

## Eğimli Arazide İnşa Edilmiş Donatılı Zemin Duvarında Stabilité Problemi

<sup>1</sup>Ertan Bol, <sup>1</sup>Sedat Sert ve <sup>1</sup>Aşkın Özocak

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

### Özet

Eğimli bir arazide jeolojik şartlar, jeomorfolojik özellikler, fiziksel süreçler ve insan etkileri sevi heyelan etmeye hazırlayan ana faktörlerdir. Jeolojik koşulların haricinde sayılan diğer tüm faktörler aynı zamanda bir heyelanın tetiklenmesine neden olan süreçleri de kapsamaktadır. Ani ağır veya uzun süreli yağışlar, heyelan ile ilgili fiziksel süreçlerin örnekleridir. Ani şiddetli yağış çok kısa bir süre içinde derin kar örtüsünün erimesine sebep olabilirken, uzun süreli yağmurlar yavaş ama sürekli olarak toprağın su muhtevasını arttırmırlar. Aynı zamanda aşırı sulama, drenaj sistemlerinde ve temiz/atık su sistemlerinde meydana gelen sızıntılar da toprağın doygunluk derecesini arttıran insan kaynaklı faktörlerdir. Bu çalışmada, doğal bir yamaç üzerinde inşa edilen donatılı zemin duvarda oluşmuş heyelan problemi incelenmiş ve heyelanı kontrol altına almak için bazı olası çözümler önerilmiştir. Uzun yıllar boyunca yağın yağmurlar yamaç zeminlerinin kayma mukavemeti azaltmıştır. Bu durum, donatılı zemin duvarın heyelana karşı güvenlik sayısında dikkate değer bir azalmaya yol açmış ve son olarak yoğun kar örtüsünün ani olarak erimesi de heyelanı tetiklemiştir. Gözlemler, laboratuvar deneyleri ve heyelan analizlerinin sonucunda; boşluk suyu basınçlarının şevin stabilitesini önemli derecede etkilediği, ayrıca donatılı zemin duvarın önünde yapılacak pasif kazıkların yamaç güvenliğini önemli derecede arttıracakı anlaşılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Donatılı zemin, yamaç duraylılığı, kazık.

## Stability Problem of a Reinforced Earth Wall on Sloping Ground

<sup>1</sup>Ertan Bol, <sup>1</sup>Sedat Sert and <sup>1</sup>Aşkın Özocak

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Sakarya University, Turkey

### Abstract

Geological conditions, geomorphological features, physical processes and human impacts are the main factors that prepare a sloping ground to slide. All other factors except for the geological conditions can also be shown as trigger of a landslide. Sudden heavy rainfalls and long duration rainfalls are examples of physical processes related to landslides. Sudden heavy rainfalls may cause melting of deep snow cover in a very short time while long duration rainfalls increase water content of soil slowly but continuously. At the same time, some human made reasons, such as excessive irrigation, leakage of water from drainage systems and clean/waste water systems, can be named as increasing factors of degree of saturation of soil. In this study, a landslide on a natural slope, which a reinforced earth wall was built on, was examined and some possible methods have been investigated to get the landslide under control. It has been concluded that rains for many years has reduced the shear strenght of the soils at the slope. Moreover, reinforced earth construction has led to a considerable decrease in factor of safety against sliding. Finally, sudden melting of heavy snow has also triggered the landslide. Regarding all of these observations and laboratory tests, stability analyses have shown that increasing pore pressure ratios significantly affects the stability of the slopes. It has been also observed from long term stability analysis that the safety of the slope will be able to ensured by placing passive piles in front of the reinforced earth wall.

**Key words:** Reinforced earth wall, slope stability, pile.

## 1. Giriş

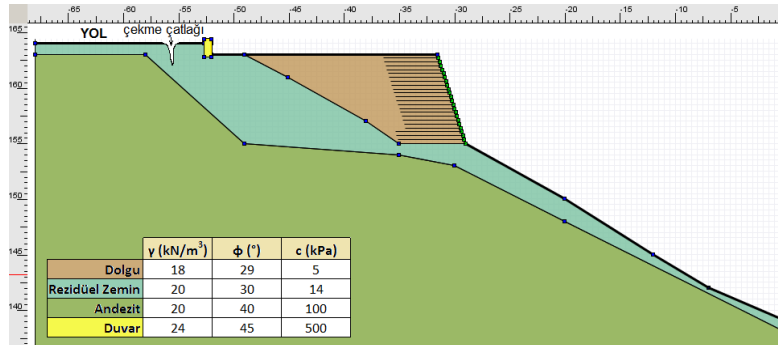
İnce tabakalar halinde sıkıştırılmış dolgu arasına yerleştirilen geosentetik veya metalik donatılar ile güçlendirilmiş donatılı zemin duvarları son yıllarda yüksek duvarların yapımında kullanım alanı bulmaktadırlar. Çekme gerilmesi alamayan zeminler bu donatılar sayesinde söz konusu gerilmelere de dayanabilmektedirler. Böylece oldukça yüksek duvarların yapımı mümkün olabilmektedir. Donatılı zemin duvarlarının kullanıldıkları malzemelere ve yapım yöntemlerine göre körük tip, teleskop tip ve kılavuz tip gibi çeşitleri vardır. Bu sistemler dolgu ve yarmalarda teşkil edilecek istinat yapılarında, köprü kenar ayakları ve yaklaşım duvarlarında, karayolu ve demiryollarında, su yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Esnek olmaları, kolay ve hızlı imal edilebilmeleri, dinamik yüklere karşı dayanıklı olmaları, estetik yüzeyler oluşturabilmeleri ve oldukça yüksek (~25 m) imal edilebilmeleri diğer duvarlara karşı avantajları arasında sayılabilir. Donatılı zemin duvarlar iç ve dış stabilite analizlerine göre boyutlandırılırlar. Donatıların sıyrılmaya ve kopmaya karşı tahkikleri iç stabilite analizleri olarak karşımıza çıkarken, tüm sistemin kaymaya, devrilmeye, taşıma gücüne ve toptan göçmeye karşı tahkikleri dış stabilite analizleri olarak bilinmektedir. Bu tahkiklere göre tasarlanan yapının güvenlik sayılarının TS7994 [1]'e göre Tablo 1' deki gibi olması önerilmektedir.

**Tablo 1.** Daimi Donatılı Zemin Duvarlarında Kullanılacak Güvenlik Sayıları [1]

| Analiz ve Zemin Türü |     | Güvenlik Sayısı |
|----------------------|-----|-----------------|
| Kayma                | Kil | 1.50            |
|                      | Kum | 1.50            |
| Devrilme             |     | 1.30            |
| Toptan Göçme         |     | 1.50            |
| Taşıma Gücü          | Kil | 2.00            |
|                      | Kum | 3.00            |
| Oturma               |     | 1.50            |

## 2. Materyal ve Metod

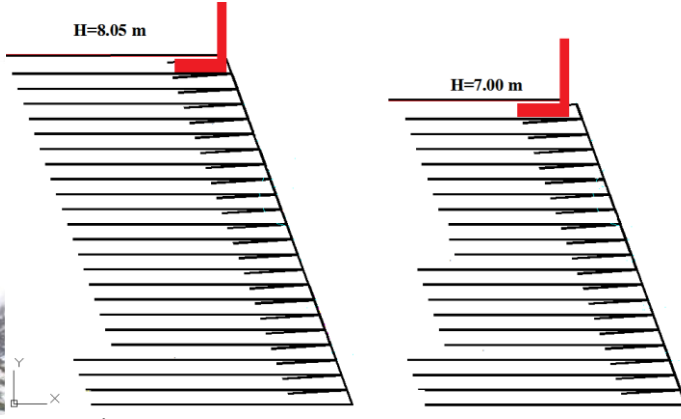
Bu çalışma kapsamında otopark alanı oluşturmak amacı ile üretilmiş, Şekil 1' de kesiti gösterilen bohçalama tekniği ile imal edilmiş, geosentetik malzeme ile güçlendirilmiş ve stabilitesi kritik duruma gelmiş donatılı bir zemin yapısı (geoduvar) incelenmiştir. İncelenen donatılı zemin yapısı topoğundan dere geçen ve yaklaşık eğimi 40 derece olan bir yamacın tepe noktasına inşa edilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen donatılı zemin yapısının maksimum yüksekliği 8.05 metredir (Foto 1).



**Şekil 1.** İncelenen donatılı zemin yapısının kesiti



**Foto 1.** İncelenen donatılı zemin yapısı



**Şekil 2.** İncelenen donatılı zemin yapılarının farklı kesitleri

Donatılı zeminin 35 cm düşey aralıklarla yerleştirilen donatı arasına dolgunun bohçalanması şeklinde inşa edildiği ve donatı uzunluklarının tabanda 6 metre, yukarıya doğru 5 ve 4 metre olarak teşkil edildiği beyan edilmiştir. Şekil 2' de 8.05 ve 7.00 m yükseklikte teşkil edilmiş duvarların kesitleri görülmektedir.

### 2.1. Arazi Gözlemleri

Bölgede yaşayan yerel sakinler donatılı zemin inşa edilmeden önce 6-7 yılda bir yamacın tepe noktalarında çekme çatlaklarının belirdiği ve kısmi heyelanların olduğu bilgisini vermişlerdir. Bunun yanında karşı yamaçlarda gözlemlenen yüzeysel kaymalar da ortamın heyelana karşı duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu bilgiler yamacın stabilitesi konusundaki hassasiyeti ortaya koymaktadır. Heyelana karşı böylesine kritik bir duruma sahip alanda gerçekleştirilen geoduvanın ortamdaki sürücü kuvvetleri artırması nedeniyle kesitin dengesi olumsuz yönde etkilenmiştir. Çalışma alanında yol sınırında beliren ayrılmalar ve sınır duvarlarında görülen çatlaklar kitlenin önemli büyüklükte hareket ettiğini göstermektedir (Foto 2 ve 3). Bunun yanında duvarlardaki açılmaların 1cm/gün'lük hızla devam ettiği arsa sahipleri tarafından beyan edilmektedir. Bunun yanında arazide yapılan gözlemler duvar ön yüzünün öne doğru bir şişme hareketi yaptığını göstermiştir. Ayrıca ilk gözlemlerde geoduvanın inşasında kullanılan dolgu malzemesinin izin verilebilir orandan daha fazla miktarda ince dane ihtiva ettiği konusunda tereddüt belirmiştir. Bu durum yağışlarla gelen yüzeysel suların duvar bünyesinde tutularak ilave bir sürücü kuvvet oluşturma neticesini meydana getirecektir.



**Foto 2.** Yol sınırında gerçekleşen ayrılma



**Foto 3.** Dolgu üstü duvarda gerçekleşen ayrılma

## 2.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanında 5 adet sondaj ve 3 adet de araştırma çukuru açılmıştır. Yapılan bu çalışmalara göre; arazide tabanda andezit bulunduğu, bunun üzerinde ise andezitin ayrışma ürünü olan düşük dayanımlı rezidüel zeminlerin çeşitli kalınlıklarda yer aldığı rapor edilmektedir. Alanda özellikle rezidüel (kalıntı) zeminden alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deney sonuçları Tablo 2' de özetlenmektedir.

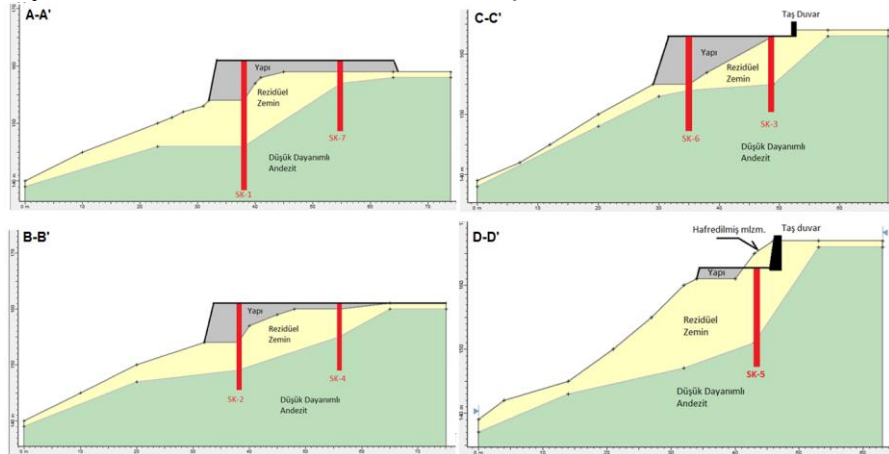
**Tablo 2.** Dolgu Malzemesinin Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

| Sondaj No | Numune No | Derinlik    | Litoloji  | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | e    | c (kPa) | $\phi$ |
|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------------------------|------|---------|--------|
| SK-1      | CR1-1     | 13.00-13.50 | Rez. Zem. | 17.91                       | ---  | 2.94    | 31.10  |
| SK-3      | SPT3-1    | 6.00-6.45   | Rez. Zem. | 18.09                       | ---  | 13.73   | 20.80  |
| SK-4      | CR4-1     | 3.00-4.50   | Rez. Zem. | 18.06                       | ---  | 7.85    | 21.80  |
| SK-4      | CR4-2     | 9.00-9.50   | Andezit   | 18.31                       | ---  | 24.52   | 16.20  |
| SK-5      | CR5-1     | 2.50-3.00   | Rez. Zem. | 18.21                       | ---  | 23.54   | 27.20  |
| SK-5      | SPT5-1    | 7.50-7.95   | Rez. Zem. | 17.98                       | ---  | 7.85    | 27.10  |
| SK-5      | SPT5-2    | 9.00-9.45   | Rez. Zem. | 18.14                       | ---  | 12.75   | 20.70  |
| AÇ        | 1         | Dolgu       | Dolgu     | 17.22                       | 0.84 | 5.00    | 30.00  |
| AÇ        | 2         | Dolgu       | Dolgu     | 17.83                       | 0.73 | 0.00    | 38.00  |
| AÇ        | 3         | Dolgu       | Dolgu     | 17.52                       | 0.70 | 0.00    | 29.00  |

Tablo 2 incelendiğinde rezidüel zeminin kohezyonu 3-25 kPa arasında ve sürtünme açısı da 16<sup>0</sup>-31<sup>0</sup> arasında değişmektedir. Dolgunun ise kohezyonu 0-5 kPa arasında ve sürtünme açısı 29<sup>0</sup>-38<sup>0</sup> arasında değişmektedir. Bu değerler kullanılarak mevcut topoğrafyanın geri analizleri yapılarak dolgunun kohezyonunun 5 kPa, sürtünme açısının 35<sup>0</sup> ve rezidüel zeminin kohezyonunun 14 kPa, sürtünme açısının 30<sup>0</sup> alınmasına karar verilmiş ve stabilite analizlerinde bu değerler kullanılmıştır.

## 2.3. Heyelan Analizleri

Heyelan Analizleri için, başlangıçta hangi kesitin daha kritik olduğunu belirlemek amacı ile, alanın tümünü temsil eden 4 adet kesit kullanılmıştır (Şekil 3). Heyelan analizlerinde bu kesitler orijinal durumu yansıtan kesitler olarak nitelendirilmiştir.



**Şekil 3.** Analizlerde kullanılan kesitler

Heyelan analizlerinde yatay deprem (sismik) katsayısının ne seçileceği hakkında literatürde kesin bir yargı yoktur. Bununla birlikte Tablo 3' te bu konuda bazı araştırmacıların önermiş olduğu değerler özetlenmektedir [2]. Çalışma alanı için yapılan heyelan analizlerinde yatay deprem ivmesi  $k_h=0.15$  olarak alınmıştır.

**Tablo 3.** Tavsiye Edilen Yatay Sismik Katsayılar [2]

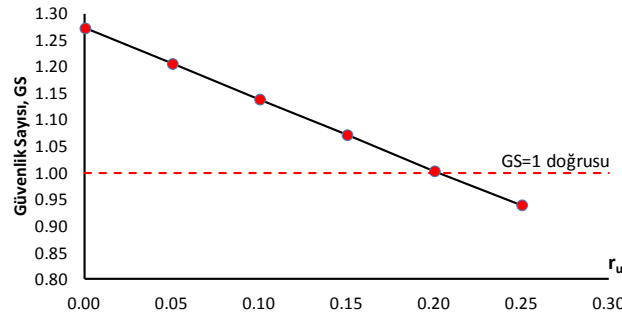
| Yatay Sismik Katsayı, $k_h$                                                                | Açıklama                                     |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| 0.05-0.15                                                                                  | Amerika Birleşik Devletleri                  |                               |
| 0.12-0.25                                                                                  | Japonya                                      |                               |
| 0.10                                                                                       | Ciddi ( <i>severe</i> ) Depremler            |                               |
| 0.20                                                                                       | Şiddetli ( <i>violent</i> ) Yıkıcı Depremler | Terzaghi (1950) [3]           |
| 0.30                                                                                       | Felaket ( <i>catastrophic</i> ) Depremler    |                               |
| 0.10-0.20                                                                                  | $GS>1.15$                                    | Seed (1979) [4]               |
| 0.10                                                                                       | Önemli ( <i>major</i> ) Depremler            |                               |
| 0.15                                                                                       | Büyük ( <i>great</i> ) Depremler             | Corps of Engineers (1982) [5] |
| PHA/3-PHA/2                                                                                | $GS>1.0$                                     | Marcuson (1983) [6]           |
| PHA/2                                                                                      | $GS>1.0$                                     | Hynes-Griffin (1984) [7]      |
| $GS$ =Güvenlik Sayısı, $PHA$ = Pik Yatay İvme, $g$ ( <i>Peak Horizontal Acceleration</i> ) |                                              |                               |

Yapılan analizlerde dairesel kayma yüzeyleri incelenmiştir. Tüm kesitlerde Boşluk Suyu Basıncı Oranı ( $r_u$ ) 0.20 seçilerek depremsiz ve depremli ( $k_h=0.15$ ) durumlar için analizler yapılmış ve sonuçları Tablo 4' de verilmiştir. Buradan anlaşılabacağı üzere ilk üç kesitin (A-A', B-B' ve C-C') statik durumda dengede olduğu görülmüştür. Bununla birlikte B-B' kesitinin depremli durumda kritik seviyeye geldiği ve C-C' kesitinde ise depremli durumda yenilme meydana geleceği anlaşılmaktadır. D-D' kesitinin ise statik durumda bile kritik duruma geldiği anlaşılmakta olup boşluk suyu basıncındaki ani bir artışın bile deprem olmaksızın sistemin dengesini bozacağı görülmektedir. Kesitlerde kaymanın rezidüel zeminde olduğu anlaşılmakta, bu durum arazide gerçekleştirilen inklinometre okumaları ile de teyit edilmektedir. Zira inklinometre yerleştirilmesi için açılan kuyularda ölçüm sırasında 12 metre civarında aşırı deformasyon belirdiği ifade edilmiştir.

**Tablo 4.** Tüm Orijinal Yüklü Kesitlerde Duraylılık Analizleri Sonuçları ( $r_u=0.2$ )

| Kesit | Çözüm No | Deprem Durumu ( $a_h$ ) | GS    |
|-------|----------|-------------------------|-------|
| A-A'  | 1        | 0.00                    | 1.318 |
|       |          | 0.15                    | 1.013 |
| B-B'  | 2        | 0.00                    | 1.423 |
|       |          | 0.15                    | 1.077 |
| C-C'  | 3        | 0.00                    | 1.254 |
|       |          | 0.15                    | 0.985 |
| D-D'  | 4        | 0.00                    | 1.004 |
|       |          | 0.15                    | 0.777 |

Alanda meydana gelen heyelanın boşluk suyu basıncındaki ( $r_u$ ) artış nedeni ile tetiklendiği düşünülmektedir. Bu amaçla topoğrafyası nedeni ile en kritik kesit seçilen D-D' hattında boşluk suyu basıncının güvenlik sayısı üzerindeki etkisi incelenmiş ve Şekil 4' de sonuçları gösterilmiştir. Buradan anlaşılabacağı üzere boşluk suyu basıncının D-D' kesiti üzerinde önemli bir etkisi vardır ve  $r_u$ ' nun 0.2 olması durumunda şevin kritik eşiğe geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4. D-D' kesitinde boşluk suyu basıncı oranı ( $r_u$ )-güvenlik sayısı (GS) ilişkisi

Tablo 5' ten anlaşılabacağı üzere çalışma alanında en kritik kesitlerin C-C' ve D-D' olduğu görülmektedir. Bunun üzerine sistemin uzun vadede güvenliğini sağlayacak yöntemin araştırılması için kazıklı çözümler de yapan *TALREN* programı kullanılmıştır. Bu analizlerde sistemin orjinal haldeki durumu, üzerindeki yükün kaldırılması ile güvenlik sayısındaki olumlu gelişim ve uzun vadede depremli durumlarda da güvenliğini sağlayacak kazıklı sistemin yamaca kazandırdığı güvenliğini gözlemlemek mümkün olmuştur. Tablo 5' de çözüm sonuçları görülmektedir.

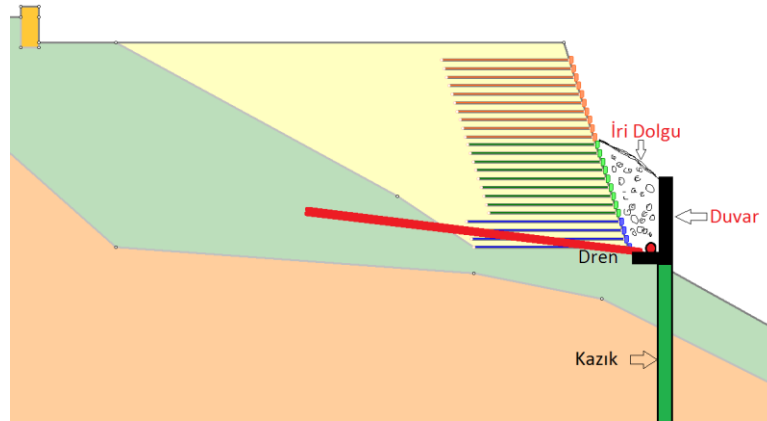
Tablo 5' den görüleceği üzere dolgu üzerindeki yükü 2.00-2.50 metre azaltmanın statik duruma olumlu yönde az da olsa katkı sağladığı anlaşılmaktadır. C-C' kesiti için bu katkı oldukça kayda değer iken, D-D' kesitinde rezidüel toprak kalınlığının ve eğimin fazla olmasından dolayı pek de kayda değer olmadığı görülmektedir. Ayrıca yük azaltılmış olsa bile depremli durumlarda ( $k_h=0.15$ ) D-D' kesiti için güvenliğin kaybolacağı görülmektedir. Bu durumda ek olarak 80 cm çaplı ve 80 cm aralıklı tek sıra teğet kazık düşünülmüş, ancak yine depremli durum için güvensiz durumda kalınmıştır. Bu nedenle D-D' kesitinin olduğu bölgeye ikinci sıra kazık modellenmiş ve ancak bu durumda güvenli olabileceği anlaşılmıştır. A-A', B-B' ve C-C' kesitlerinin olduğu bölgelerde  $r_u=0.2$  durumunda şevin genel güvenliği kritik çıkmaktadır. Bu durumda boşluk suyu basıncında öngörülmeleyen artışların seviye yine güvensiz duruma getirebileceği düşünüldüğünden bu kısımlara da çapı en az 60 cm olan 1 metre aralıklı kazıkların teşkil edilmesi uygun görülmüştür.

Tablo 5. C-C' Kesiti Heyelan Analizi Sonuçları ( $r_u=0.2$ )

| Kesit No | Dolgu Yüğü | Deprem | Kazık   |         | Güvenlik Sayısı |
|----------|------------|--------|---------|---------|-----------------|
|          |            |        | 1. Sıra | 2. Sıra |                 |
| C-C'     | Tam        | 0.00   | Yok     | Yok     | 1.28            |
|          | Azaltılmış | 0.00   | Yok     | Yok     | 1.46            |
|          | Azaltılmış | 0.15   | Yok     | Yok     | 1.09            |
| D-D'     | Tam        | 0.00   | Yok     | Yok     | 1.00            |
|          | Azaltılmış | 0.00   | Yok     | Yok     | 1.04            |
|          | Azaltılmış | 0.15   | Yok     | Yok     | 0.81            |
|          | Azaltılmış | 0.15   | Var     | Yok     | 0.93            |
|          | Azaltılmış | 0.00   | Var     | Var     | 1.53            |
|          | Azaltılmış | 0.15   | Var     | Var     | 1.08            |
|          | Azaltılmış | 0.15   | Var     | Var     | 1.08            |



Bilindiği gibi yamaçlarda duraylılık kayıplarının en önemli etkeni sudur. Çalışma alanı özellikle kış aylarında ağır yağış almaktadır. Yağmurlarla ve karların ani bir şekilde erimesi ile gelen su, boşluk suyu basıncı oranı ( $r_u$ ) değerini arttırmaktadır, bu da duraylılığın azalmasına yol açmaktadır. Dolayısı ile  $r_u$  değerinin yükselmesini önleyici önlemler almak sistemi daha da güvenli duruma getirecektir. Alanda jeolojik yapının özellikleri dikkate alındığında; rezidüel zemin içine doğru yapılacak eğik sondajlar ile yerleştirilecek drenaj boruları boşluk suyu basıncı oranının yükselmesini önleyecektir (Şekil 5).



**Şekil 5. Önerilen kazık ve drenaj sistemi (ölçeksiz)**

#### 2.4. Donatılı Zeminin Dolgu Uygunluk Değerlendirmesi

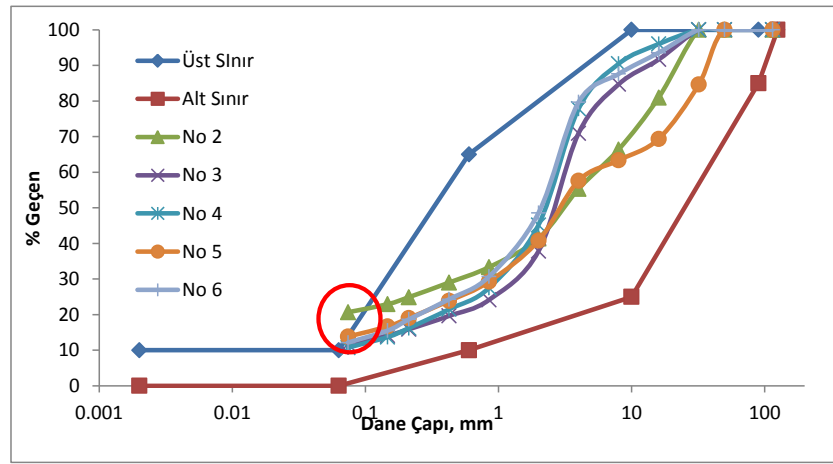
Donatılı zemin dolgusundan elde edilen numuneler üzerinde ayrıca sınıflandırma deneyleri yapılmış ve sonuçları Tablo 6' da sunulmuştur. Burada sunulan 1, 2 ve 3 nolu numuneler kesme kutusu deneyleri için de kullanılmıştır. 1 nolu numune kesme kutusuna tabi tutulmadan önce kesme kutusu kalıbına girmeyecek boyutlarda iri malzeme ihtiva etmesinden dolayı 6 mm elekten geçen malzemeler üzerinde deney yapılmıştır. Bu sebeple simgesi kum olarak çıkmıştır. 1 nolu numune haricindeki dolgu numunelerinin hepsi çakıl sınıfına girmekle beraber, çakıl haricindeki malzemelerin %49' lara varması ve ince dane oranlarının da %21' lere ulaşması düşündürücüdür. Ayrıca inceler üzerinde Casagrande yöntemiyle yapılan likit limit deney sonuçlarından incelerin kil olarak sınıflandırılması (*CI-Orta Plastisiteli Kil*) da ayrıca dikkat çekmektedir. Bu durumda yağışlarla gelen yüzeysel sular kil tarafından duvar bünyesinde tutularak ilave bir sürücü kuvvet oluşturma neticesini beraberinde getirecektir. Ayrıca donatıların etrafı kısmen kille sıvanıp kaysa bile tüm duvar sisteminin etkilenmesi kaçınılmaz olmaktadır. Tablo 7' de donatılı zemin dolgularında kullanılması uygun olan malzemenin dane dağılımları sunulmaktadır. Şekil 6' da dolgudan alınan numunelerin dane dağılım eğrileri ayrıca verilmiştir. Buradan görüleceği üzere dolgudan gelen numunelerin tümünde ince dane oranları şekilde kırmızı halka içinden izlenebileceği gibi üst sınırın da üzerinde çıkmıştır.

**Tablo 6.** Fiziksel Deney Sonuçları

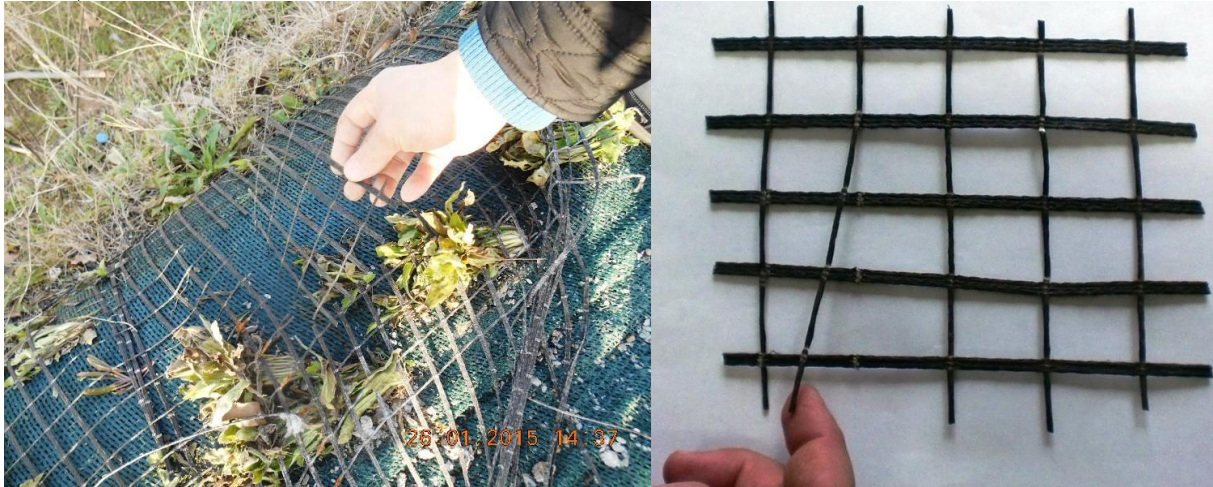
| Num.No | %İnce | %Kum  | %Çakıl | $c_u$ | $c_r$ | $w_n$ | $w_L$ | $w_P$ | Sınıf | Açıklama                 |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
| 1      | 6.22  | 81.99 | 11.79  | 4.43  | 0.72  | 21.59 | NP    | NP    | SP-SM | Üniform Kum ve Az Silt   |
| 2      | 20.67 | 20.72 | 58.61  | ---   | ---   | 17.55 | 41    | 22    | GC    | Killi Çakıl ve Az Kum    |
| 3      | 11.73 | 26.08 | 62.19  | 61    | 12.85 | 15.61 | 39    | 22    | GP-GC | Ün. Çakıl, Kum ve Az Kil |
| 4      | 10.73 | 34.44 | 54.83  | 40    | 5.10  | 12.67 | 35    | 21    | GP-GC | Ün. Çakıl, Kum ve Az Kil |
| 5      | 13.84 | 26.92 | 59.24  | ---   | ---   | 9.50  | 38    | 21    | GC    | Killi Çakıl ve Az Kum    |
| 6      | 12.15 | 36.39 | 51.45  | ---   | ---   | 13.92 | 38    | 28    | GC    | Killi Çakıl ve Az Kum    |

**Tablo 7.** Uygun Dolgu Özellikleri

| Çap     | 125 mm | 90 mm  | 10 mm  | 600 $\mu$ | 63 $\mu$ | 2 $\mu$ |
|---------|--------|--------|--------|-----------|----------|---------|
| % Geçen | 100    | 85-100 | 25-100 | 10-65     | 0-10     | 0-10    |

**Şekil 6.** Dolgudan alınan numunelerin dane dağılım eğrileri

8 metre yüksekliğe varan donatılı zeminin, 35 cm düşey aralıklarla yerleştirilen donatı arasında dolgunun bohçalanması şeklinde inşa edildiği ve donatı uzunluklarının tabanda 6 metre, yukarıya doğru 5 ve 4 metre olarak oluşturulduğu görülmüş, söz konusu donatılardan numune alınmıştır (Foto 4).

**Foto 4.** Donatılı zemin yapısında donatı örneği



Arazide yapılan gözlemlerde duvar ön yüzünün öne doğru bir şişme hareketi yaptığı izlenmiştir. Foto 4’ ten görüleceği üzere kullanılmış olan donatıların oldukça zayıf nitelikli olduğu izlenmiştir. Literatürde de bu tür malzemeler tel örgü polyester (*Warp Knitted Polyester*) olarak adlandırılmaktadırlar. Ayrıca birbirine dikey olarak teşkil edilen donatıların çok ince iplikler ile birbirine kenetlendiği ve ufak bir el darbesi ile dahi birbirinden kolayca ayrıldığı izlenmiştir (Foto 4). Bu tip bir malzeme ile 8.00 metre gibi önemli bir yükseklikte donatılı zemin teşkil etmek sakıncalıdır. Zira dolguda meydana gelebilecek en ufak bir deformasyon, donatı kenet yerlerinin kopmasına ve donatıların tek doğrultuda çalışmasına neden olacaktır. Tek doğrultuda çalışan söz konusu donatılarda da yeterli tutunma/sürtünme yüzeyi olmadığından kolaylıkla sıyrılma meydana gelebilecektir. Böyle bir yapıda kullanılması uygun olan klasik geogrid kesitleri Foto 5’ de sunulmaktadır. Söz konusu geogridlerde birbirine dik olan donatılar yekpare döküm şeklinde olup dolgu ile tam bir kenetlenme sağlayabilmektedirler.



**Foto 5.** Donatılı zemin duvarda kullanılan geogrid örnekleri

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada topoğunda dere bulunan yaklaşık 40 derece eğimli bir yamacın tepe noktasında yer alan donatılı zemin ile teşkil edilmiş otopark arsasında gerçekleşmiş olan hareketin sebebi araştırılmış ve güvenliğin sağlanması için alınması gerekli önlemler tartışılmıştır. Çalışma alanı civarında dolgu teşkili öncesinde de heyelanların meydana geldiği, yapılan gözlemlerde de özellikle karşı yamaçlarda bölgesel akımların mevcut olması durumu; ortamın jeolojik açıdan heyelana karşı hassasiyetini ortaya koymaktadır. Yamaç aşağı gelen sular ile ortamın yıllardır beslenmesinin güvenlik sayısının dereceli olarak düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte ortamı heyelana hazırlayan etkenlerden biri de heyelan kitlesinin tepesine 7.00-8.00 metre gibi azımsanamayacak yükseklikte bir donatılı zemin yapısının inşa edilerek sürücü kuvvetlerin artırılmasıdır. Çalışma alanında meydana gelen heyelanın ana tetikleyici etkeninin ise aşırı yağın karların ani erimesi sonucu ortamın doygunluğunun hızla yükselmesi olduğu ve böylece güvenlik sayısının artan sürücü kuvvetler etkisi ile limit denge durumuna geldiği sonucuna varılmıştır. Yapılan incelemelerde donatıların oldukça zayıf nitelikli olduğu izlenmiştir. Donatıların geogrid kalitesinde değil, daha çok bahçe düzenlemesinde zemin yüzeyi makyaj malzemesi olarak kullanılan geonet niteliğinde olduğu gözlemlenmiştir. Dalgudan alınan numuneler üzerinde yapılan fiziksel deneylerin sonuçlarına göre incelerin oranının %20’ lere varması ve incelerin kil sınıfında olması dolgu kalitesinin de standartların sınırında olduğunu

göstermektedir. A-A', B-B' ve C-C' kesitlerinin olduğu hatlarda,  $r_u=0.2$  durumunda şevin genel güvenliği kritik çıkmaktadır. Bu durumda donatılı dolgunun topuğuna teşkil edilecek kazıklı perdenin güvenliği arttıracak kanaatine varılmıştır. Kazık teşkili ile sistemin genel güvenliği sağlansa da donatılı zemin yapısının iç güvenliği kuşkulu kalacaktır. Buna yönelik olarak mevcut donatılı zemin yapısına müdahale etmeden ve ederek farklı çözümler ortaya konulabilir. Donatılı zemine müdahale edilmemesi durumunda; kazık teşkilinden sonra kazık başlarının üzerine inşa edilecek konsol bir istinat duvarının arkasına yerleştirilecek iri daneli dolgu donatılı zeminin pasif direncini arttıracaktır. Ayrıca donatılı zeminin topuğunda içeriye doğru yapılacak eğimli bir dren sistemi, duvar arkasındaki drenaj sistemi ile birleştirildiğinde su basınçlarının artmasını önleyici rol oynayacaktır.

## Kaynakça

- [1] TS7994. Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları. 1990, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [2] Melo C. and Sunil S. Seismic Coefficients For Pseudostatic Slope Analysis. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 369.
- [3] Terzaghi K. Mechanisms of Landslides. Engineering Geology (Berkeley) Volume. Geological Society of America, 1950.
- [4] Seed HB. Considerations in the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams. Géotechnique, 1979, Vol. 29, No. 3, pp. 215-263.
- [5] Corps of Engineers. Slope Stability Manual EM-1110-2-1902. Washington, D. C.: Department of the Army, Office of the Chief of Engineers, 1982.
- [6] Marcuson WF, Franklin AG. Seismic Design, Analysis, and Remedial Measures to Improve the Stability of Existing Earth Dams, Corps of Engineers Approach, in Seismic Design of Embankments and Caverns, T.R. Howard, Ed., New York, ASCE, 1983.
- [7] Hynes-Griffin ME, Franklin AG. Rationalizing the seismic coefficient method. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1984, Miscellaneous Paper GL-84-13, 21 pp.