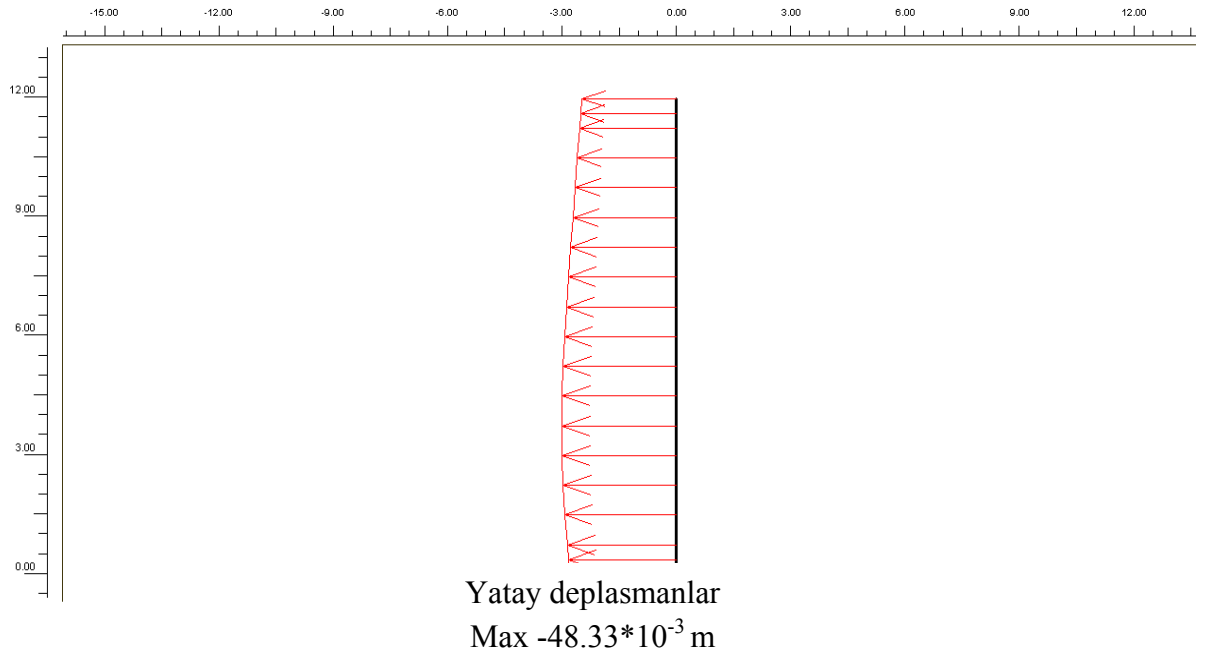


Toplam deplasmanlar  
Max  $52.08 \cdot 10^{-3}$  m

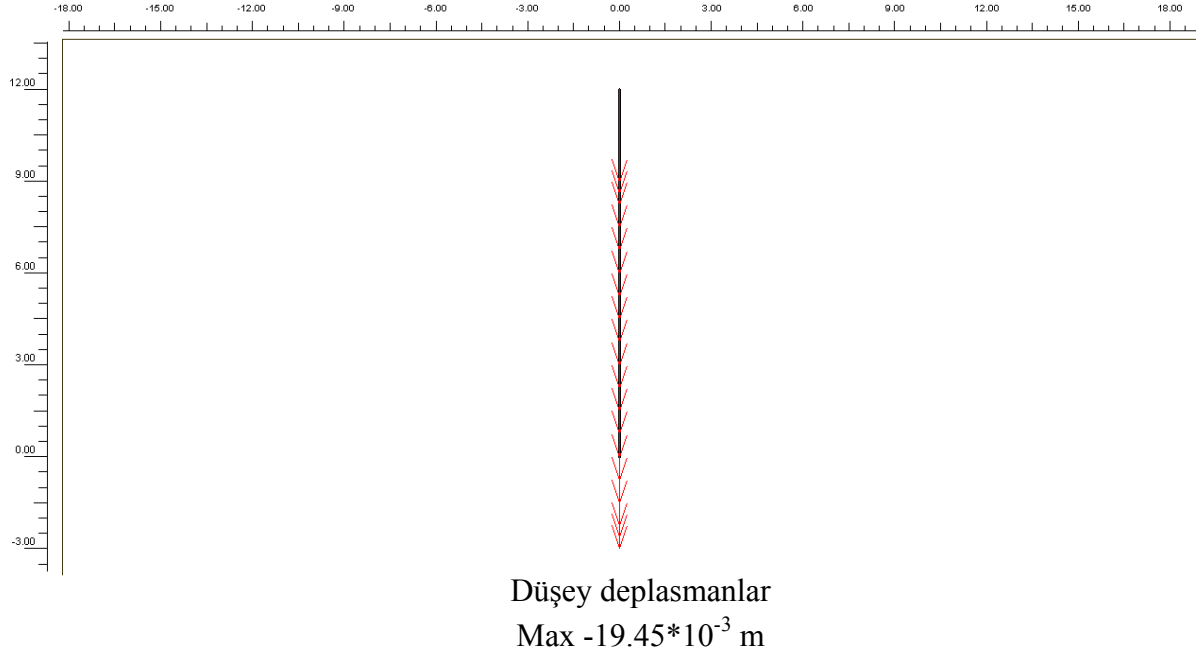
Ek 3 Şekil 4 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



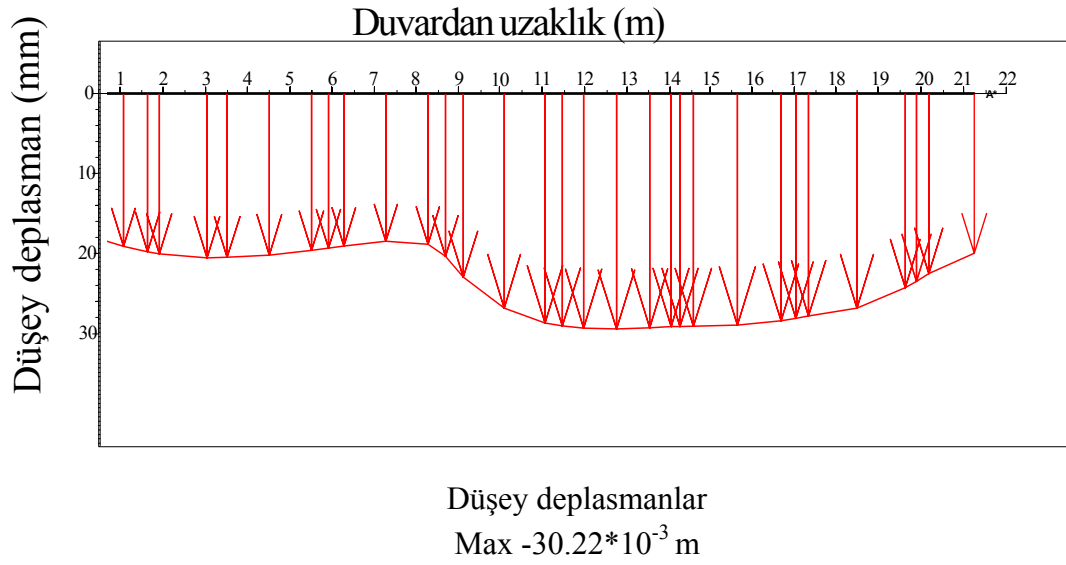
Ek 3 Şekil 5 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



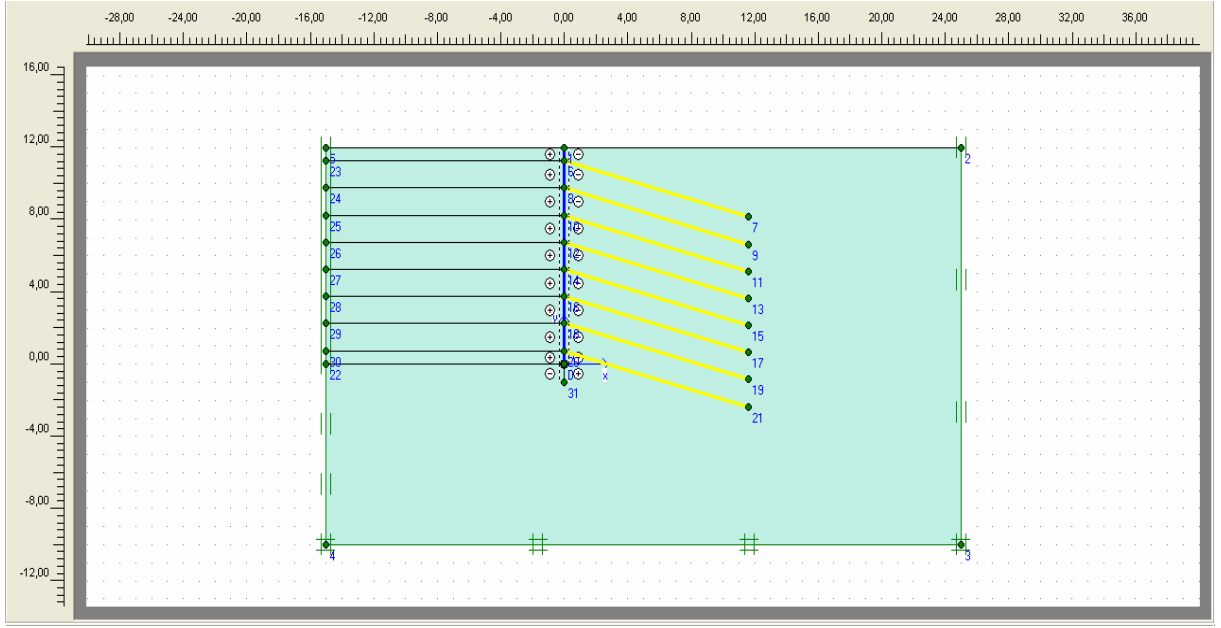
Ek 3 Şekil 6 Model 1 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



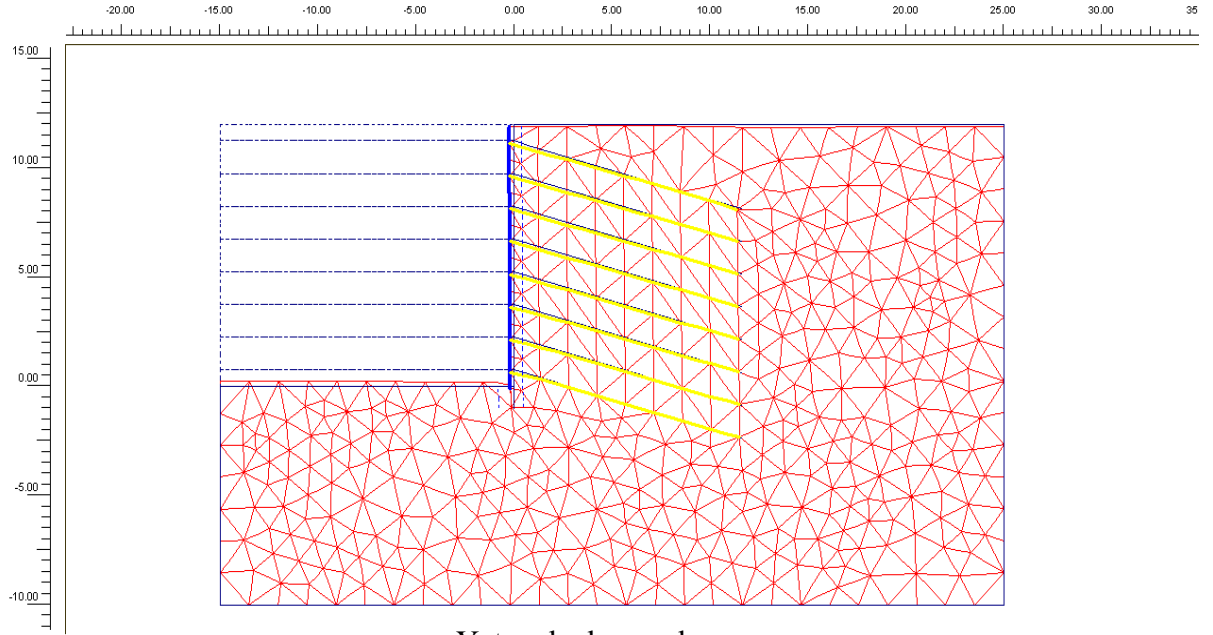
Ek 3 Şekil 7 Model 1 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 3 Şekil 8 Model 1 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

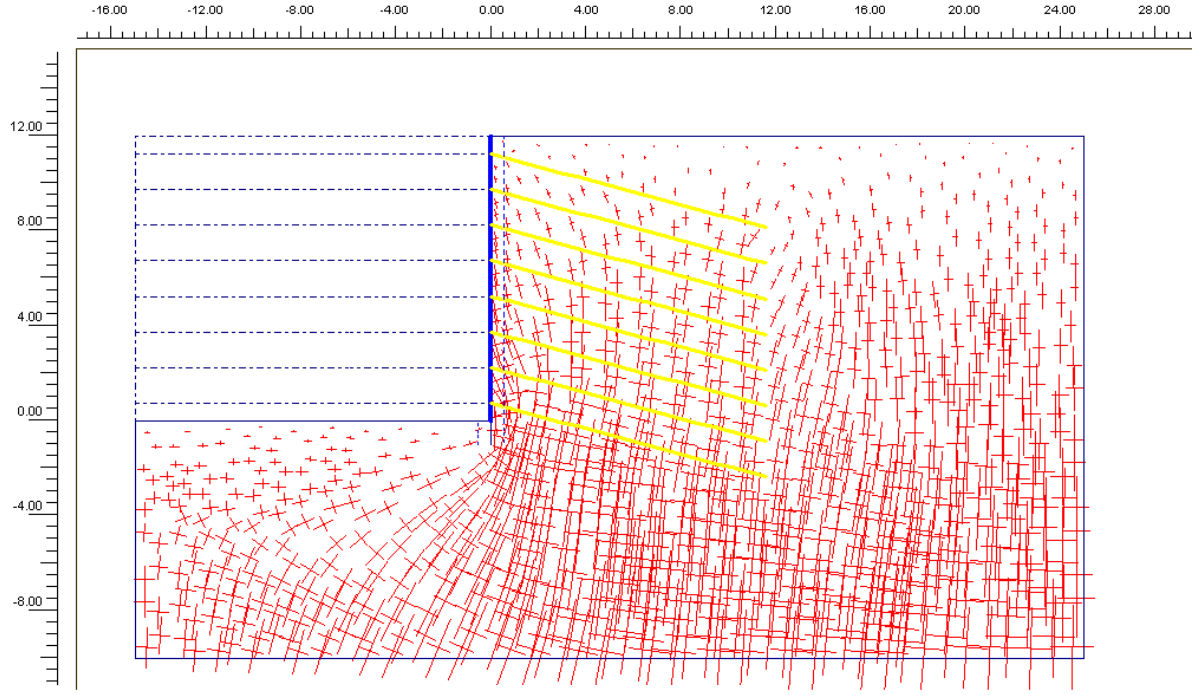


Ek 3 Şekil 9 Model 2 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=12.00 m



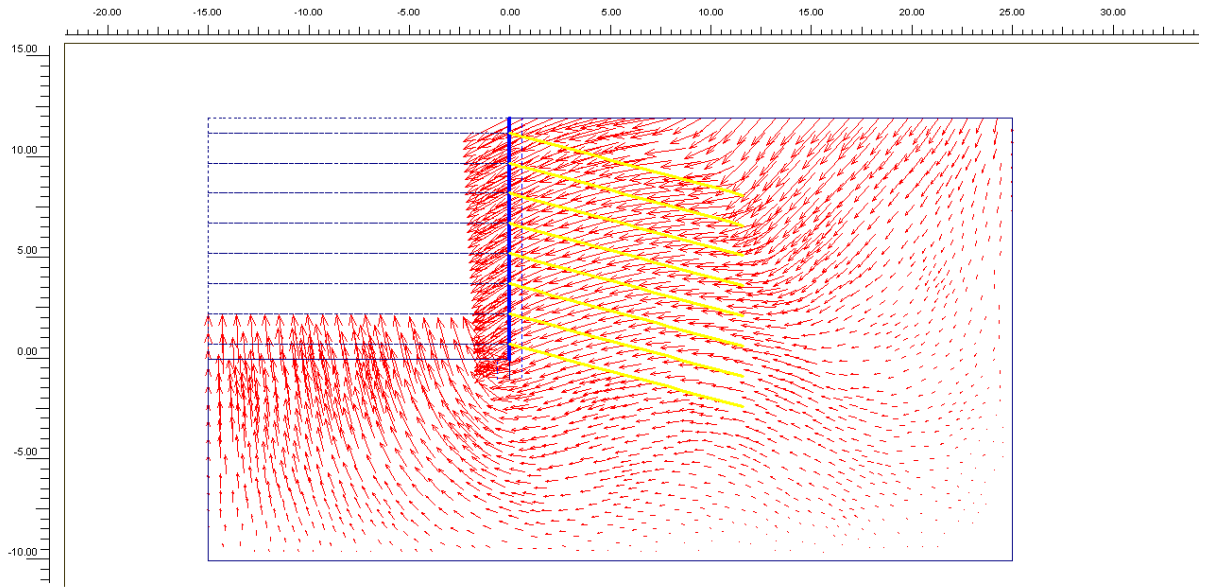
Yatay deplasmanlar  
Max  $260.70 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 3 Şekil 10 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



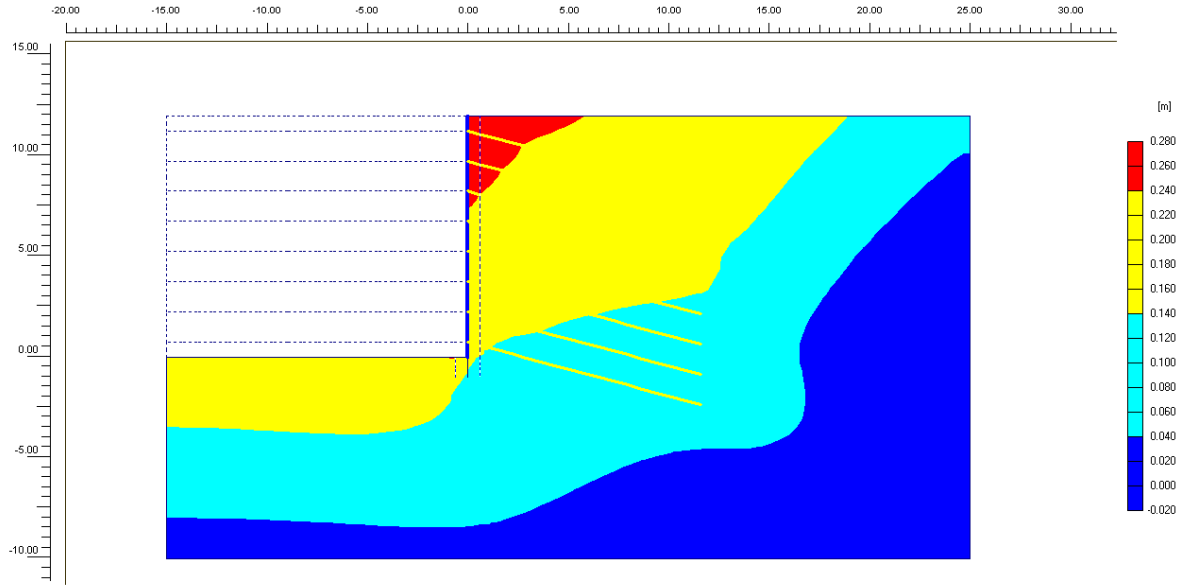
Toplam gerilmeler  
Max -371.34 kN/m<sup>2</sup>

Ek 3 Şekil 11 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



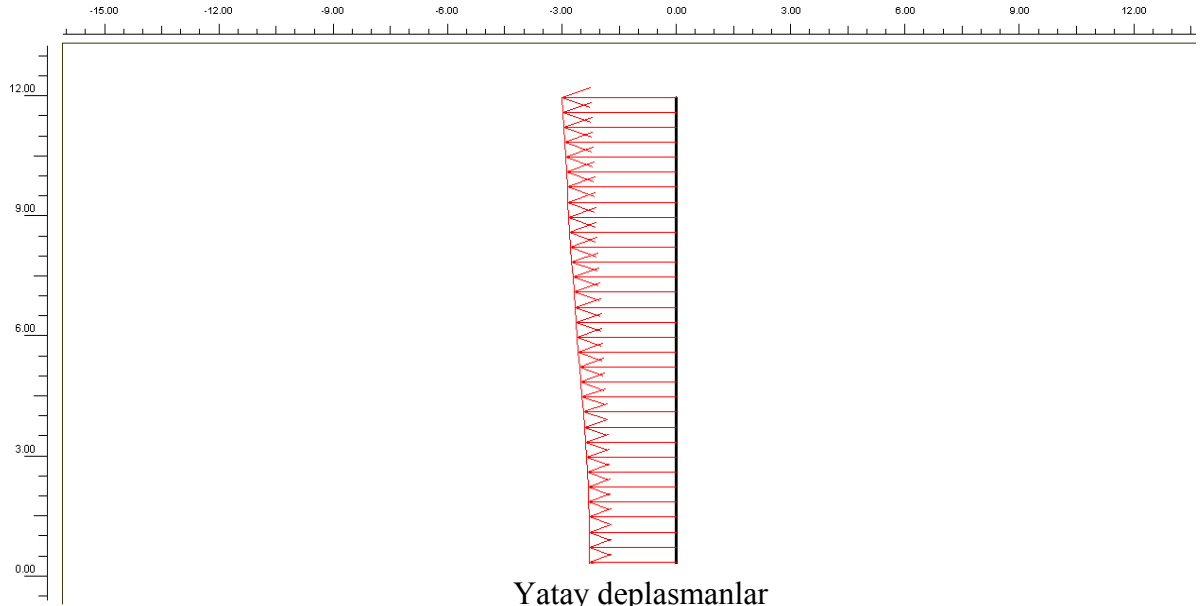
Toplam deplasmanlar  
Max 260.70\*10<sup>-3</sup> m

Ek 3 Şekil 12 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



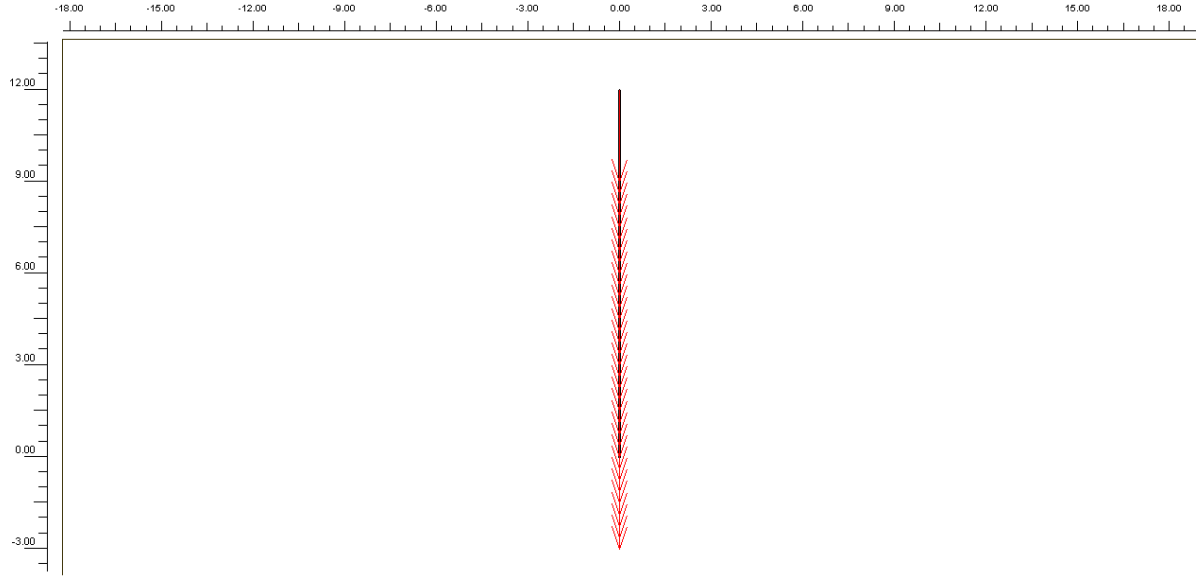
Toplam deplasmanlar  
Max  $260.360 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 3 Şekil 13 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



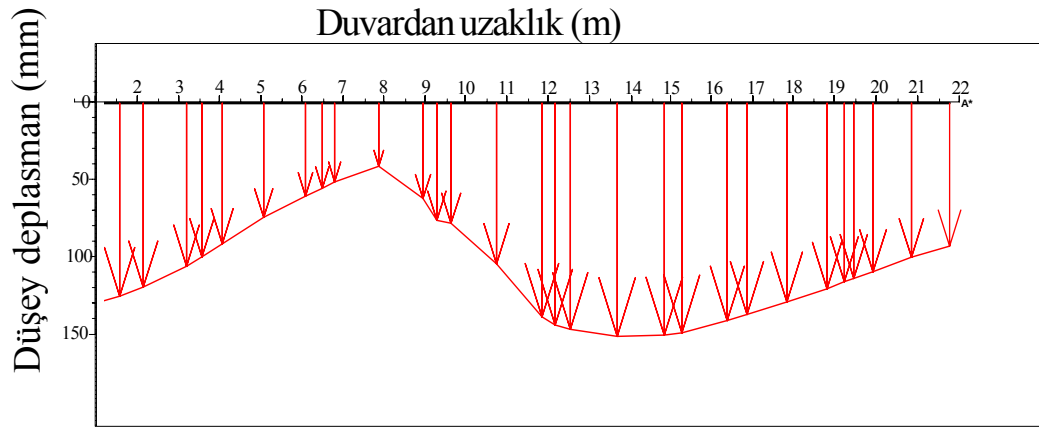
Yatay deplasmanlar  
Max  $-231.65 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 3 Şekil 14 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



Düşey deplasmanlar  
Max  $-119.58 \cdot 10^{-3}$  m

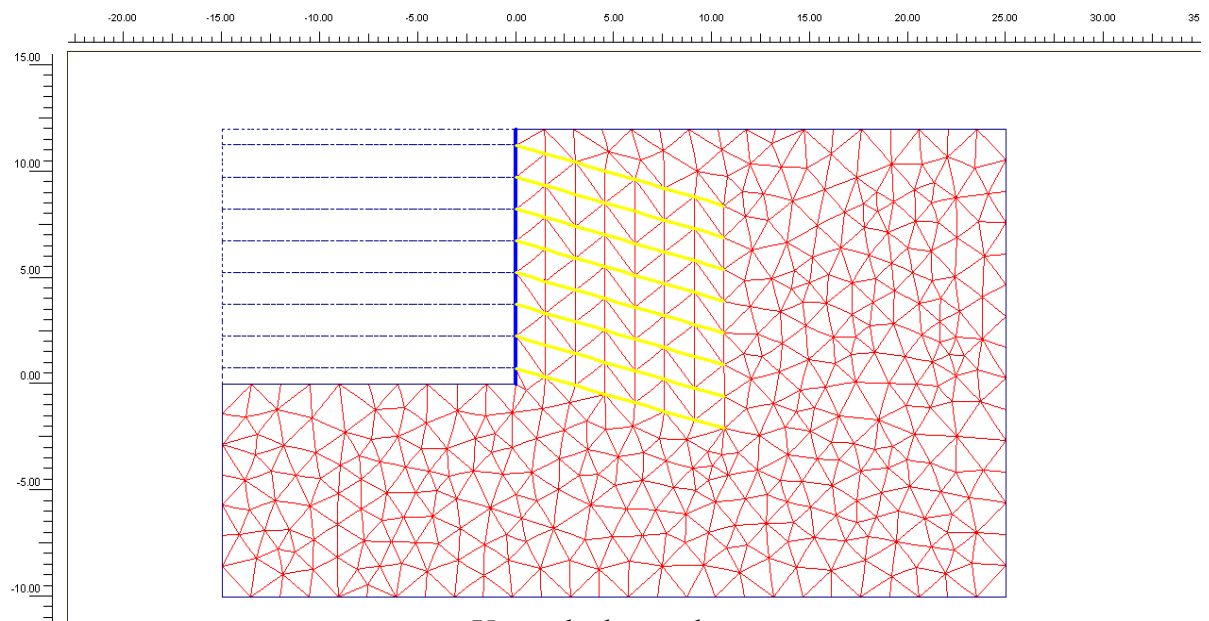
Ek 3 Şekil 15 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Düşey deplasmanlar  
Max  $-147.19 \cdot 10^{-3}$  m

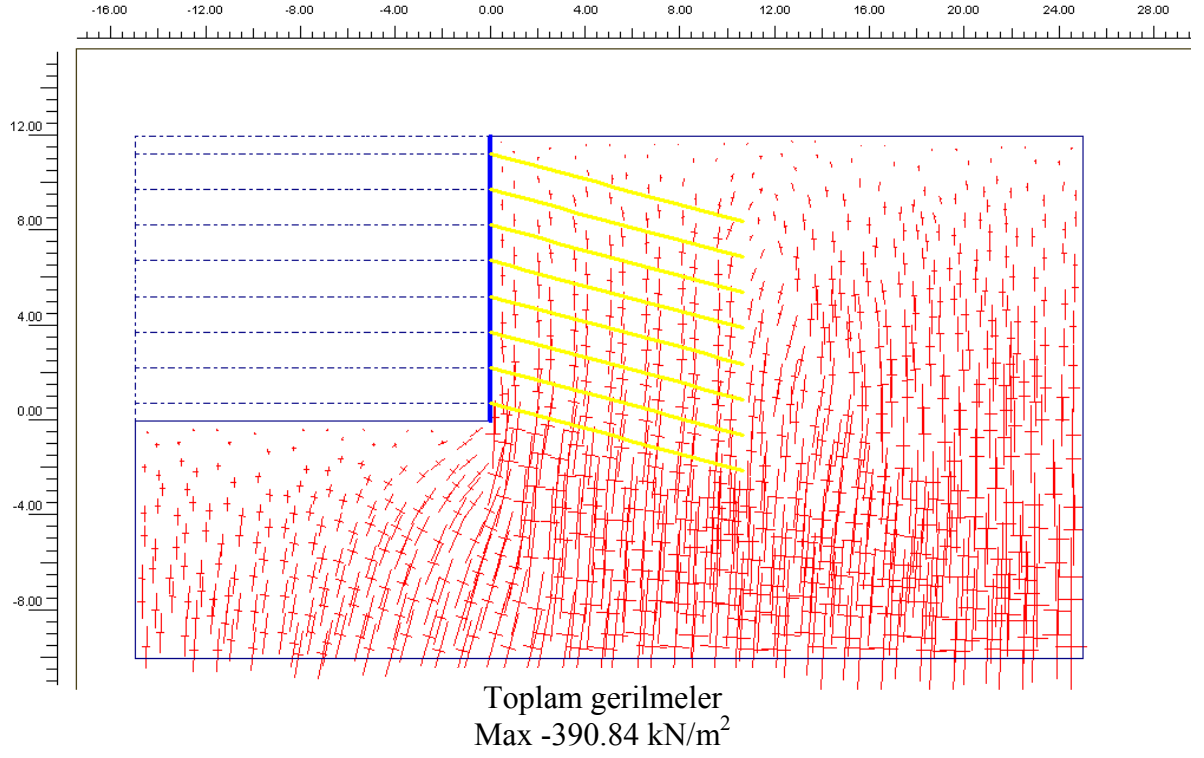
Ek 3 Şekil 16 Model 2 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

Ek 3 Şekil 17 Model 3 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=12.00 m

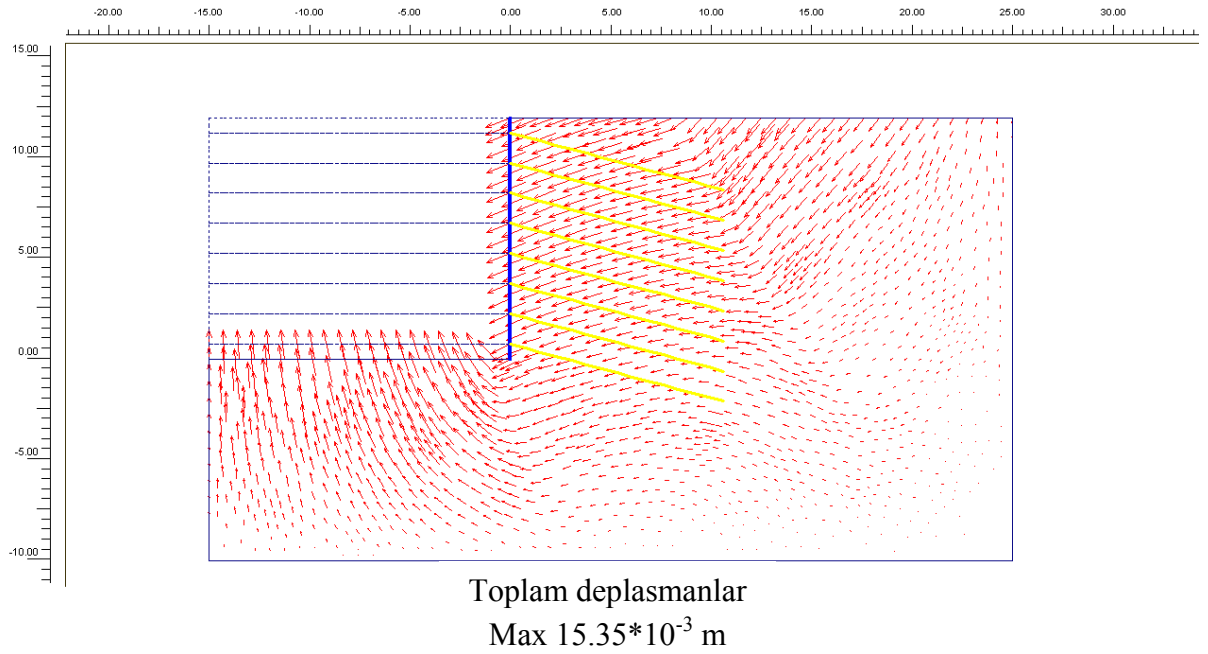


Yatay deplasmanlar  
Max  $15.36 \cdot 10^{-3}$  m

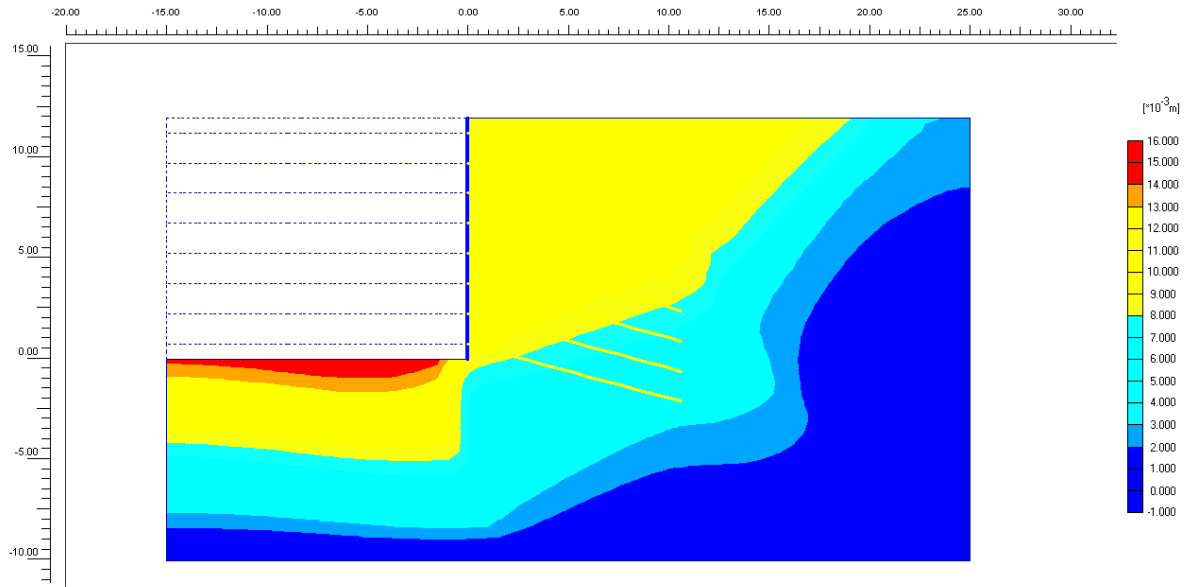
Ek 3 Şekil 18 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



Ek 3 Şekil 19 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

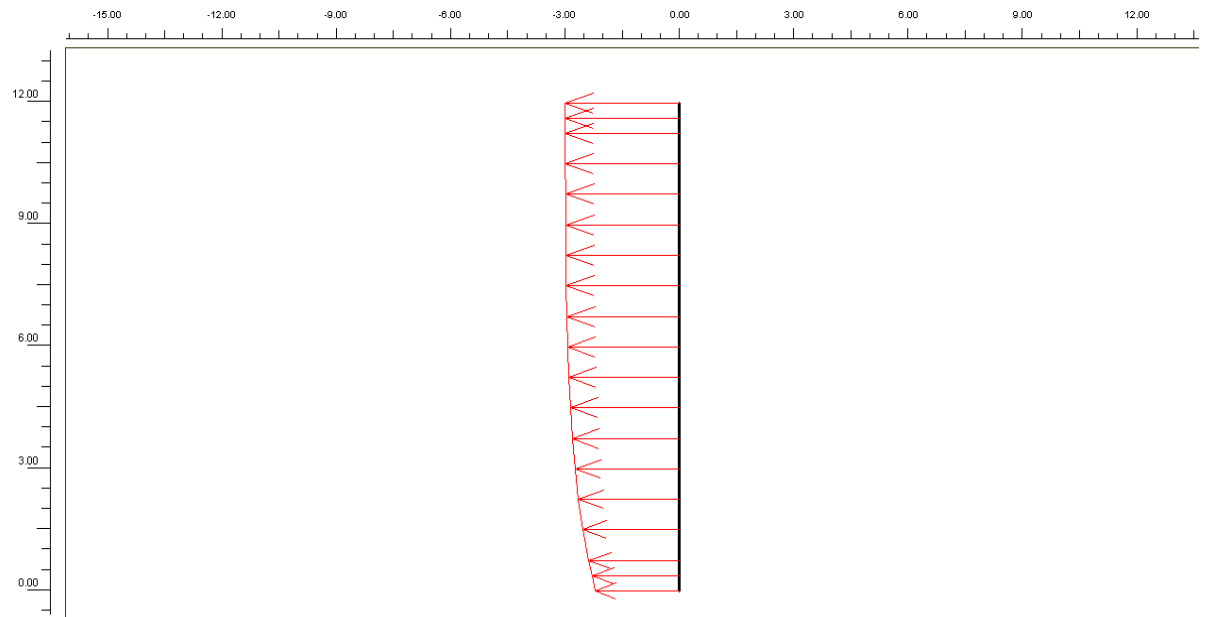


Ek 3 Şekil 20 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



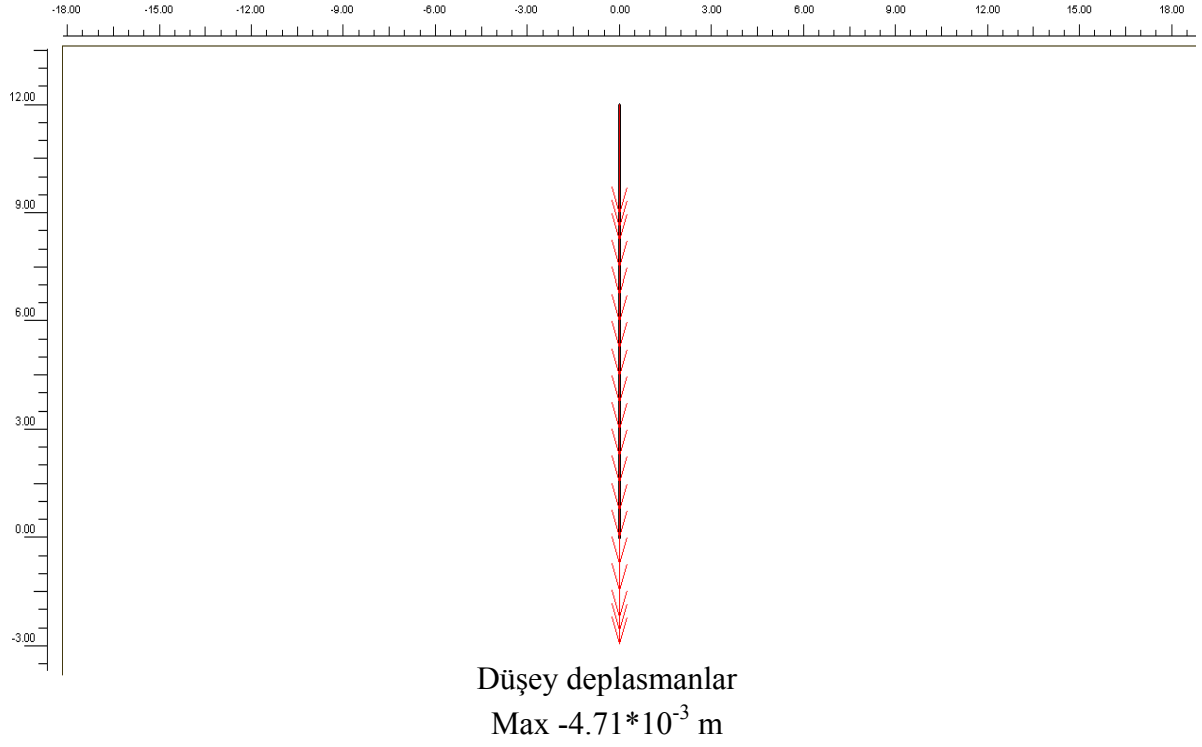
Toplam deplasmanlar  
Max  $15.36 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 3 Şekil 21 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

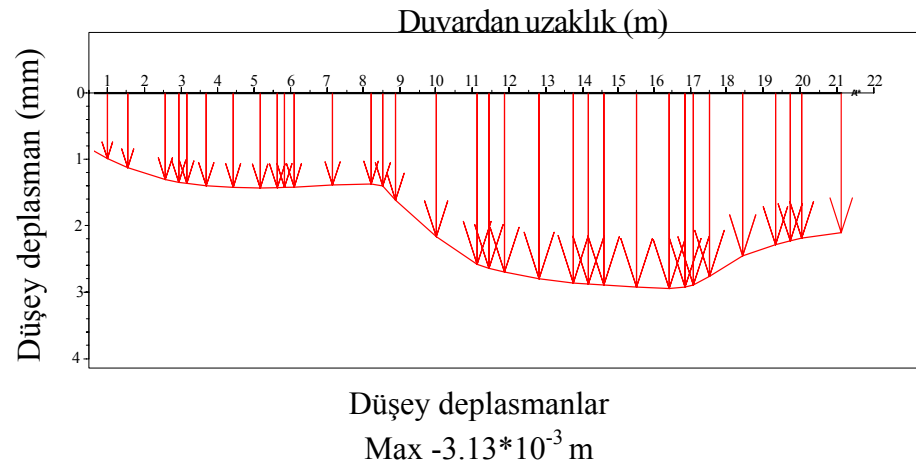


Yatay deplasmanlar  
Max  $-12.01 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 3 Şekil 22 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı

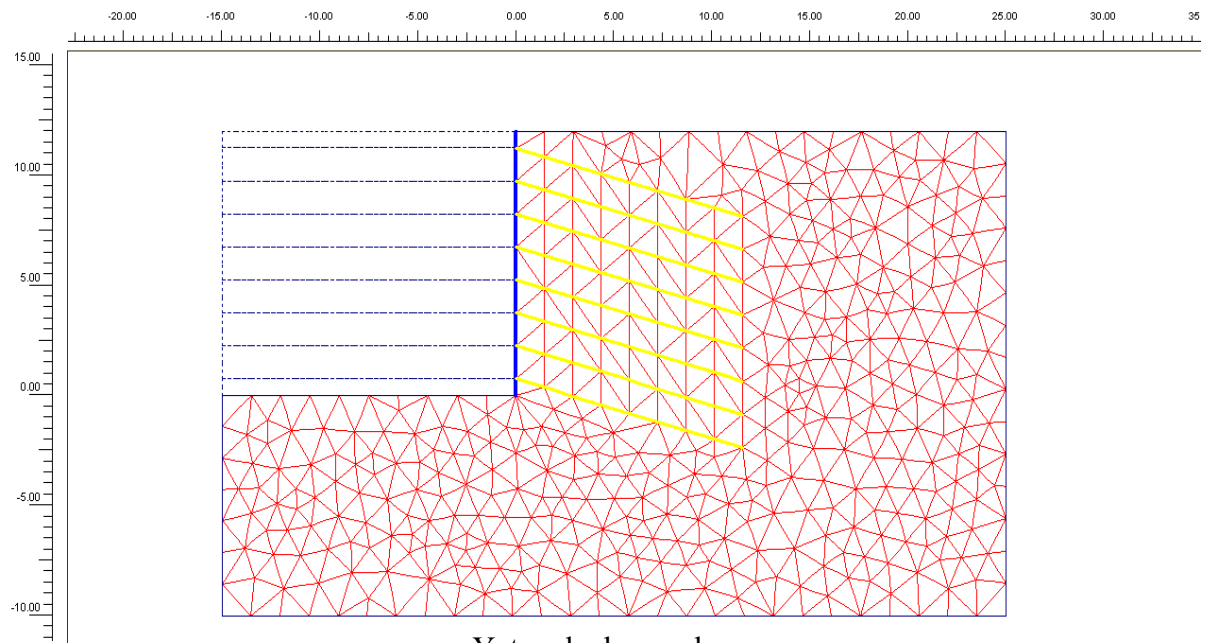


Ek 3 Şekil 23 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



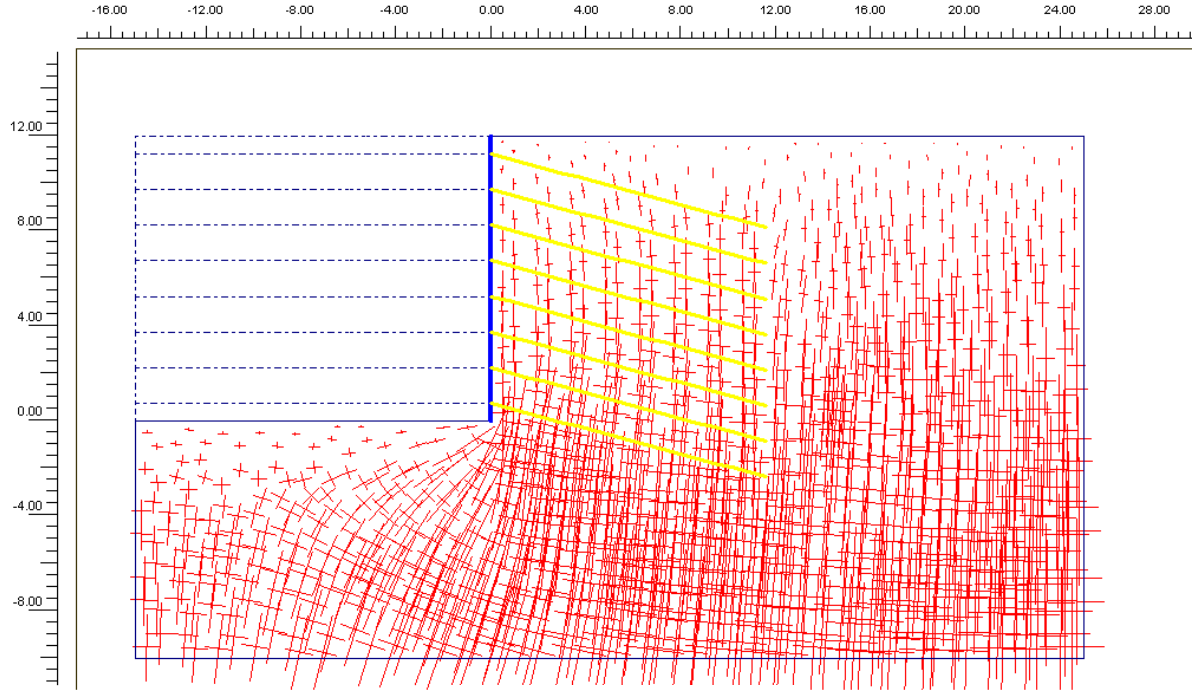
Ek 3 Şekil 24 Model 3 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

Ek 3 Şekil 25 Model 4 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=12.00 m



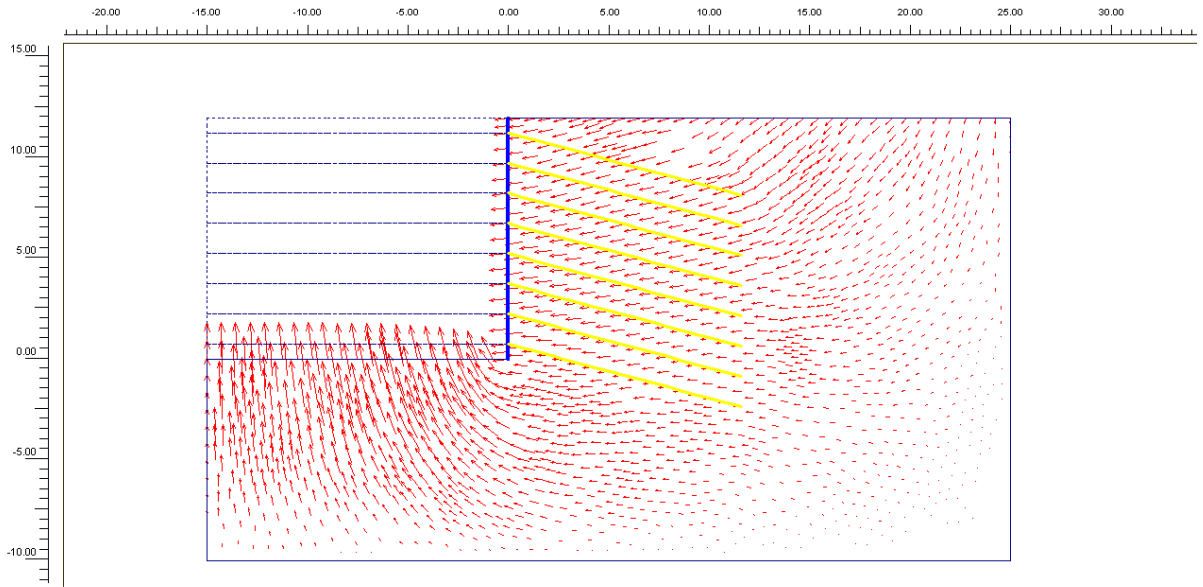
Yatay deplasmanlar  
Max  $18.26 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 3 Şekil 26 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



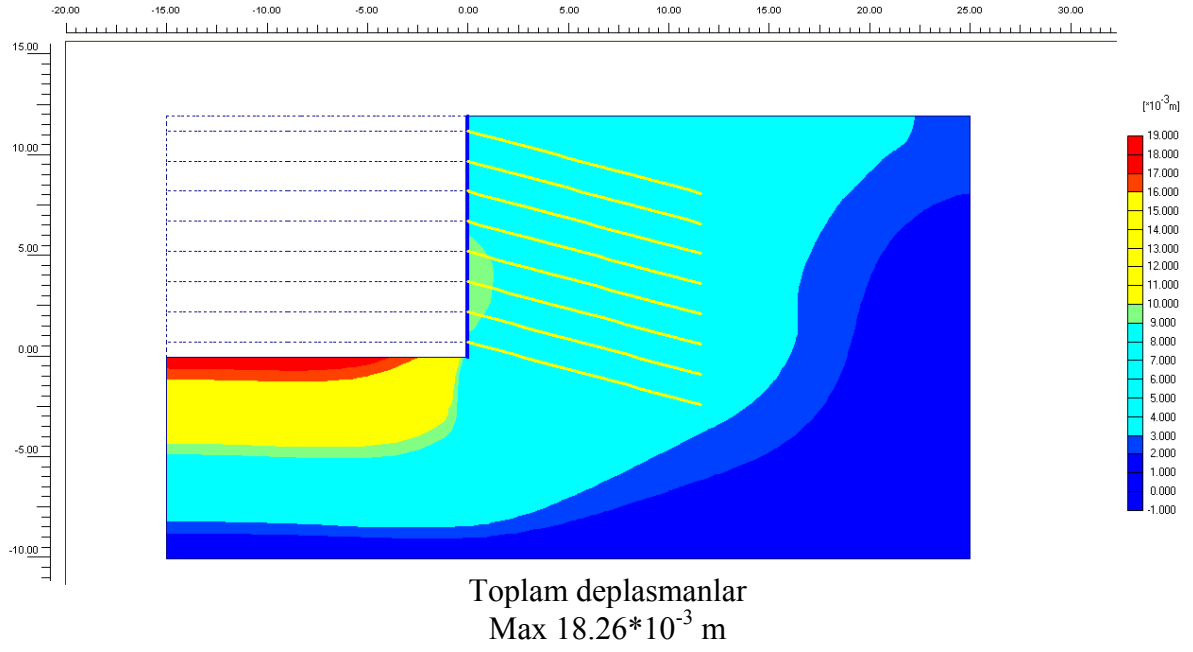
Toplam gerilmeler  
Max -296.32 kN/m<sup>2</sup>

Ek 3 Şekil 27 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

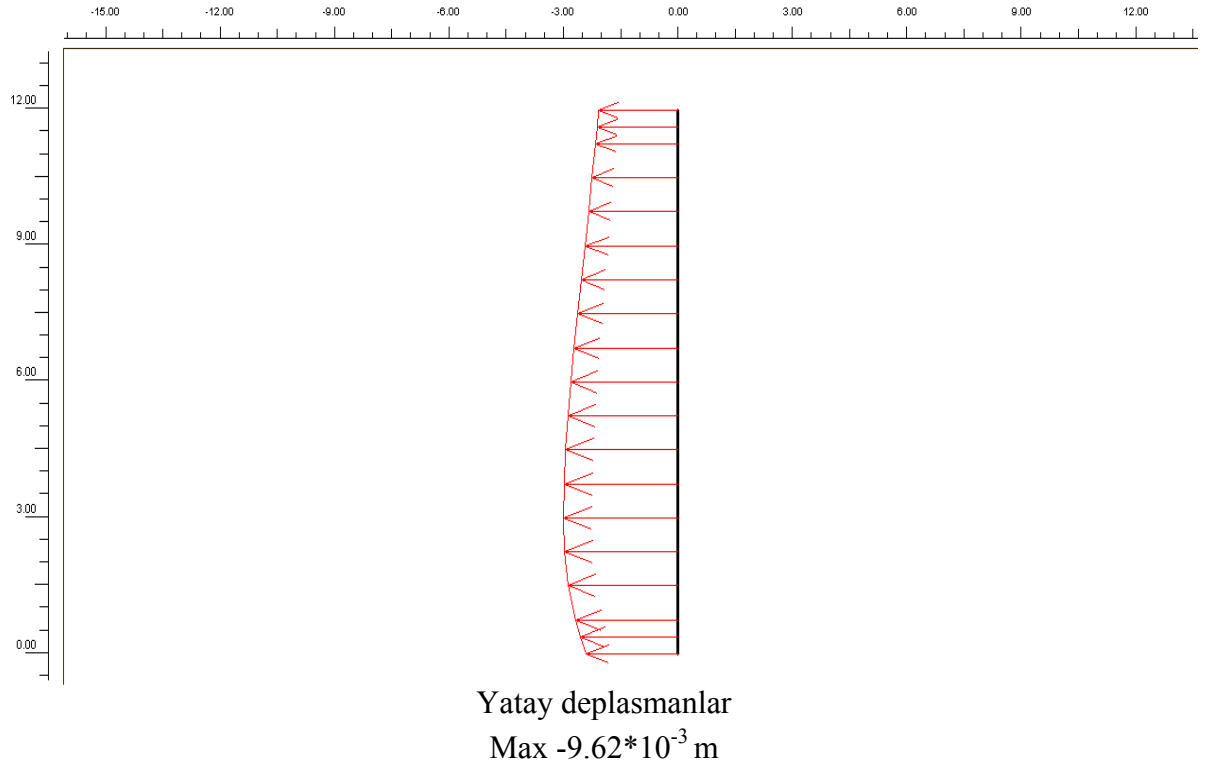


Toplam deplasmanlar  
Max 18.26\*10<sup>-3</sup> m

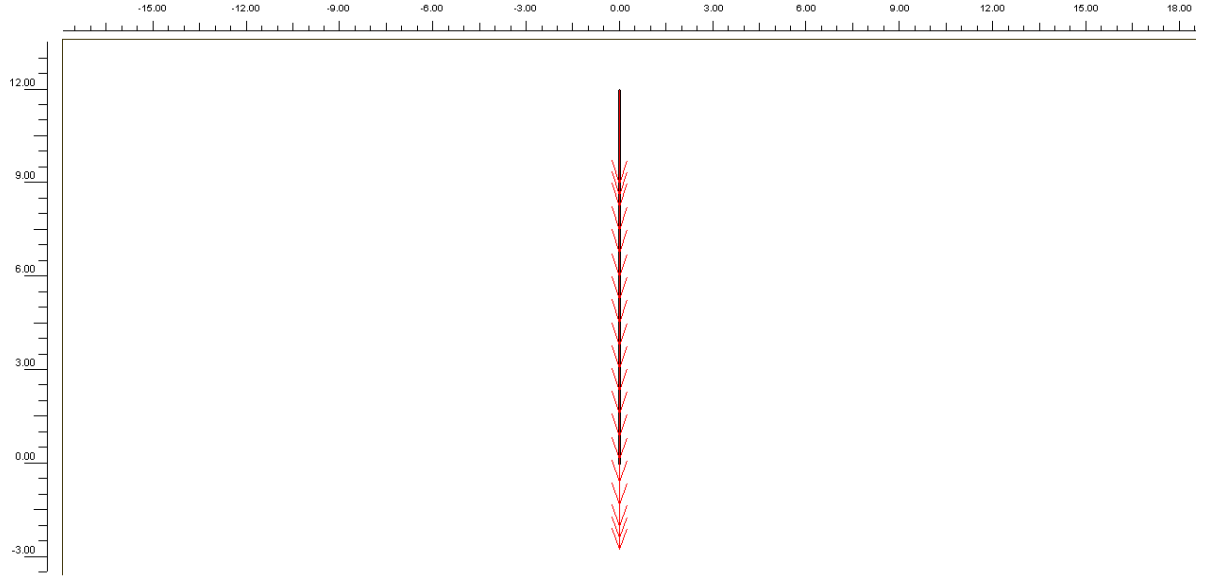
Ek 3 Şekil 28 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



Ek 3 Şekil 29 Model 4 zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değıştirmelerin dağılımı

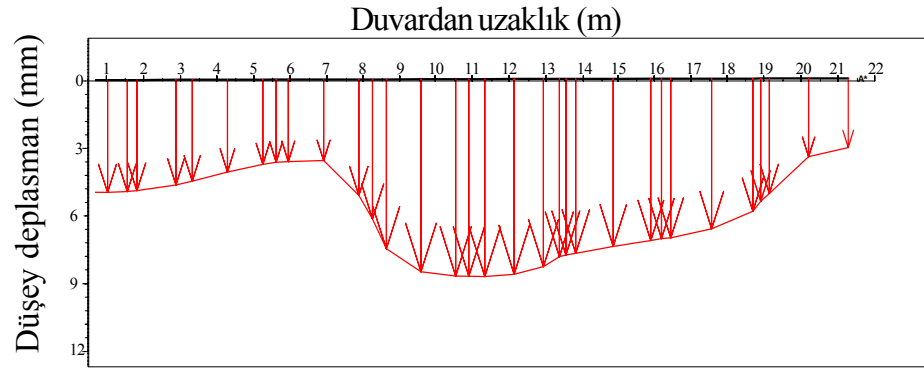


Ek 3 Şekil 30 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



Düşey deplasmanlar  
Max  $-972.99 \cdot 10^{-6}$  m

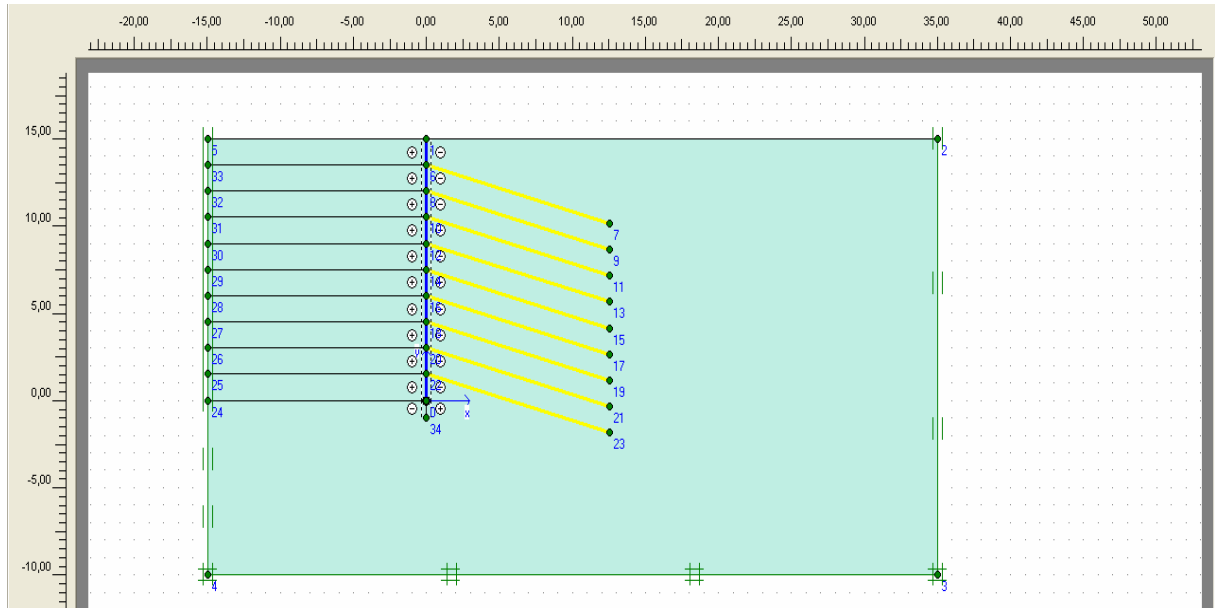
Ek 3 Şekil 31 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



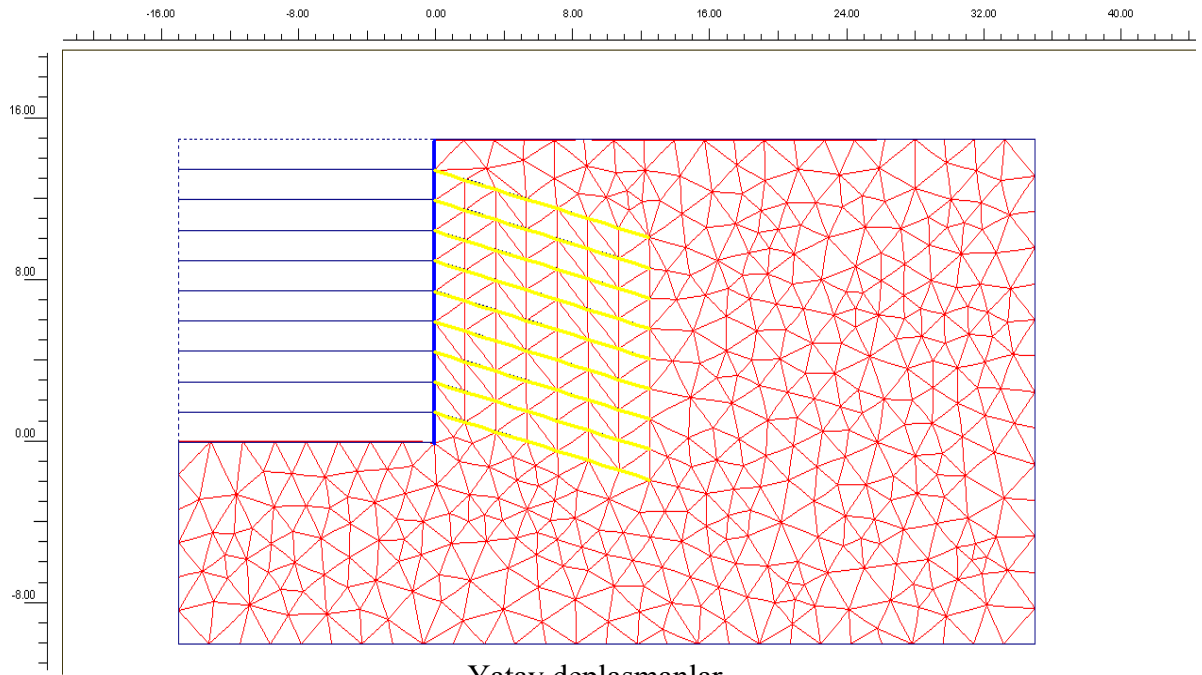
Düşey deplasmanlar  
Max  $-8.49 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 3 Şekil 32 Model 4 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

# Ek 4 H=15.0 m İçin Zemin Çivili Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları

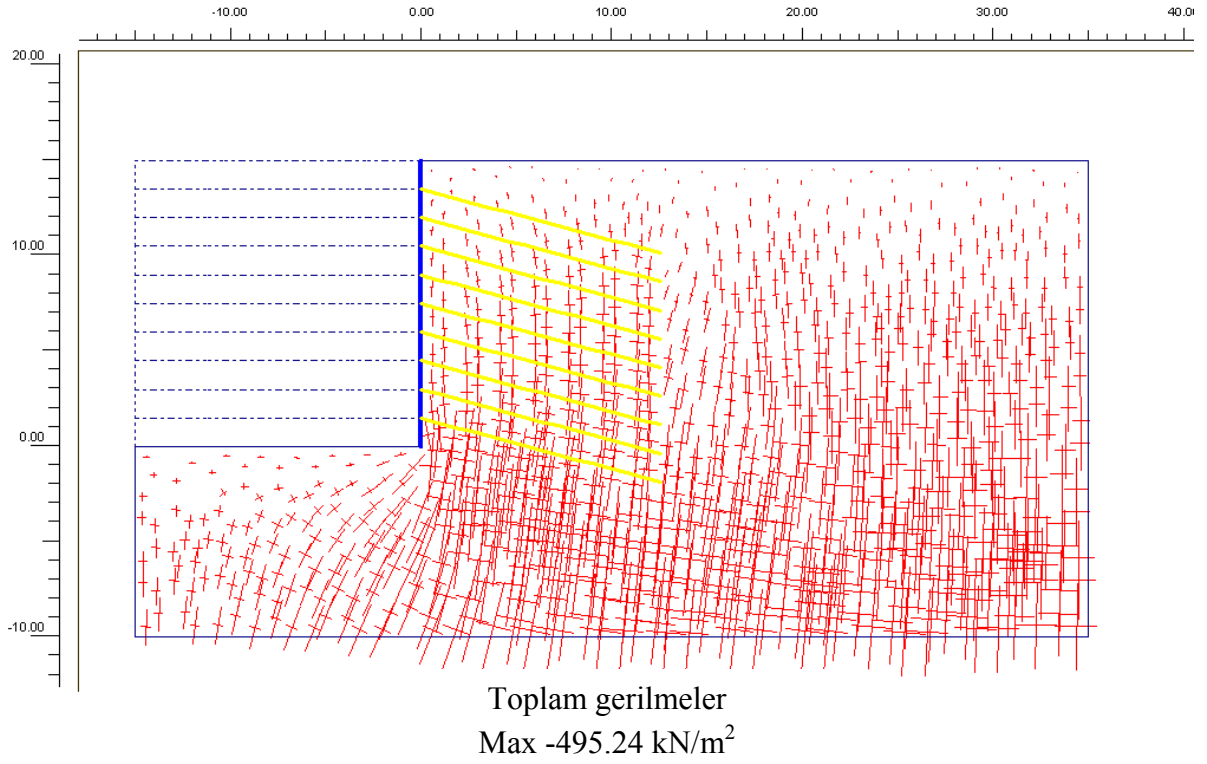


Ek 4 Şekil 1 Model 1 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=15.00 m

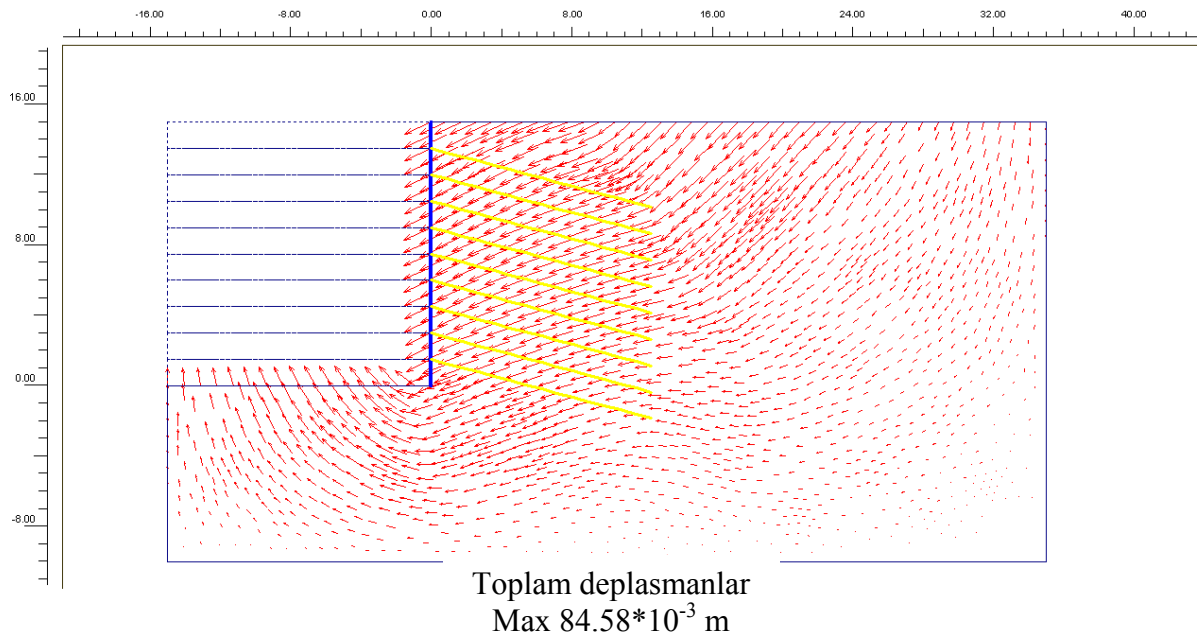


Yatay deplasmanlar  
Max  $84.58 \cdot 10^{-3}$  m

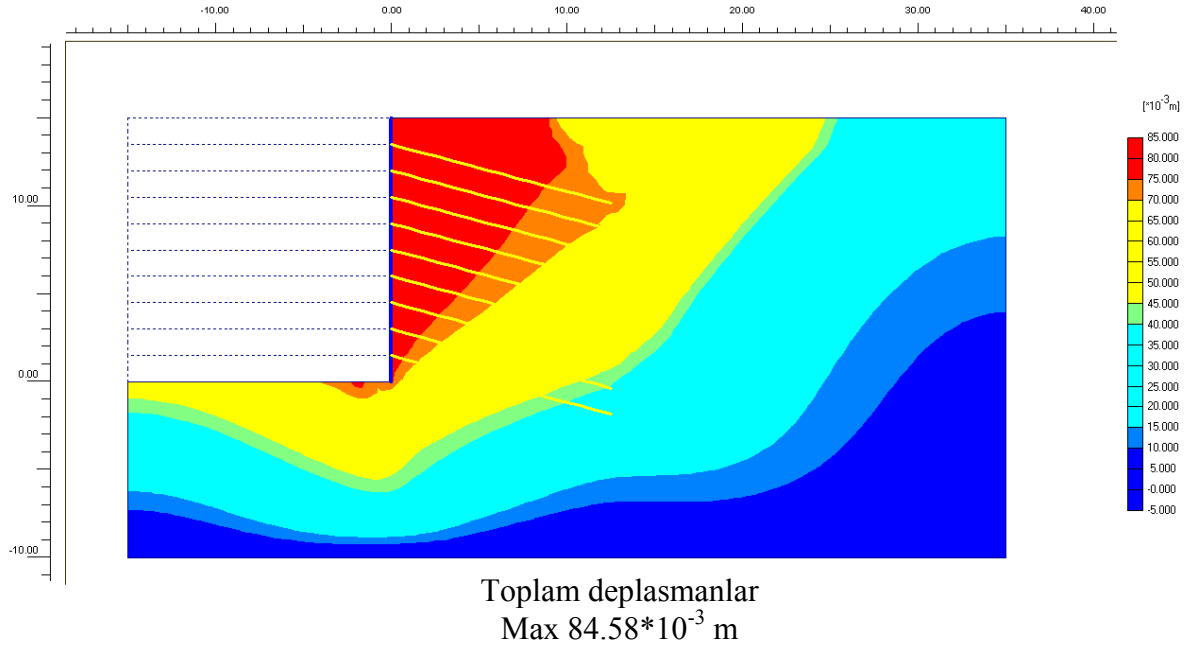
Ek 4 Şekil 2 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



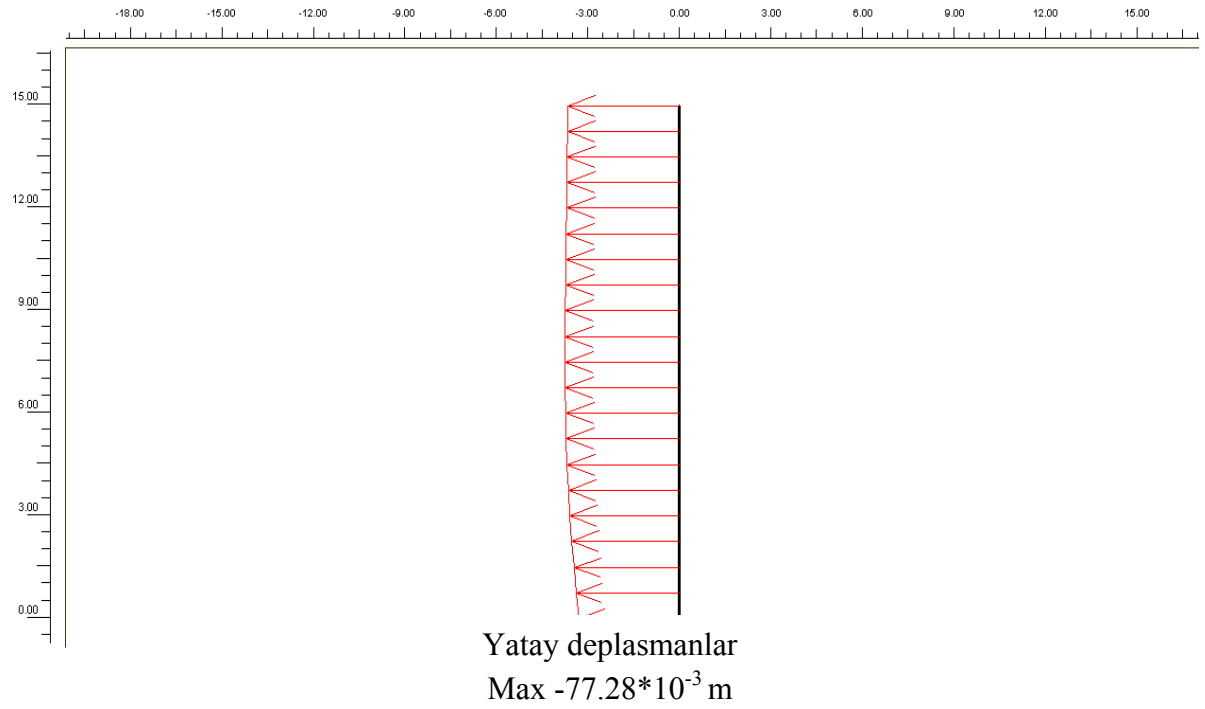
Ek 4 Şekil 3 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



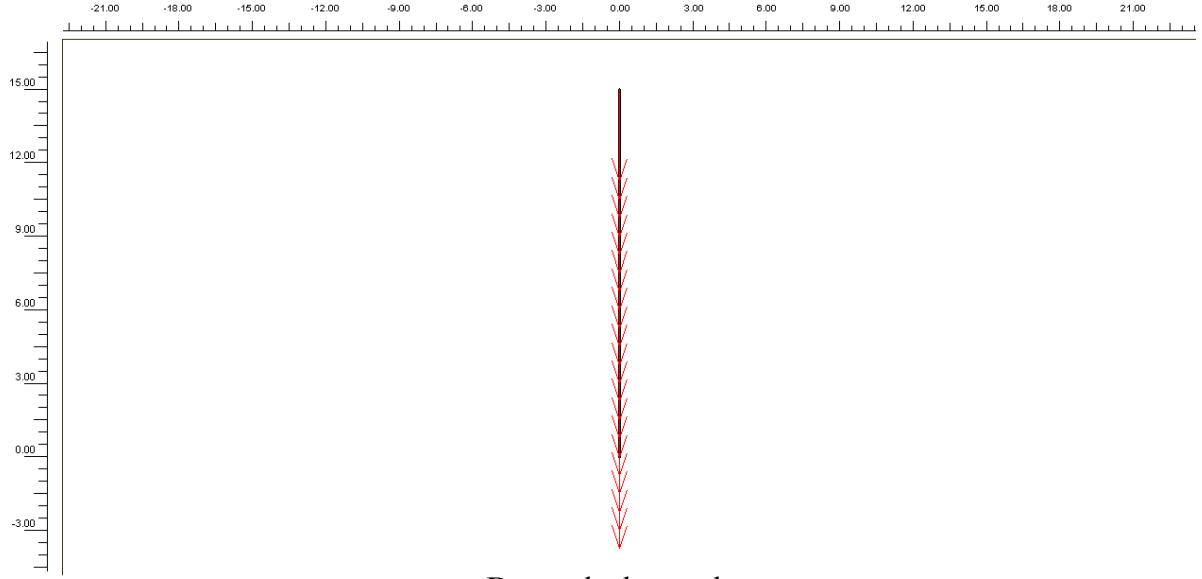
Ek 4 Şekil 4 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



Ek 4 Şekil 5 Model 1 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

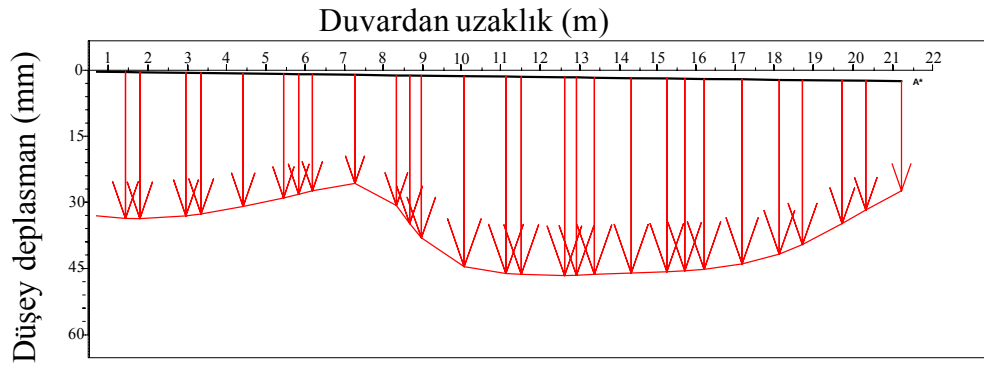


Ek 4 Şekil 6 Model 1 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



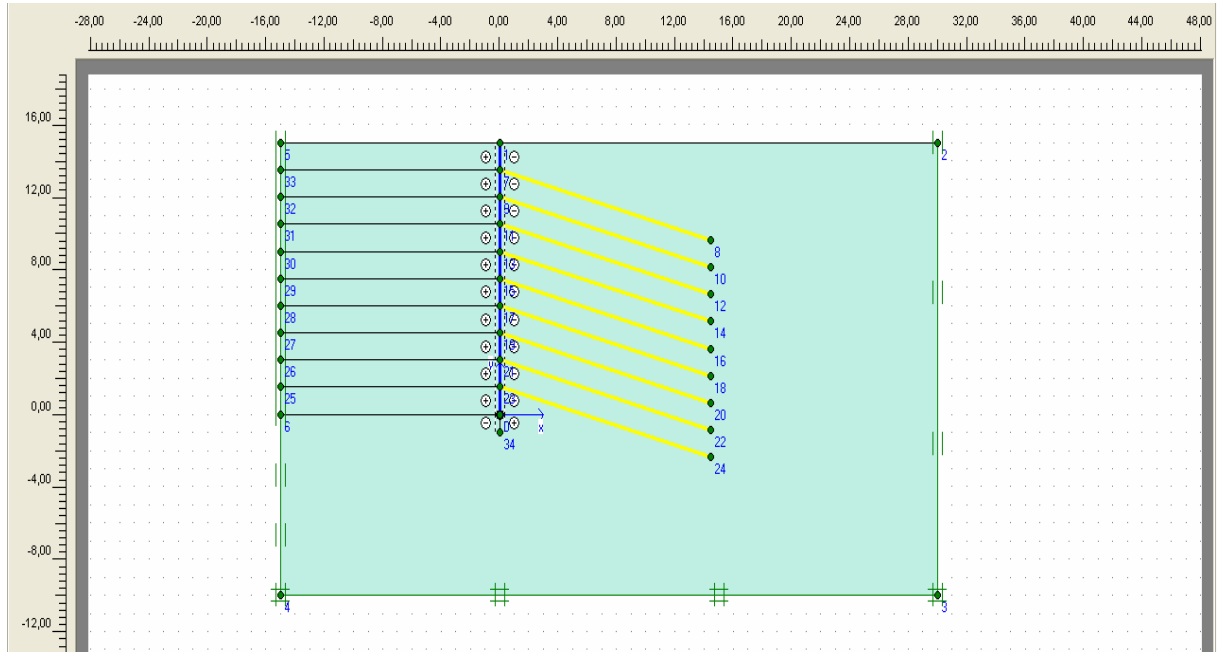
Düşey deplasmanlar  
Max  $-34.42 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 4 Şekil 7 Model 1 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı

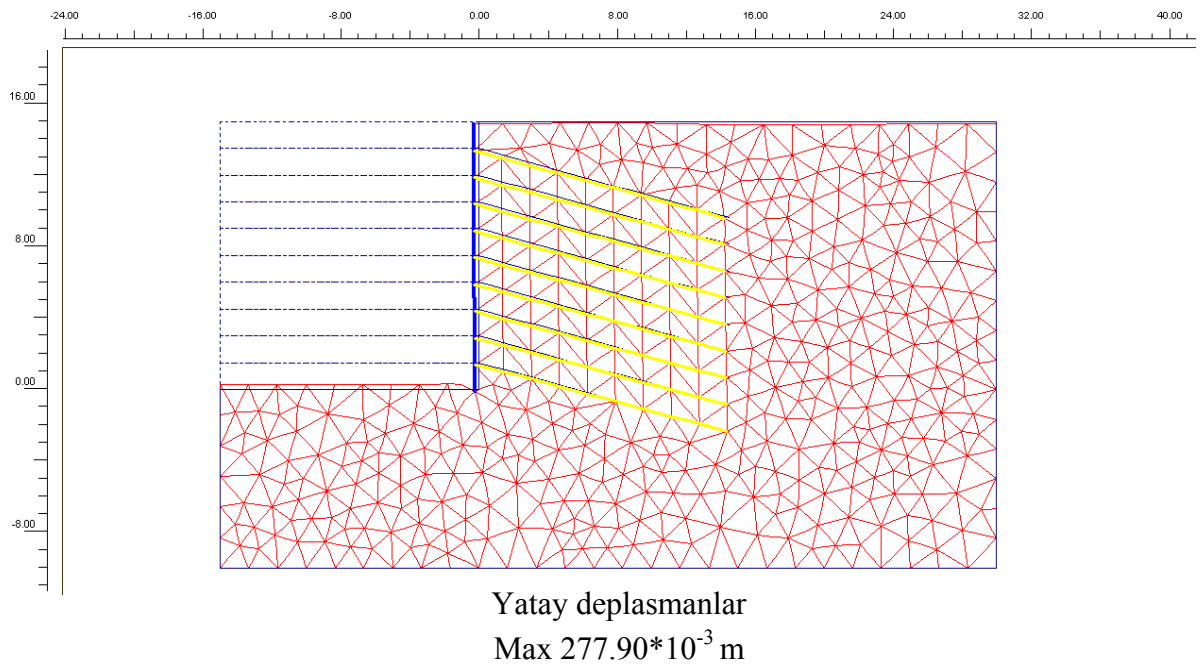


Düşey deplasmanlar  
Max  $-47.83 \cdot 10^{-3}$  m

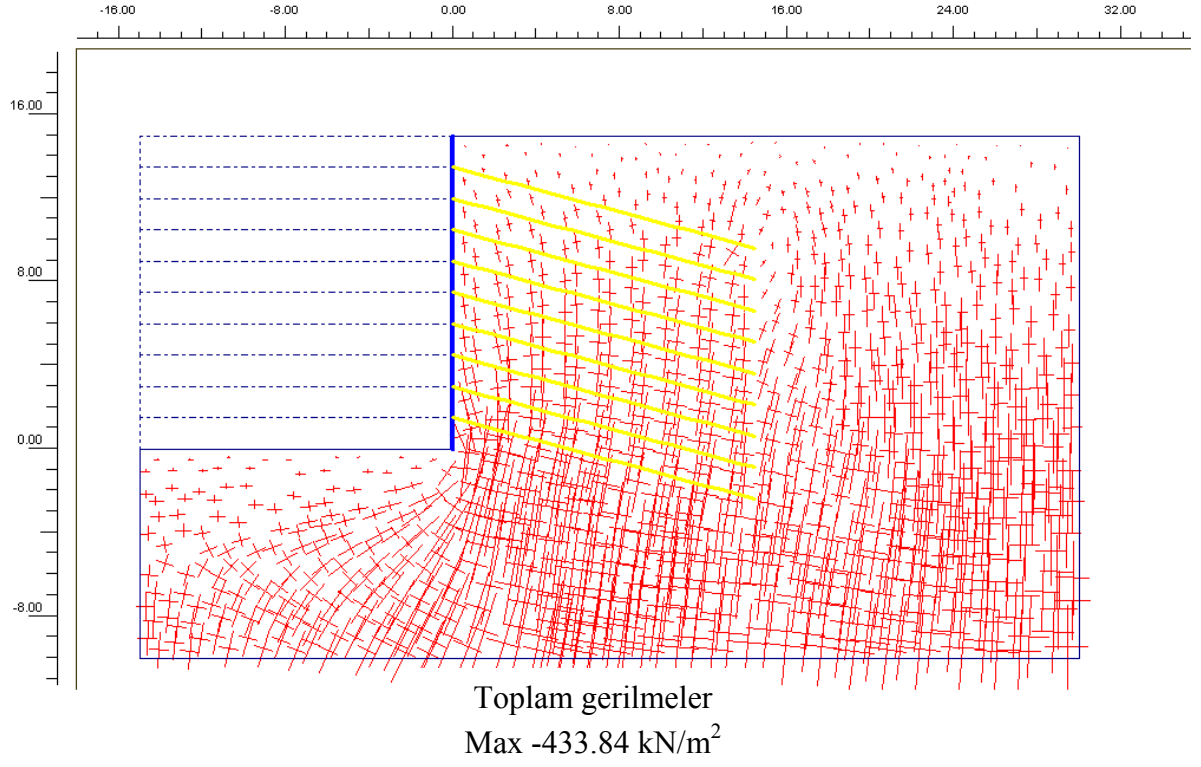
Ek 4 Şekil 8 Model 1 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar



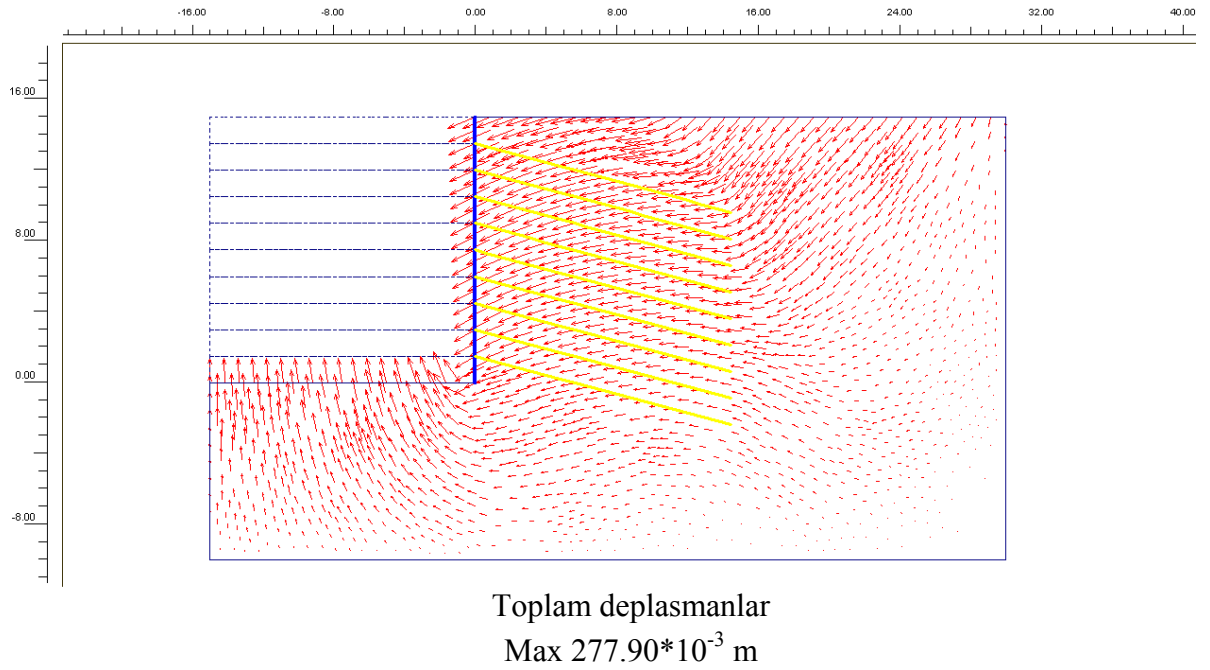
Ek 4 Şekil 9 Model 2 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=15.00 m



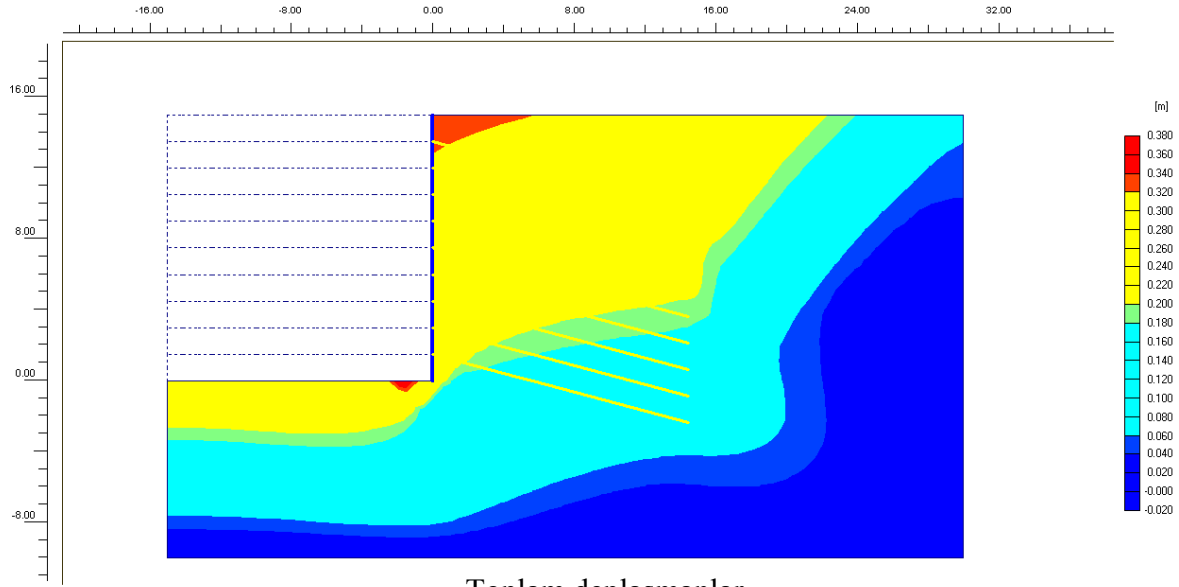
Ek 4 Şekil 10 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



Ek 4 Şekil 11 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

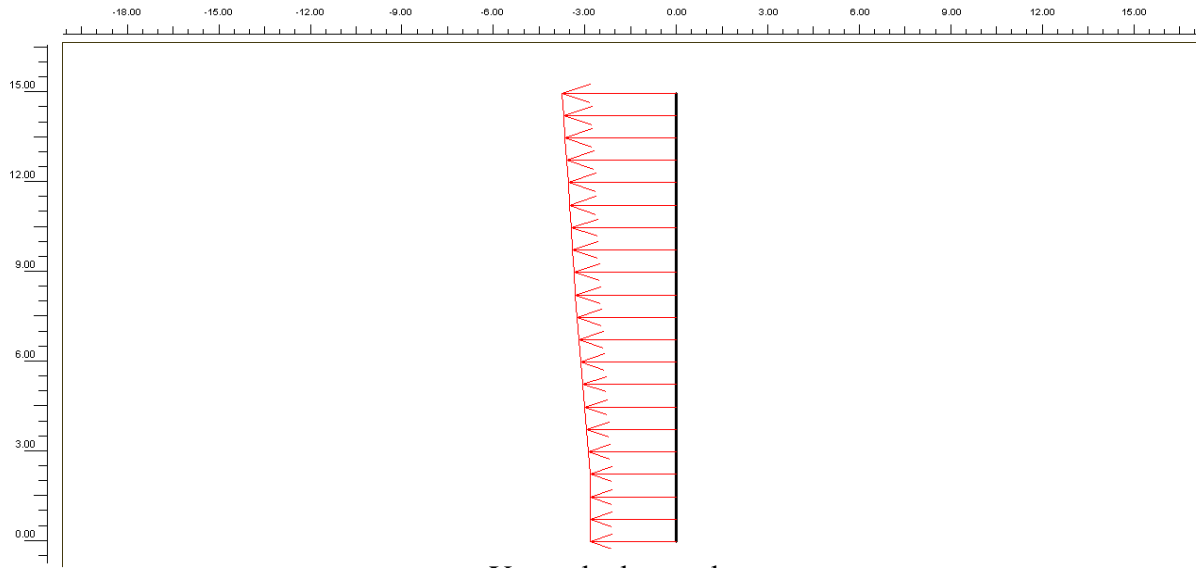


Ek 4 Şekil 12 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



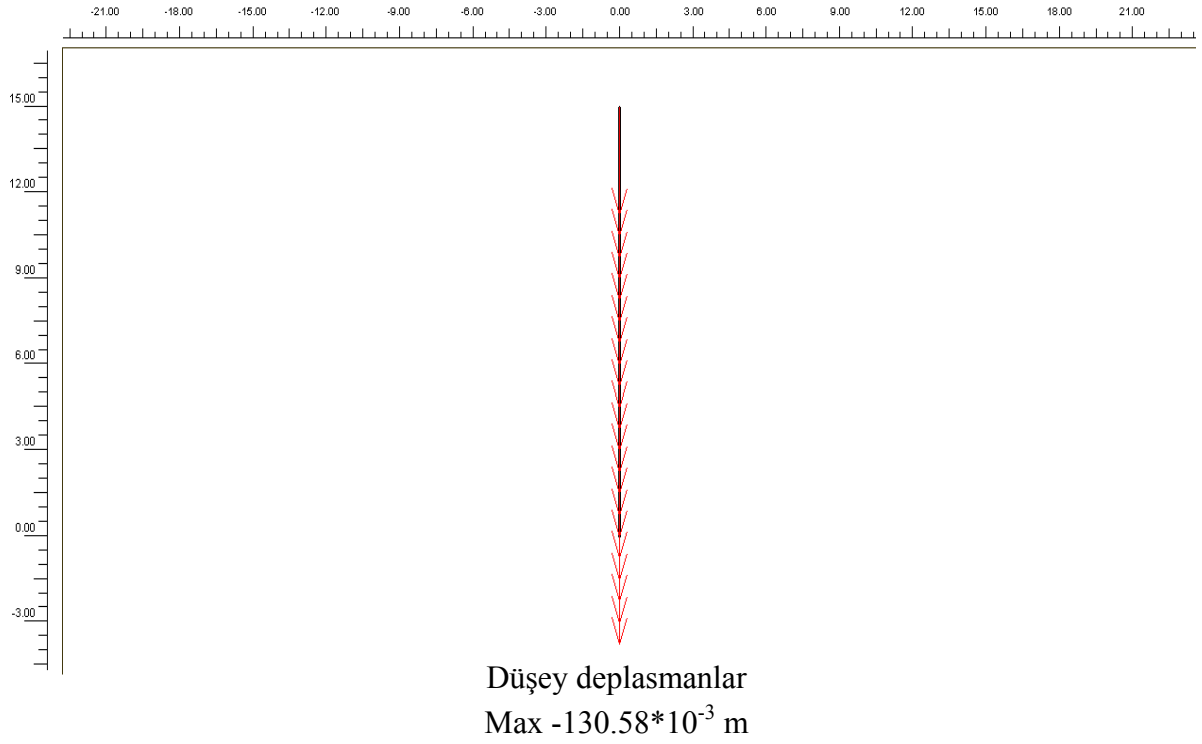
Toplam deplasmanlar  
Max  $377.90 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 4 Şekil 13 Model 2 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

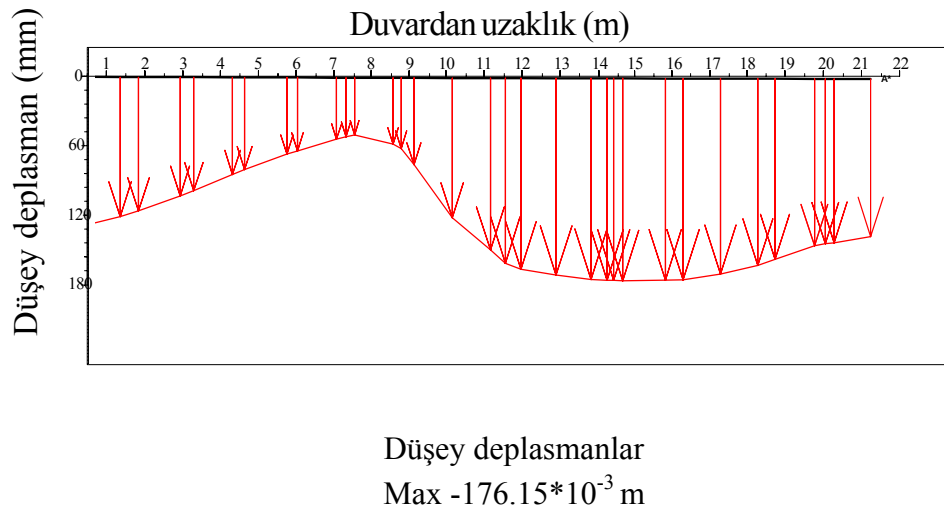


Yatay deplasmanlar  
Max  $-304.83 \cdot 10^{-3}$  m

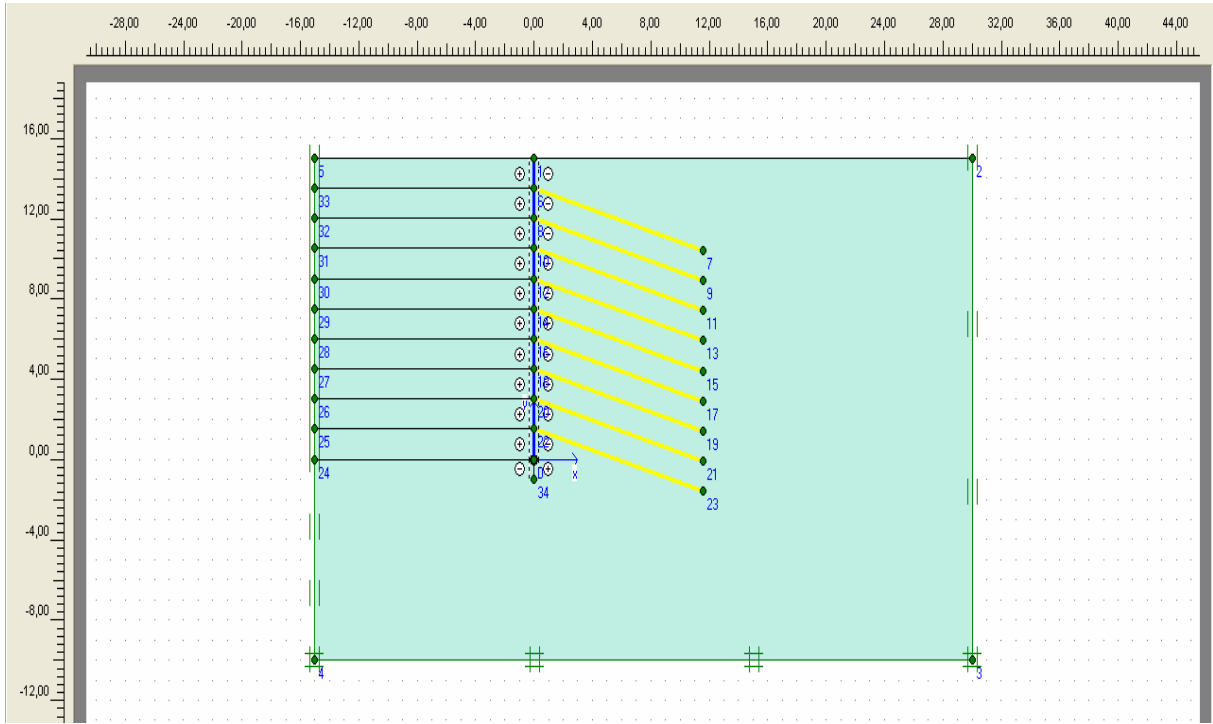
Ek 4 Şekil 14 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı



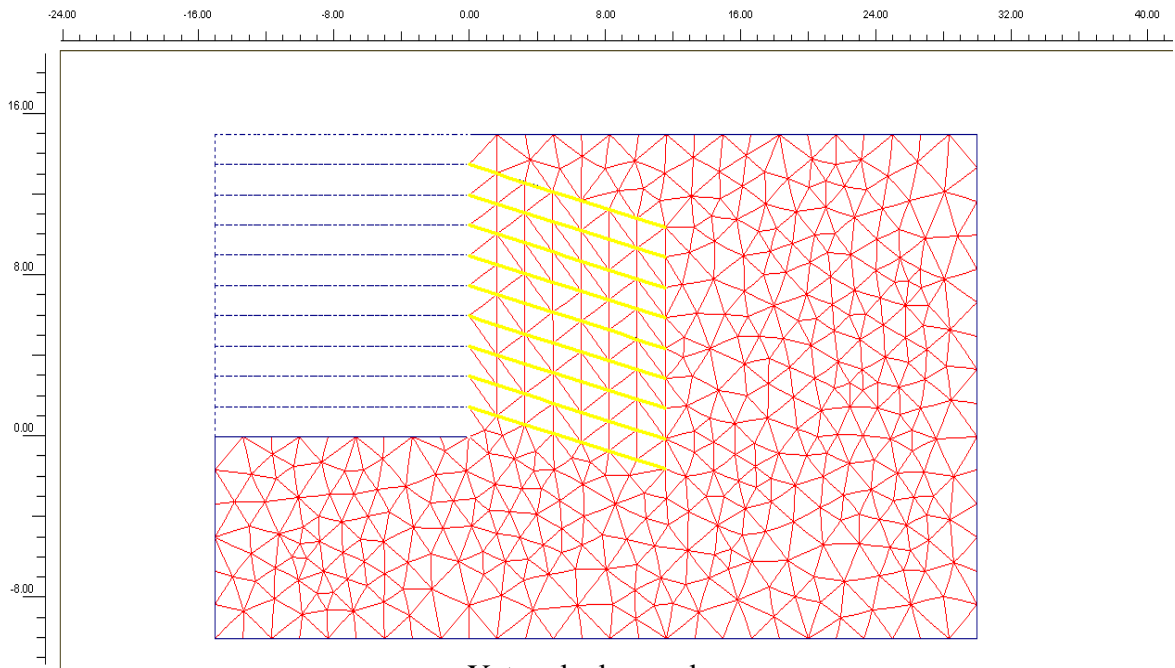
Ek 4 Şekil 15 Model 2 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 4 Şekil 16 Model 2 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

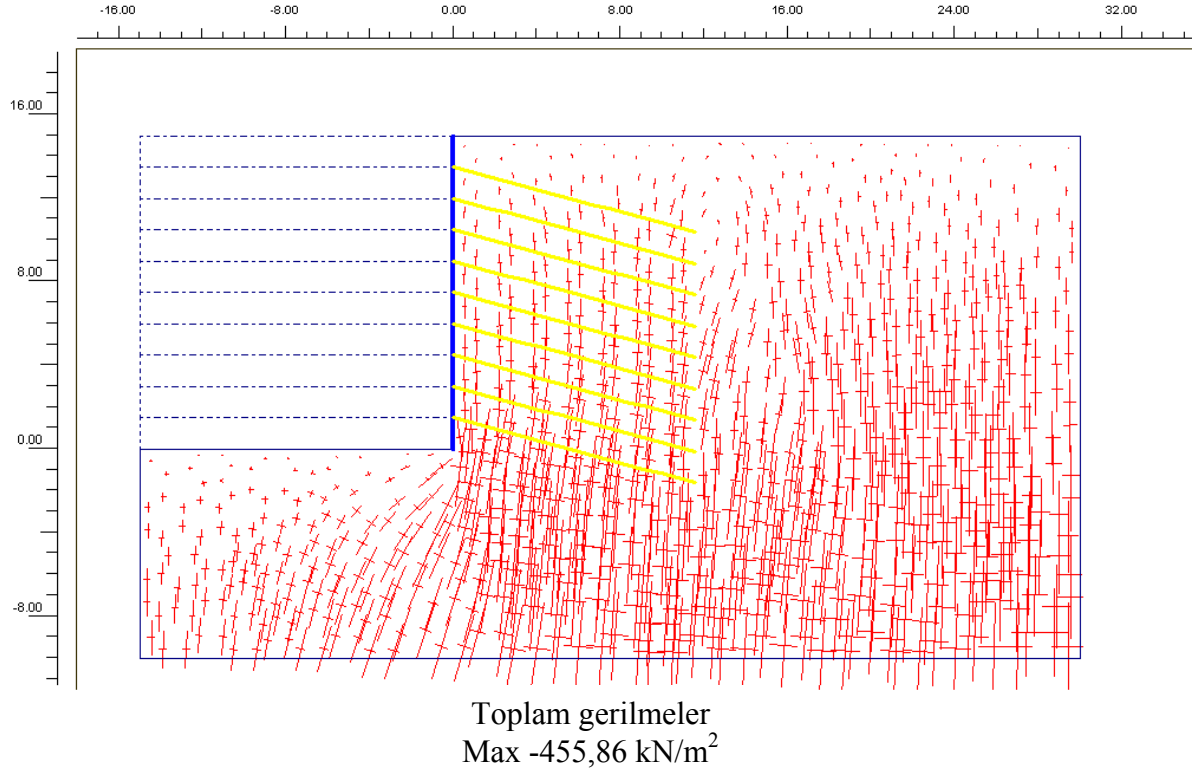


Ek 4 Şekil 17 Model 3 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=15.00 m

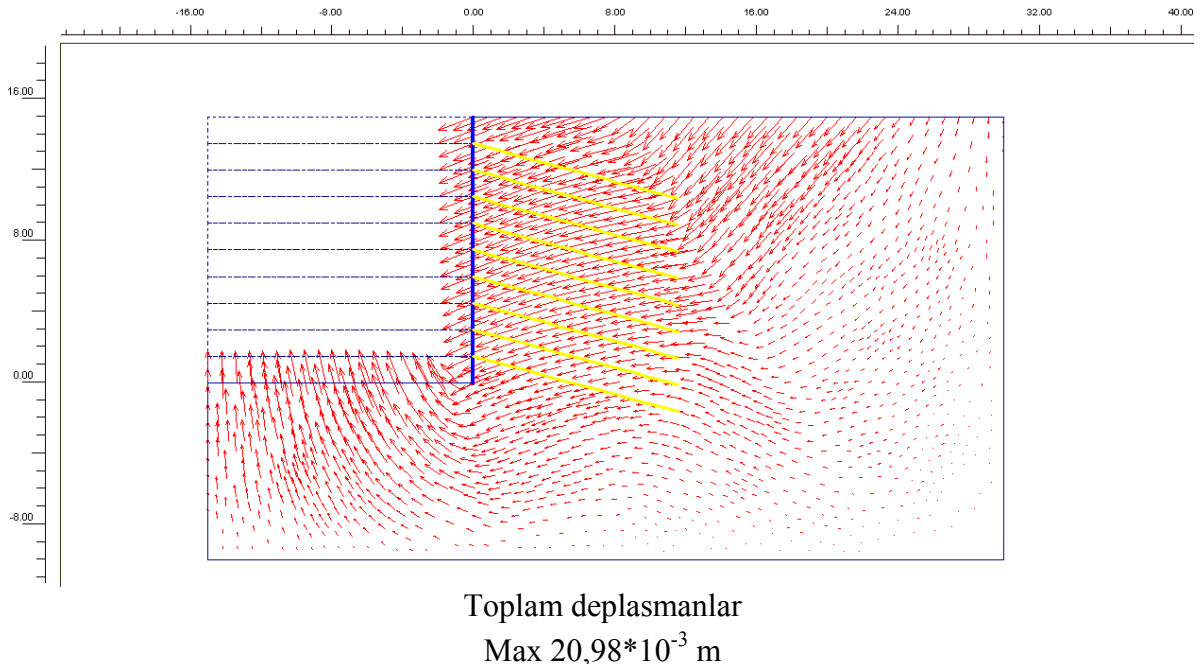


Yatay deplasmanlar  
Max  $20.98 \cdot 10^{-3}$  m

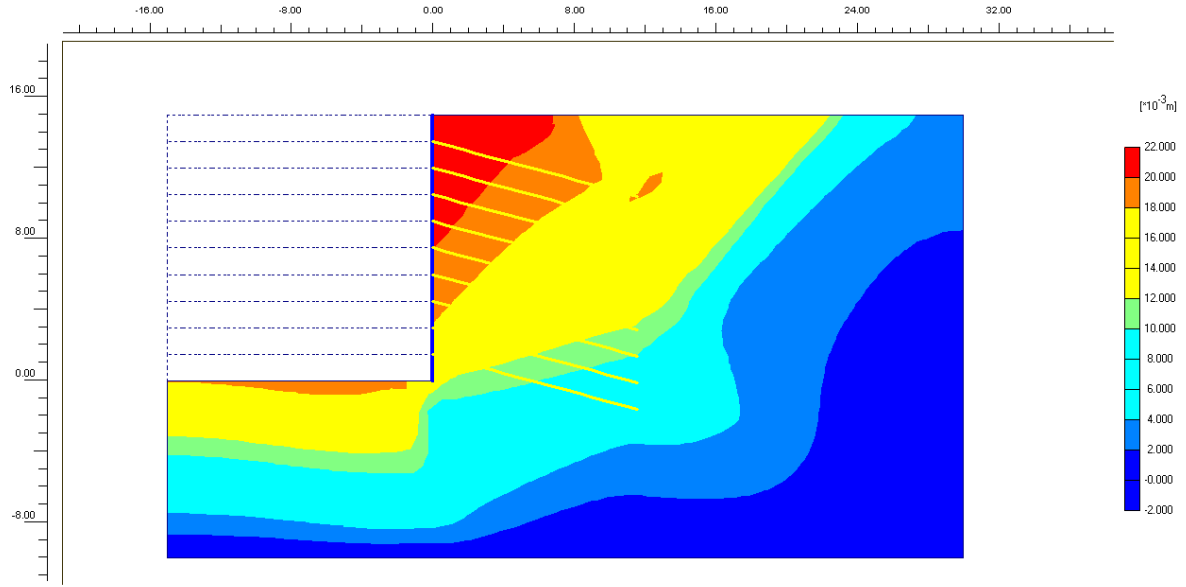
Ek 4 Şekil 18 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



Ek 4 Şekil 19 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

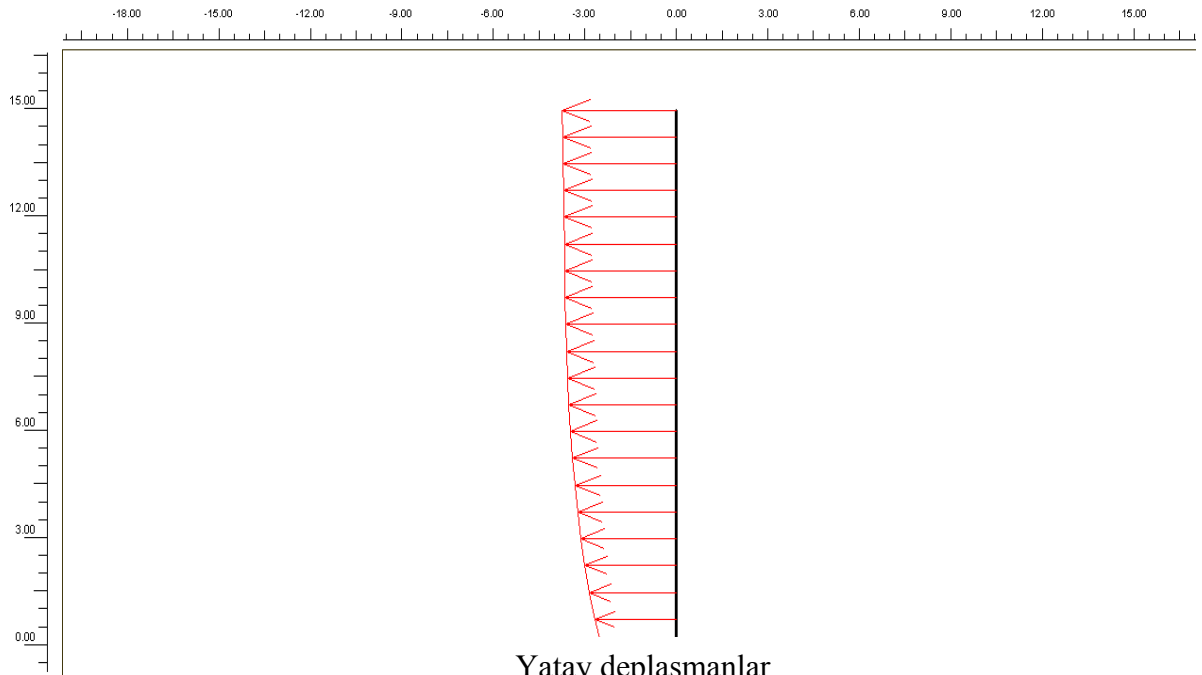


Ek 4 Şekil 20 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



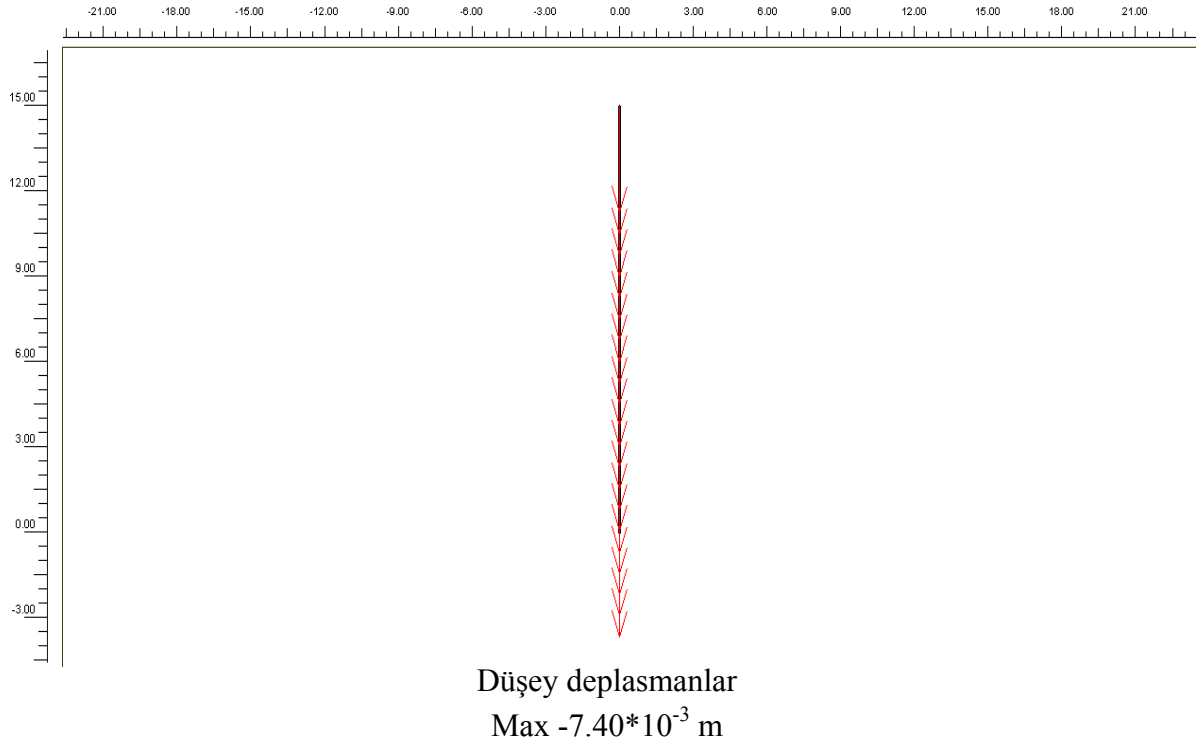
Toplam deplasmanlar  
Max  $20,98 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 4 Şekil 21 Model 3 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

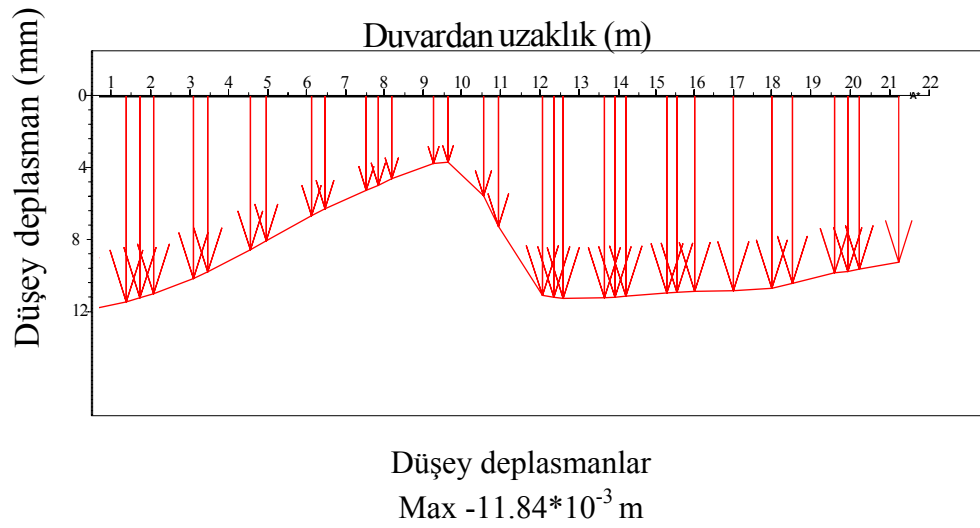


Yatay deplasmanlar  
Max  $-19,62 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 4 Şekil 22 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı

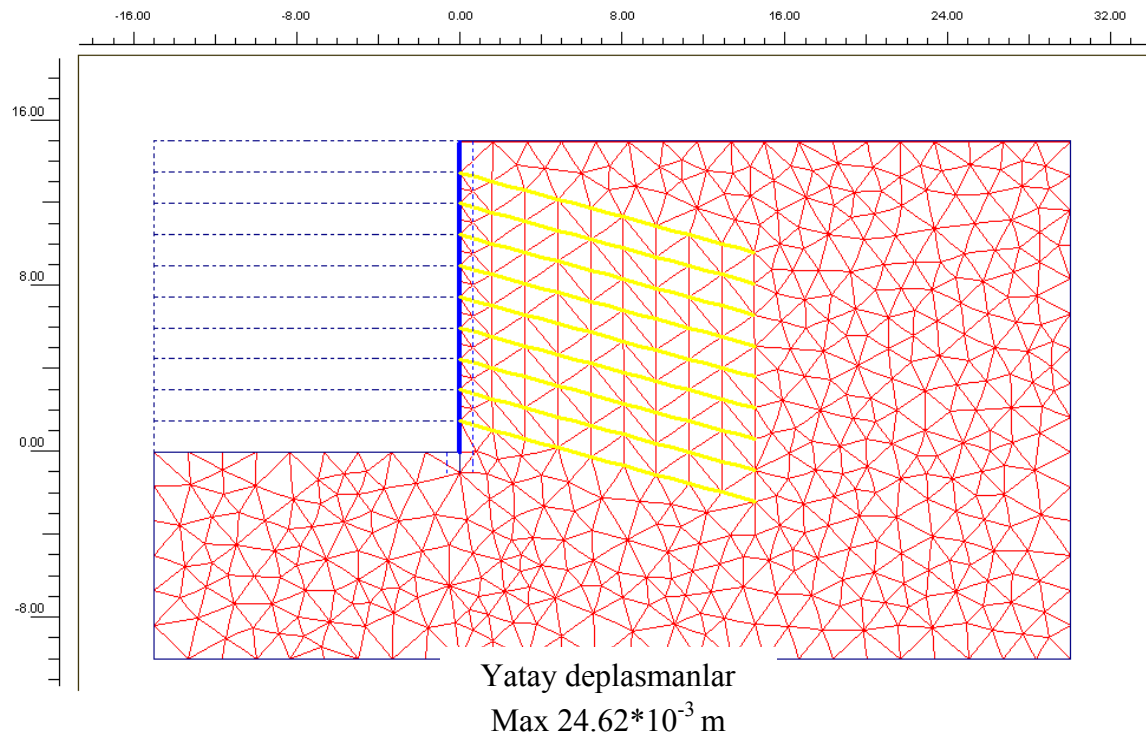


Ek4 Şekil 23 Model 3 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı

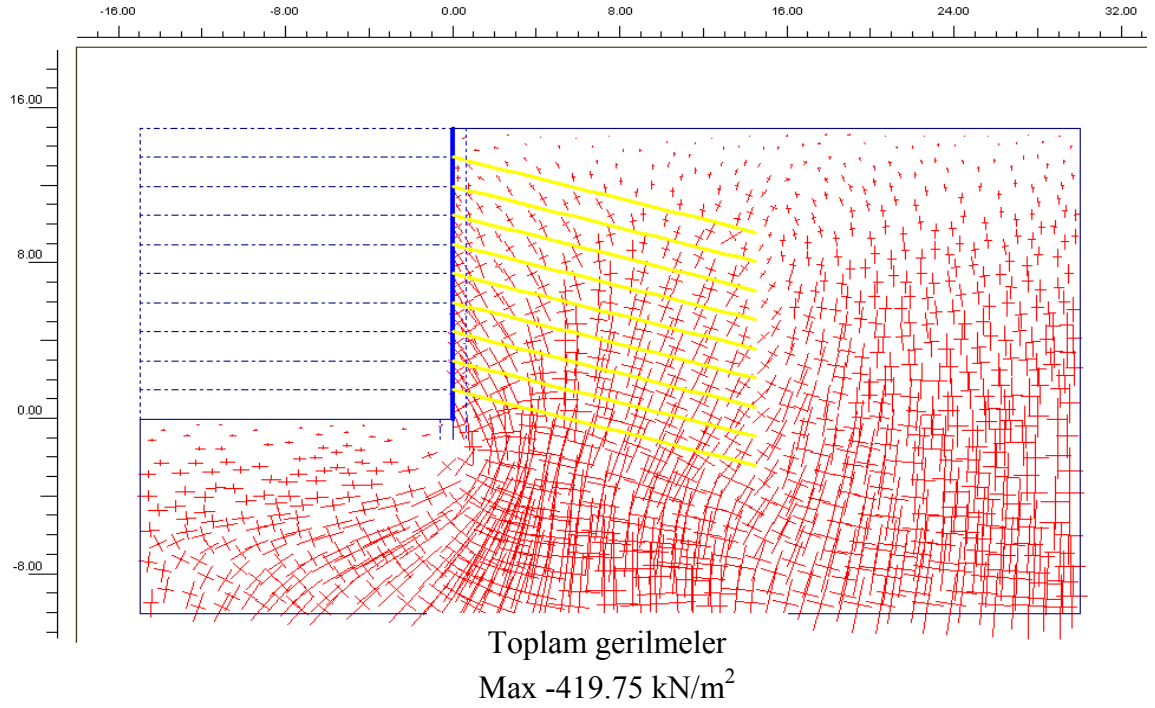


Ek 4 Şekil 24 Model 3 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

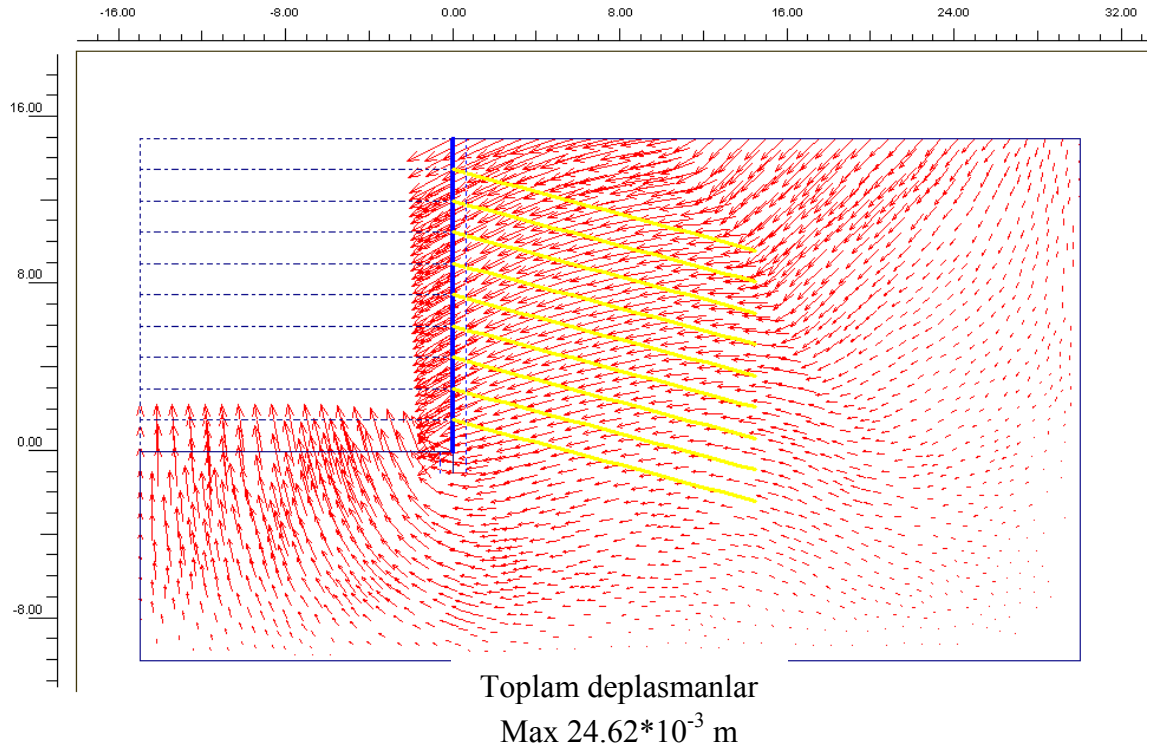
Ek 4 Şekil 25 Model 4 için zemin çivisi destekli kazı için nümerik model  
H=15.00 m



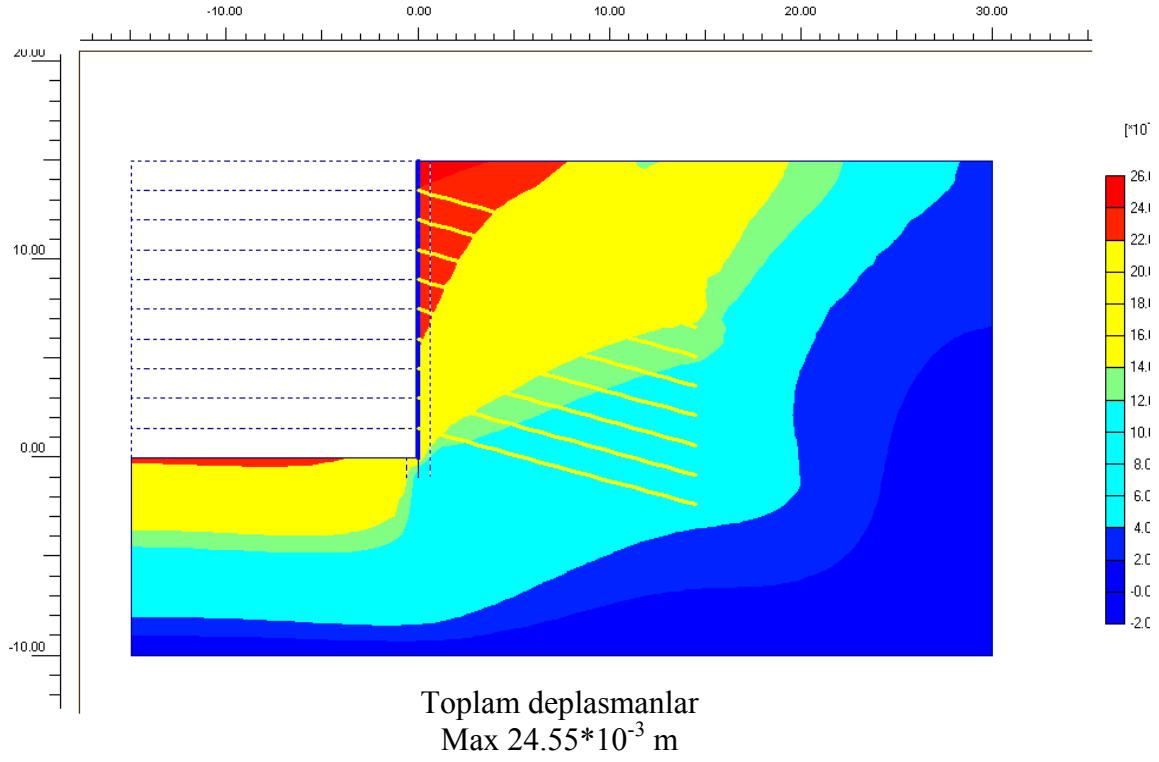
Ek 4 Şekil 26 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



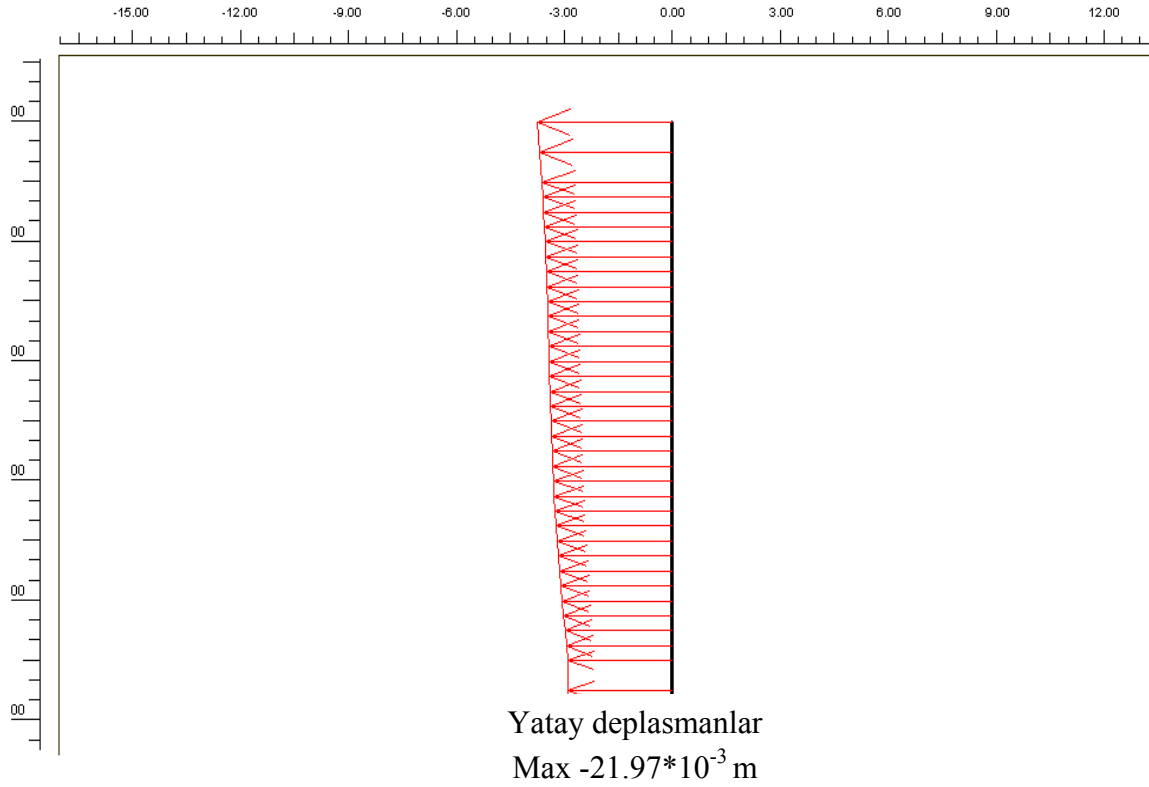
Ek 4 Şekil 27 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



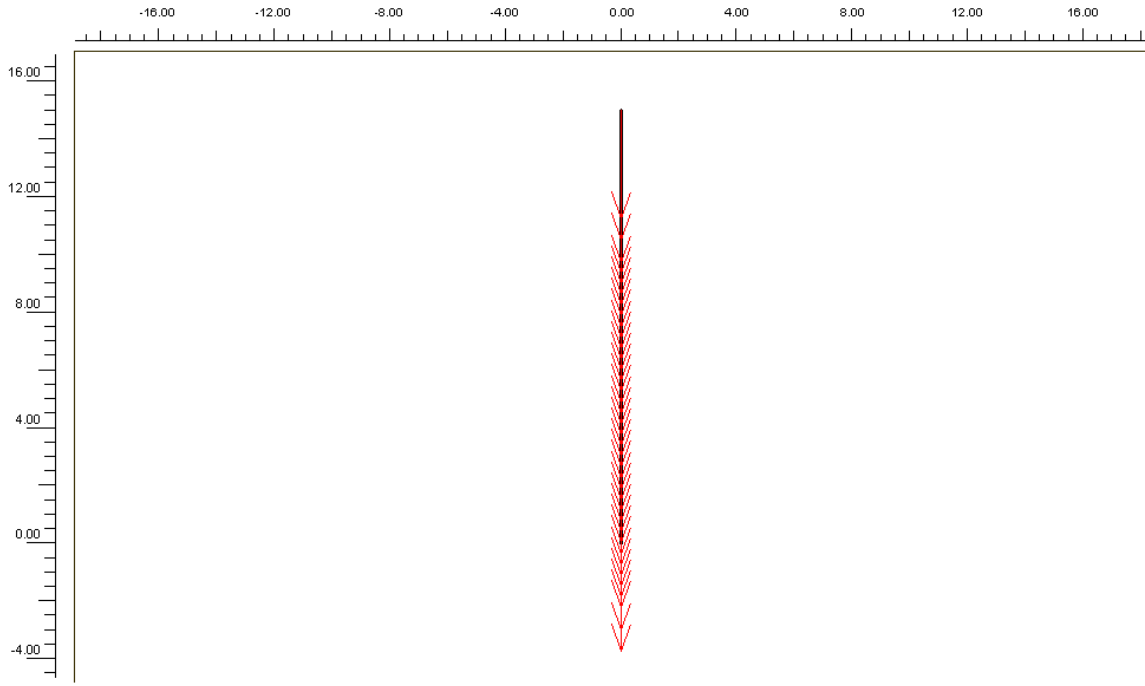
Ek 4 Şekil 28 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



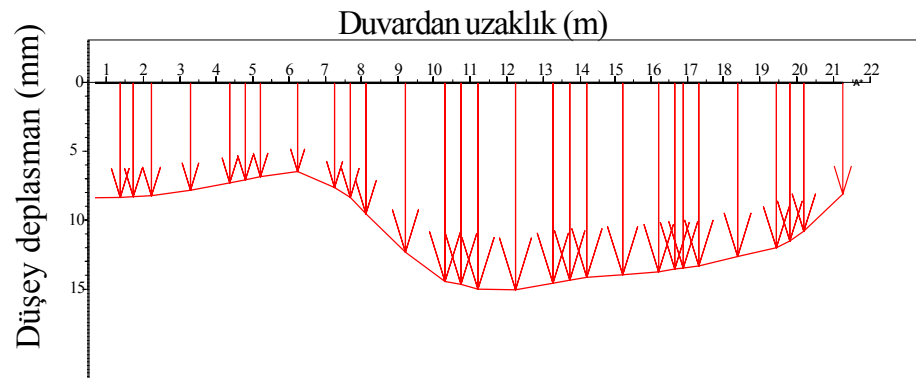
Ek 4 Şekil 29 Model 4 için zemin çivisi destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



Ek 4 Şekil 30 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın yatay deplasmanı

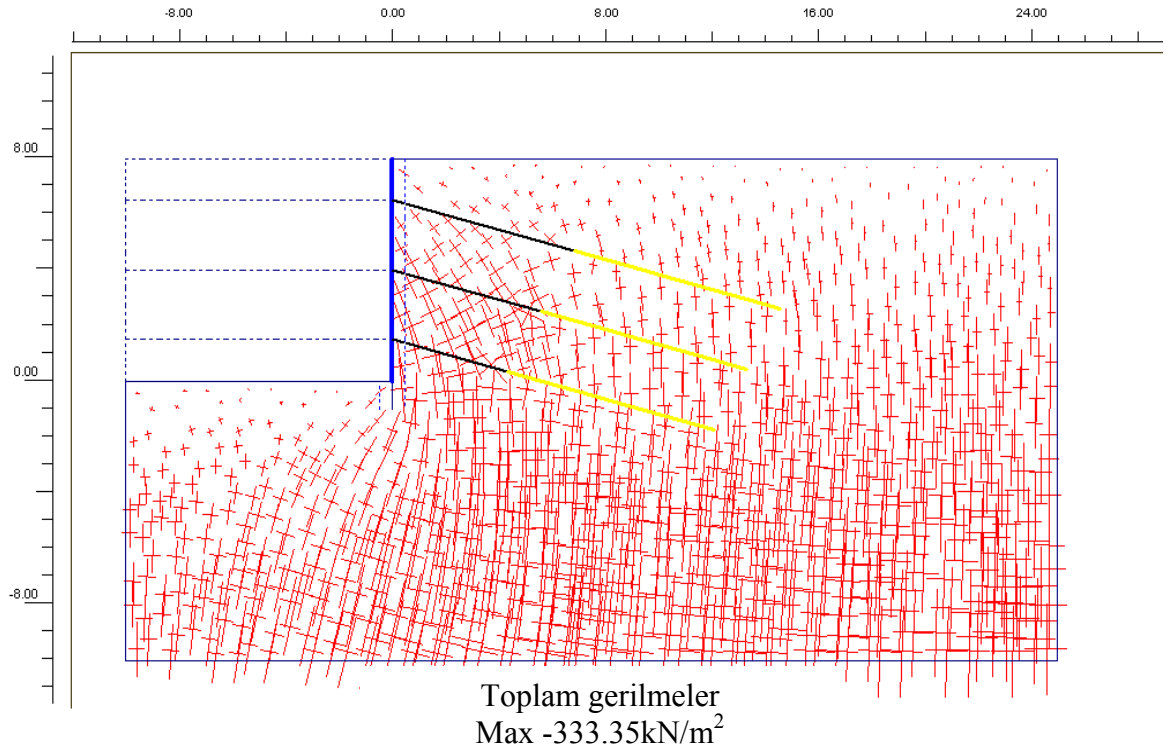


Ek 4 Şekil 31 Model 4 için zemin çivisi destekli duvarın düşey deplasmanı

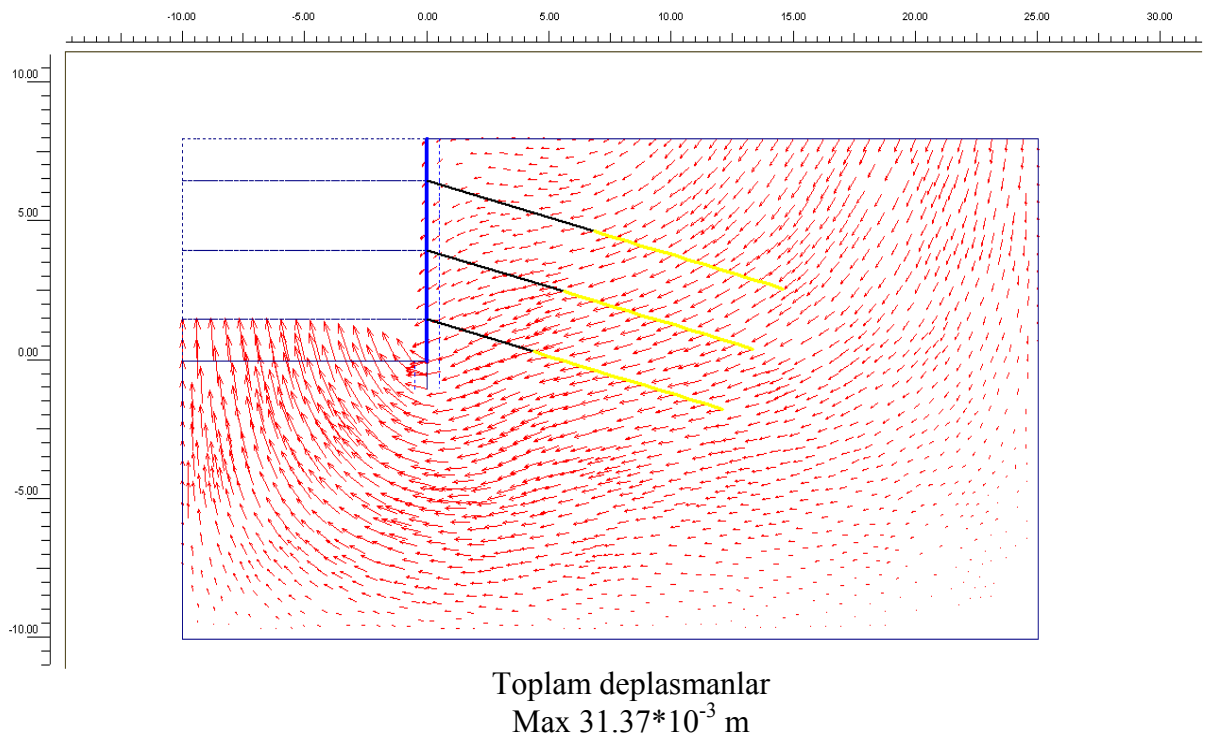


Ek 4 Şekil 32 Model 4 için zemin çivili sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

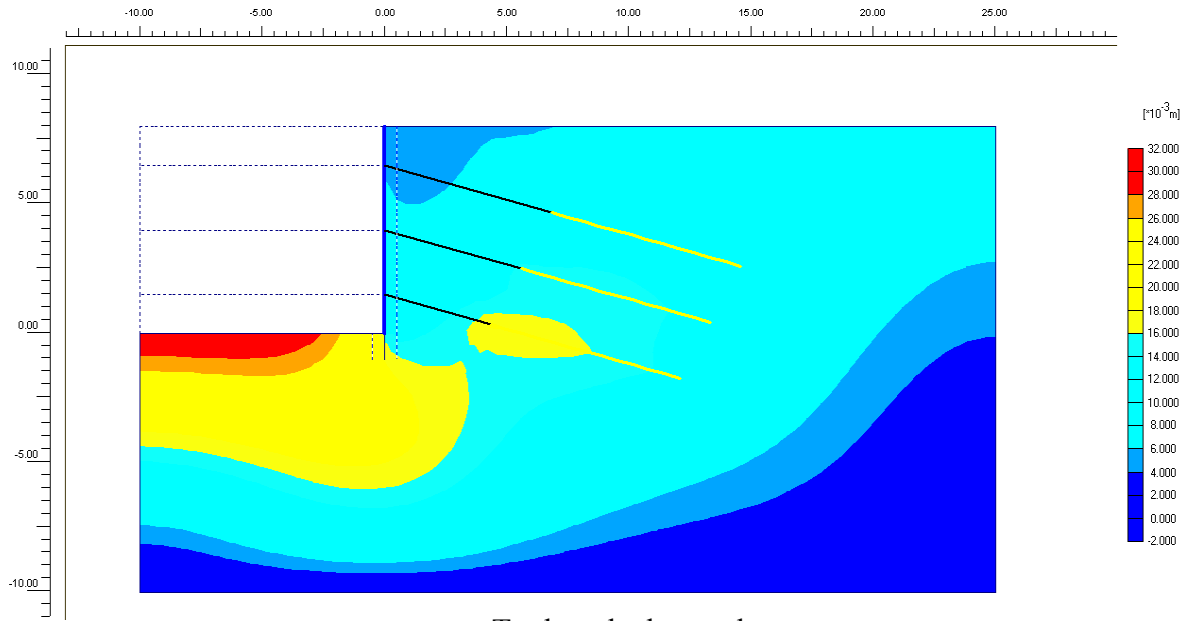




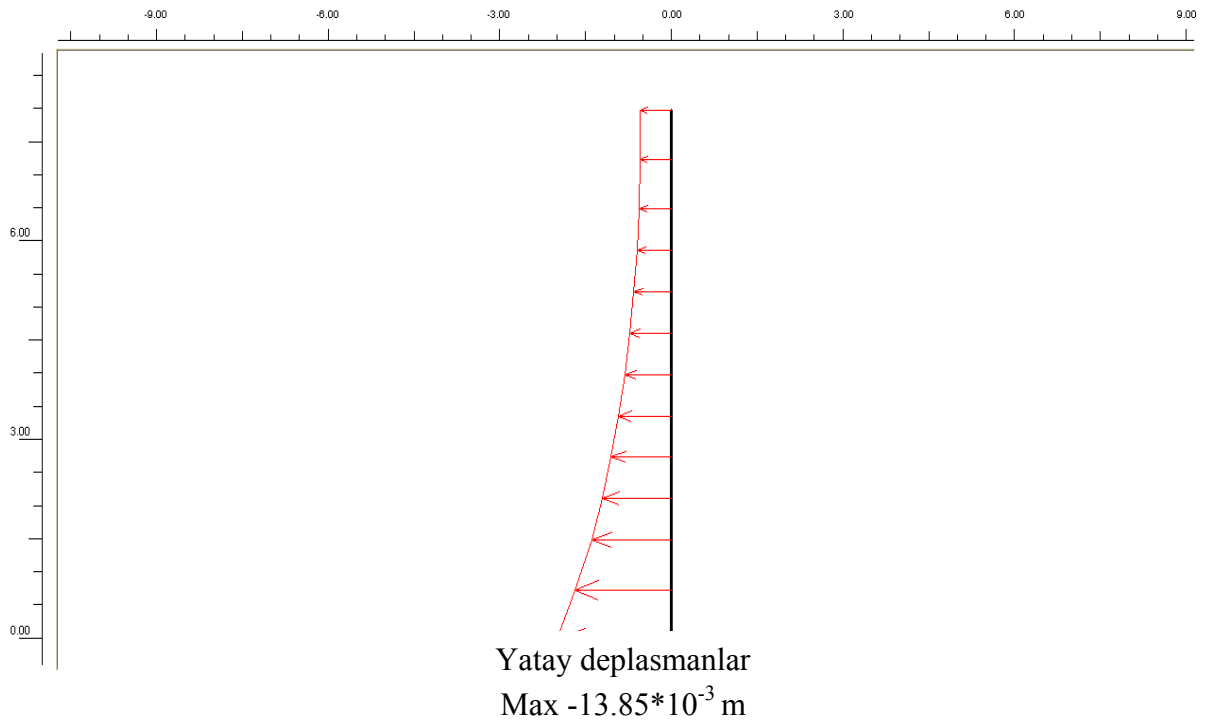
Ek 5 Şekil 3 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



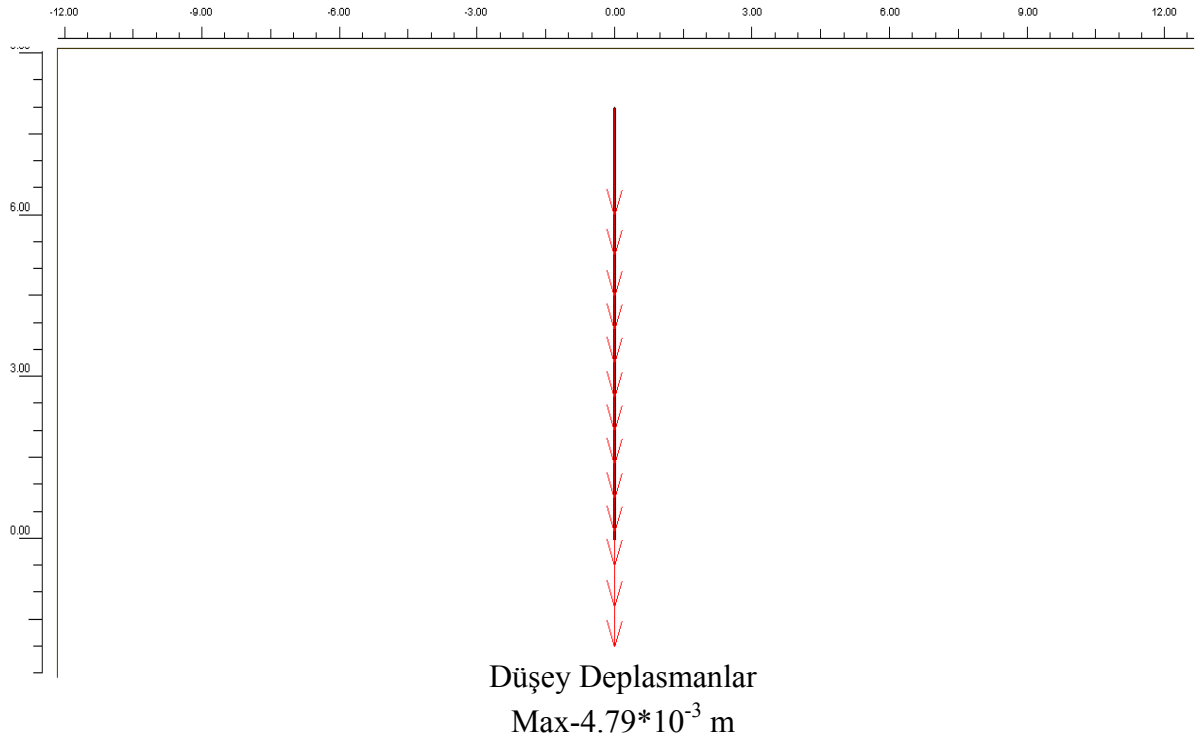
Ek 5 Şekil 4 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



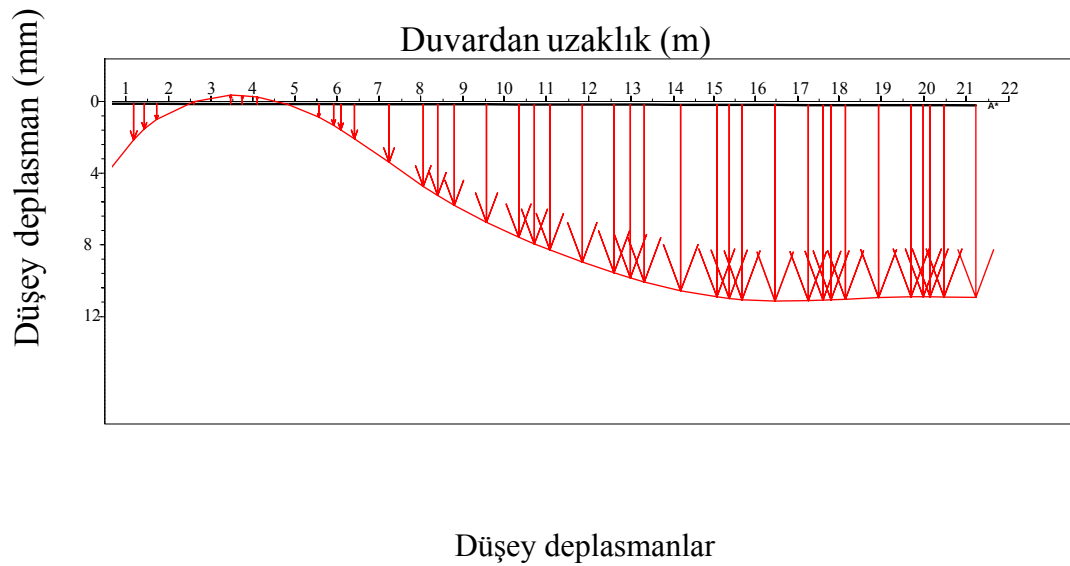
Ek 5 Şekil 5 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



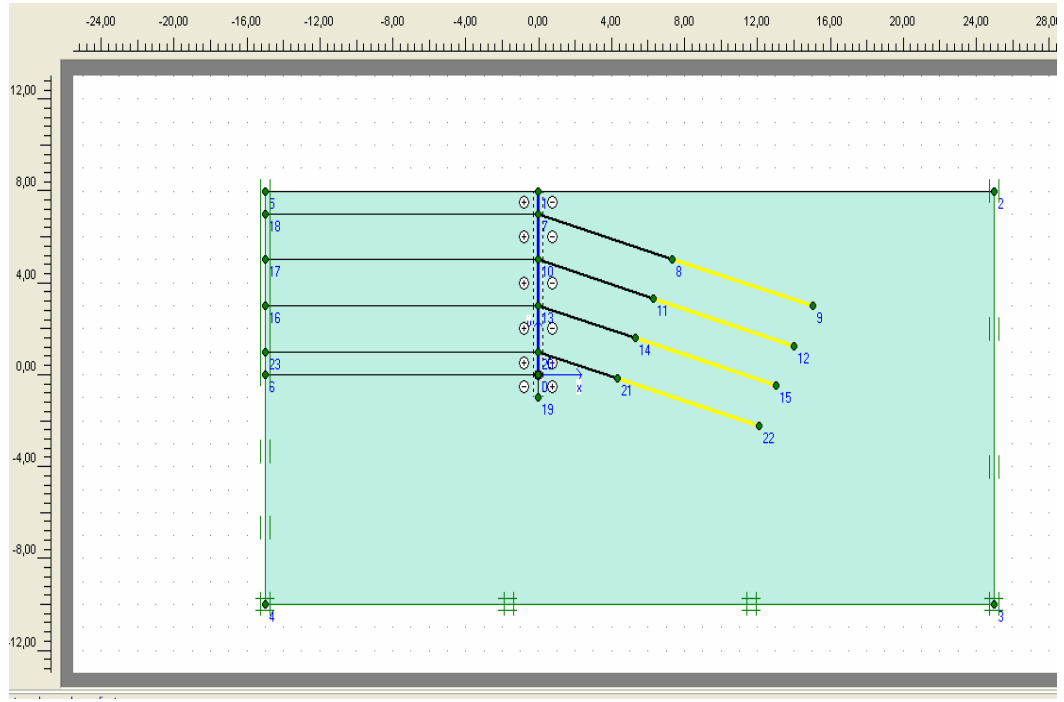
Ek 5 Şekil 6 Model 1 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



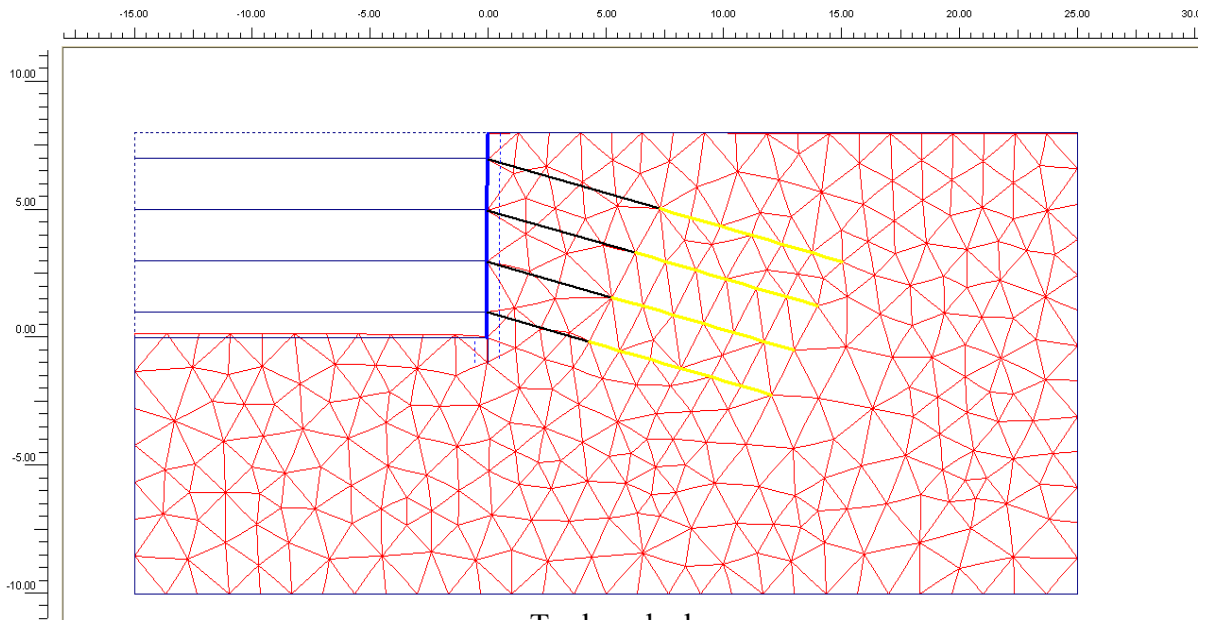
Ek 5 Şekil 7 Model 1 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 5 Şekil 8 Model 1 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

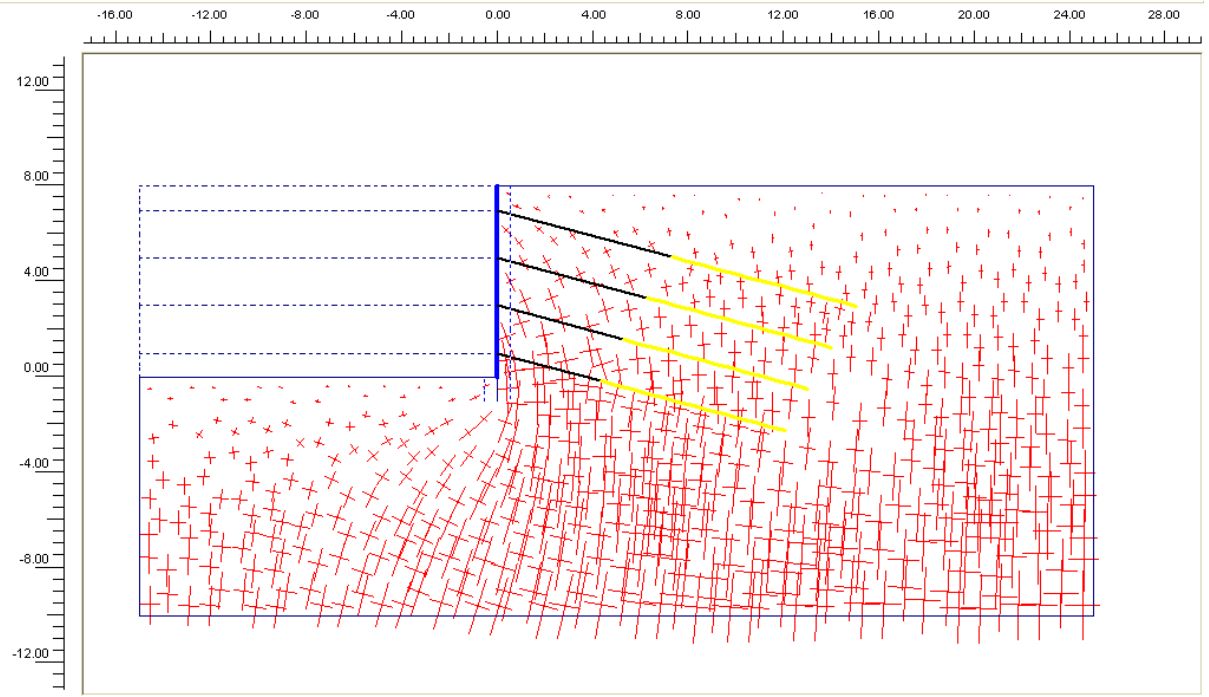


Ek 5 Şekil 9 Model 2 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=8.00 m



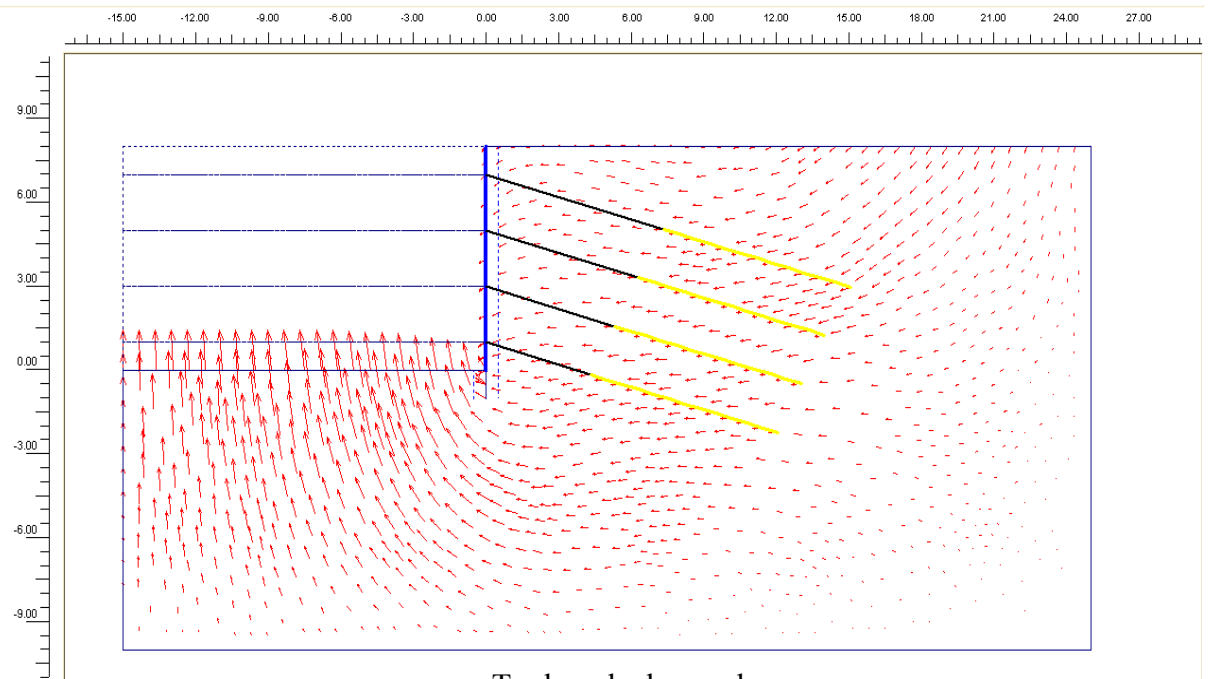
Toplam deplasman  
 $146.98 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Ek 5 Şekil 10 Model 2 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



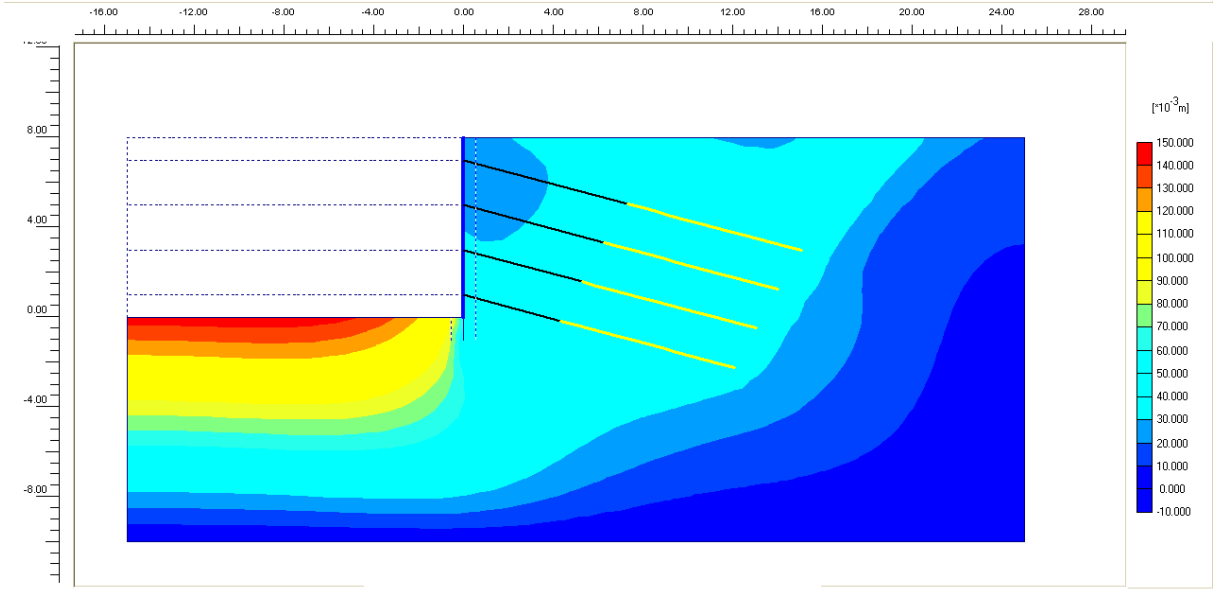
Toplam gerilmeler  
Max  $-297.63 \text{ kN/m}^2$

Ek 5 Şekil 11 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



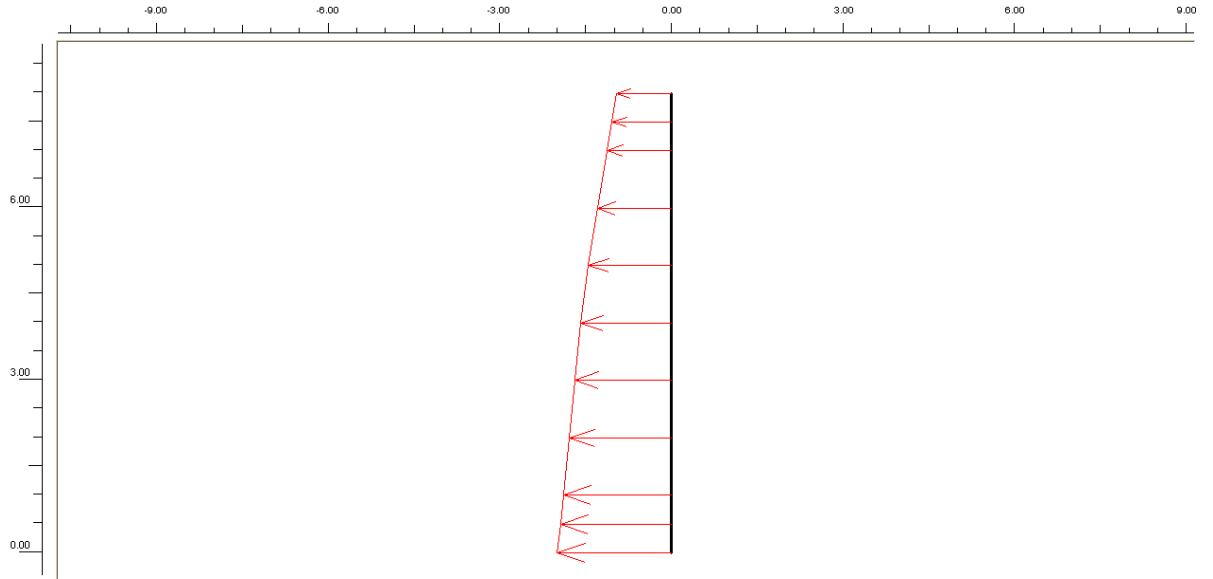
Toplam deplasmanlar  
Max  $146.98 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Ek 5 Şekil 12 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



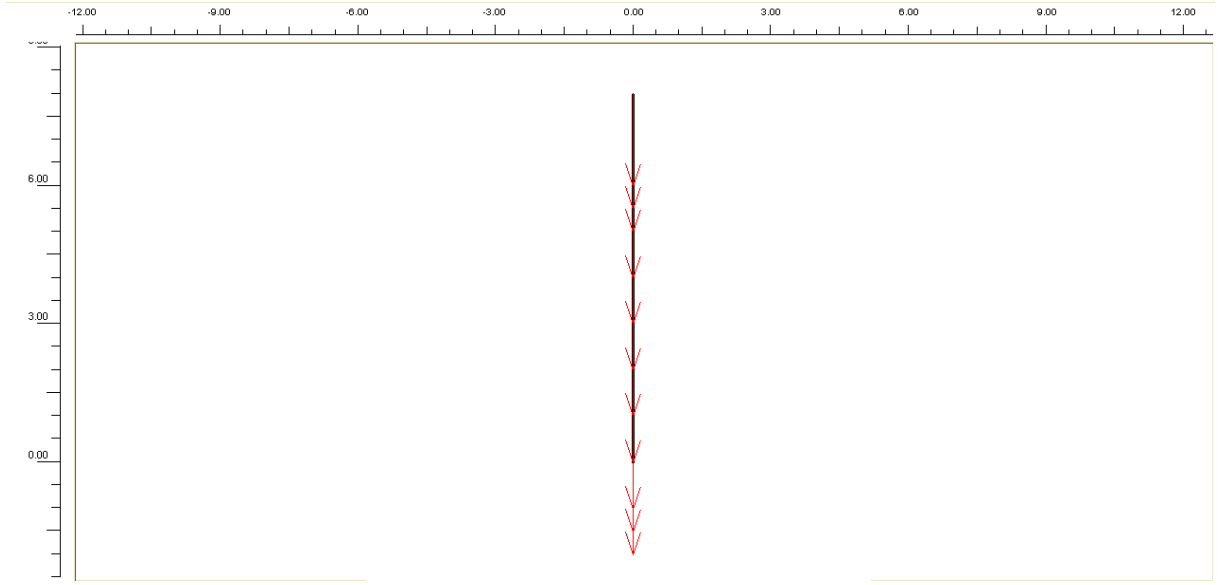
Toplam deplasmanlar  
Max  $146.98 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 5 Şekil 13 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

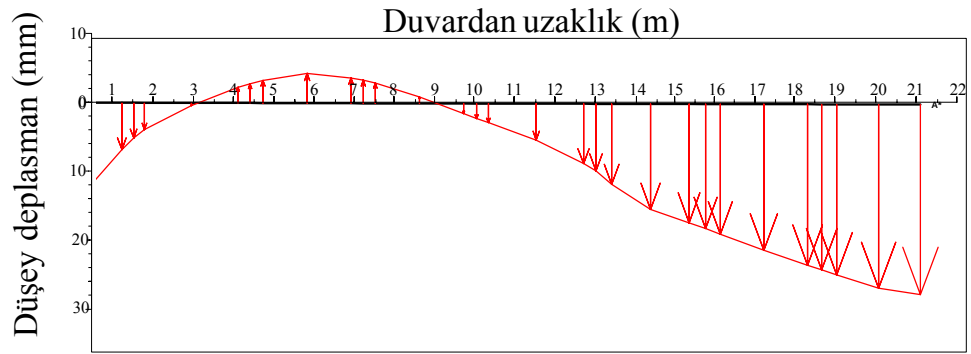


Yatay deplasmanlar  
Max  $-32.19 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 5 Şekil 14 Model 2 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı

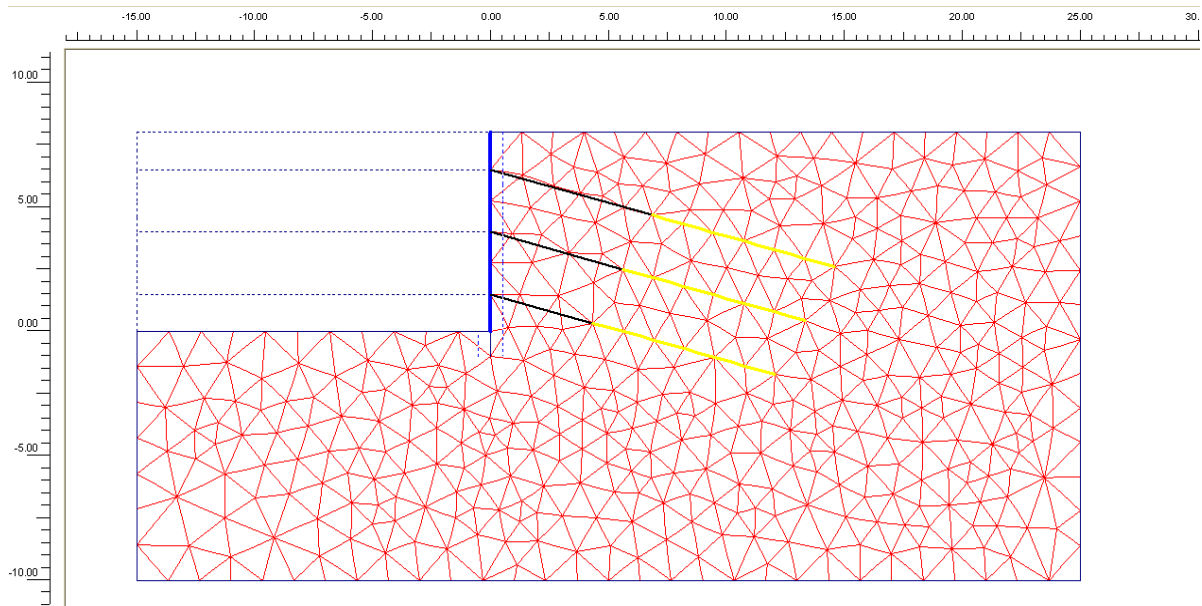


Ek 5 Şekil 15 Model 2 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



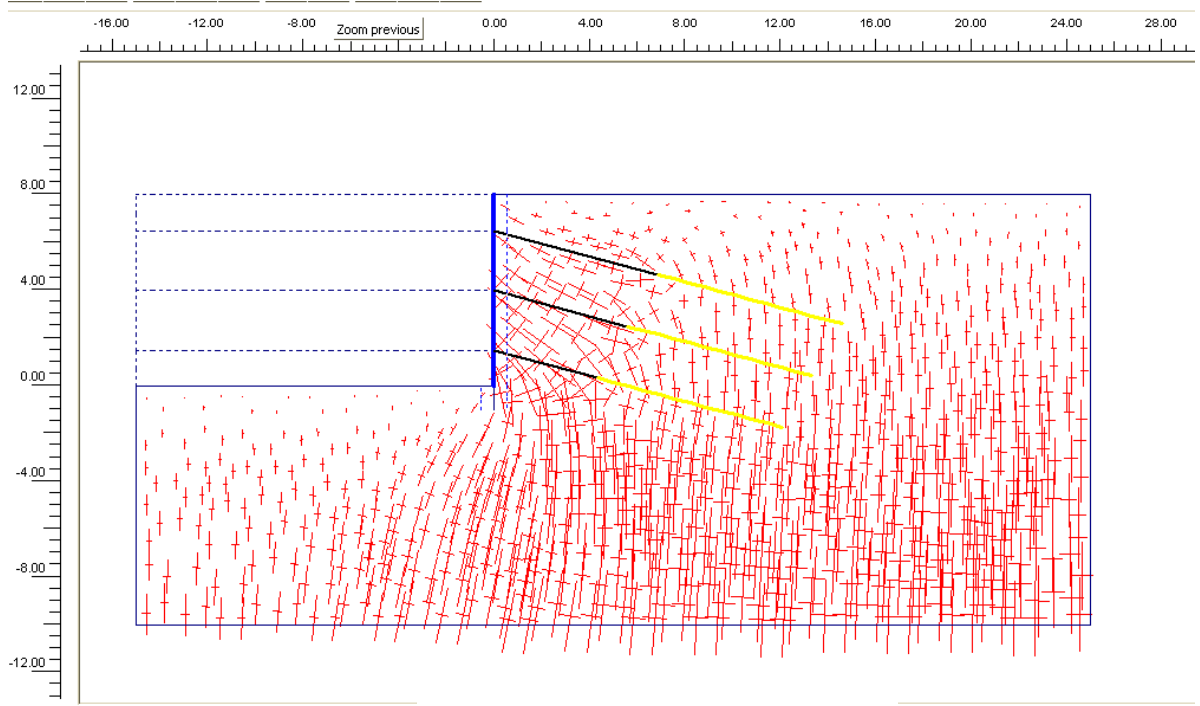
Ek 5 Şekil 16 Model 2 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

Ek 5 Şekil 17 Model 3 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=8.00 m



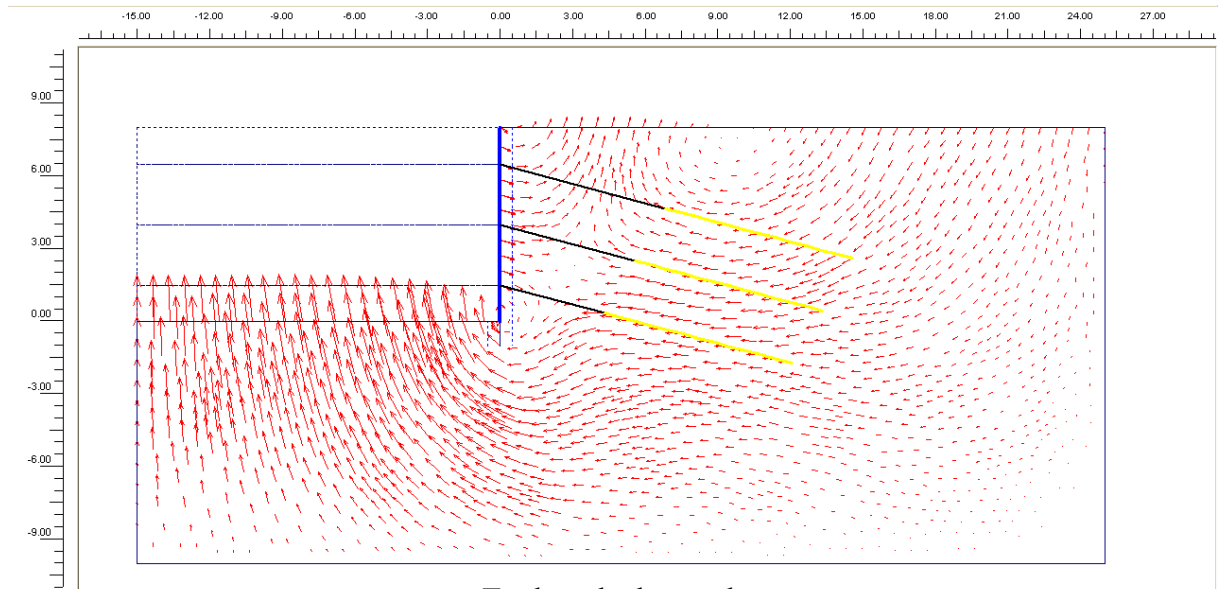
Toplam deplasman  
 $9.81 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Ek 5 Şekil 18 Model 3 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



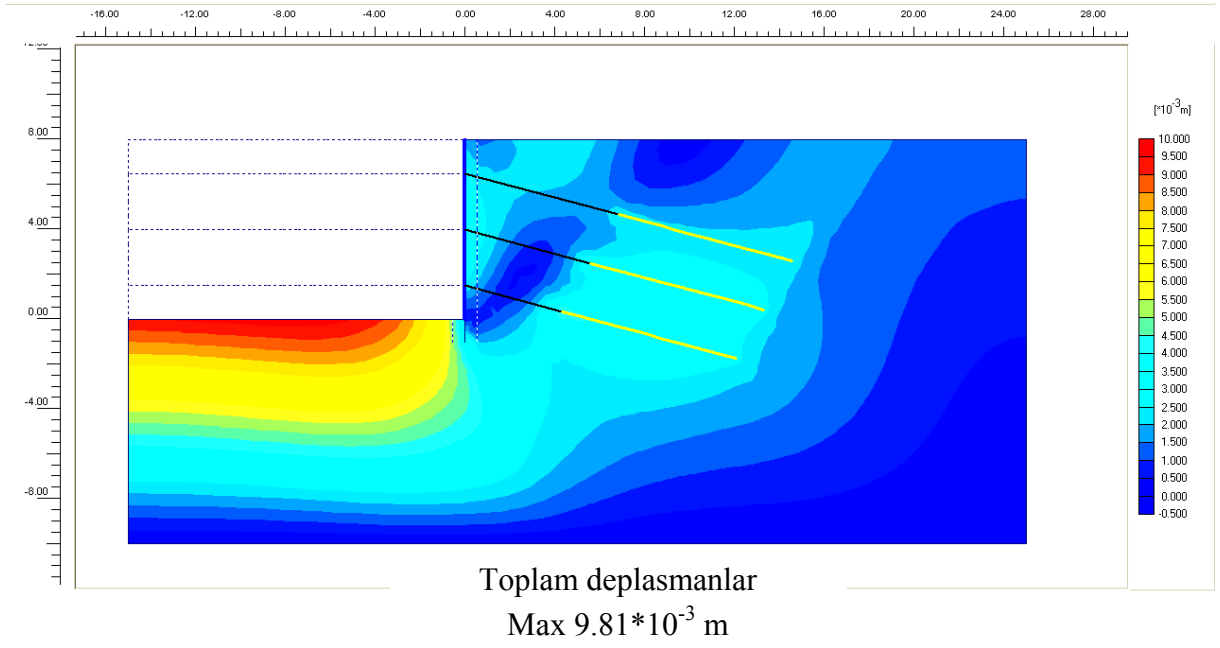
Toplam gerilmeler  
Max  $-335.73 \text{ kN/m}^2$

Ek 5 Şekil 19 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

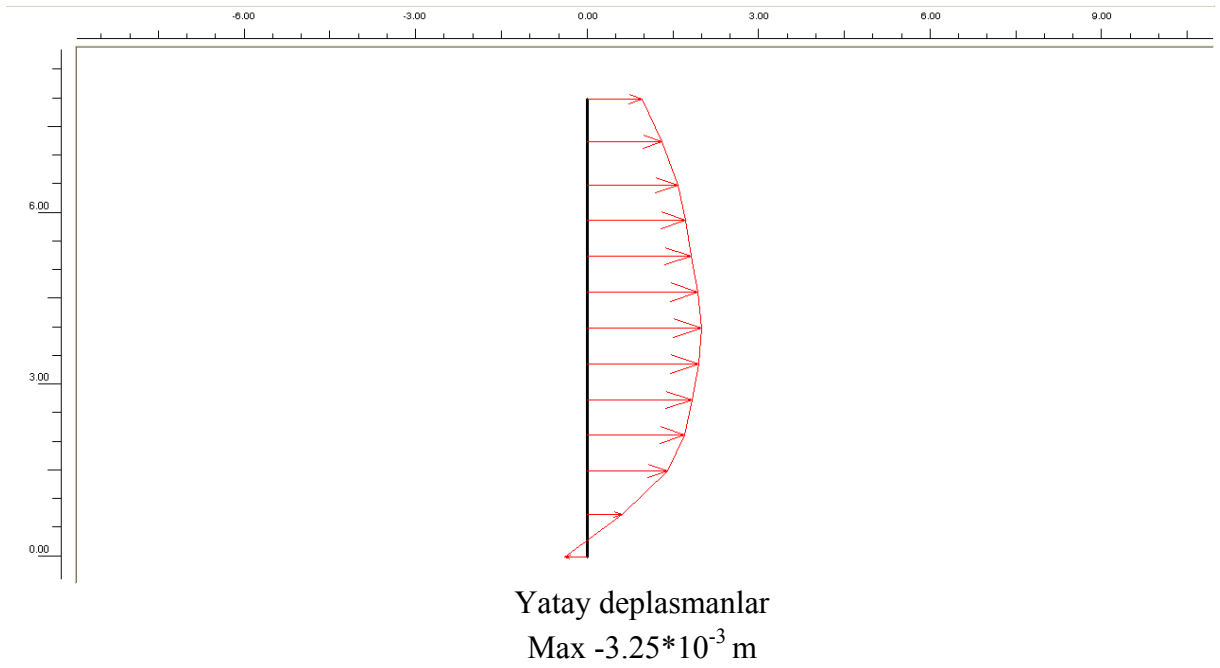


Toplam deplasmanlar  
Max  $9.81 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

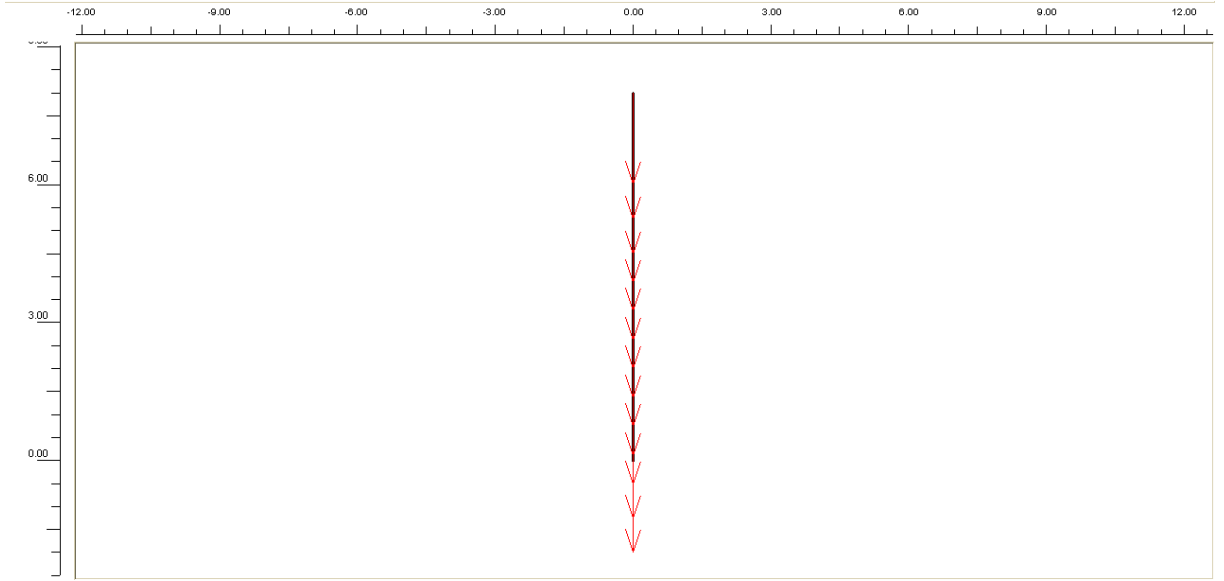
Ek 5 Şekil 20 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



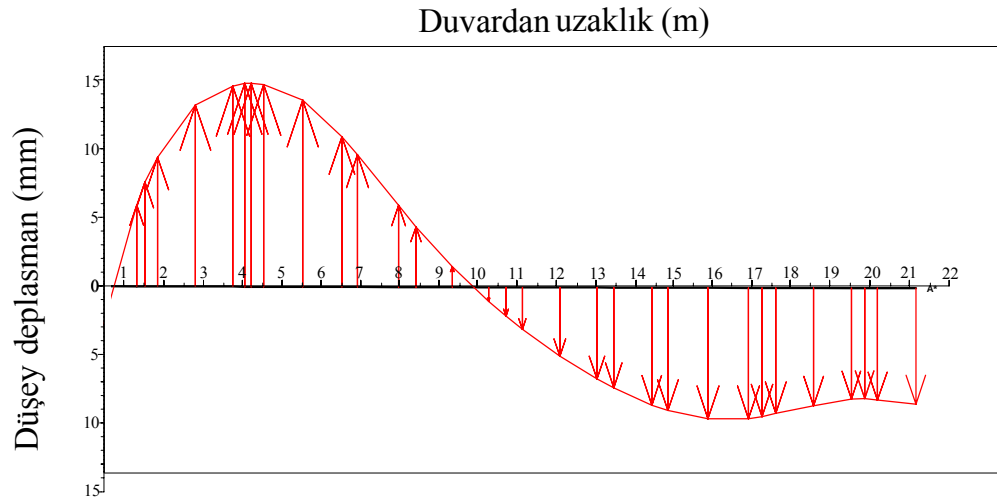
Ek 5 Şekil 21 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



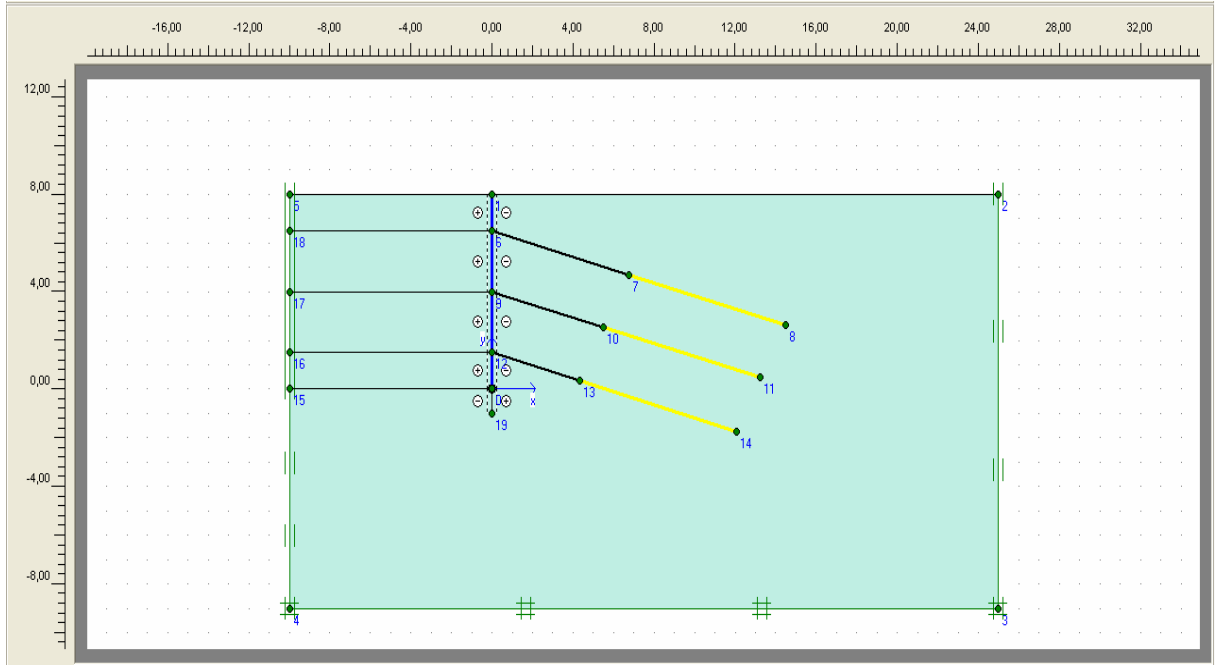
Ek 5 Şekil 22 Model 3 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



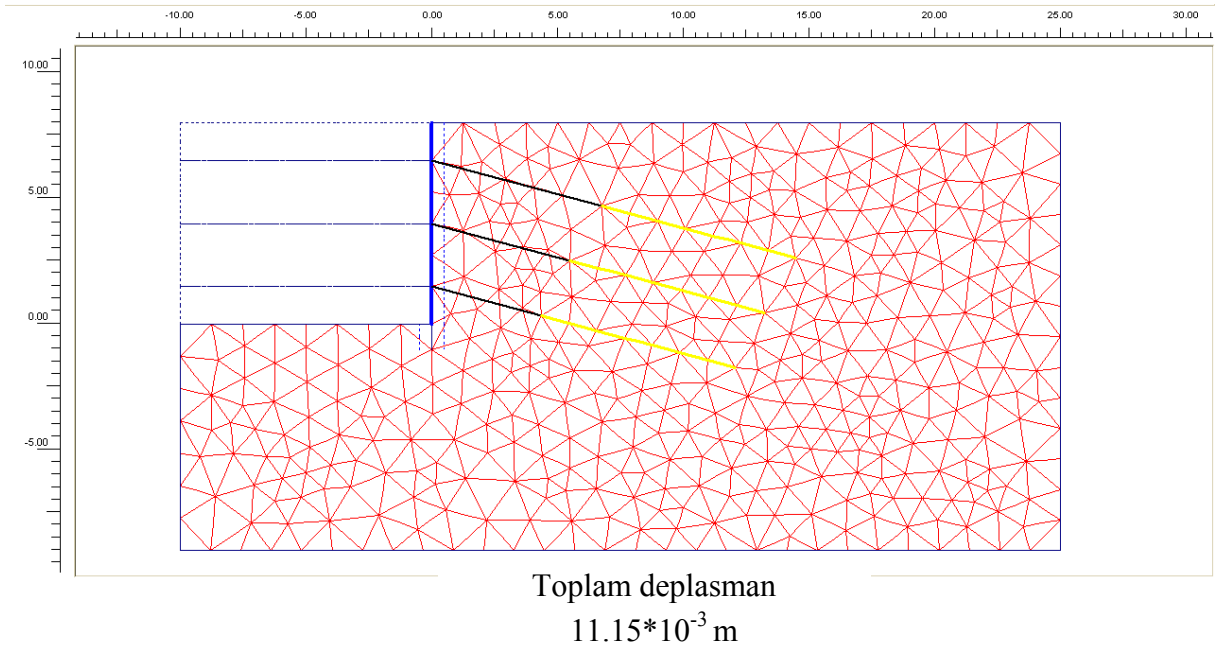
Ek 5 Şekil 23 Model 3 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



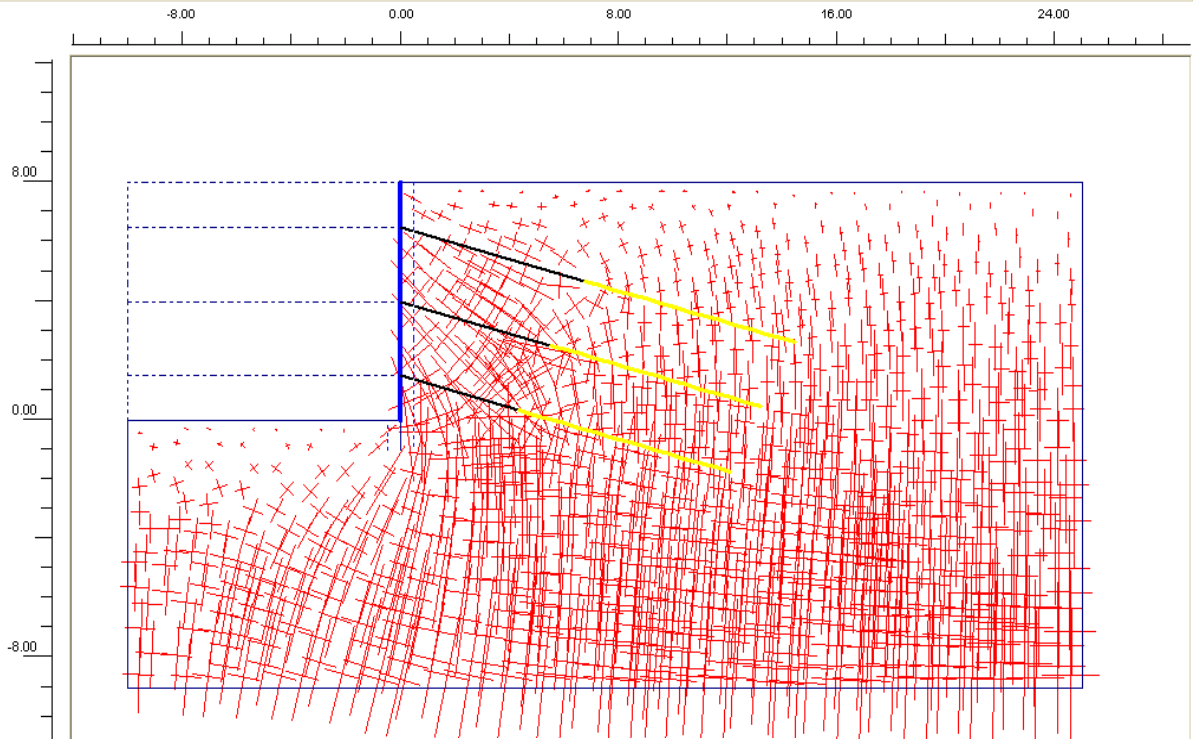
Ek 5 Şekil 24 Model 3 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar



Ek 5 Şekil 25 Model 4 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=8.00 m

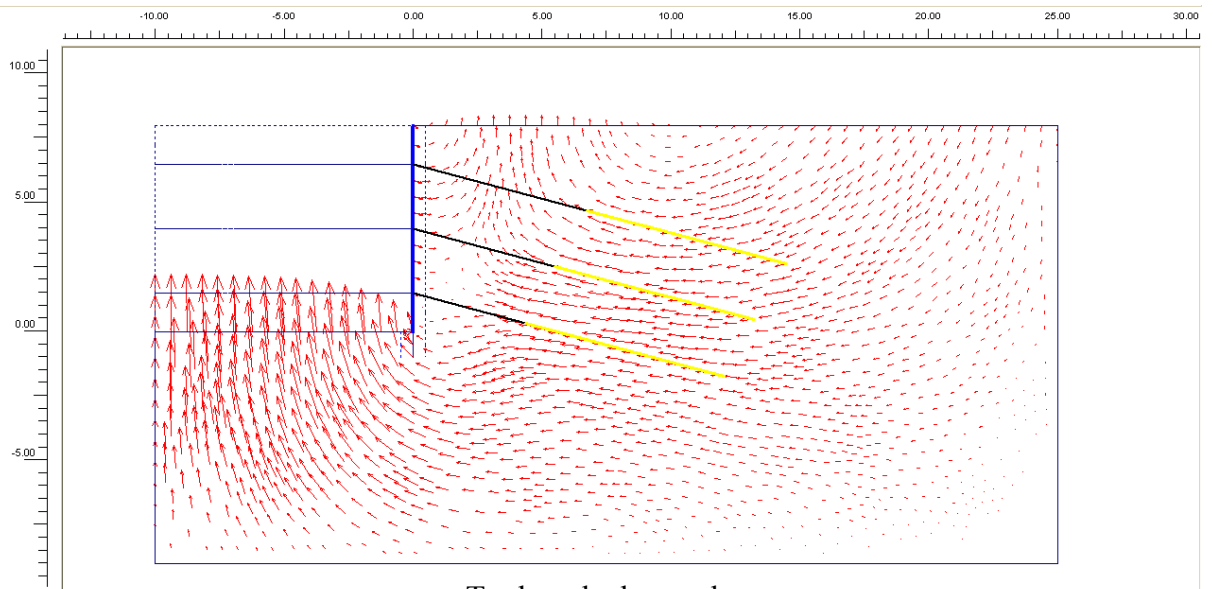


Ek 5 Şekil 26 Model 4 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



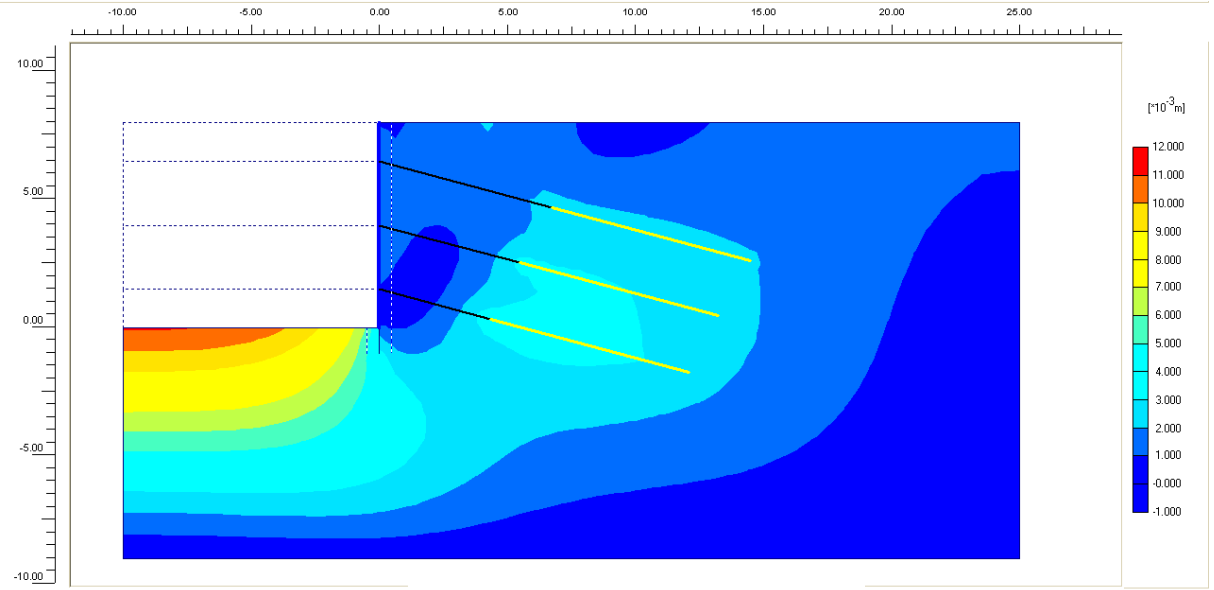
Toplam gerilmeler  
Max -241.18 kN/m<sup>2</sup>

Ek 5 Şekil 27 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

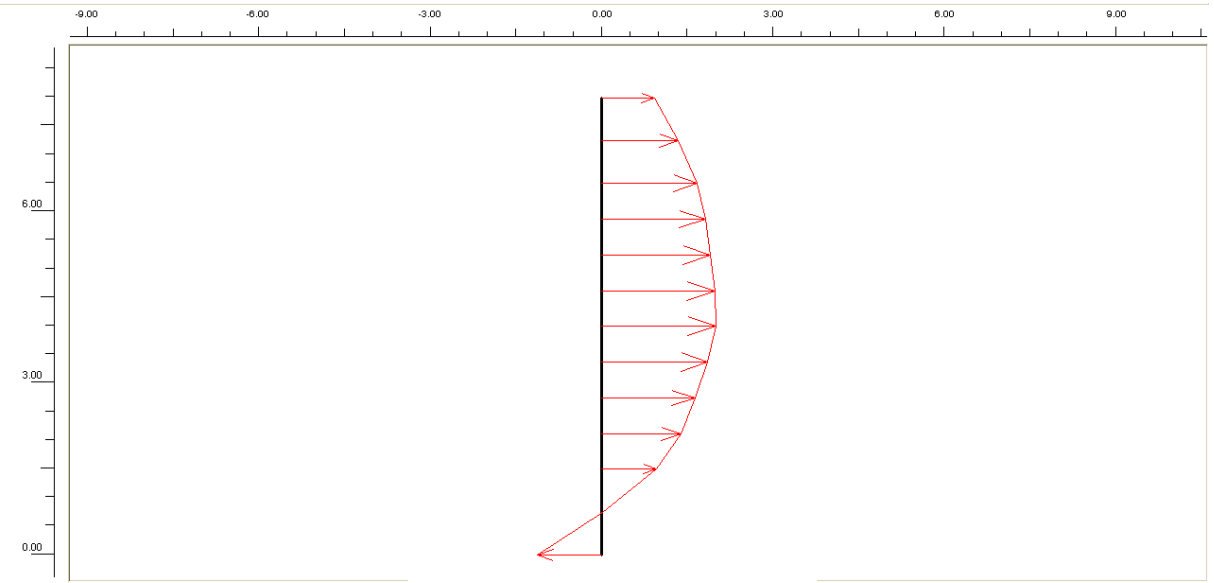


Toplam deplasmanlar  
Max 11.15\*10<sup>-3</sup> m

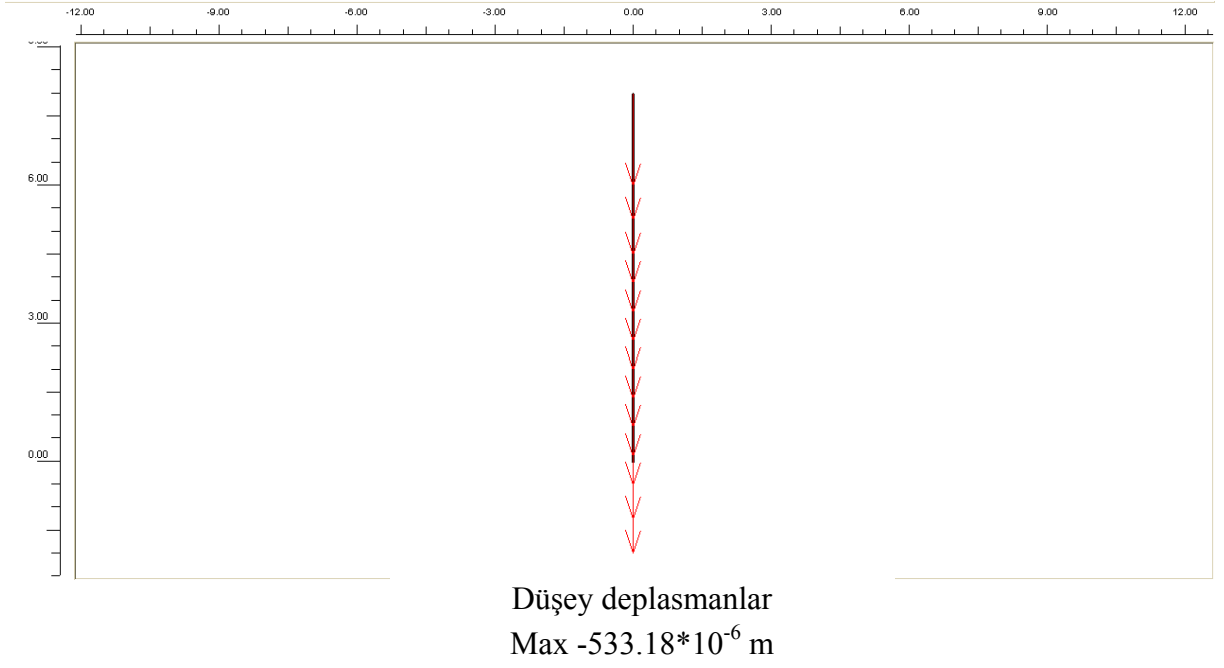
Ek 5 Şekil 28 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



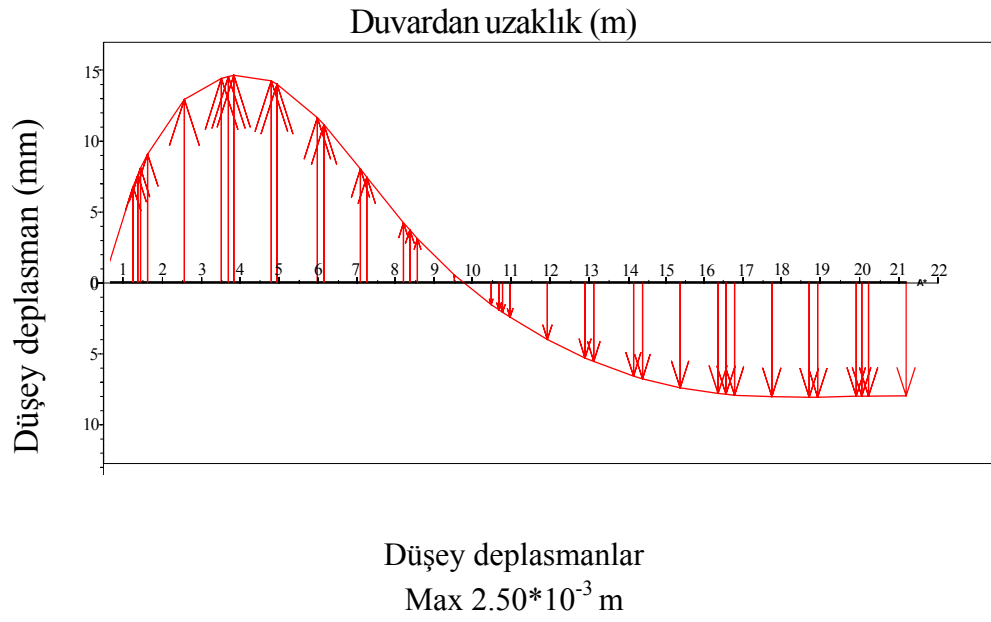
Ek 5 Şekil 29 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



Ek 5 Şekil 30 Model 4 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı

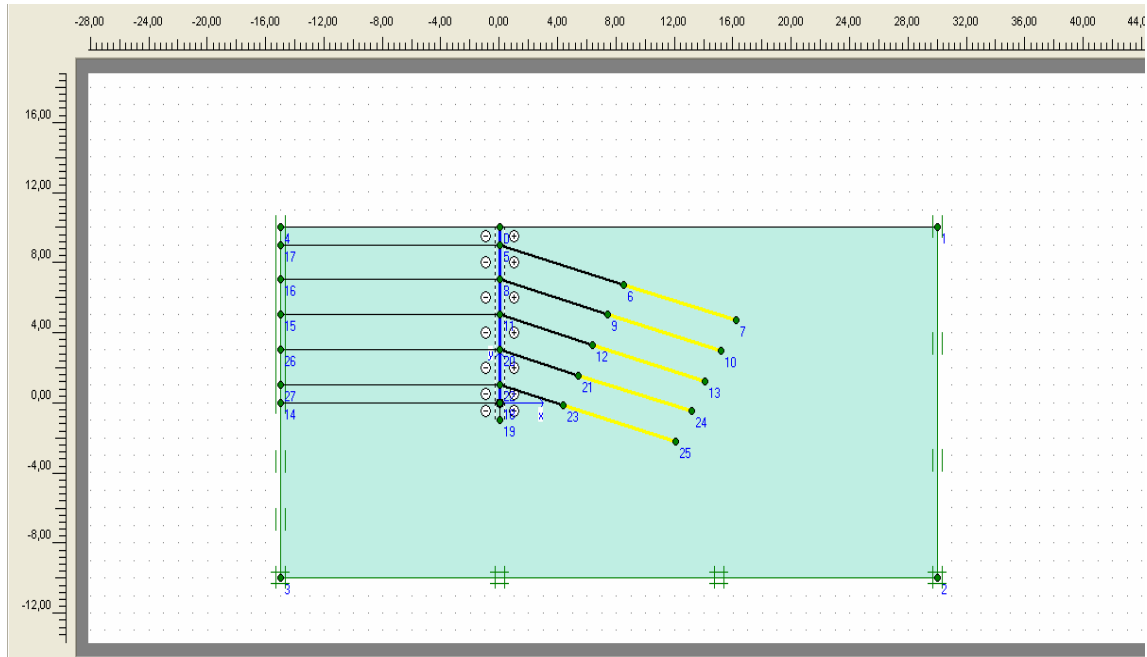


Ek 5 Şekil 31 Model 4 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı

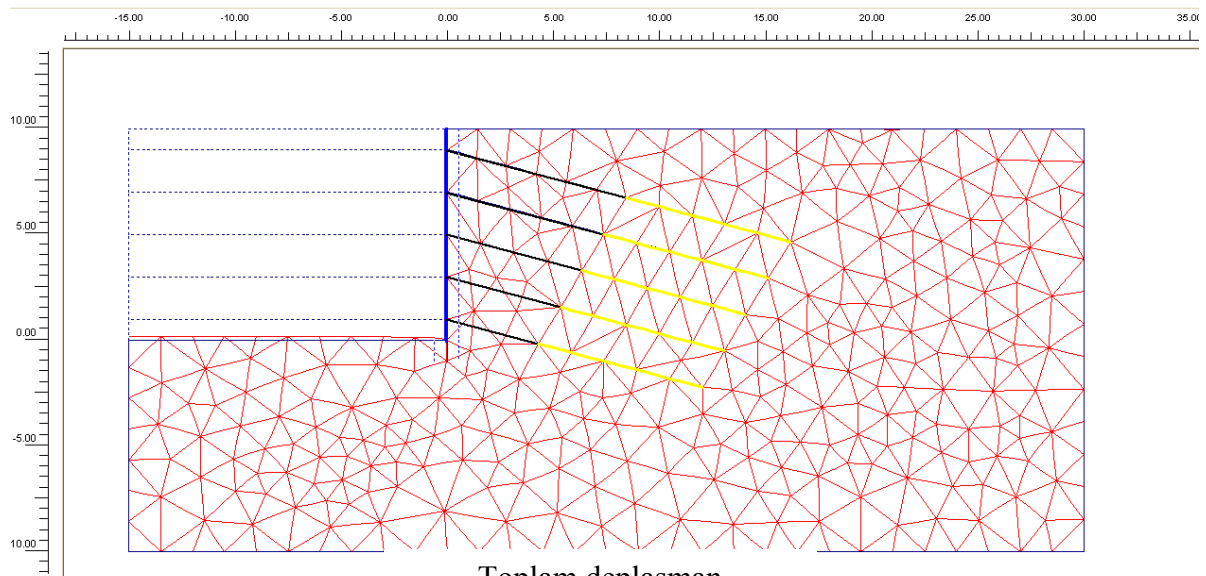


Ek 5 Şekil 32 Model 4 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

### Ek 6 H=10.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları

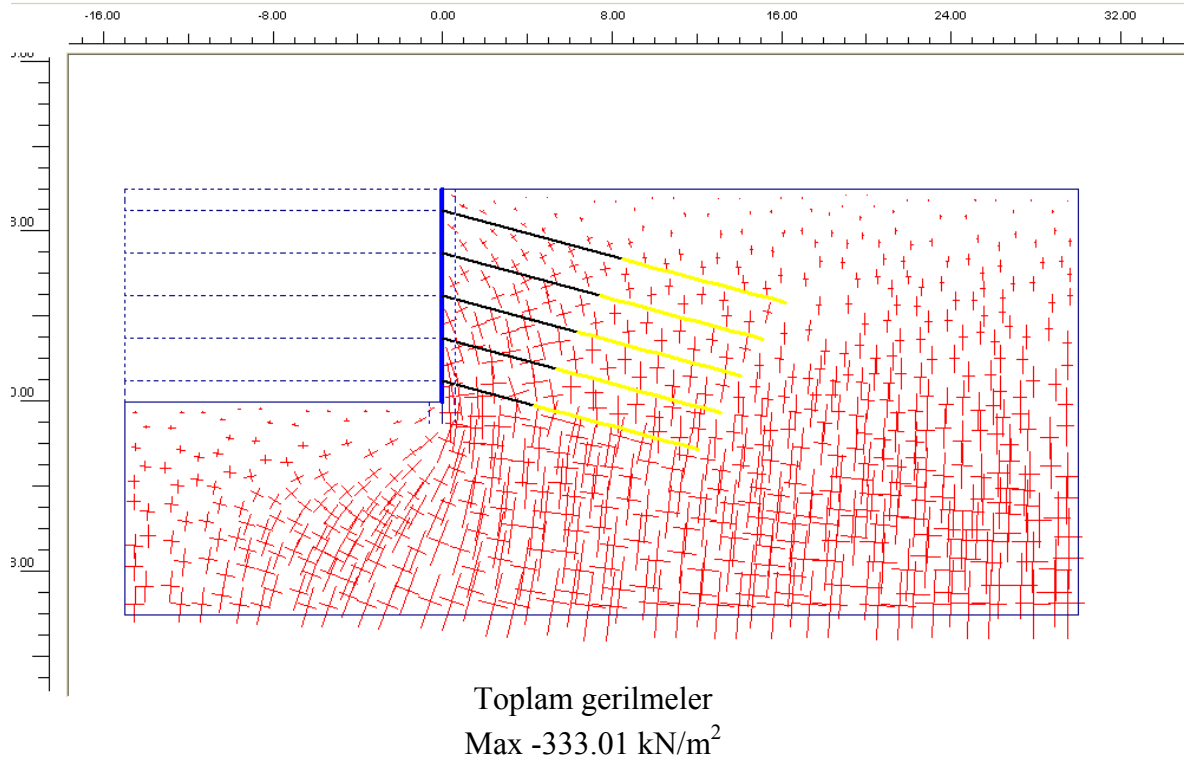


Ek 6 Şekil 1 Model 2 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=10.0 m

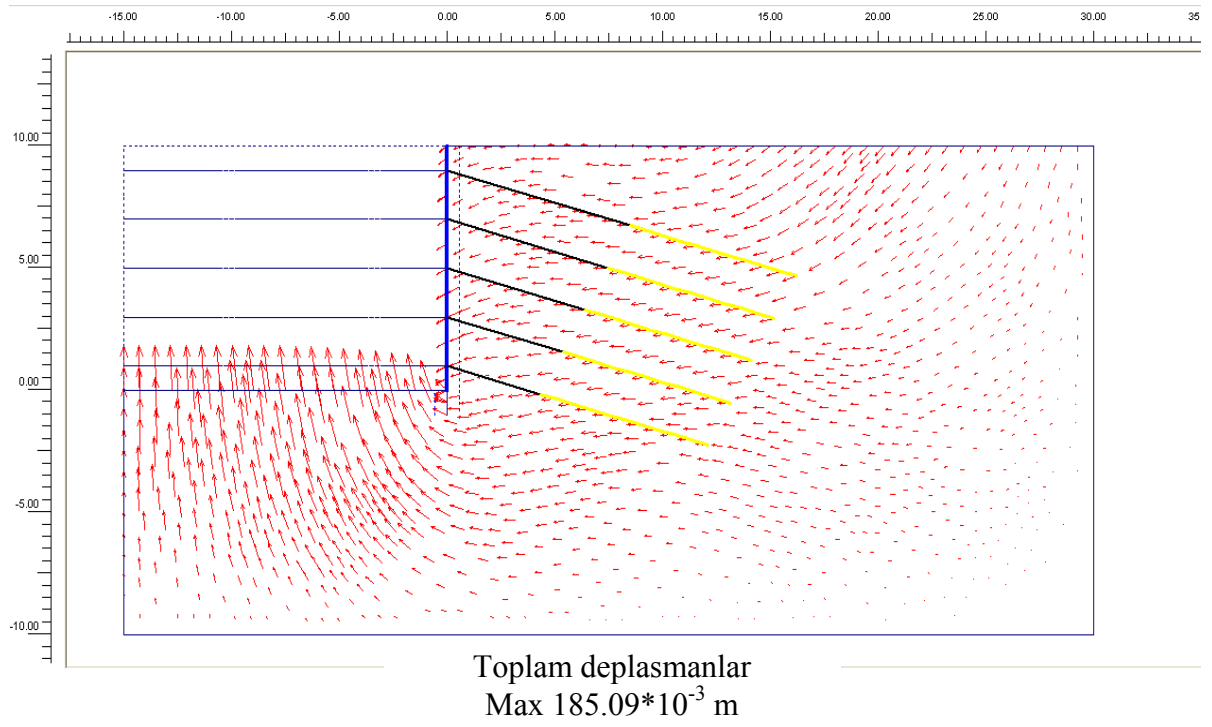


Toplam deplasman  
 $185.09 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

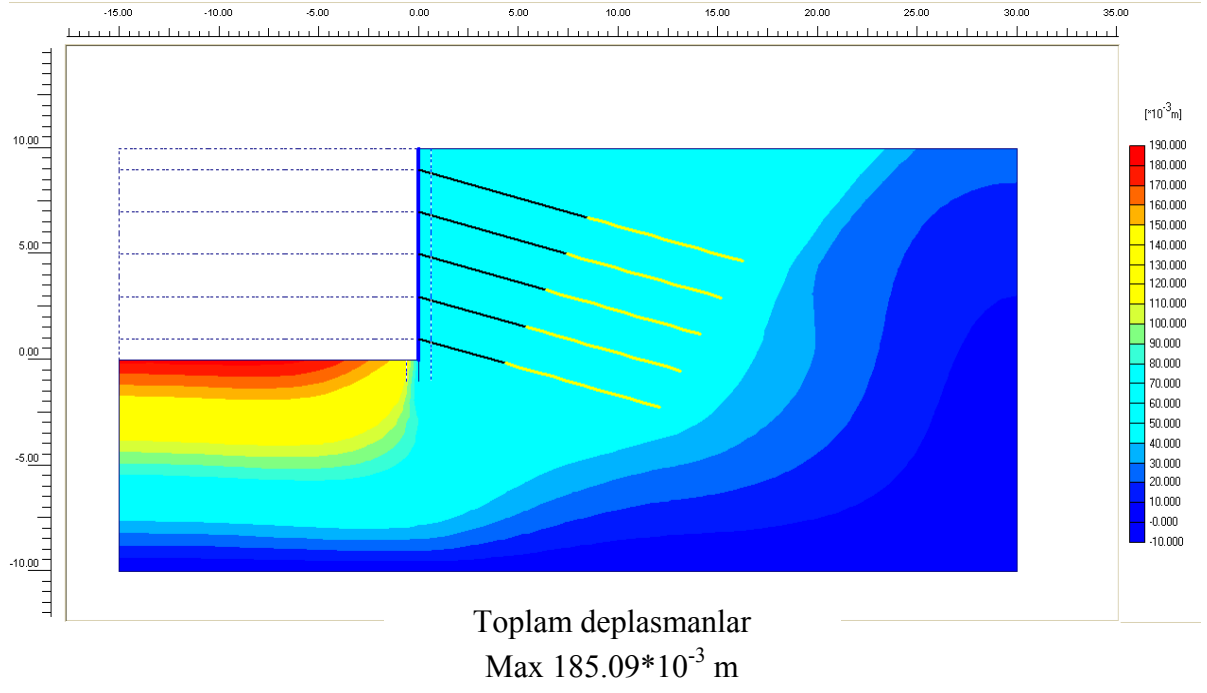
Ek 6 Şekil 2 Model 2 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



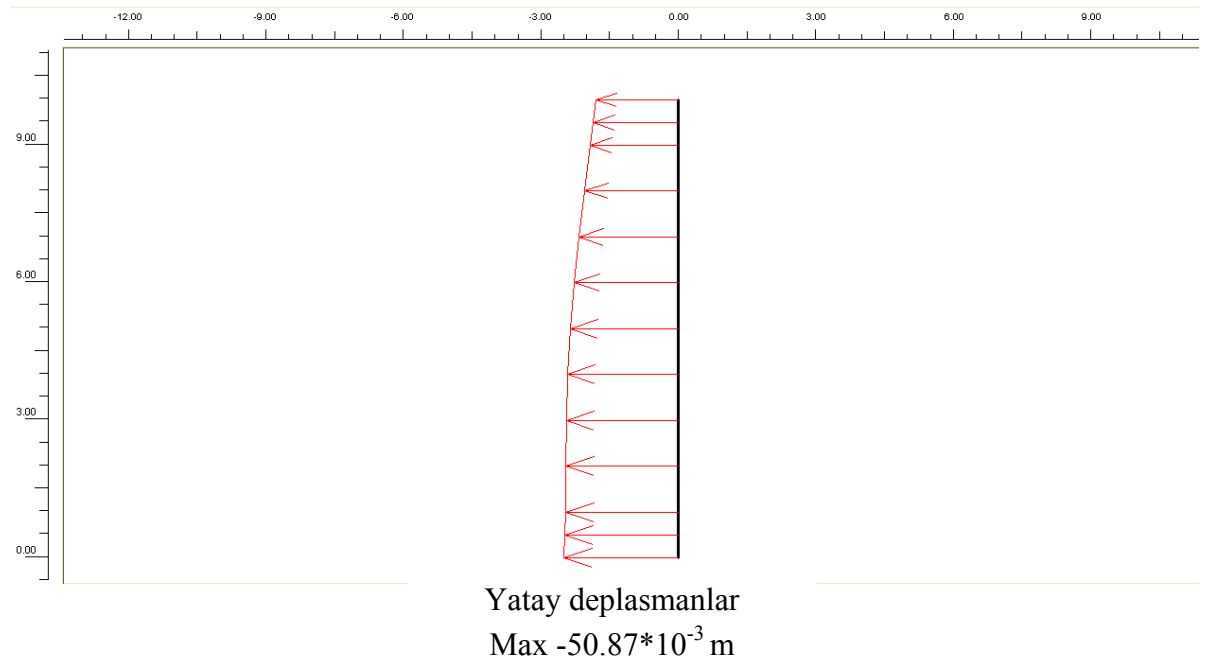
Ek 6 Şekil 3 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



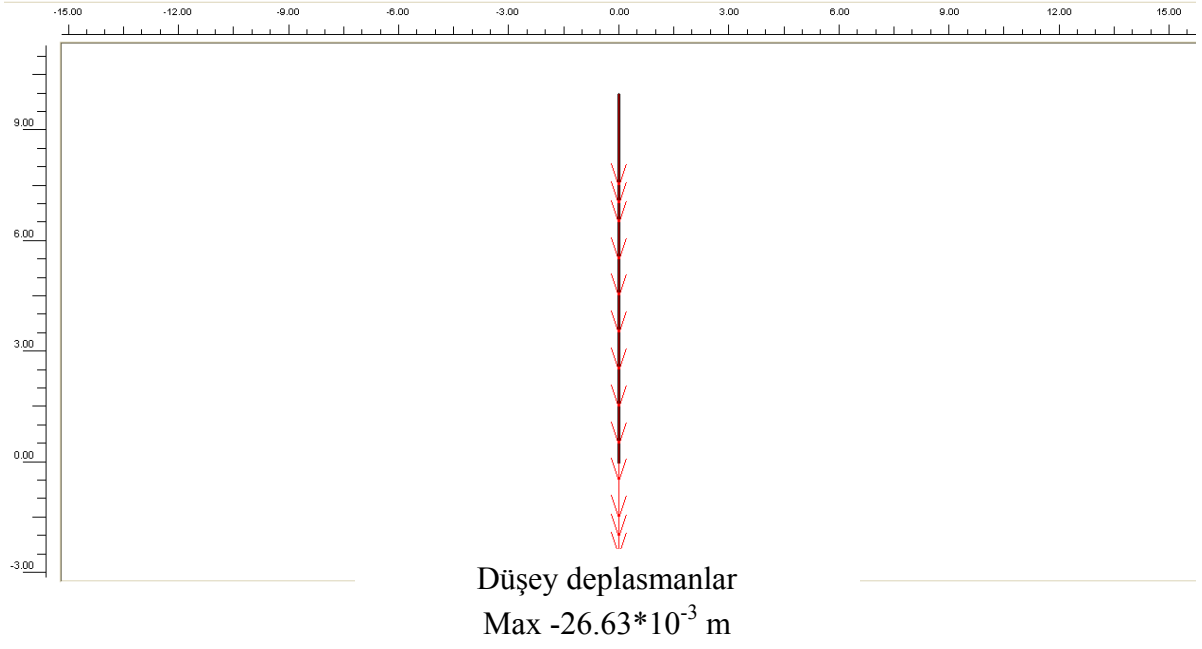
Ek 6 Şekil 4 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



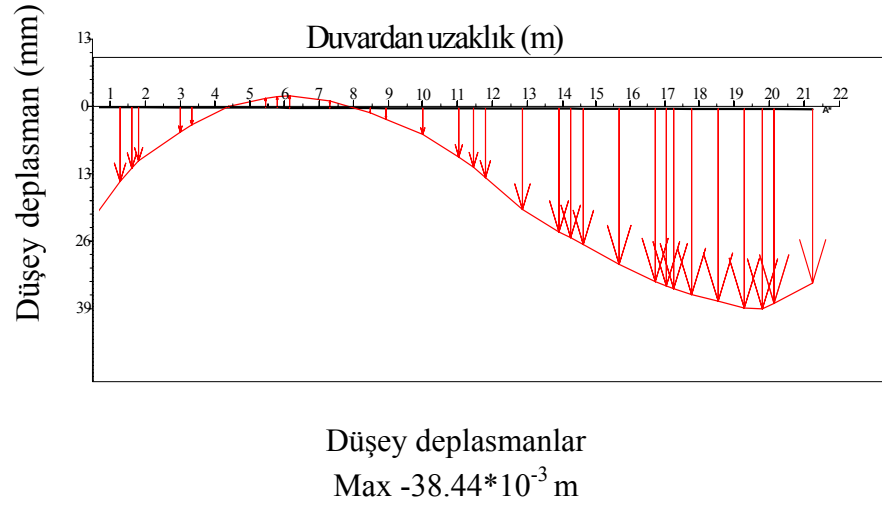
Ek 6 Şekil 5 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



Ek 6 Şekil 6 Model 2 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı

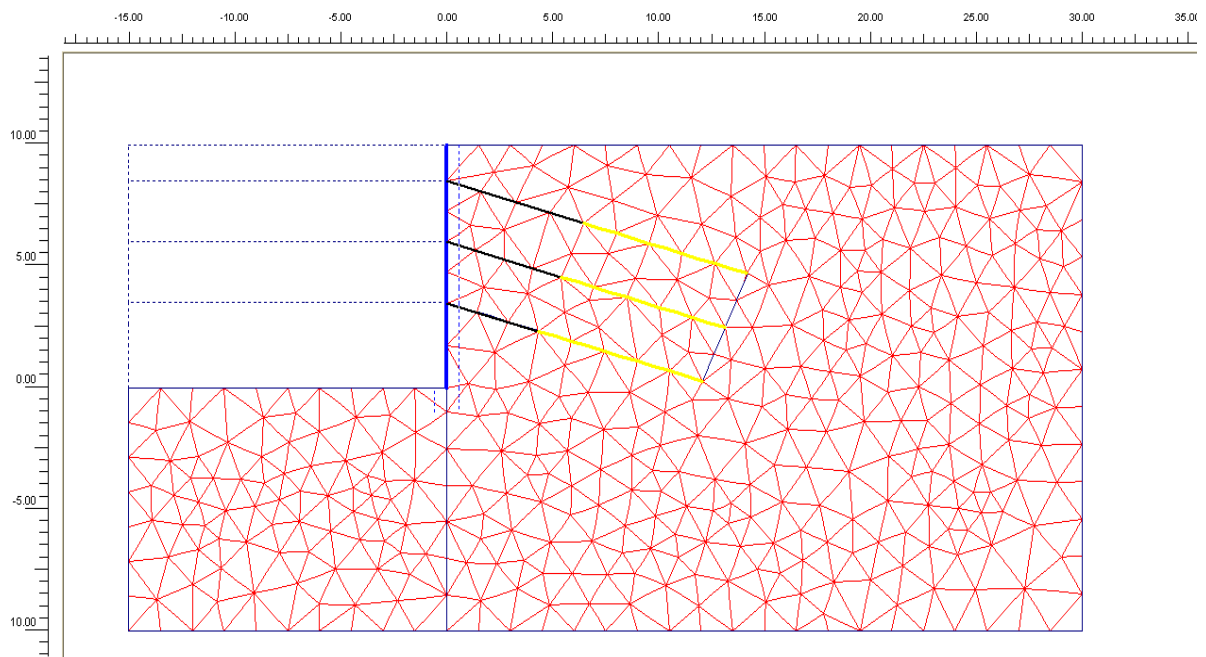


Ek 6 Şekil 7 Model 2 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



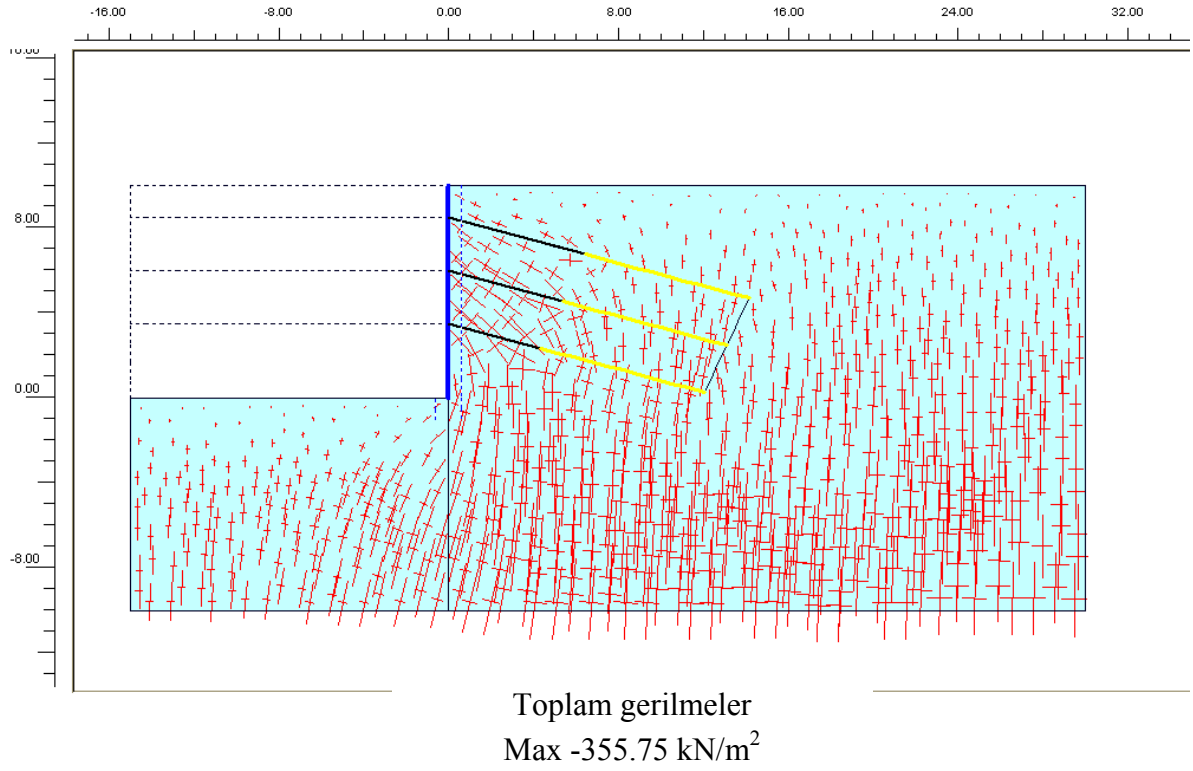
Ek 6 Şekil 8 Model 2 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

Ek 6 Şekil 9 Model 3 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=10.0 m

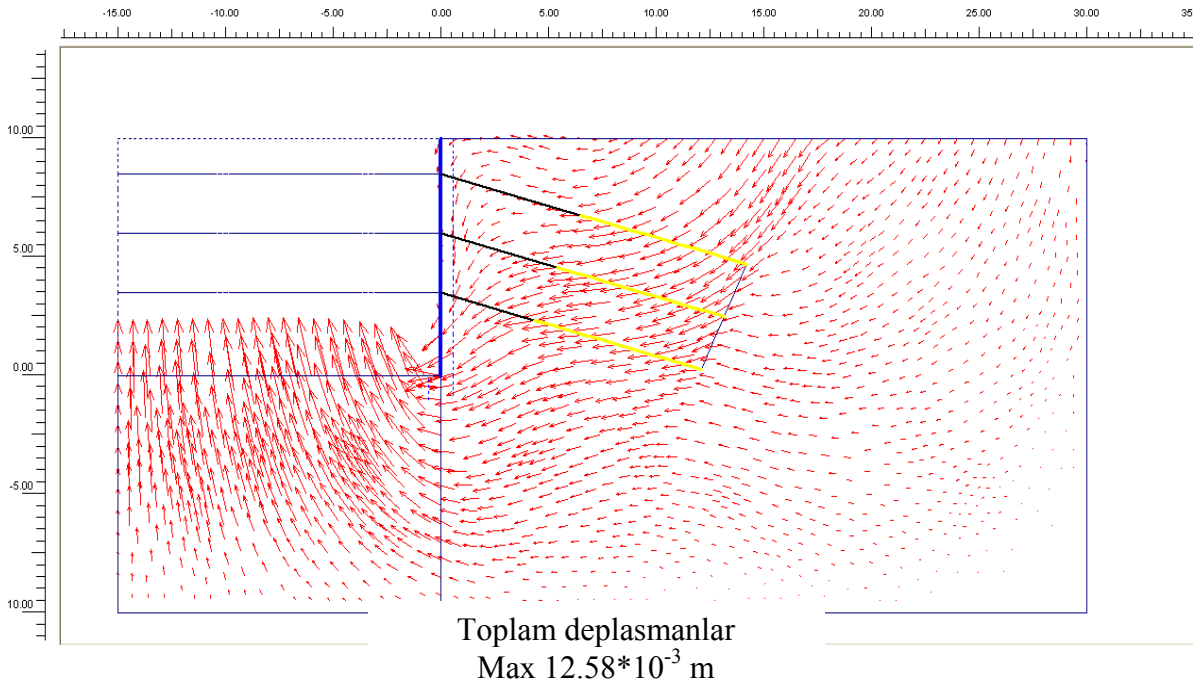


Toplam deplasman  
 $12.58 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

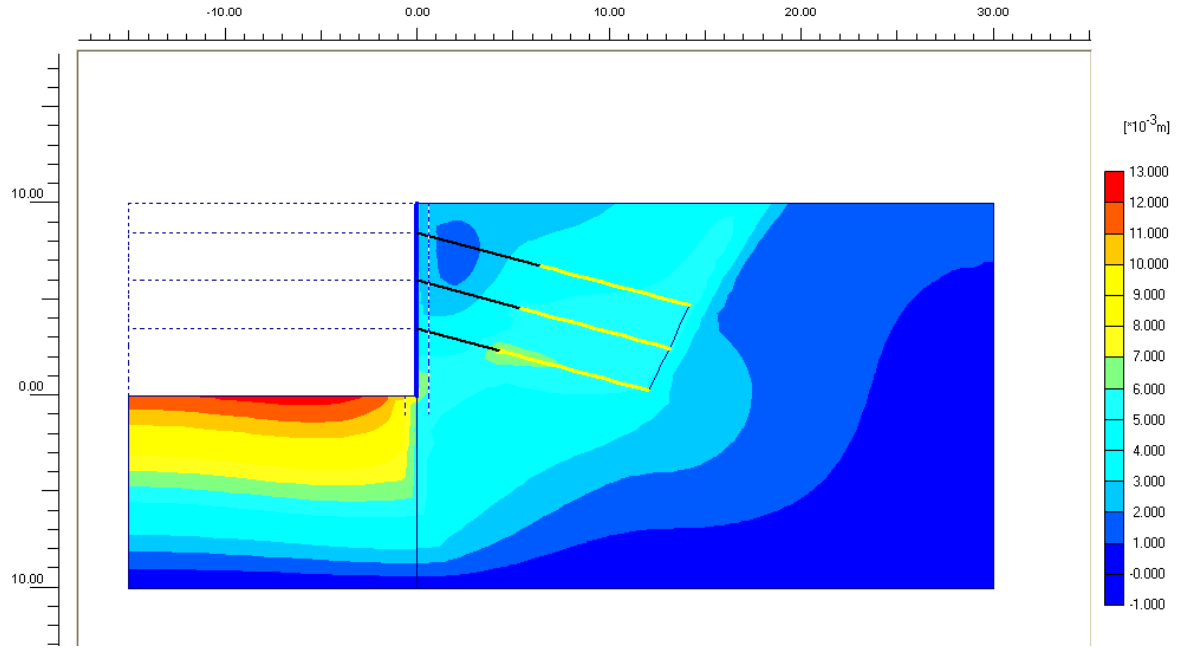
Ek 6 Şekil 10 Model 3 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



Ek 6 Şekil 11 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

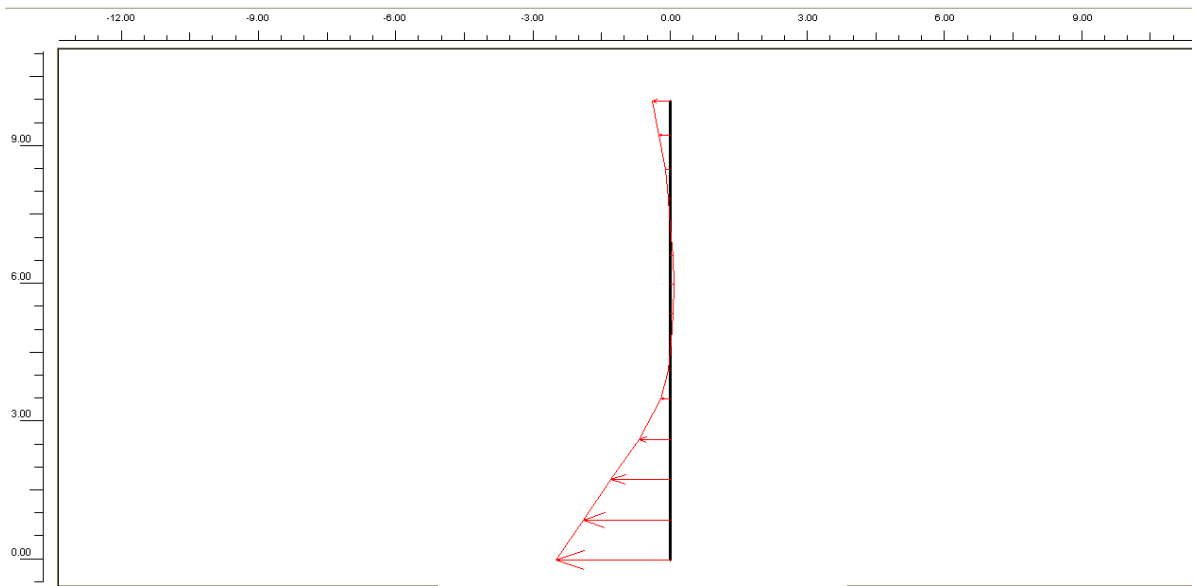


Ek 6 Şekil 12 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



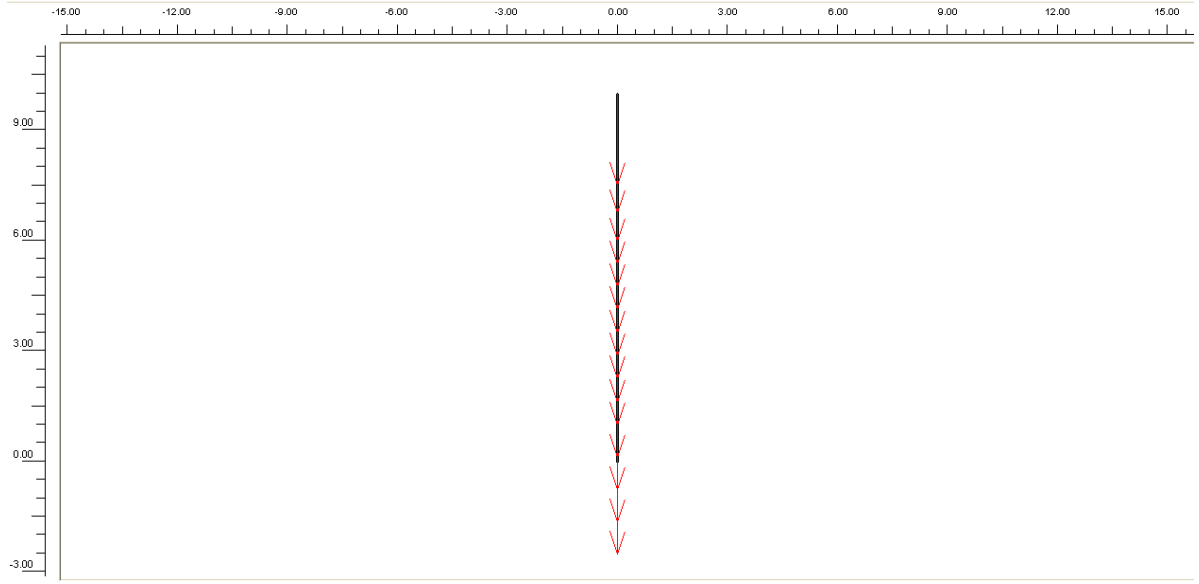
Toplam deplasmanlar  
Max  $12.58 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 6 Şekil 13 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



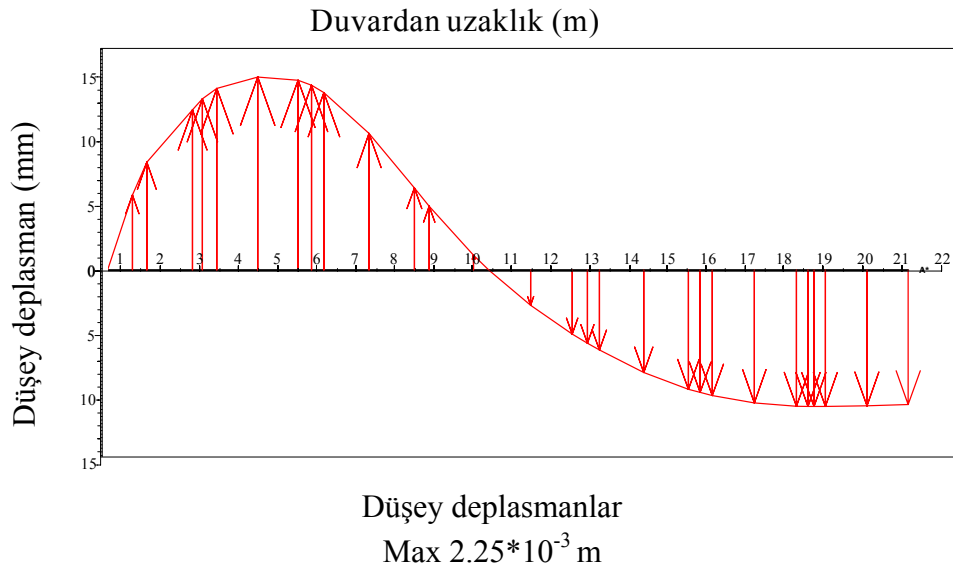
Yatay deplasmanlar  
Max  $-8.25 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 6 Şekil 14 Model 3 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



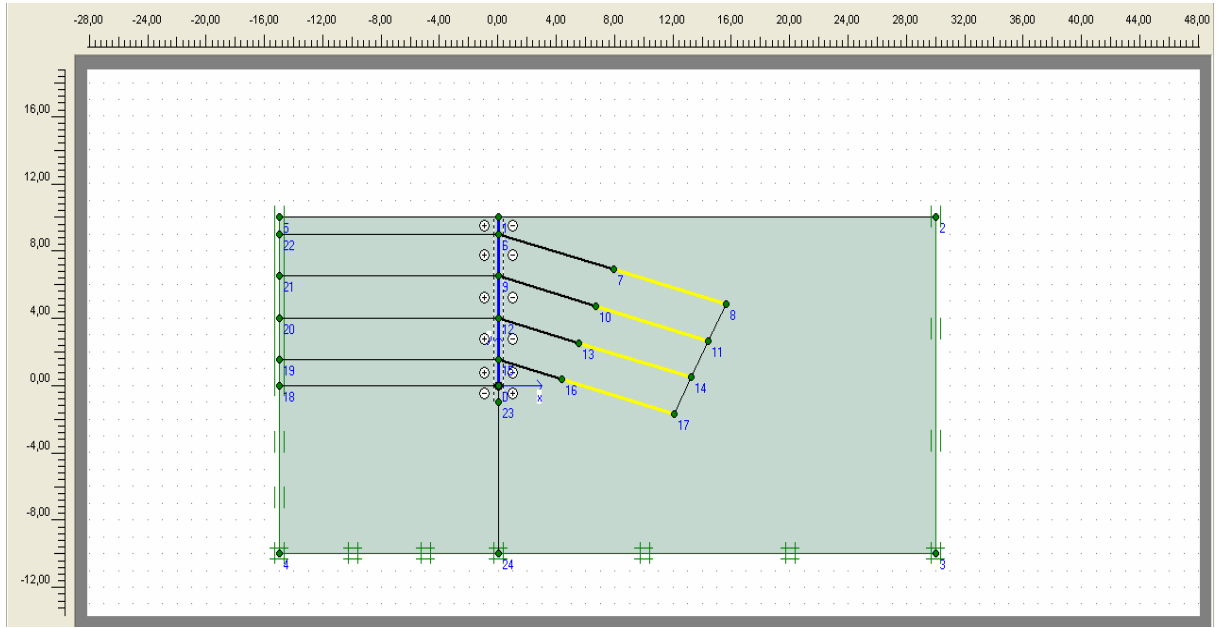
Düşey deplasmanlar  
Max  $-3.36 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 6 Şekil 15 Model 3 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı

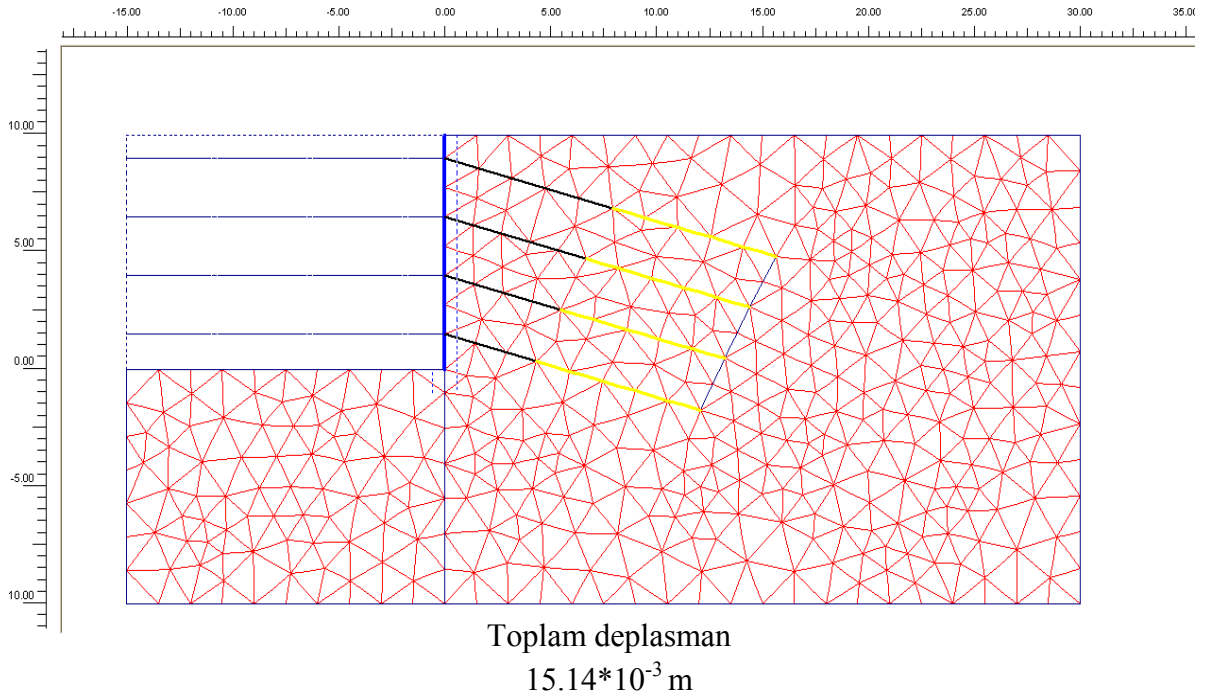


Düşey deplasmanlar  
Max  $2.25 \cdot 10^{-3}$  m

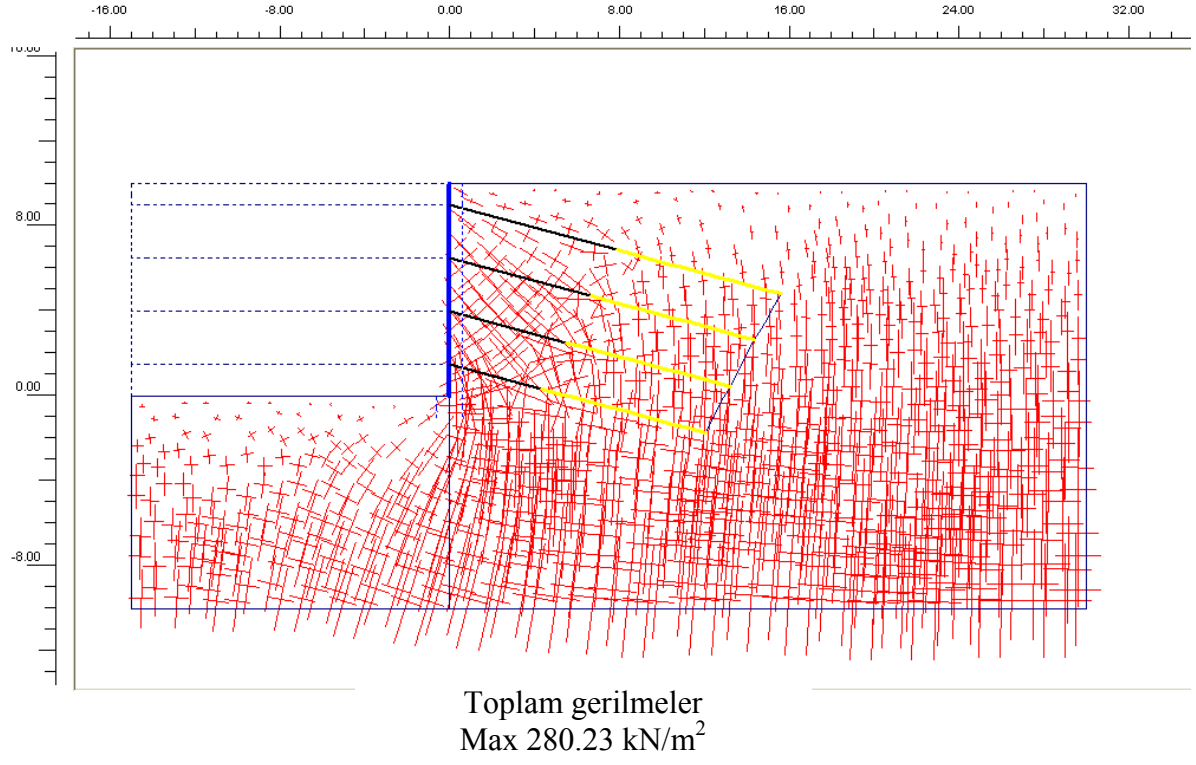
Ek 6 Şekil 16 Model 3 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar



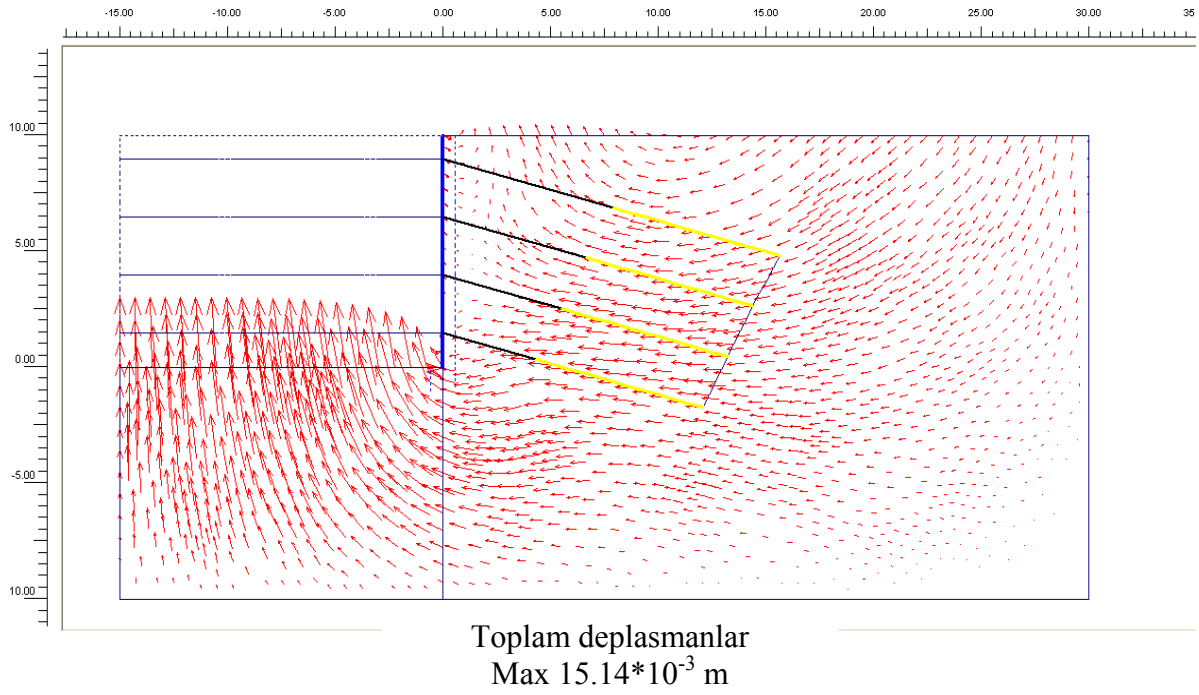
Ek 6 Şekil 17 Model 4 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=10.0 m



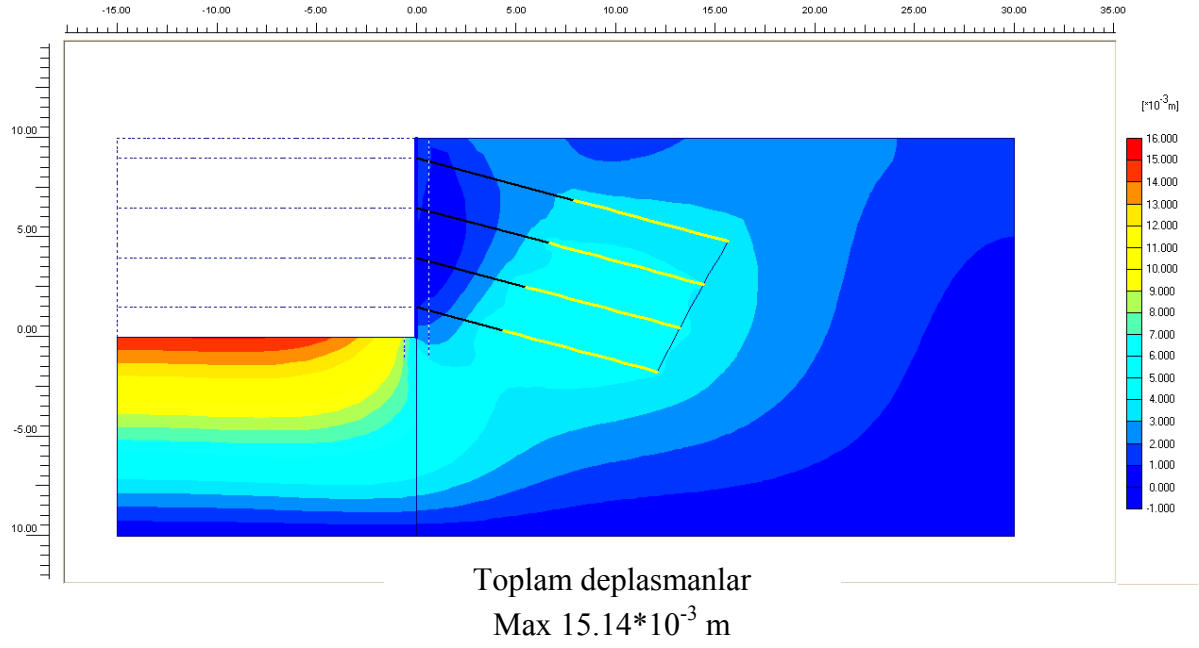
Ek 5 Şekil 18 Model 4 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



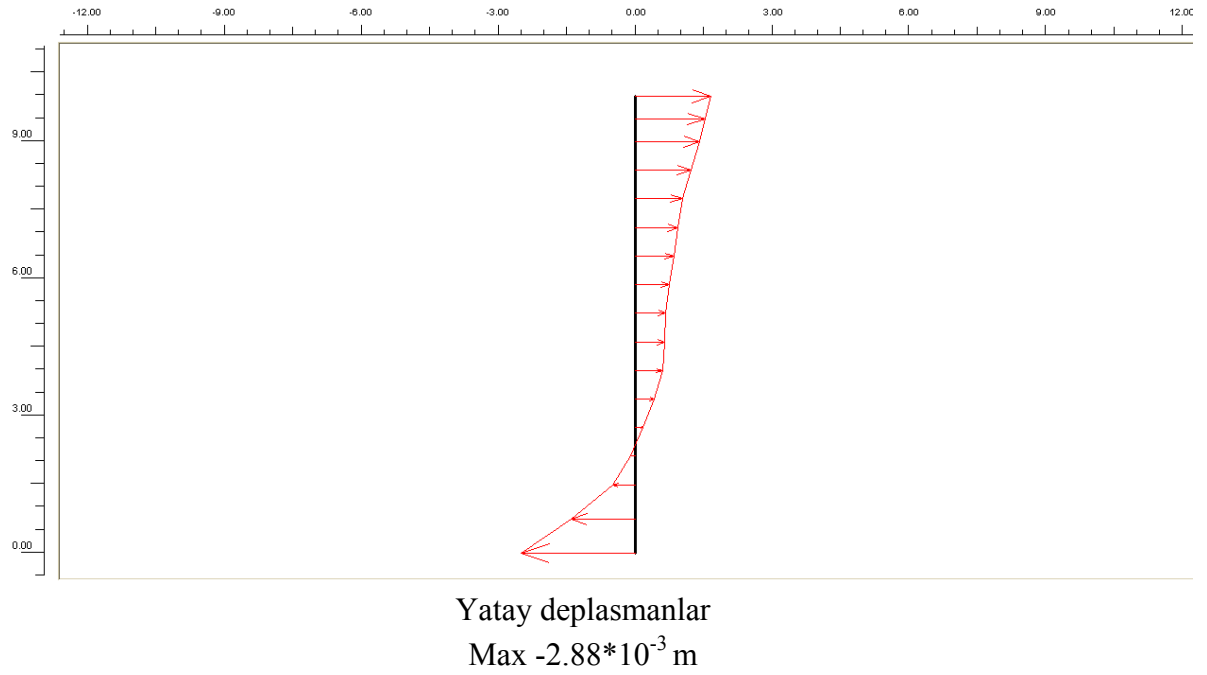
Ek 6 Şekil 19 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



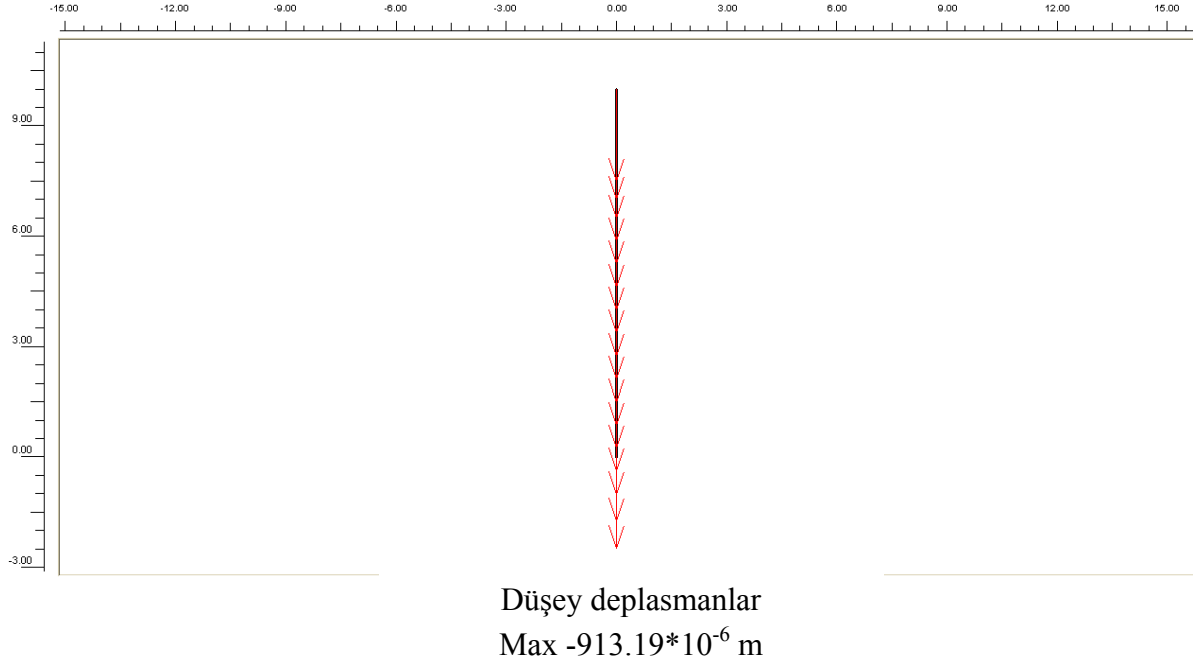
Ek 6 Şekil 20 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



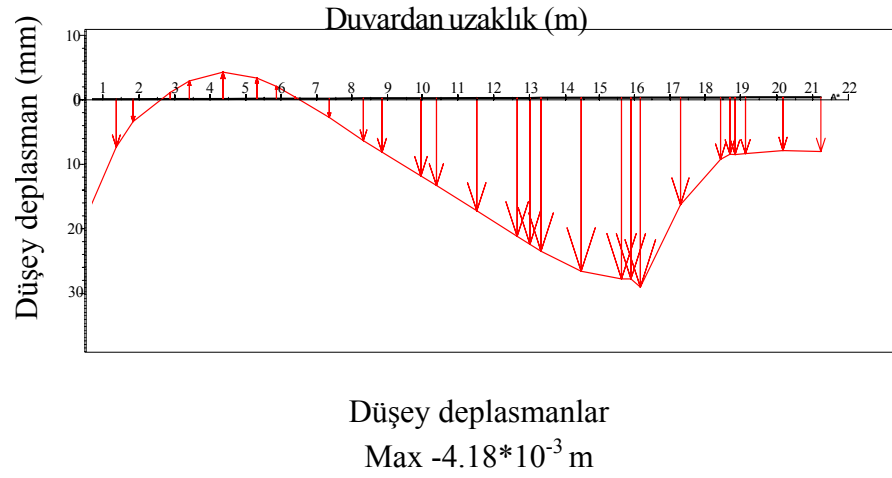
Ek 6 Şekil 21 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



Ek 6 Şekil 22 Model 4 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı

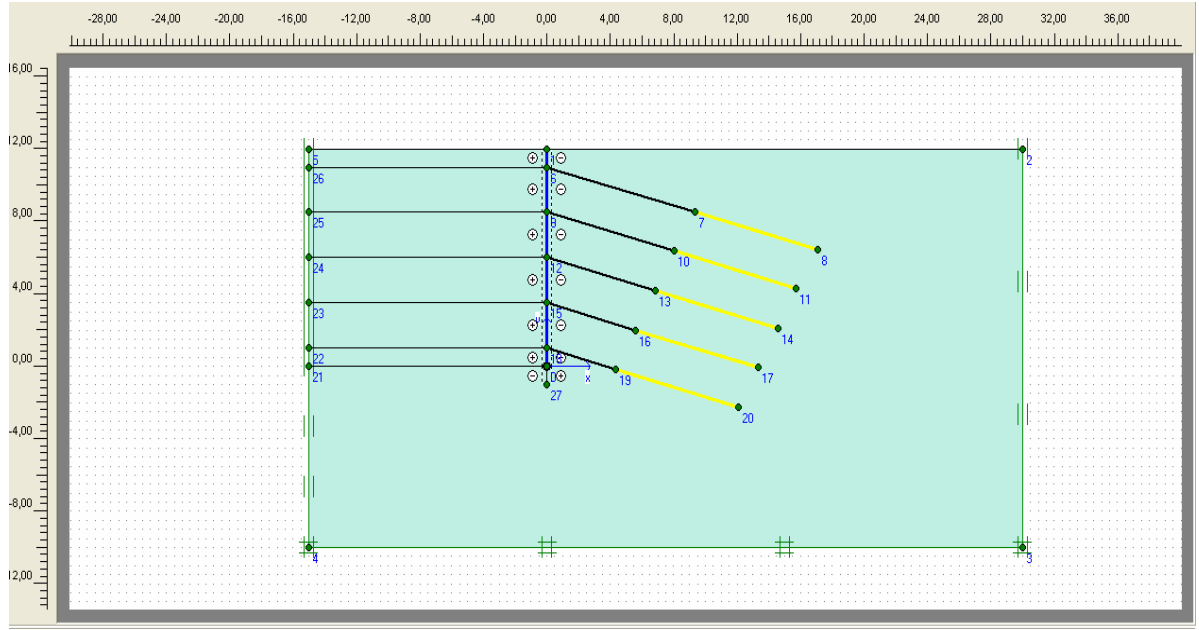


Ek 6 Şekil 23 Model 4 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı

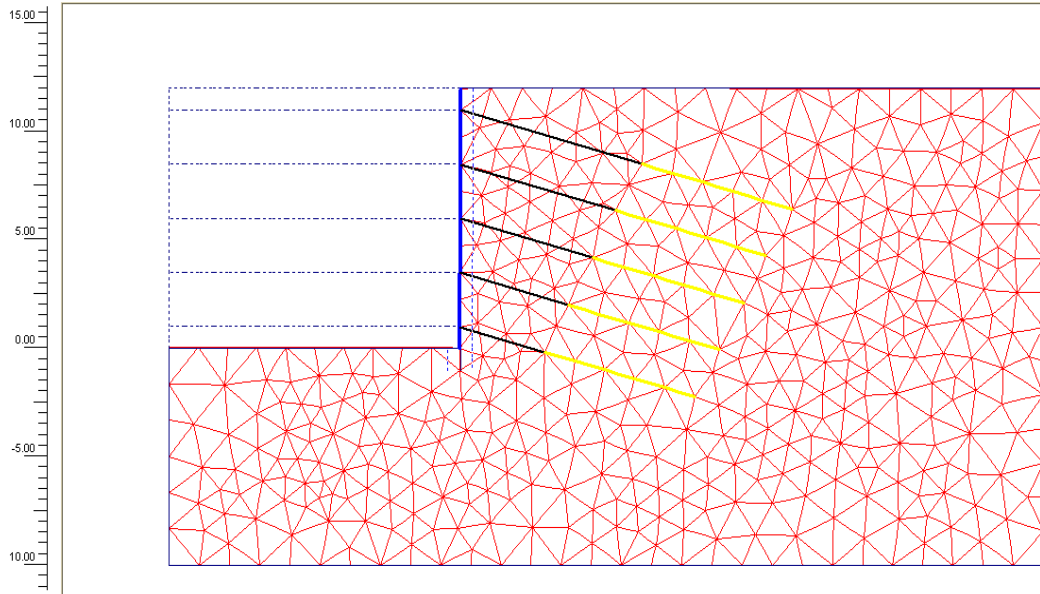


Ek 6 Şekil 24 Model 4 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

## Ek 7 H=12.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları

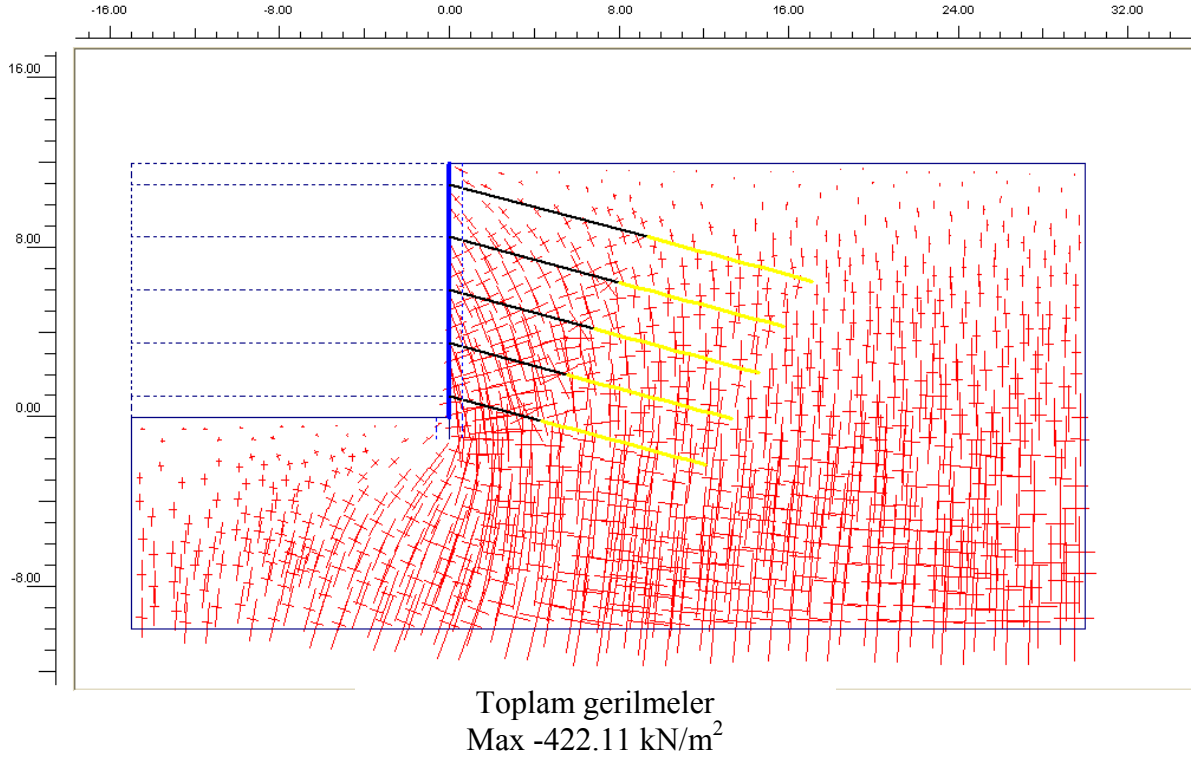


Ek 7 Şekil 1 Model 1 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=12.0 m

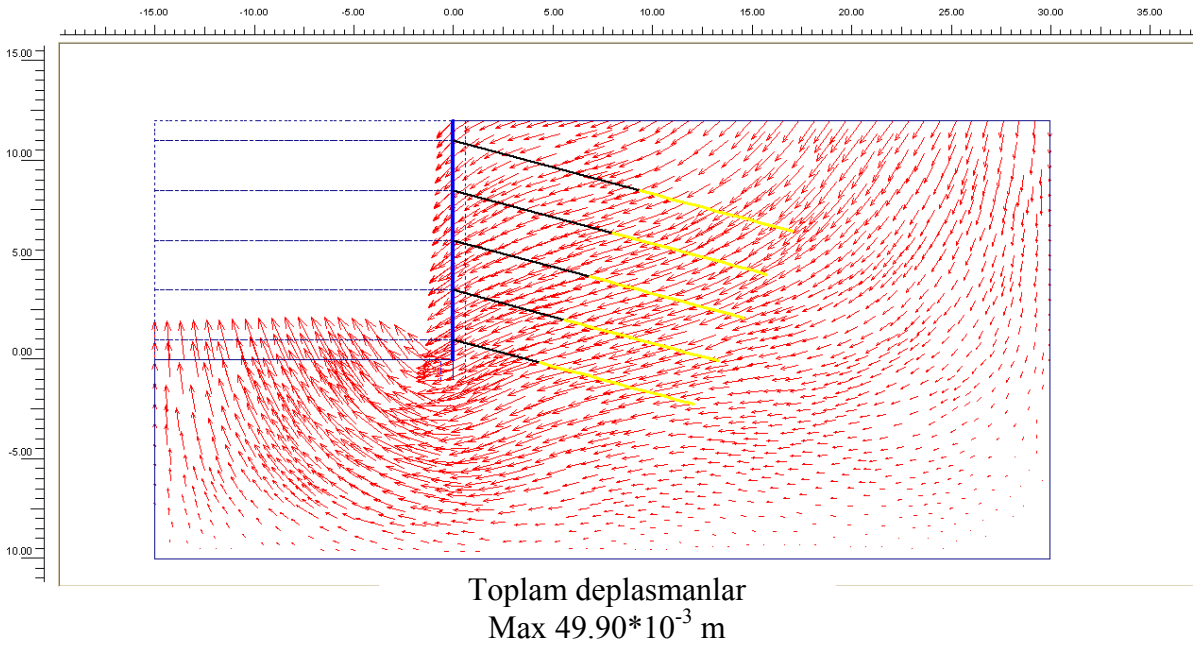


Toplam deplasman  
 $49.90 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

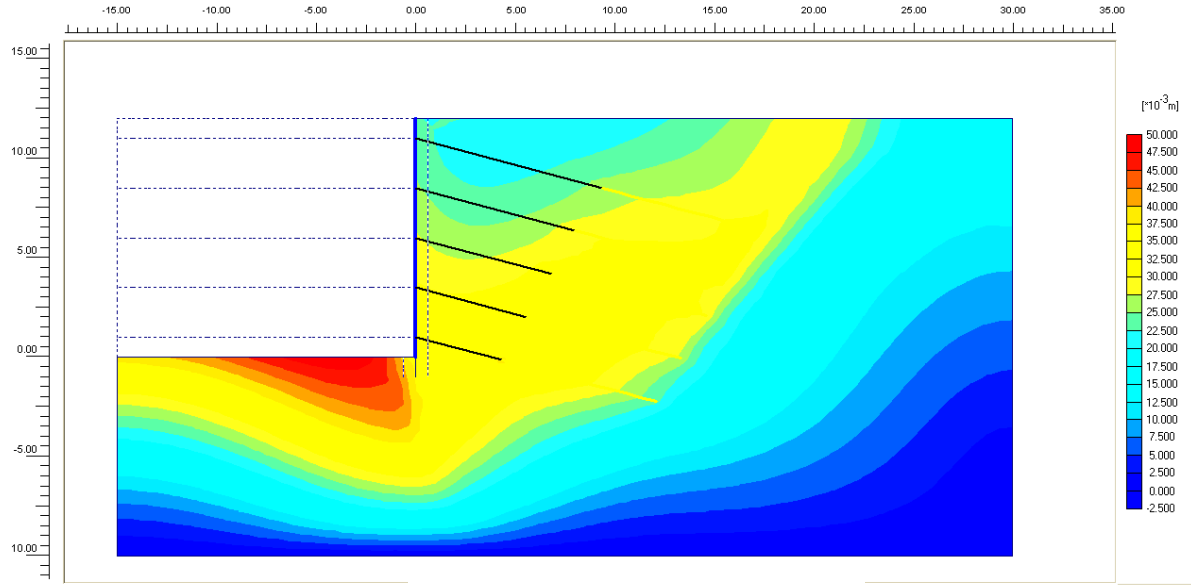
Ek 7 Şekil 2 Model 1 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



Ek 7 Şekil 3 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

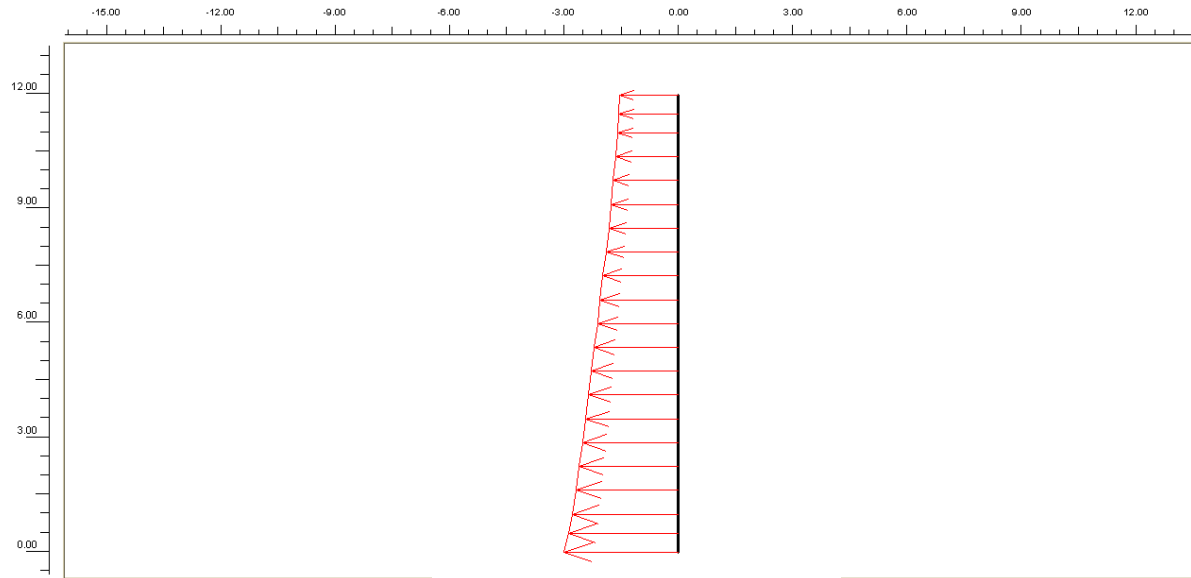


Ek 7 Şekil 4 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



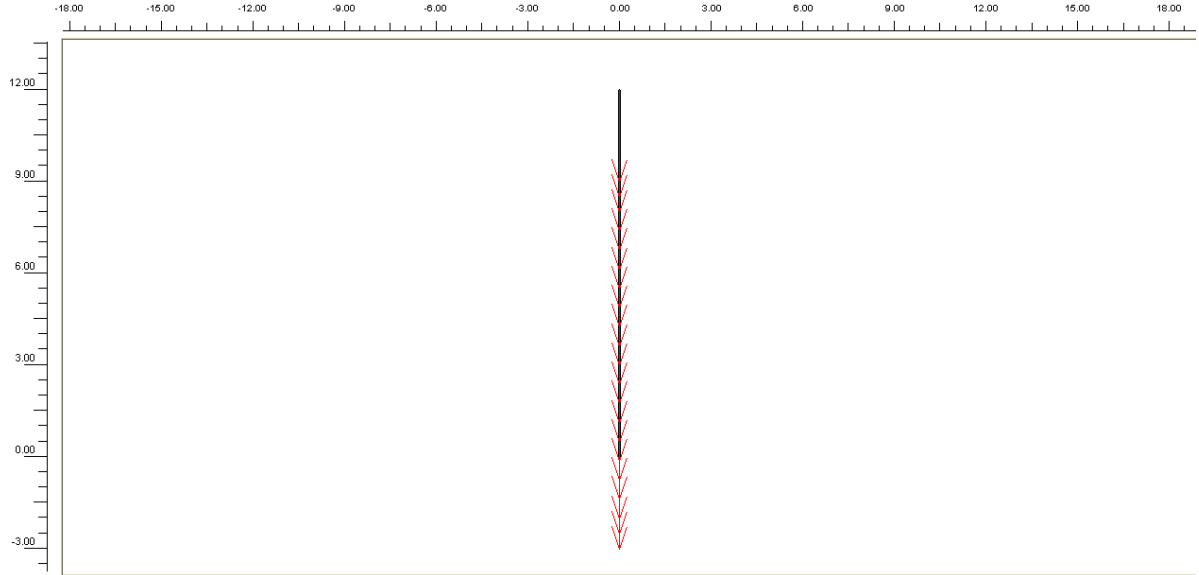
Toplam deplasmanlar  
Max  $49.90 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 7 Şekil 5 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

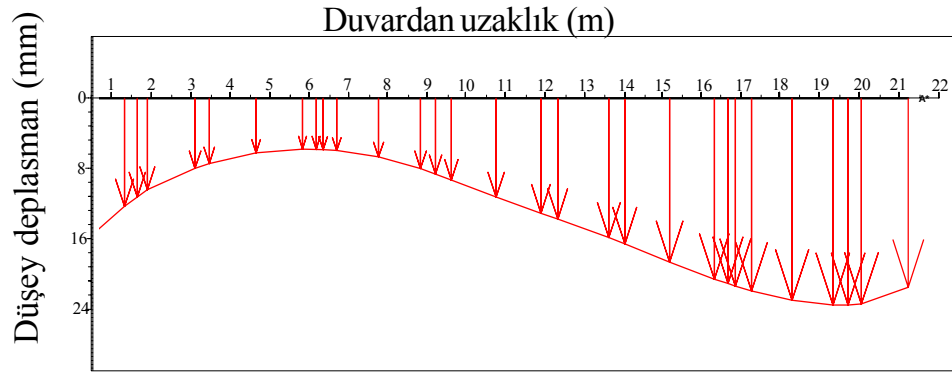


Yatay deplasmanlar  
Max  $-30.97 \cdot 10^{-3}$  m

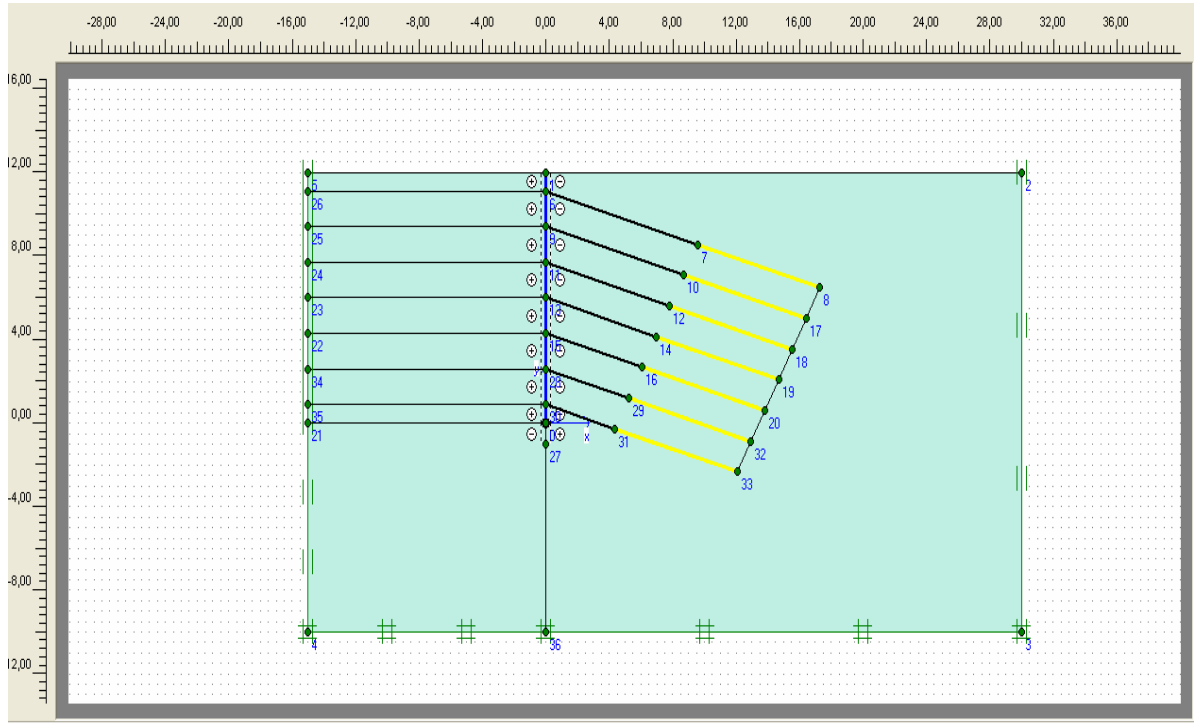
Ek 7 Şekil 6 Model 1 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



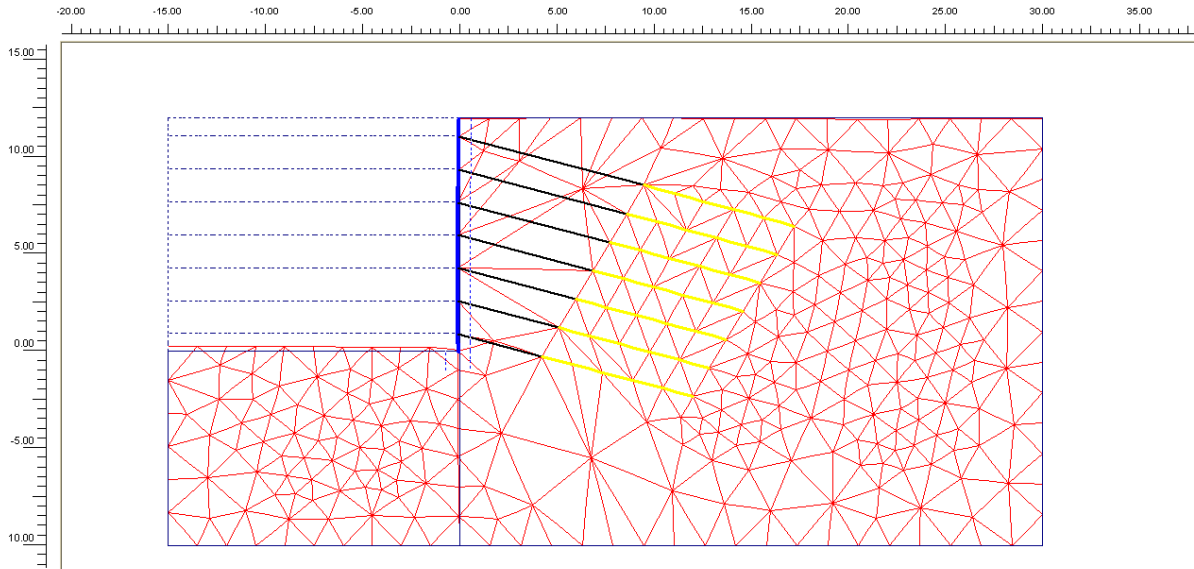
Ek 7 Şekil 7 Model 1 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 7 Şekil 8 Model 1 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

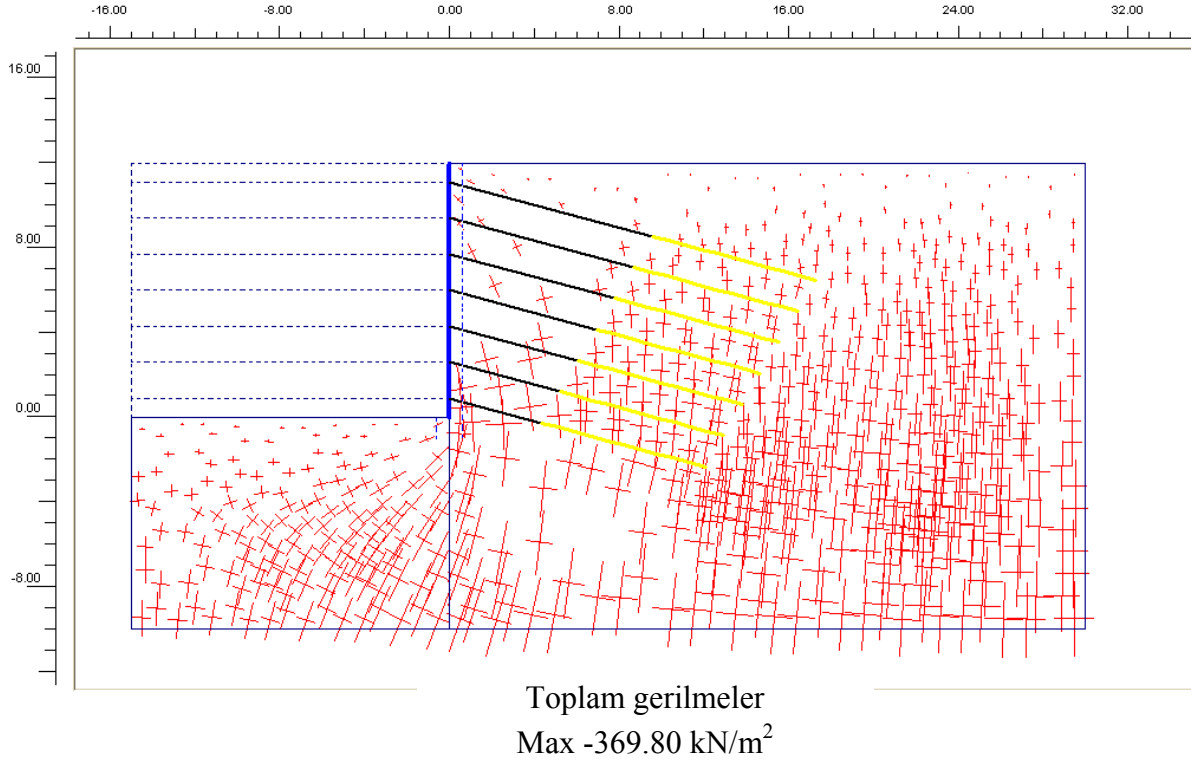


Ek 7 Şekil 9 Model 2 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=12.0 m

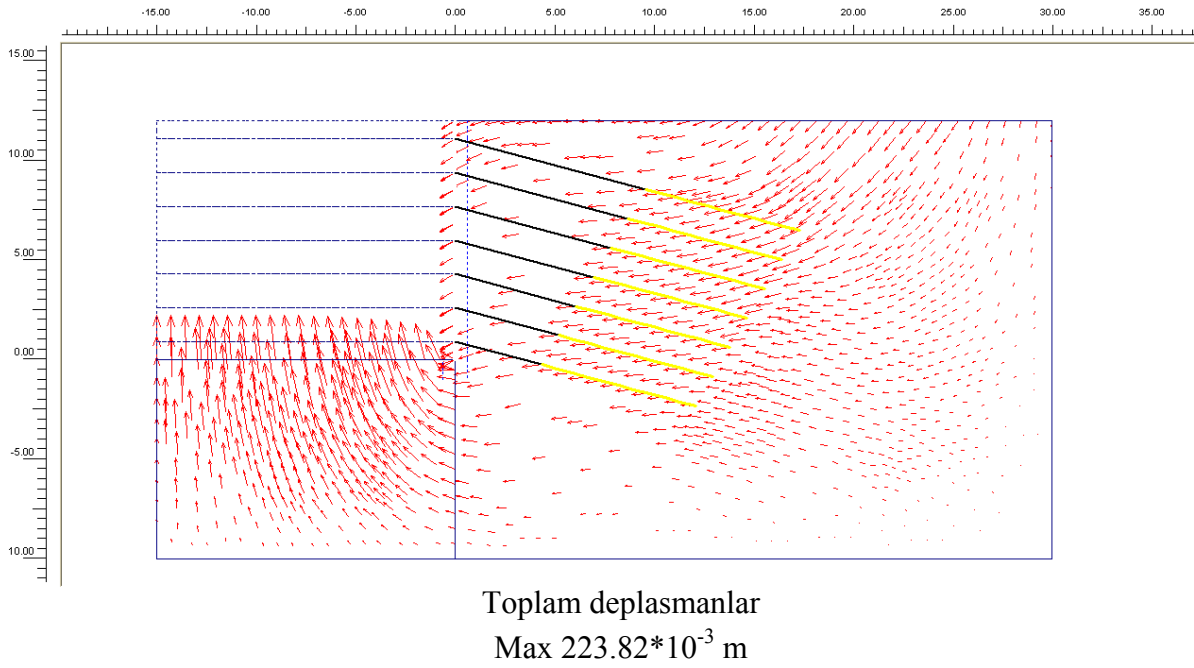


Toplam deplasman  
 $223.82 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

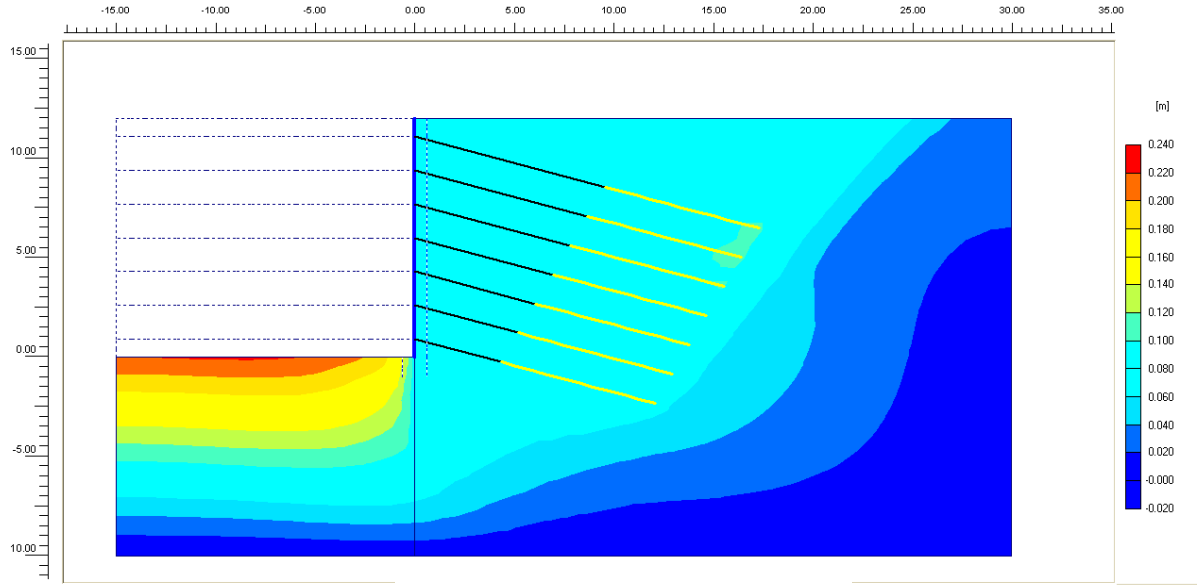
Ek 7 Şekil 10 Model 2 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



Ek 7 Şekil 11 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

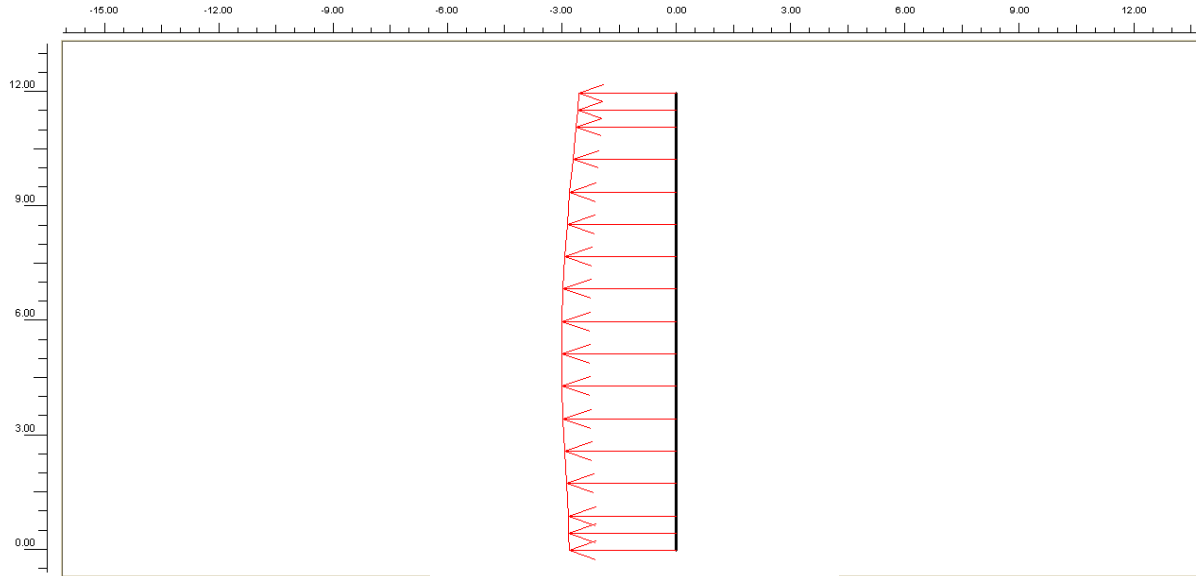


Ek 7 Şekil 12 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



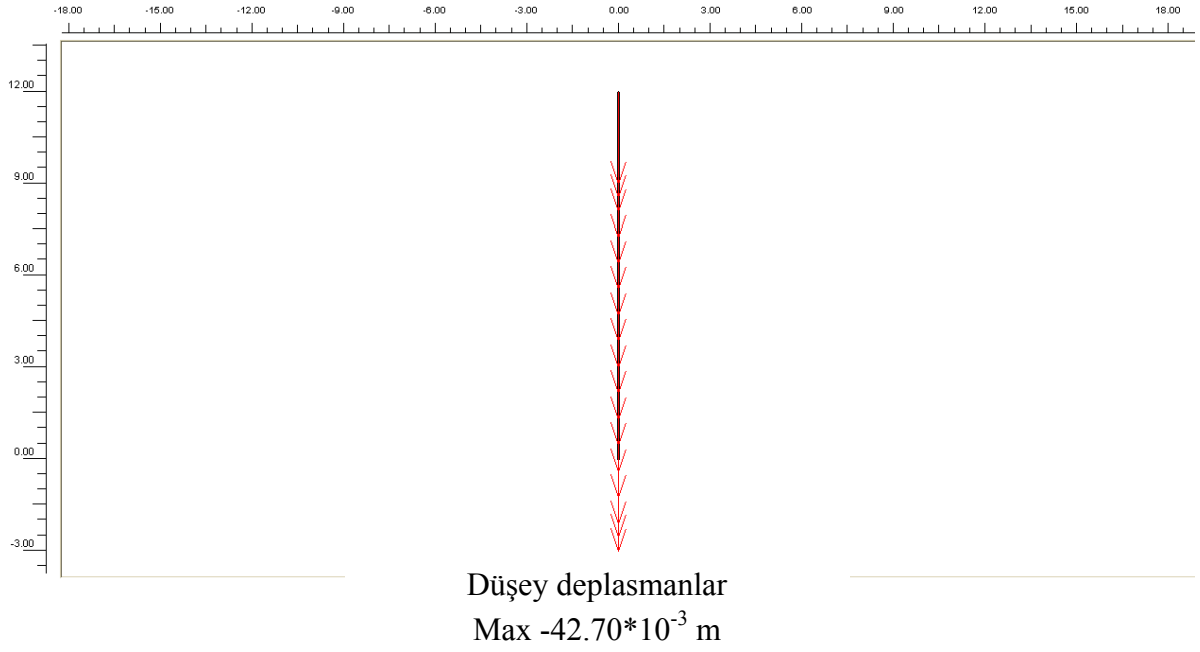
Toplam deplasmanlar  
Max  $223.82 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 7 Şekil 13 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

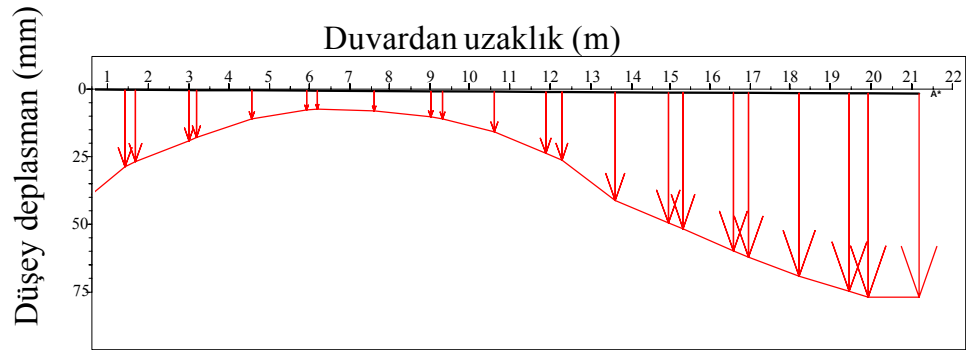


Yatay deplasmanlar  
Max  $-77.70 \cdot 10^{-3}$  m

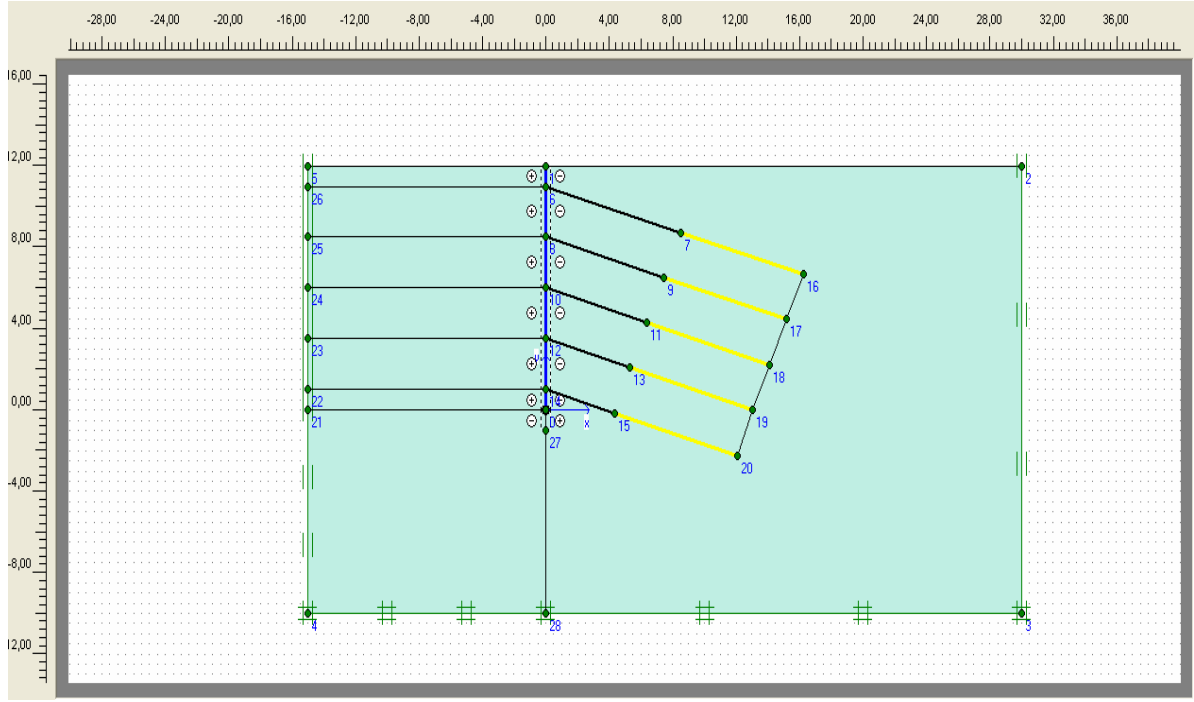
Ek 7 Şekil 14 Model 2 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



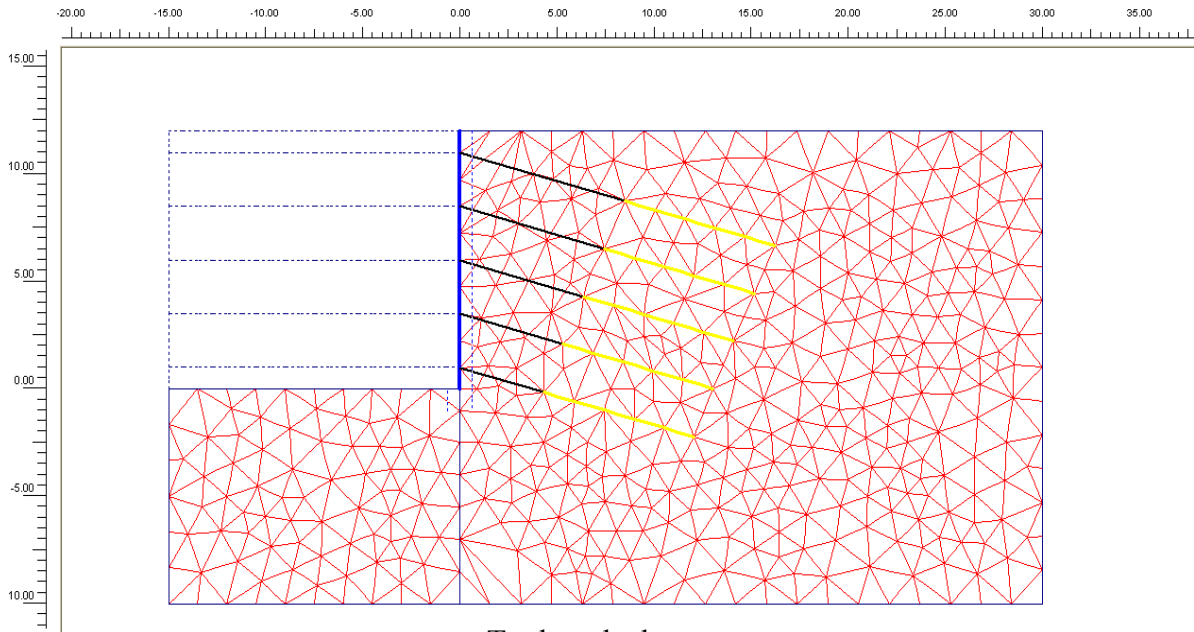
Ek 7 Şekil 15 Model 2 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 7 Şekil 16 Model 2 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

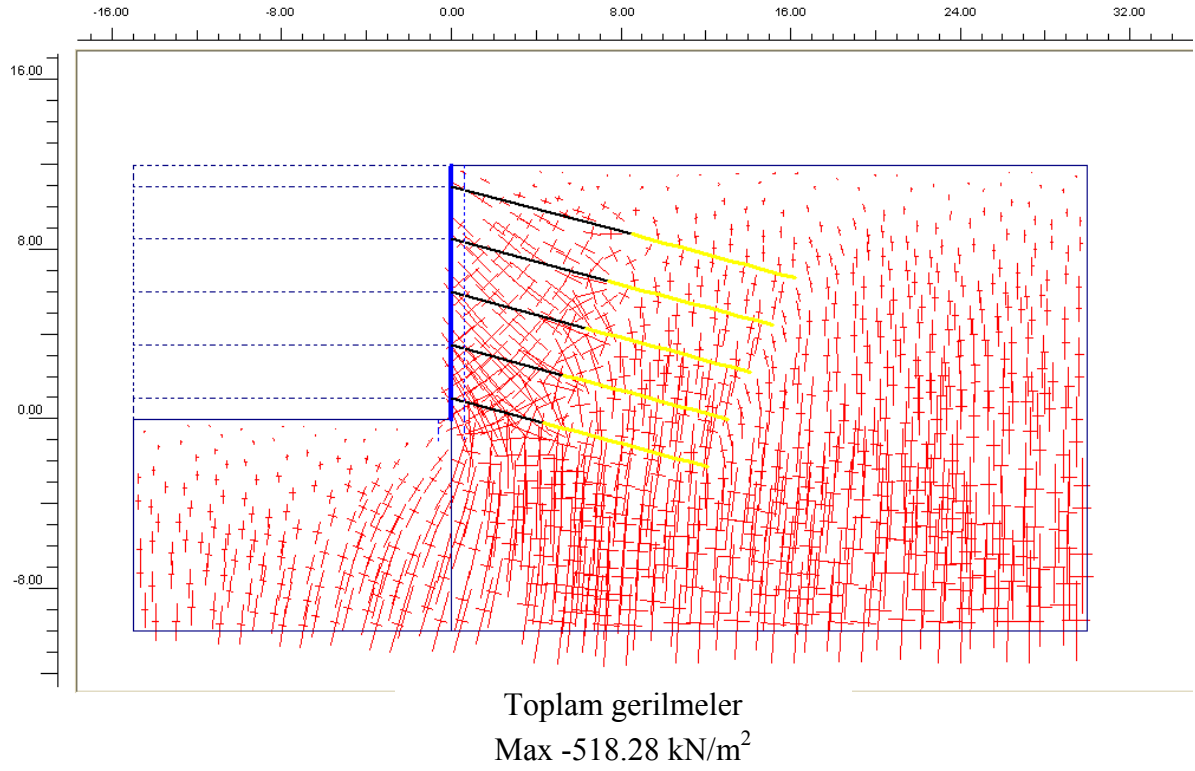


Ek 7 Şekil 17 Model 3 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=12.0 m

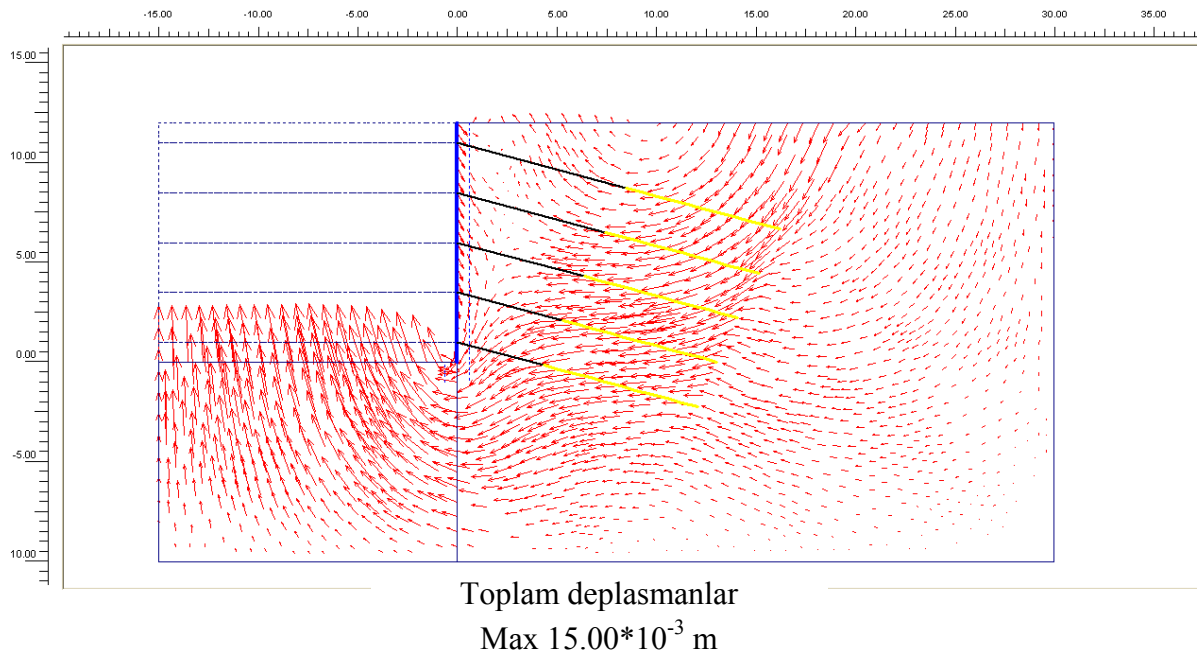


Toplam deplasman  
 $15.00 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

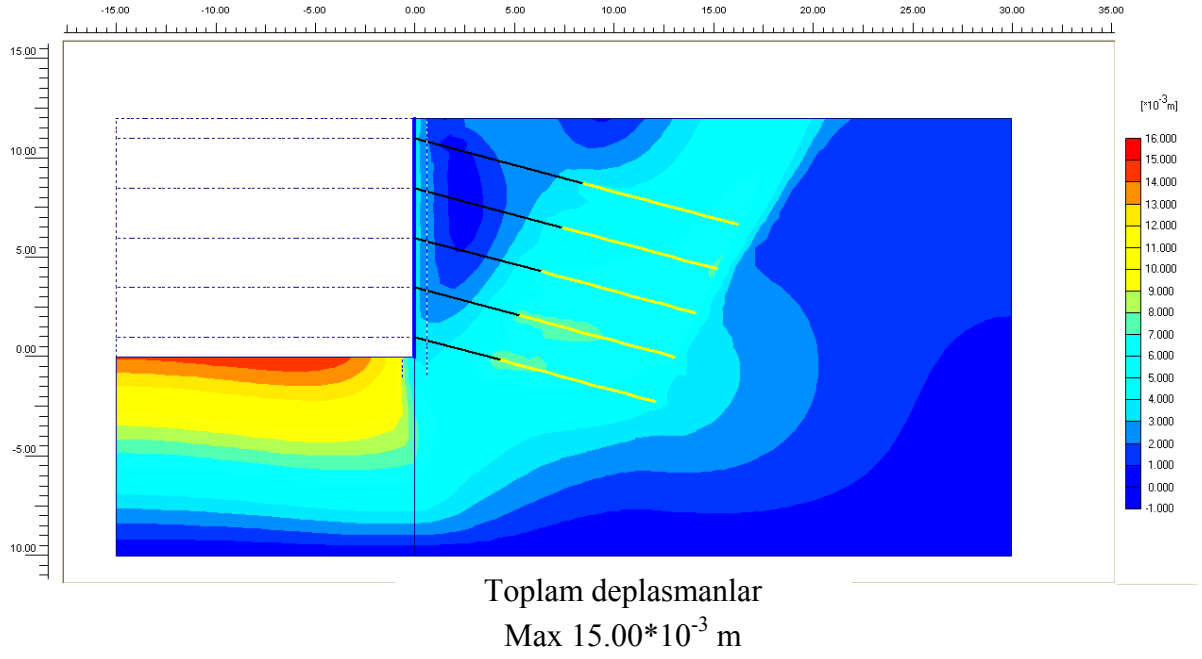
Ek 7 Şekil 18 Model 3 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



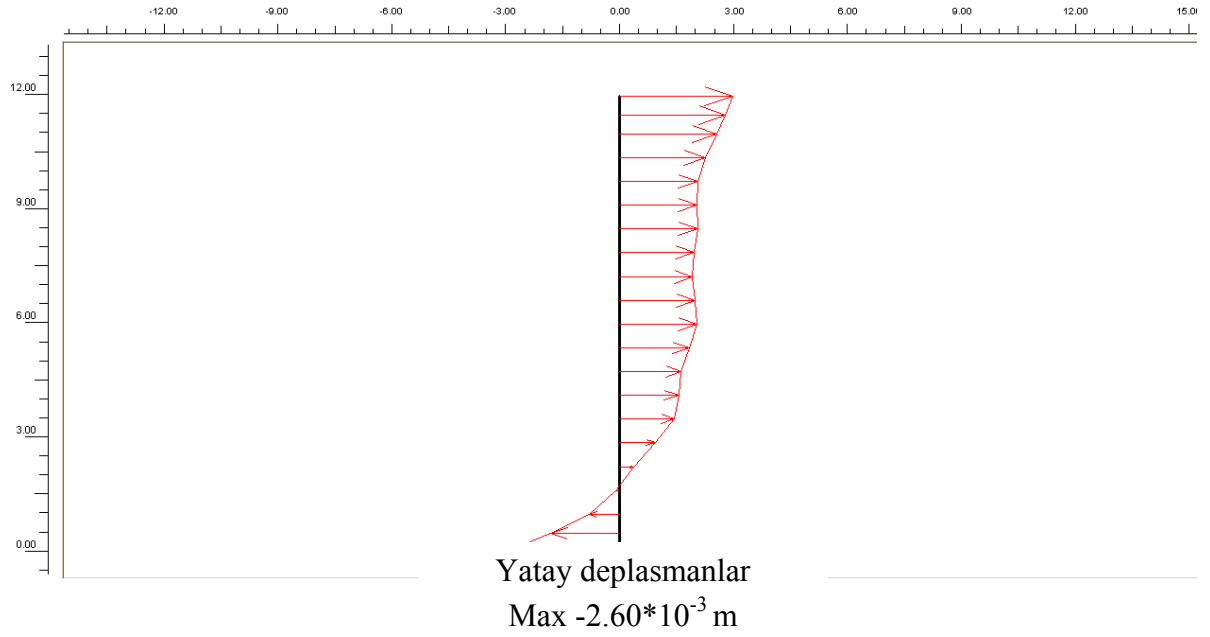
Ek 7 Şekil 19 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



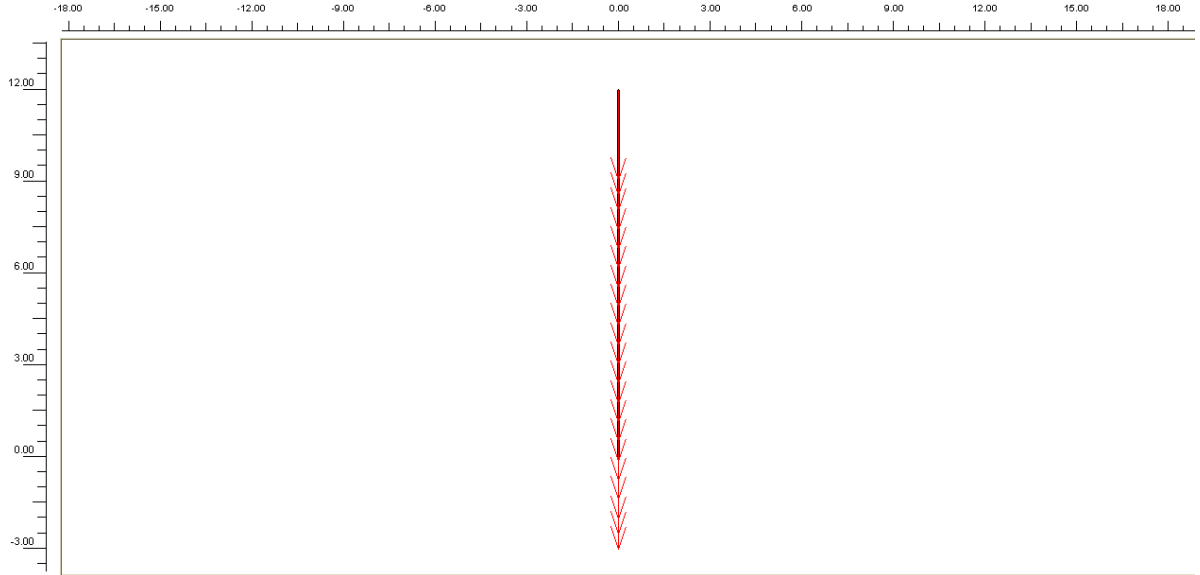
Ek 7 Şekil 20 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



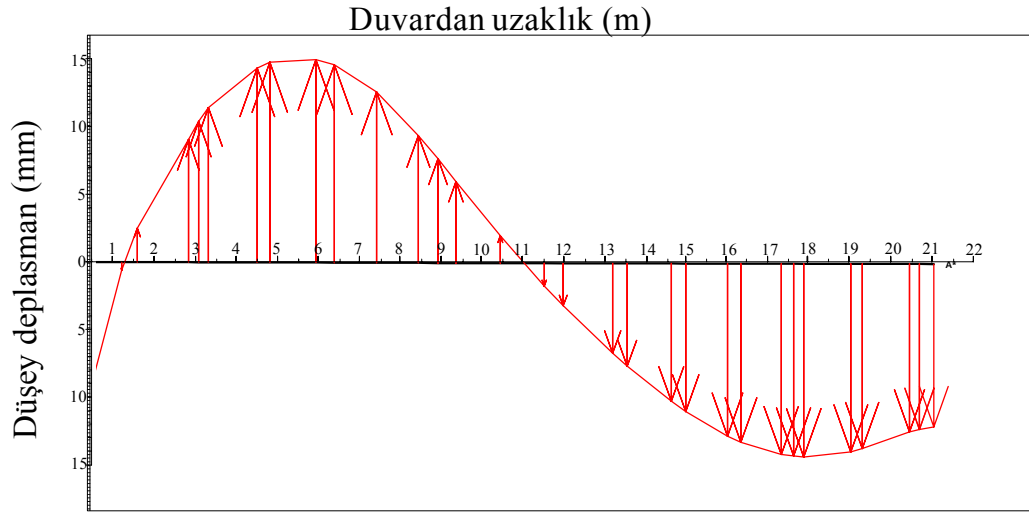
Ek 7 Şekil 21 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



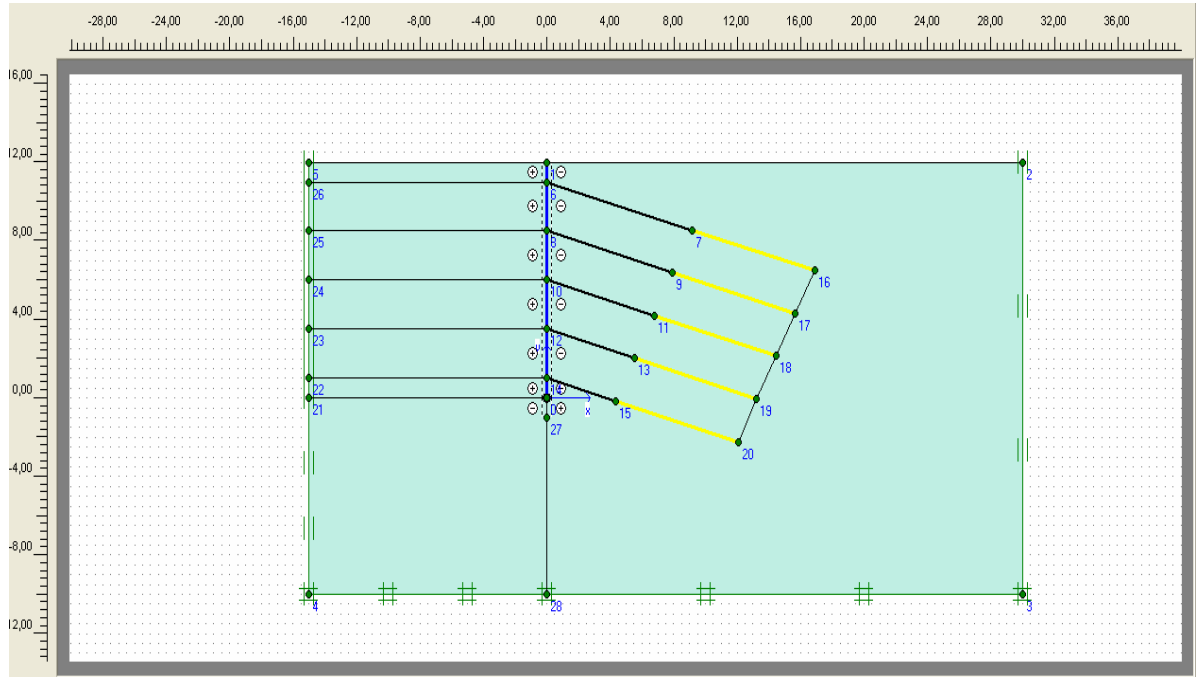
Ek 7 Şekil 22 Model 3 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



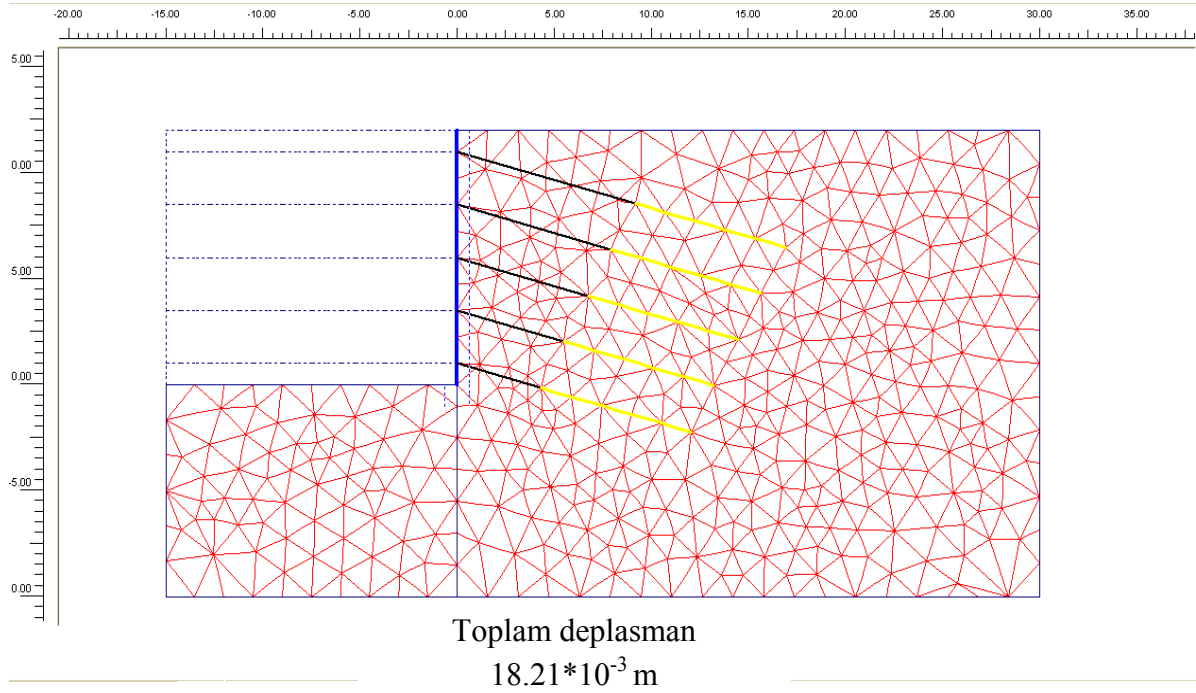
Ek 7 Şekil 23 Model 3 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



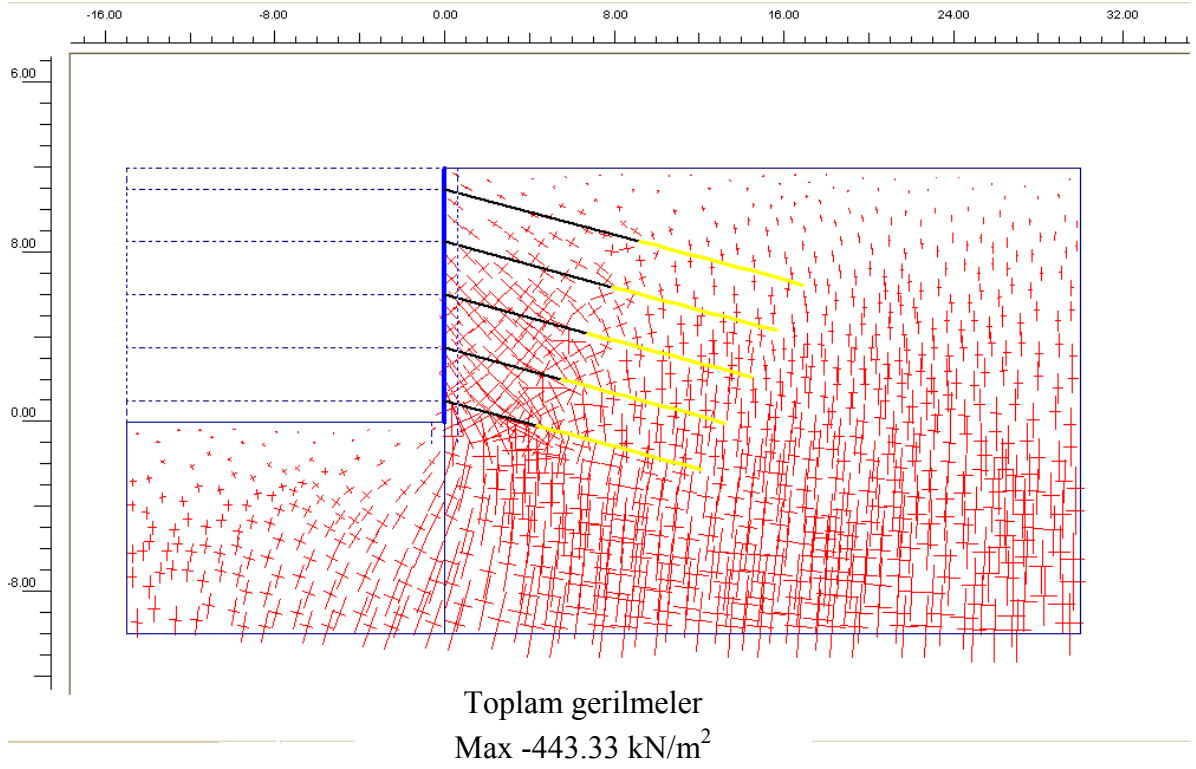
Ek 7 Şekil 24 Model 3 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar



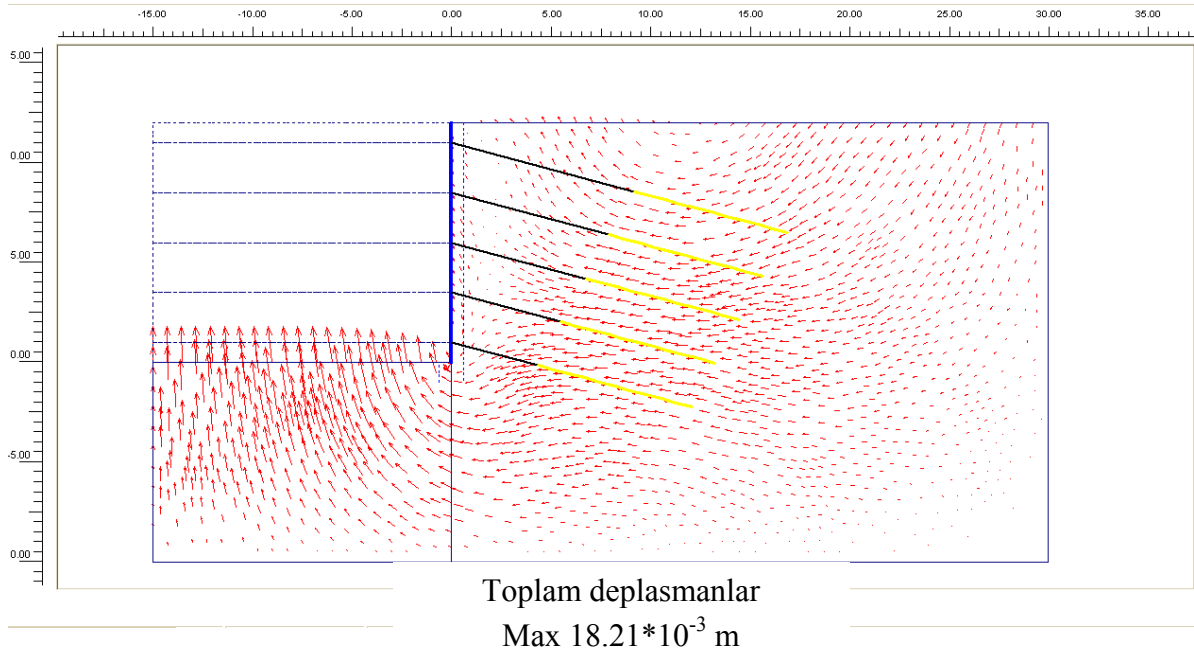
Ek 7 Şekil 25 Model 4 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=12.0 m



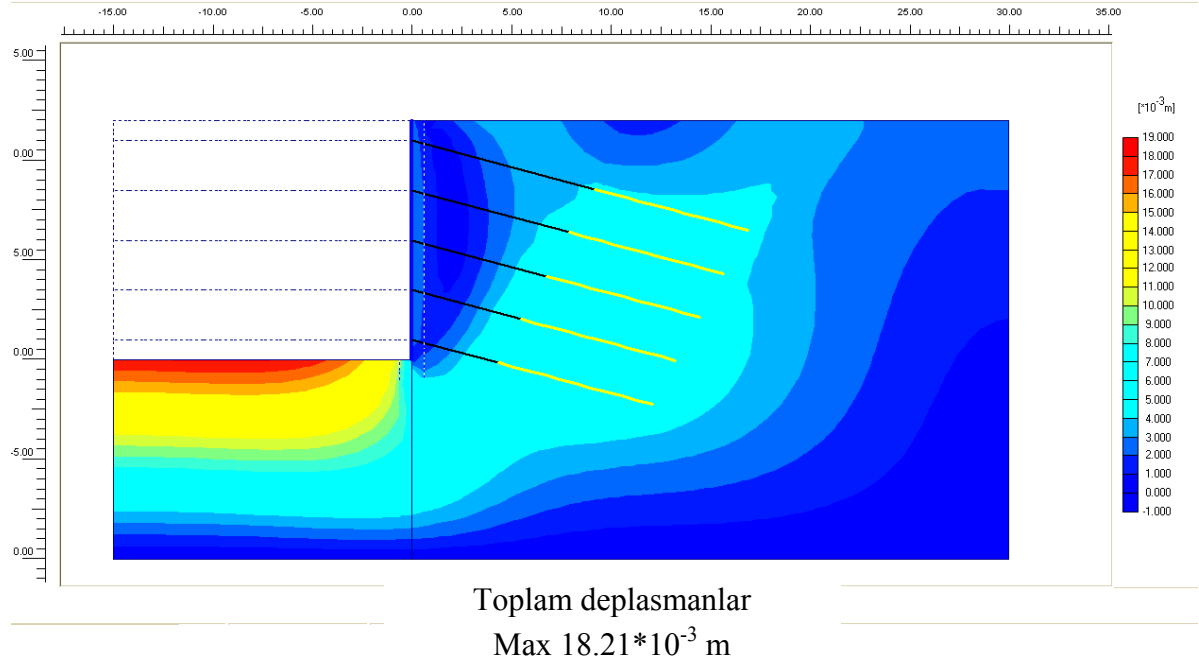
Ek 7 Şekil 26 Model 4 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



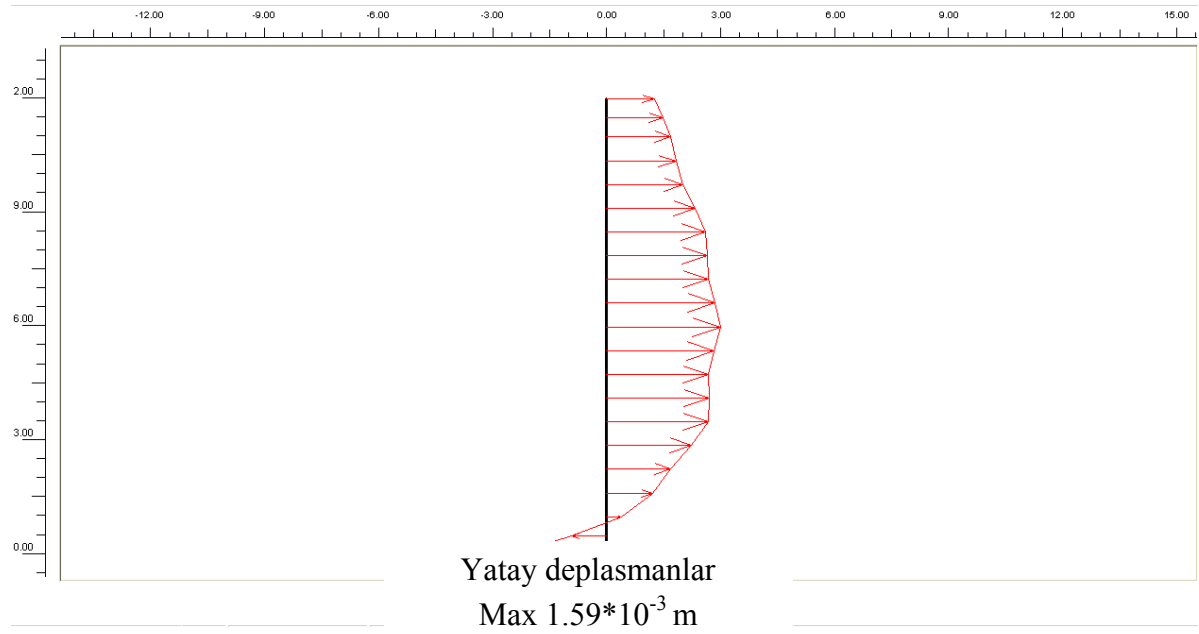
Ek 7 Şekil 27 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



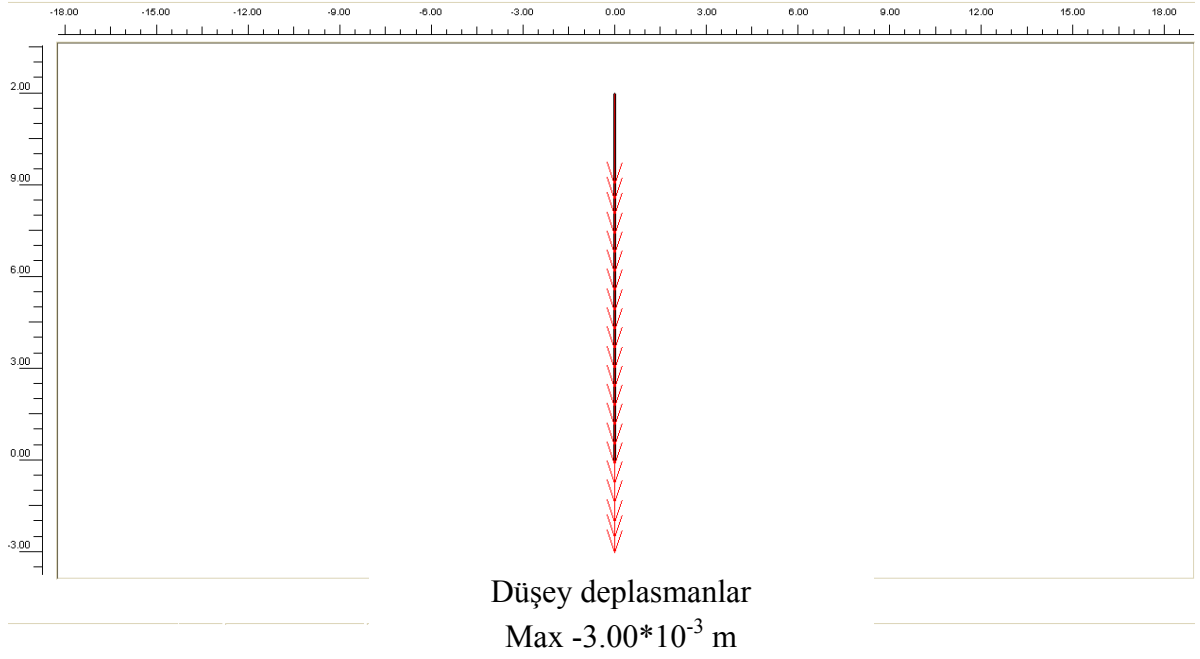
Ek 7 Şekil 28 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



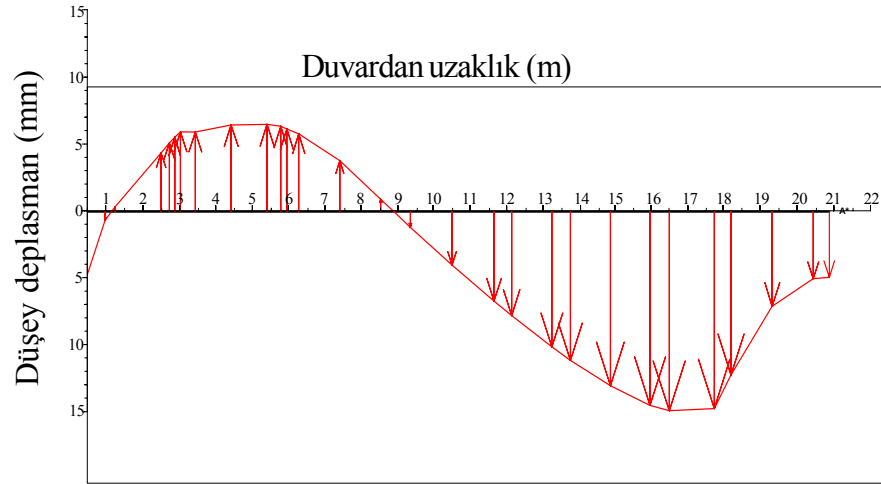
Ek 7 Şekil 29 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



Ek 7 Şekil 30 Model 4 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



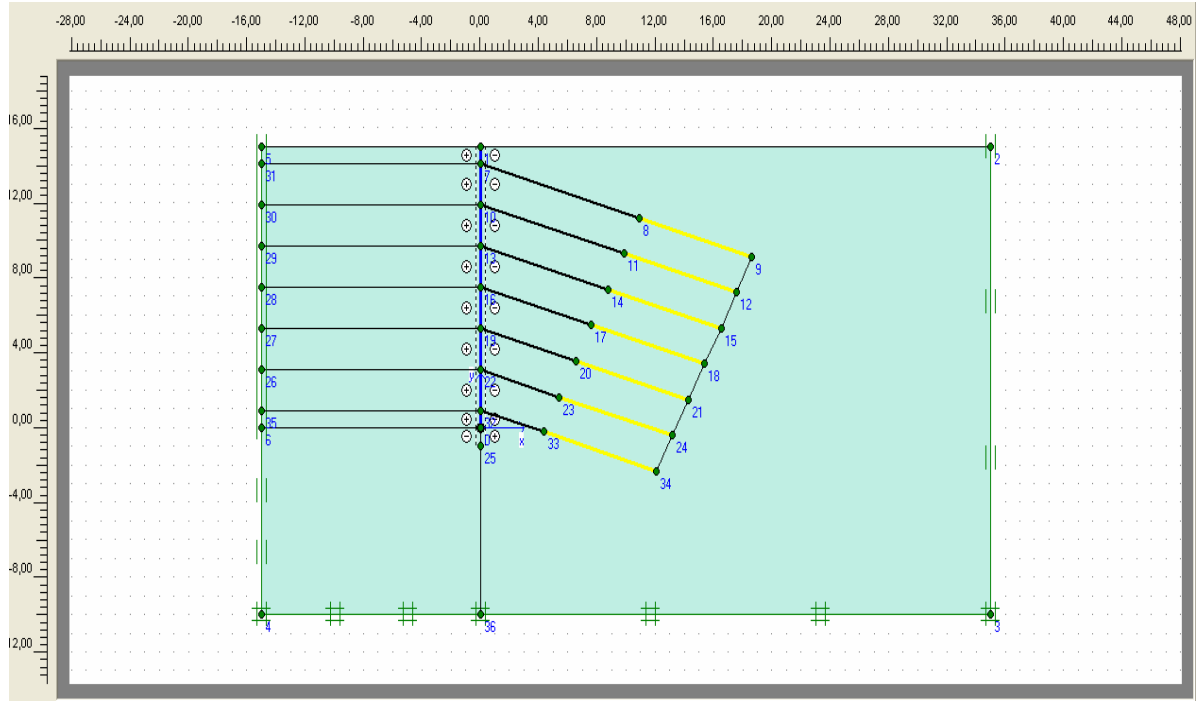
Ek 7 Şekil 31 Model 4 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



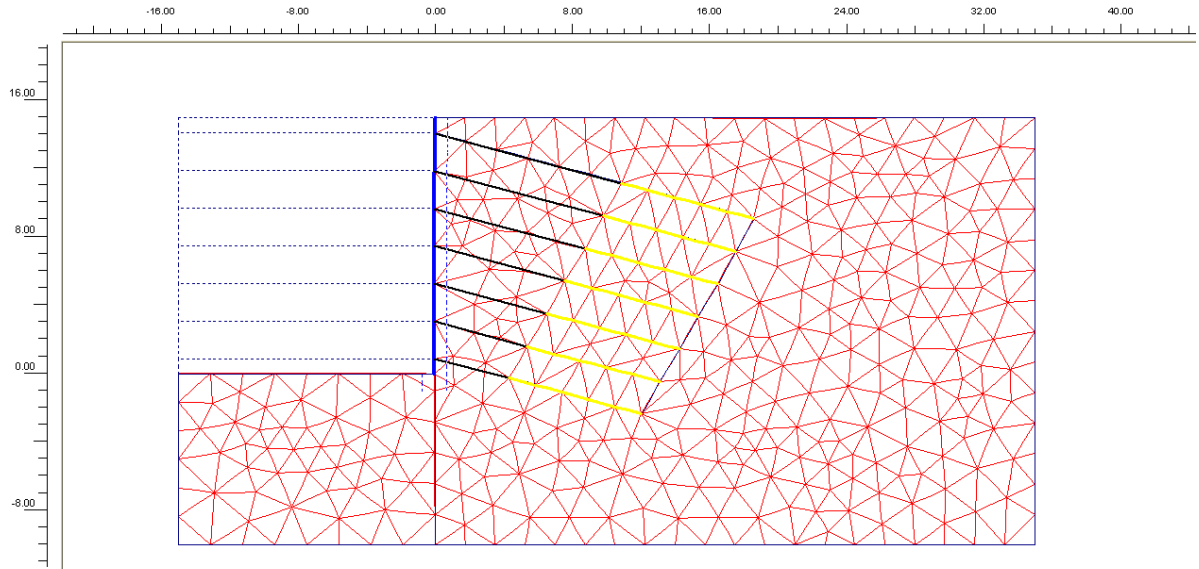
Düşey deplasmanlar  
Max  $-5.15 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 7 Şekil 32 Model 4 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

## Ek 8 H=15.0 m İçin Ankraj Destekli Kazı Modellerinin Plaxis Sonuçları

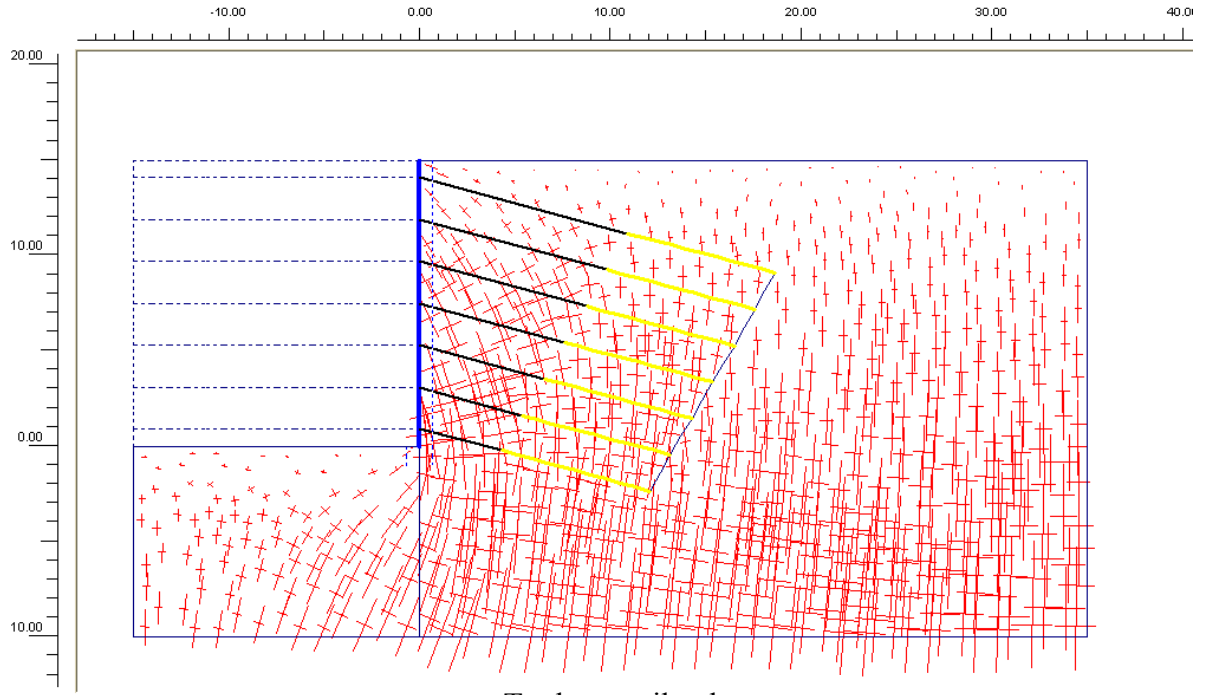


Ek 8 Şekil 1 Model 1 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=15.0 m



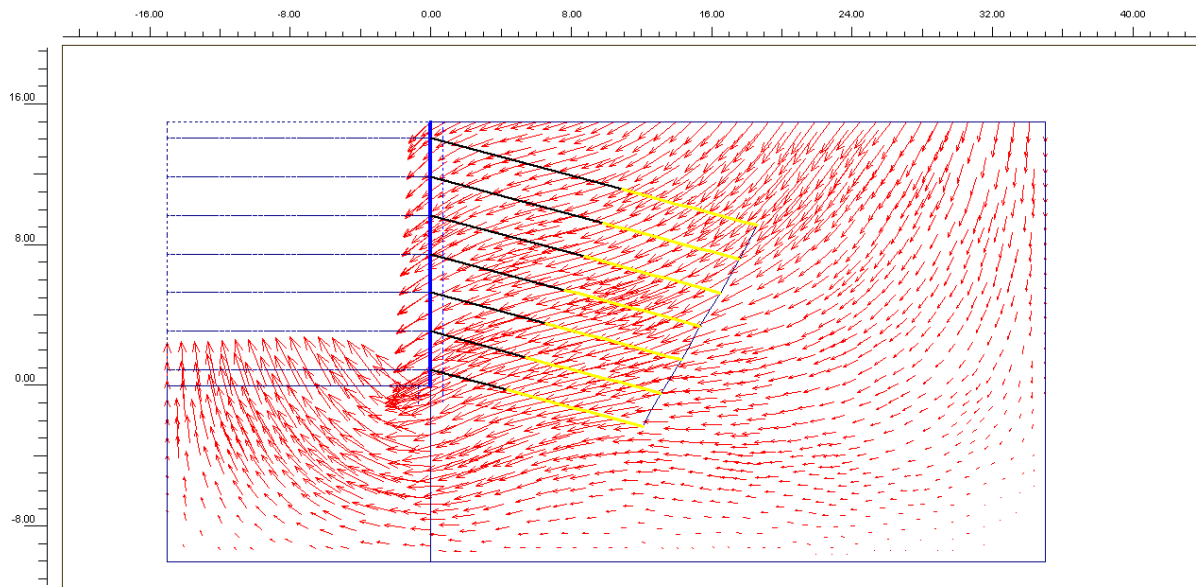
Toplam deplasman  
 $65.93 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Ek 8 Şekil 2 Model 1 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



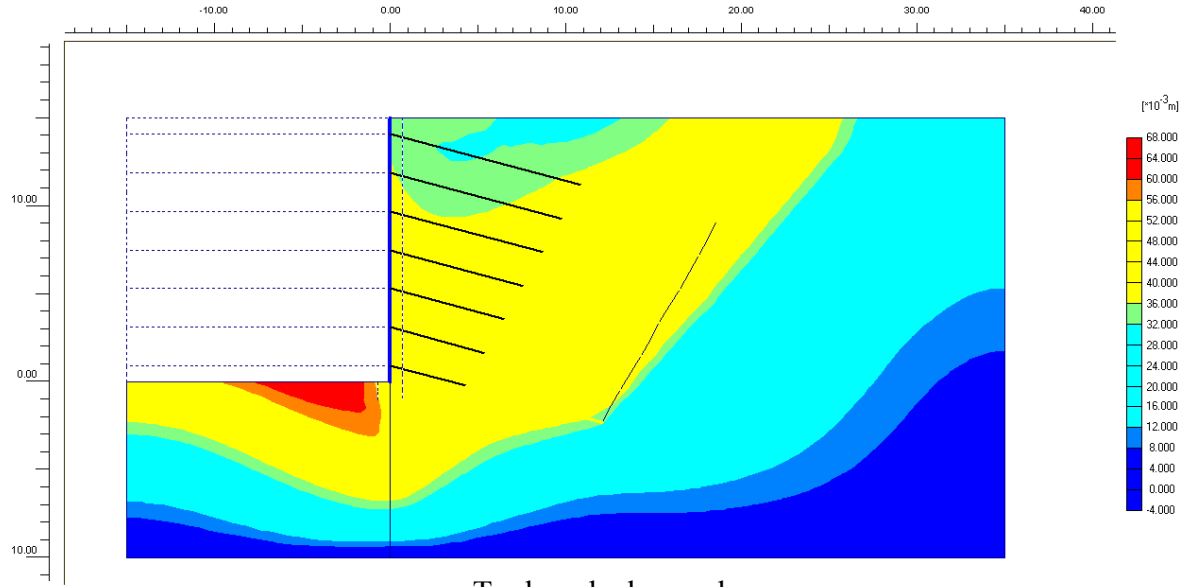
Toplam gerilmeler  
Max -502.24 kN/m<sup>2</sup>

Ek 8 Şekil 3 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

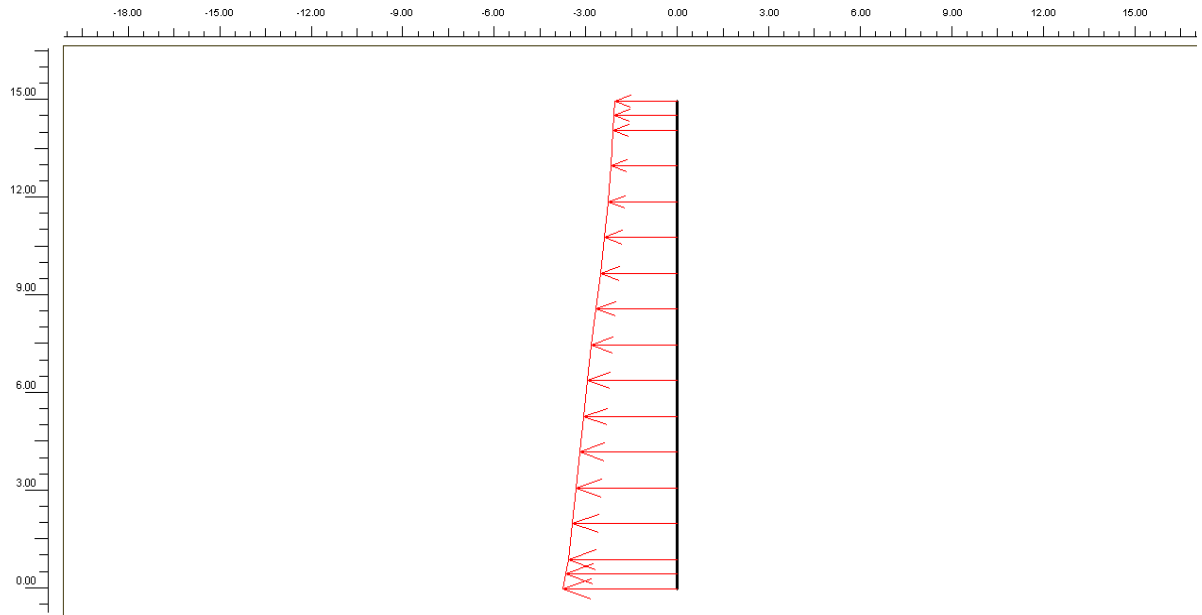


Toplam deplasmanlar  
Max 65.93\*10<sup>-3</sup> m

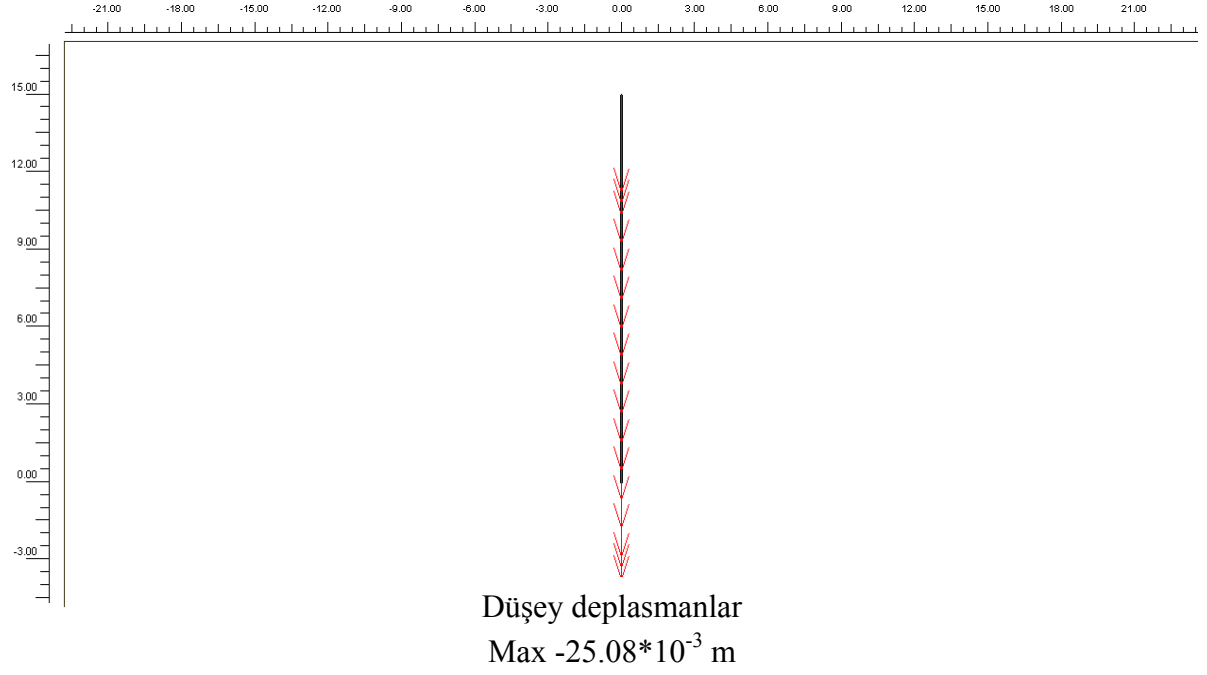
Ek 8 Şekil 4 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



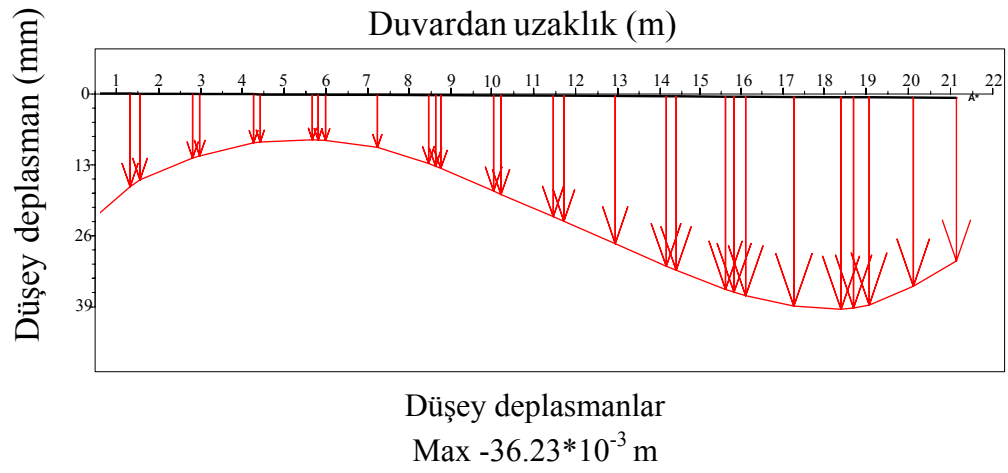
Ek 8 Şekil 5 Model 1 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



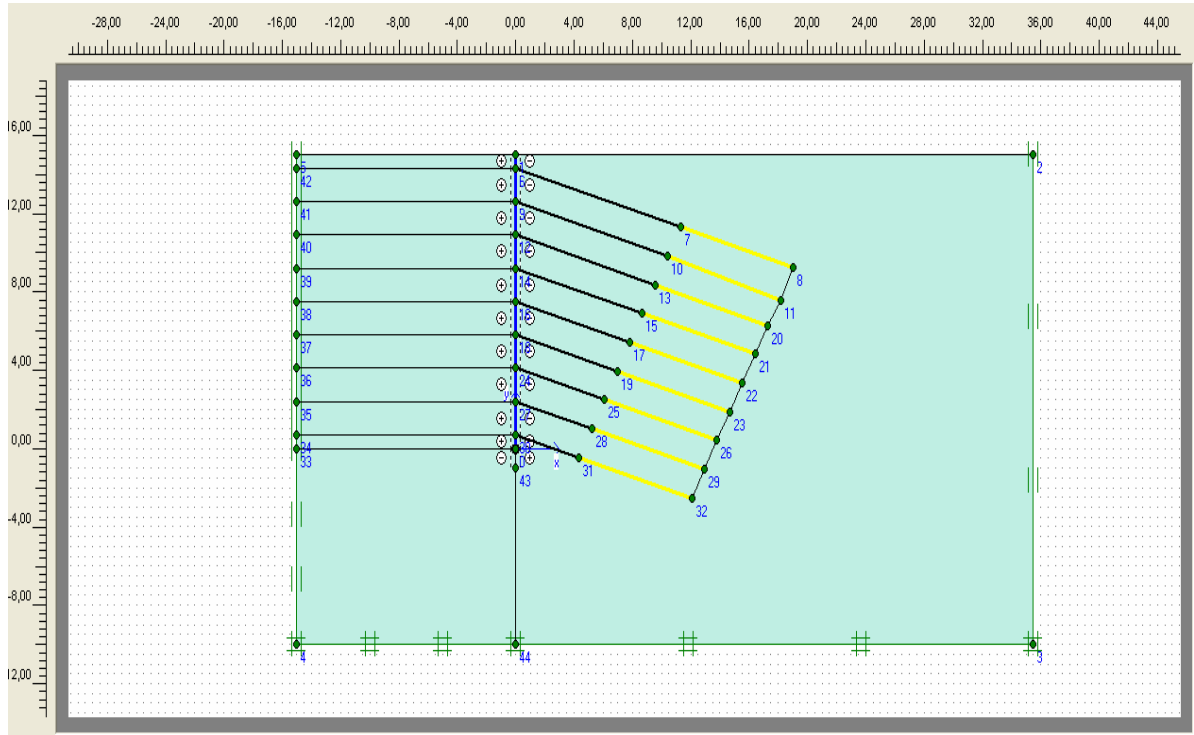
Ek 8 Şekil 6 Model 1 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



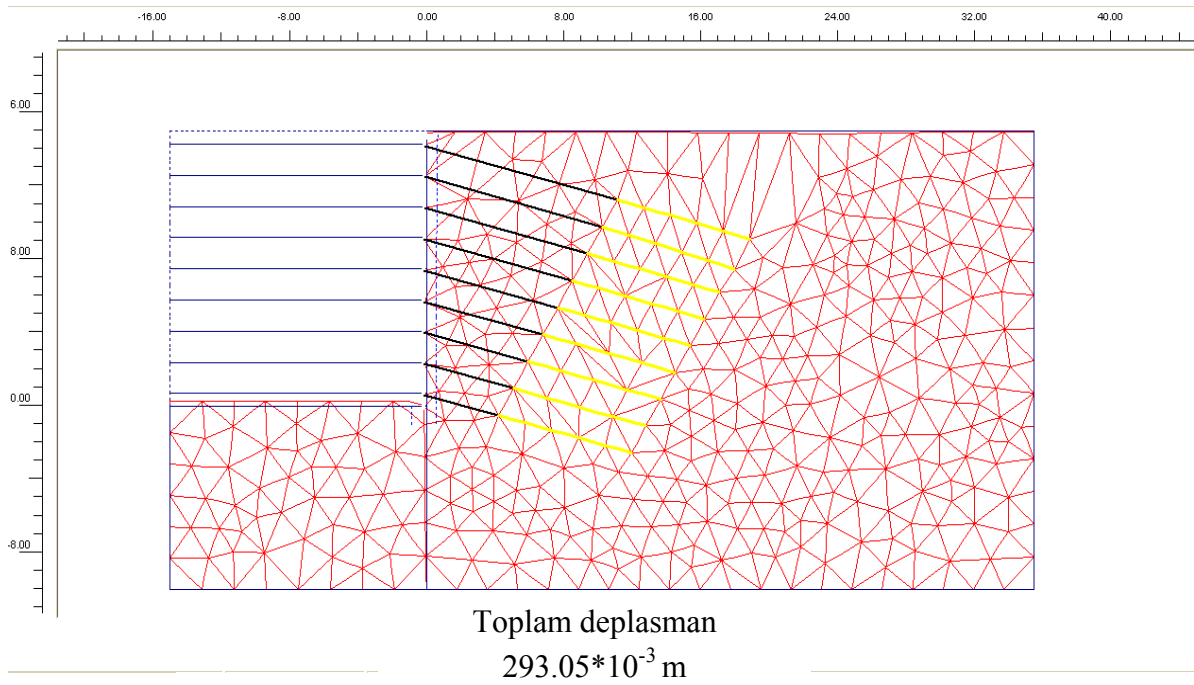
Ek 8 Şekil 7 Model 1 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



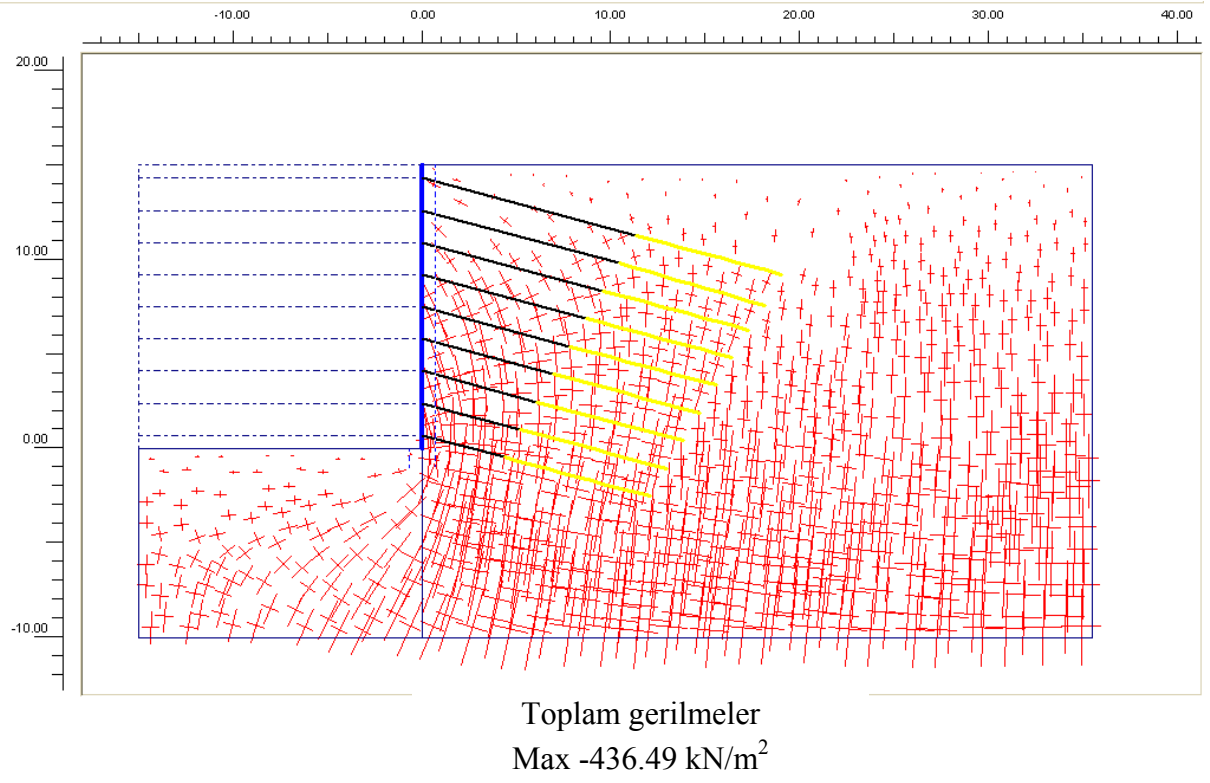
Ek 8 Şekil 8 Model 1 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar



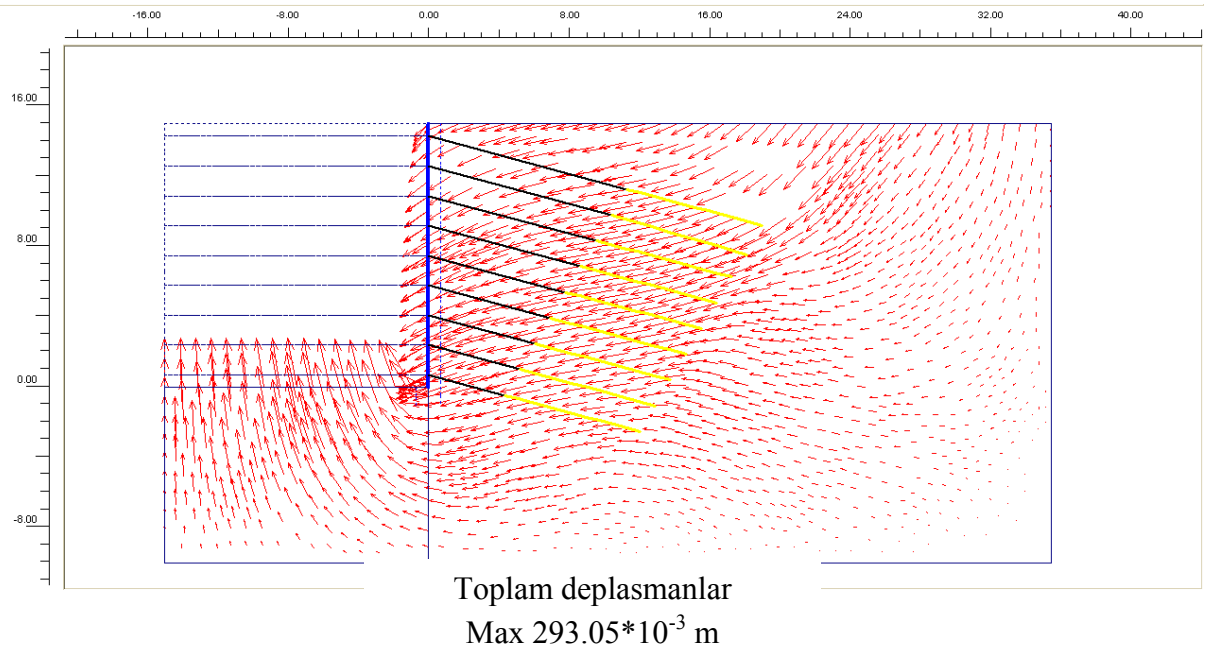
Ek 8 Şekil 9 Model 2 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=15.0 m



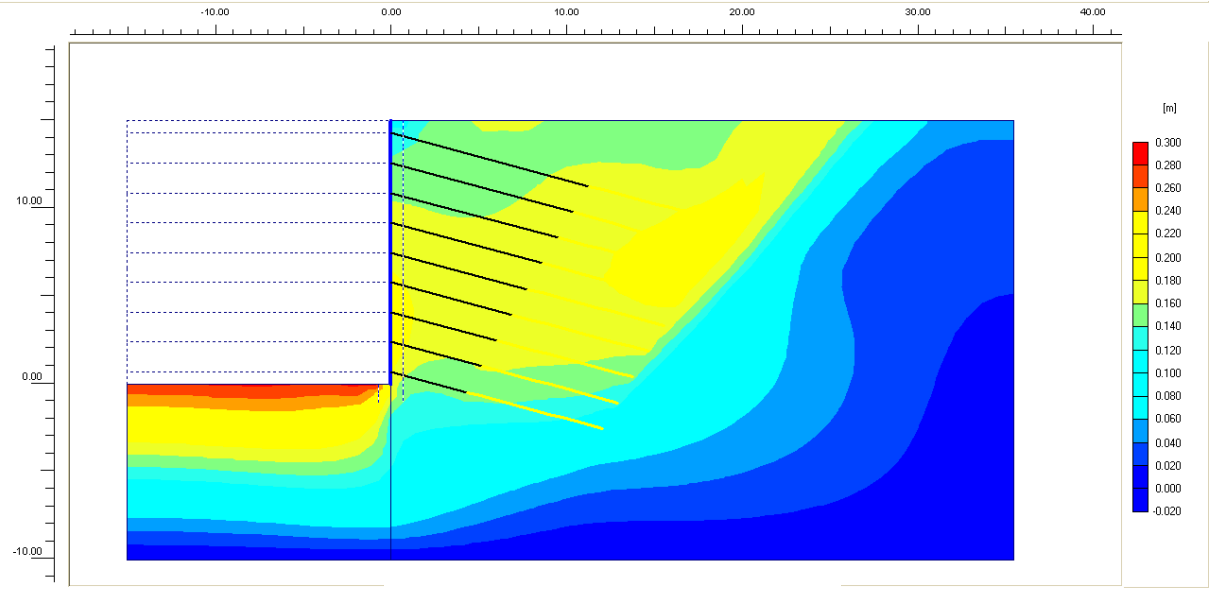
Ek 8 Şekil 10 Model 2 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



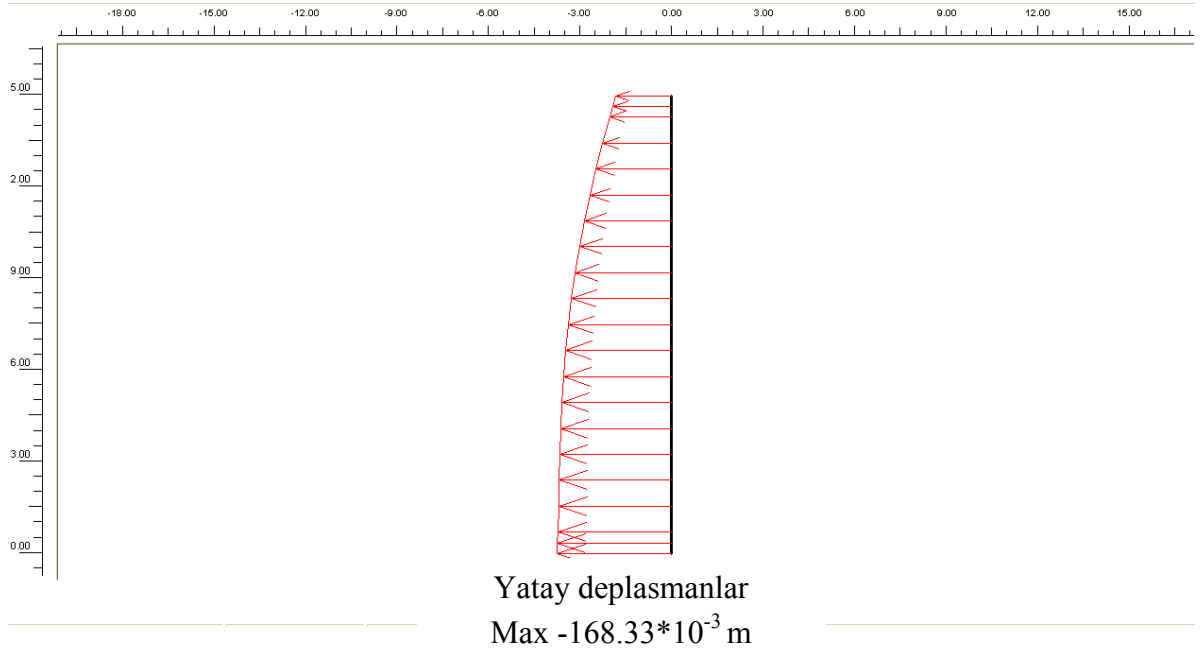
Ek 4 Şekil 11 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi



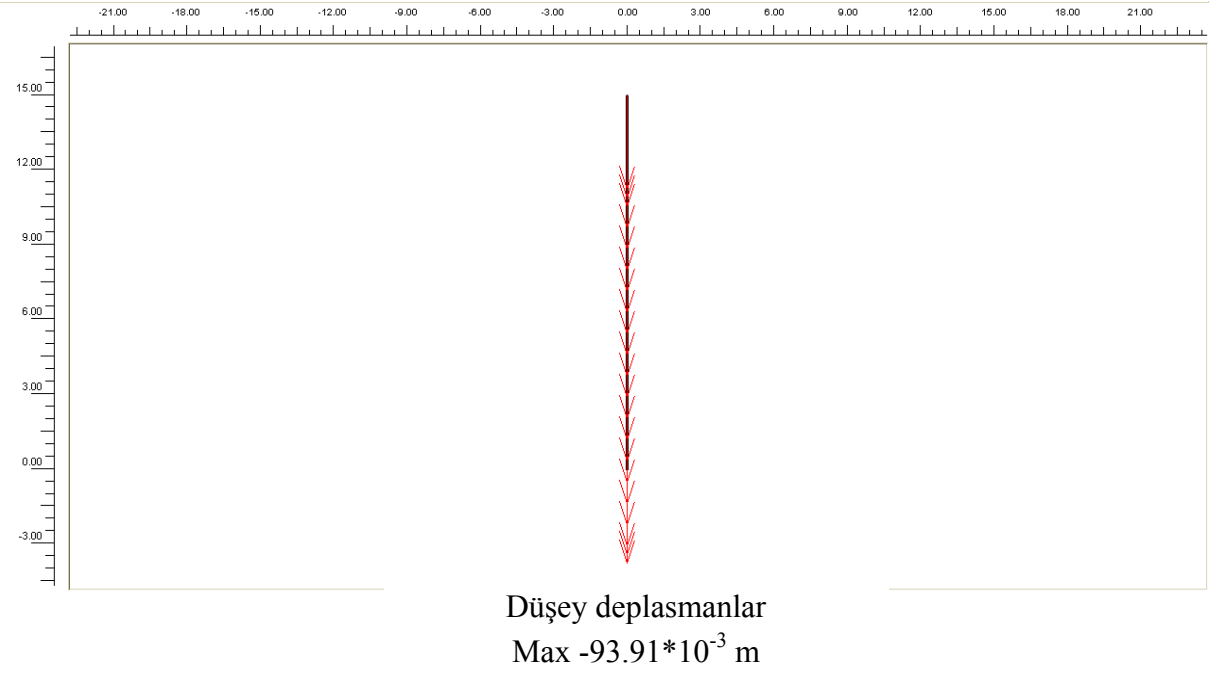
Ek 8 Şekil 12 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



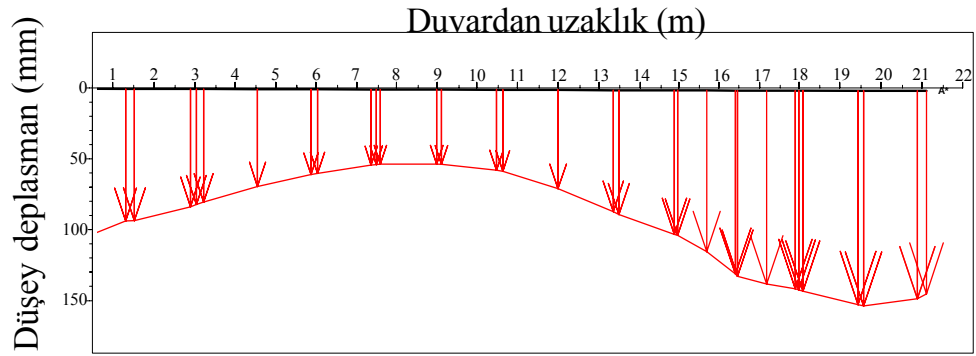
Ek 8 Şekil 13 Model 2 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



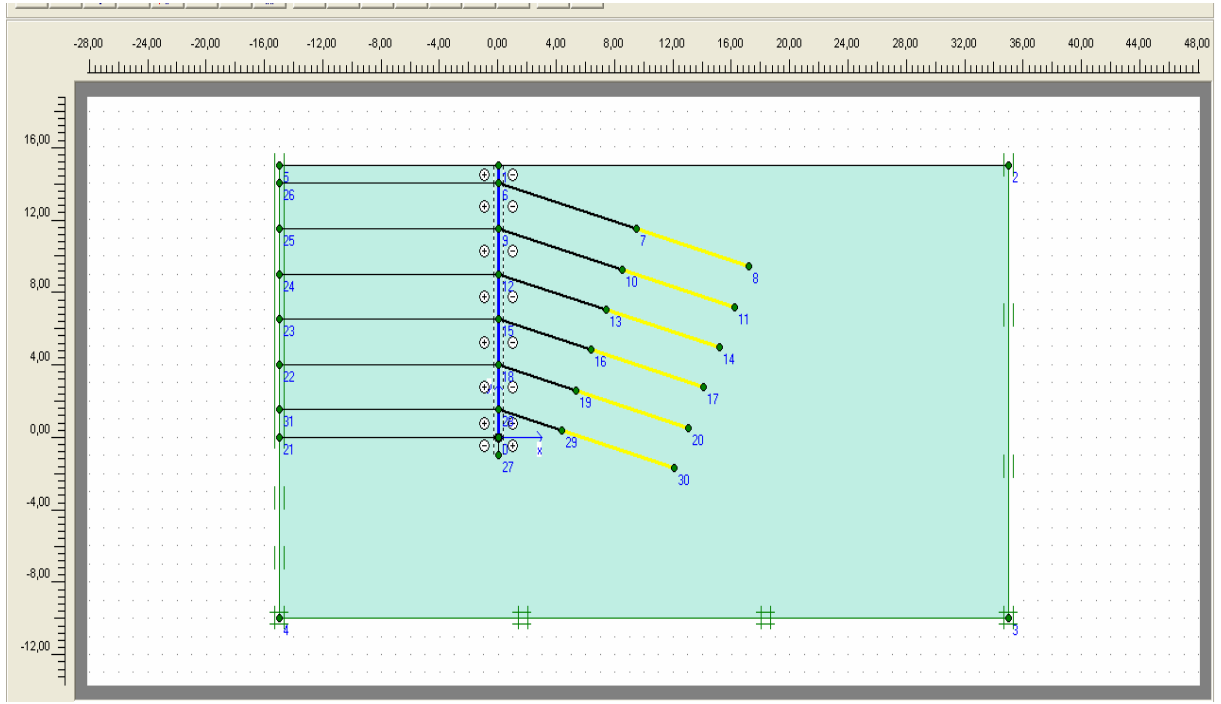
Ek 8 Şekil 14 Model 2 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



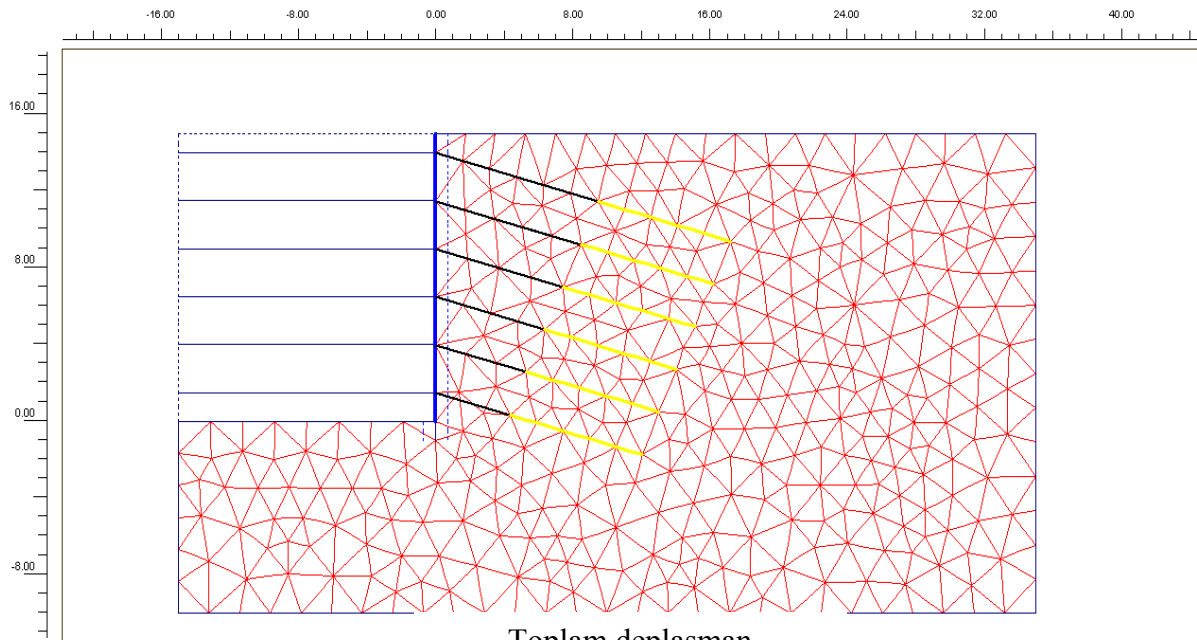
Ek 8 Şekil 15 Model 2 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 8 Şekil 16 Model 2 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

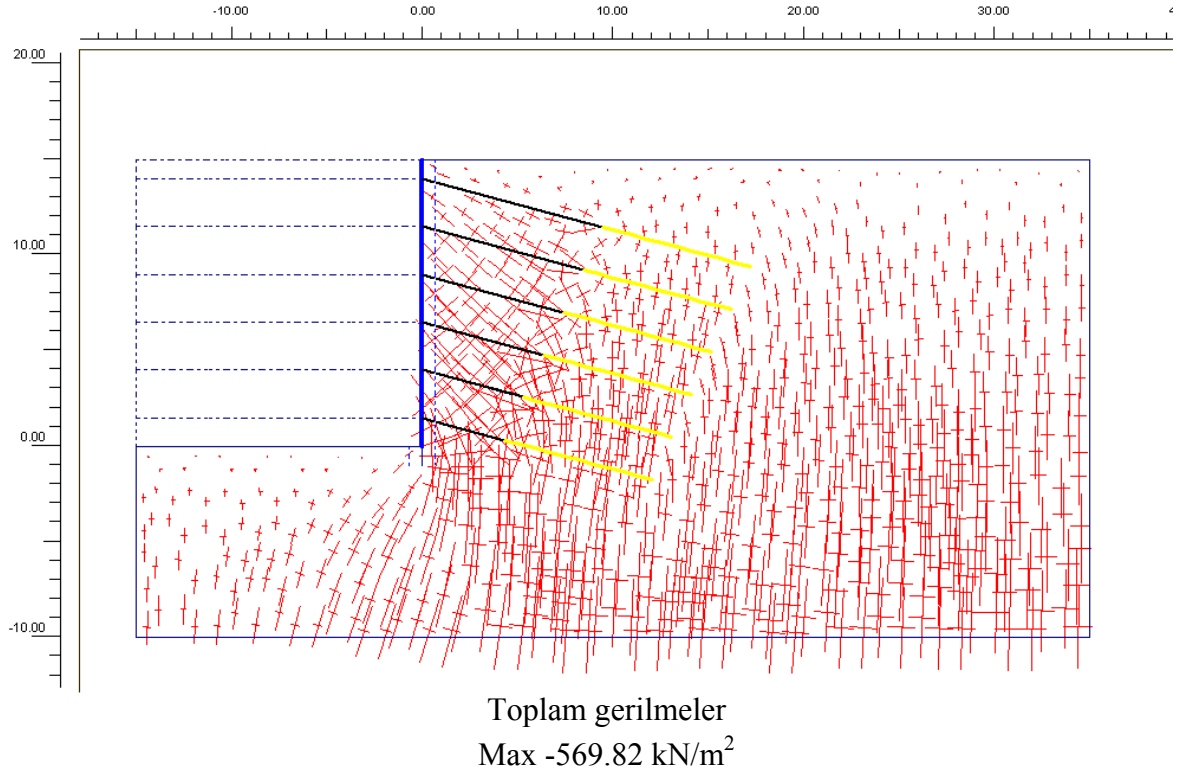


Ek 8 Şekil 17 Model 3 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=15.0 m

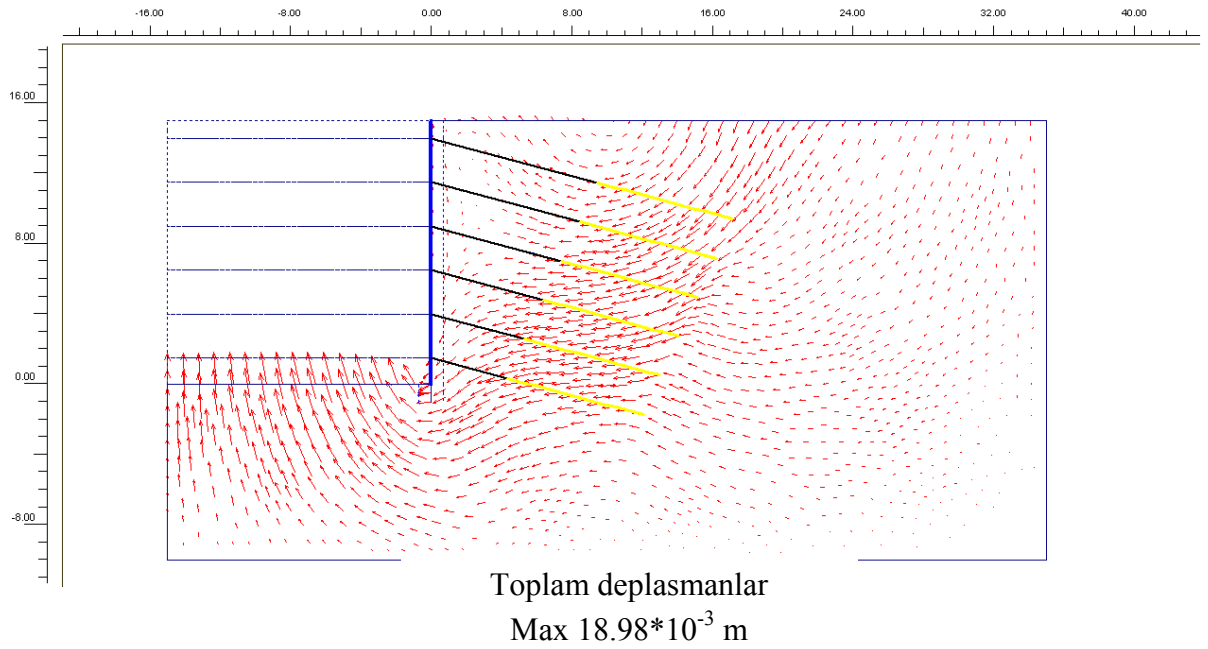


Toplam deplasman  
 $18.98 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

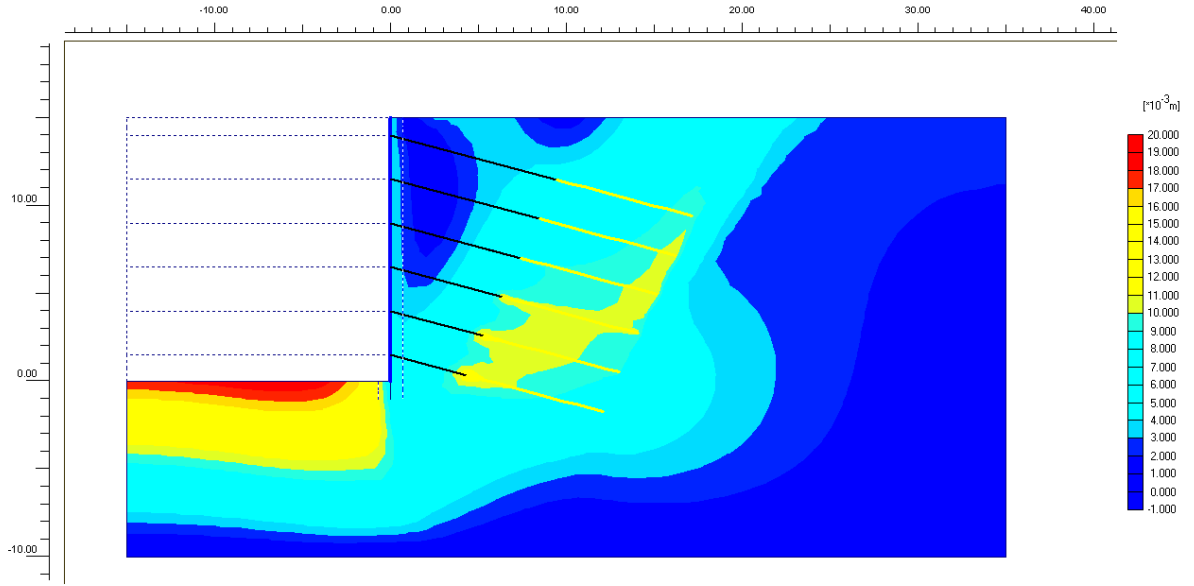
Ek 8 Şekil 18 Model 3 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer  
değiştirme miktarı



Ek 8 Şekil 19 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

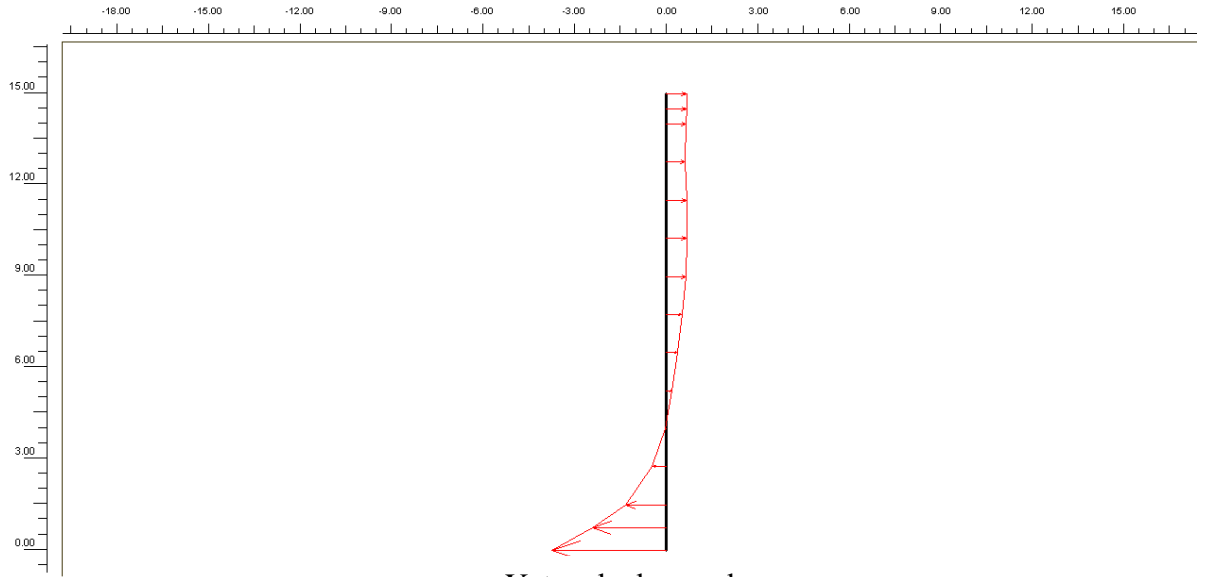


Ek 8 Şekil 20 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



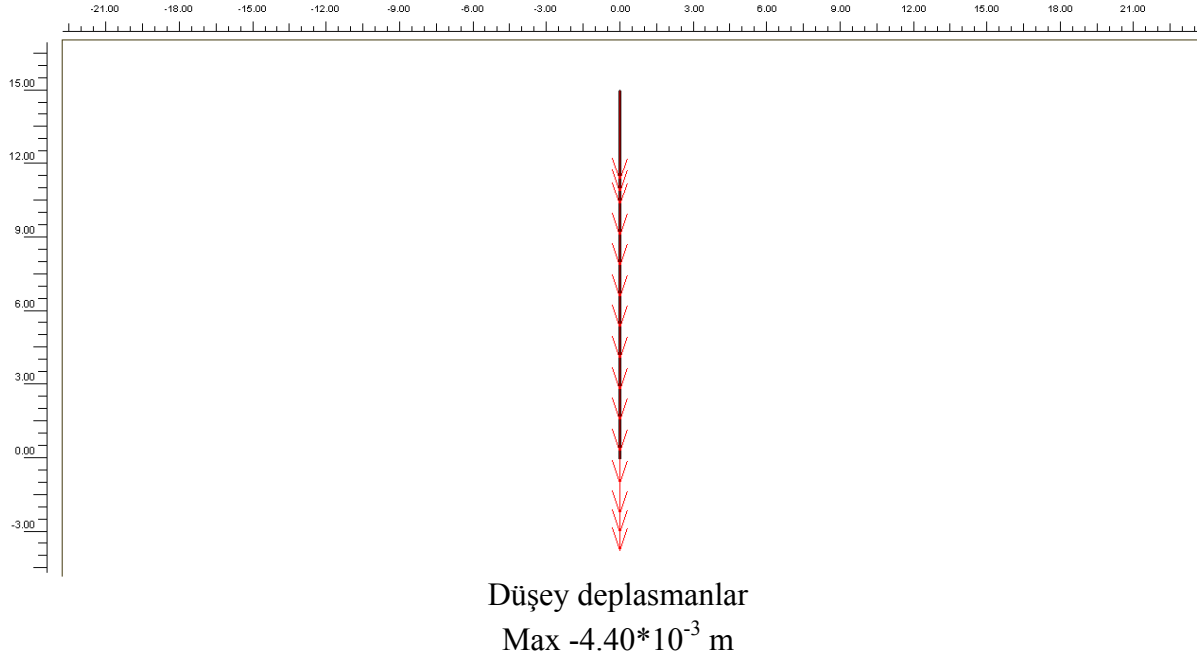
Toplam deplasmanlar  
Max  $18.98 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 8 Şekil 21 Model 3 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı

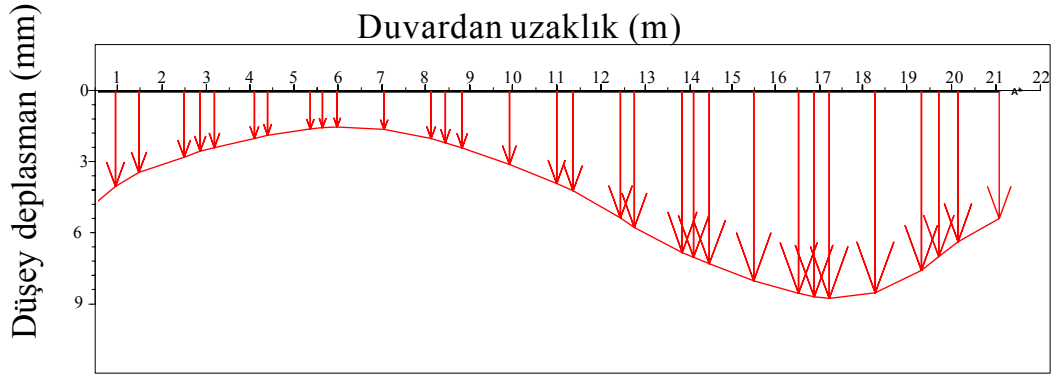


Yatay deplasmanlar  
Max  $-6.70 \cdot 10^{-3}$  m

Ek 8 Şekil 22 Model 3 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı

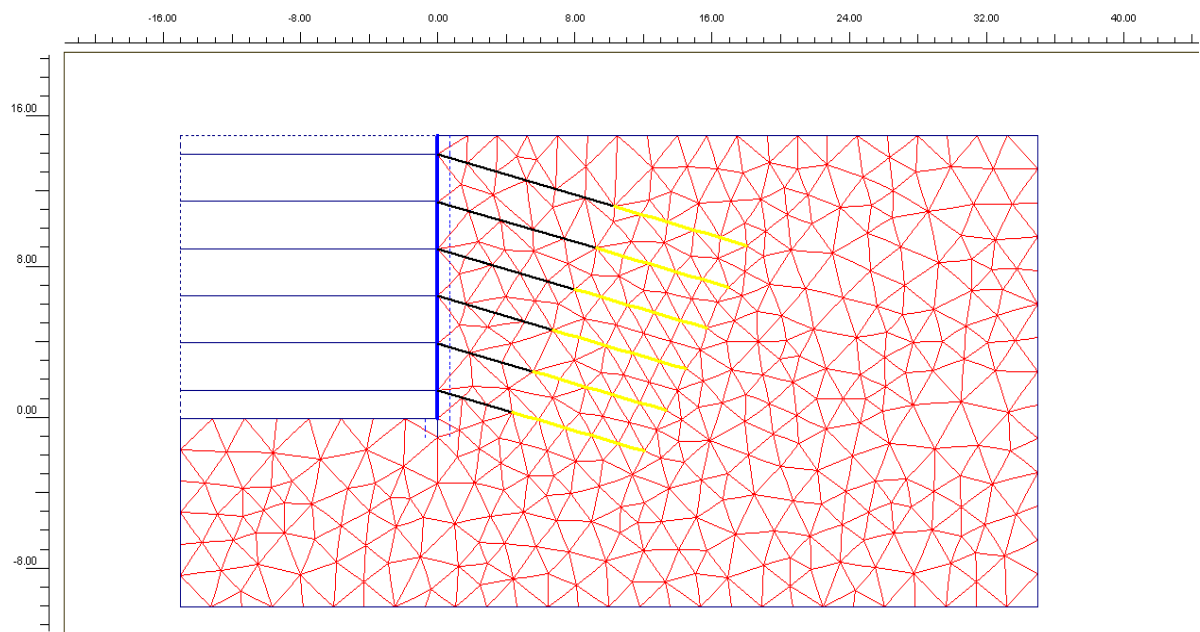


Ek 8 Şekil 23 Model 3 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



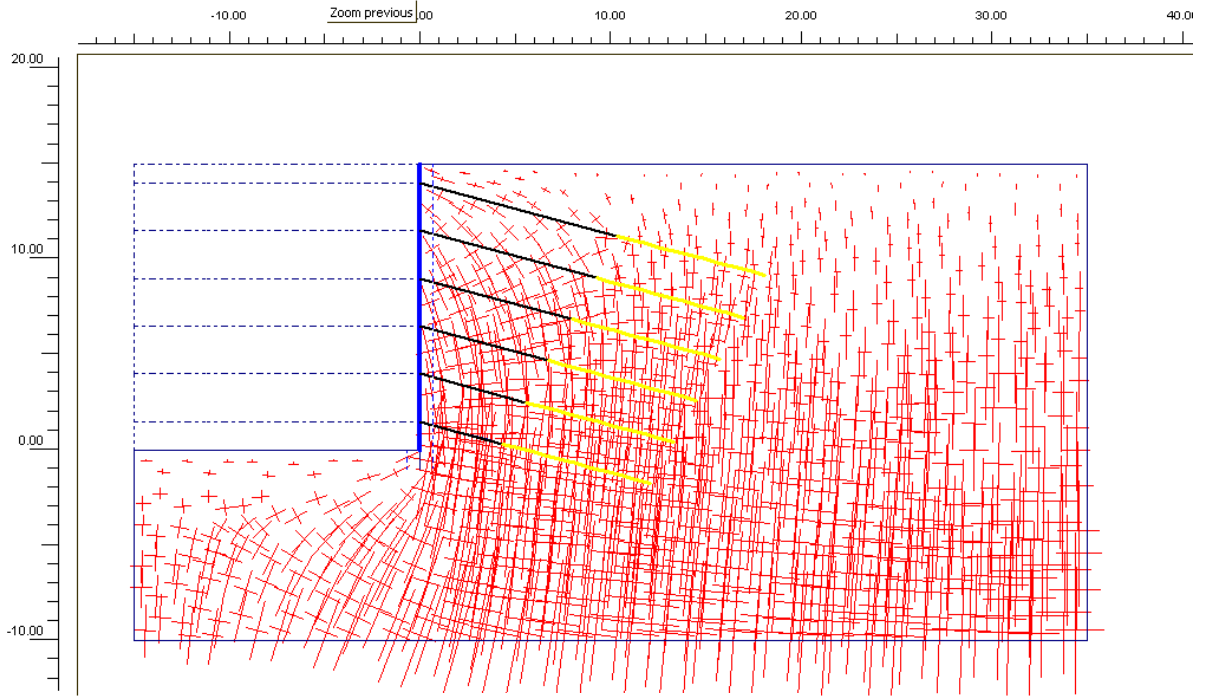
Ek 8 Şekil 24 Model 3 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

Ek 8 Şekil 25 Model 4 ankraj destekli kazı için nümerik model  
H=15.0 m



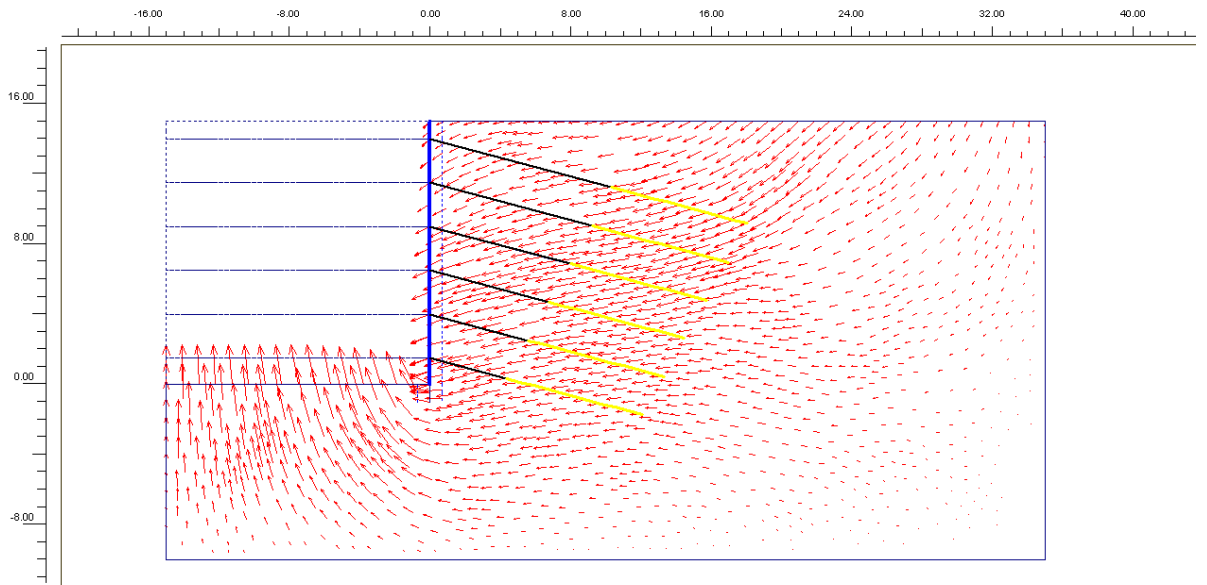
Toplam deplasman  
 $23.02 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Ek 8 Şekil 26 Model 4 için ankraj destekli kazıda deformasyon ağı ve maksimum yatay yer değiştirme miktarı



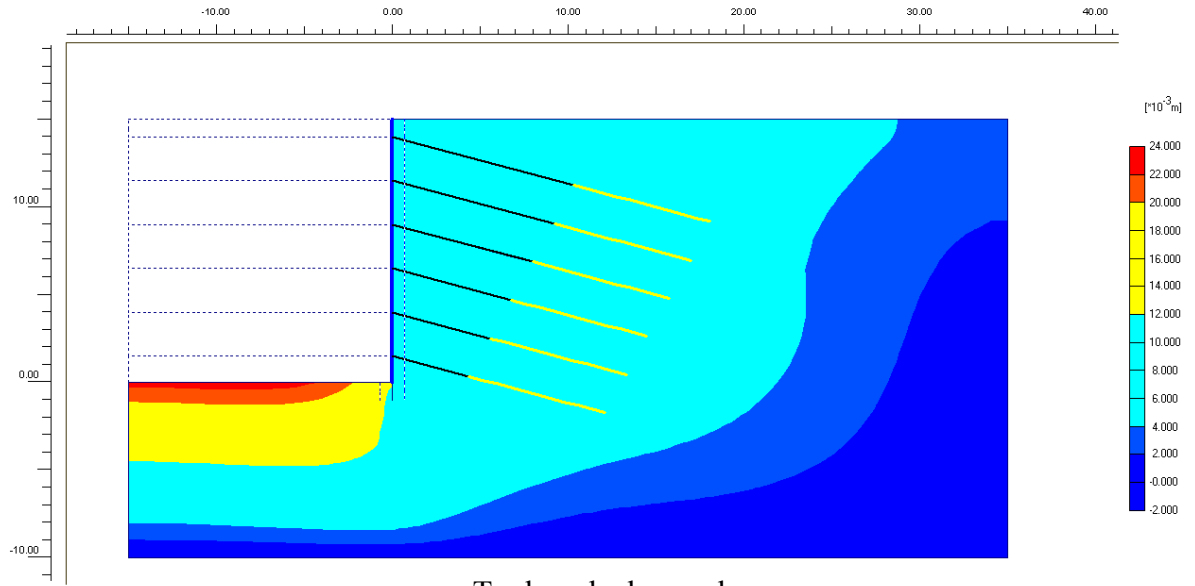
Toplam gerilmeler  
Max -350.74 kN/m<sup>2</sup>

Ek 8 Şekil 27 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam gerilmelerin değişimi

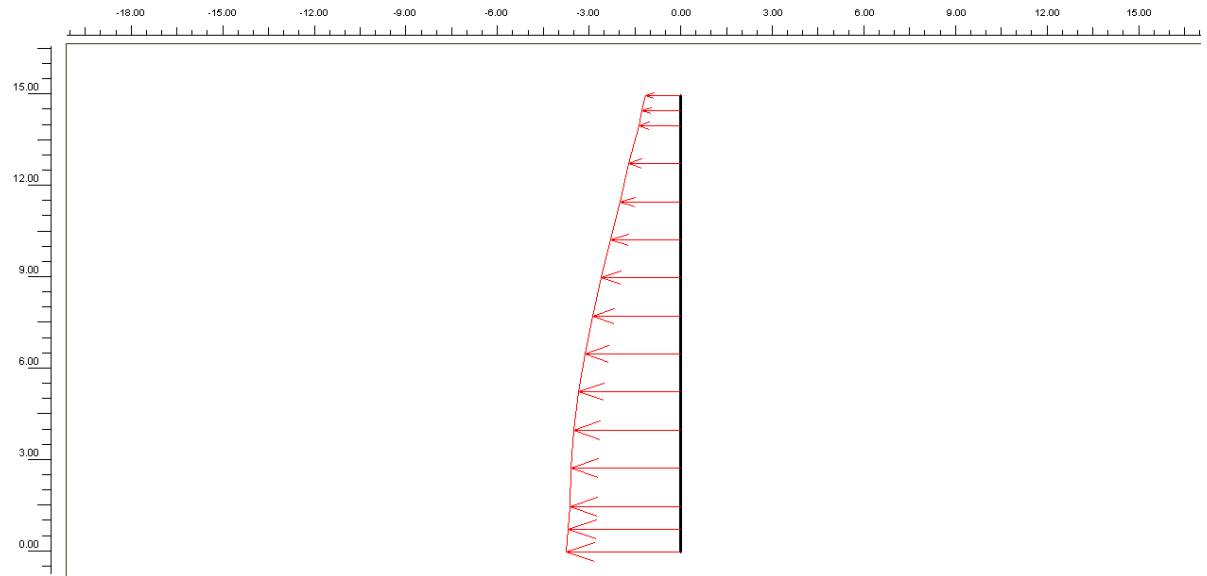


Toplam deplasmanlar  
Max 23.02\*10<sup>-3</sup> m

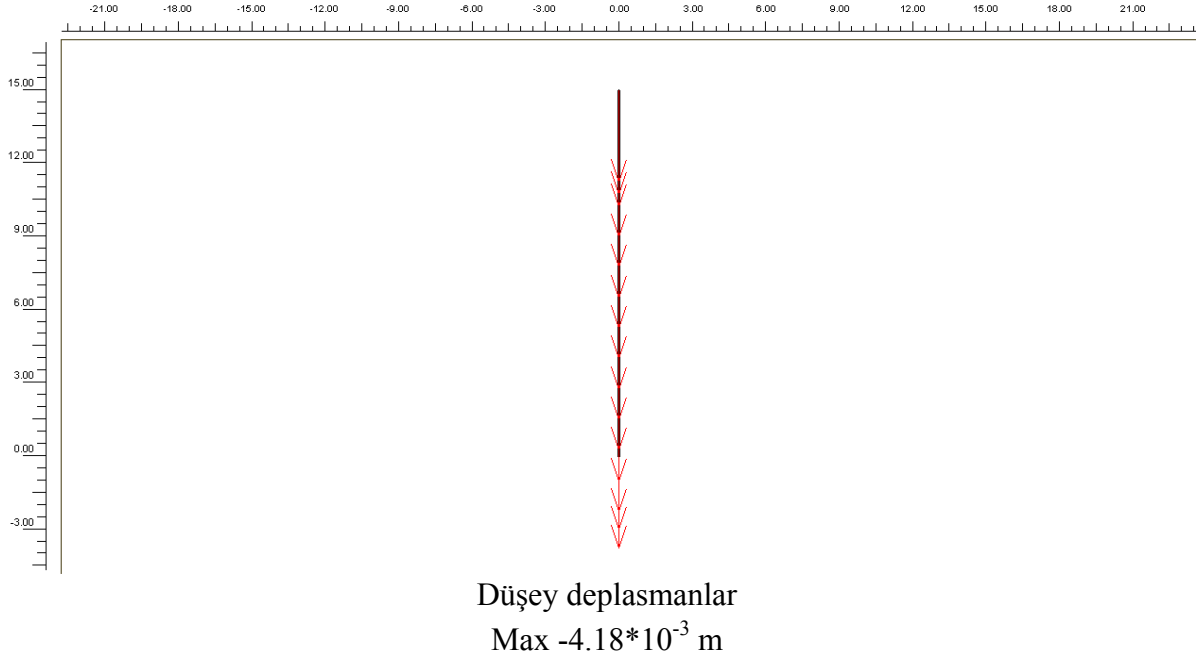
Ek 8 Şekil 28 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin vektörel dağılımı



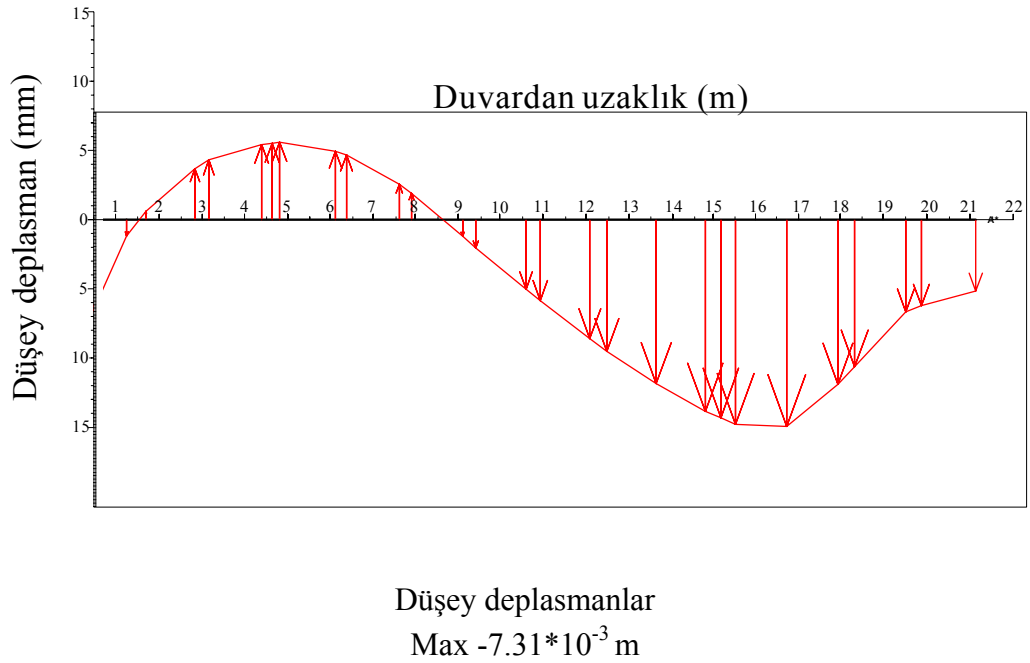
Ek 8 Şekil 29 Model 4 için ankraj destekli kazıda toplam yer değiştirmelerin dağılımı



Ek 8 Şekil 30 Model 4 için ankraj destekli duvarın yatay deplasmanı



Ek 8 Şekil 31 Model 4 için ankraj destekli duvarın düşey deplasmanı



Ek 8 Şekil 32 Model 4 için ankrajlı sistemde zemin yüzü boyunca duvar arkası düşey deplasmanlar

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 10.01.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1992 - 1996 Haydarpaşa Lisesi

Lisans 1997 - 2001 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak.  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003 - 2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Müh. Geoteknik Anabilim Dalı

**Çalıştığı kurumlar**

2002-2006 Fıratoğlu İnşaat Mühendislik Ltd Şti.  
2006-Devam ediyor Bilgi 2000 Mühendislik & İnşaat Ltd Şti.