



**T.C.  
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR HEYELAN SAHASINDA STATİK VE DİNAMİK  
KOŞULLARDA ŞEV DURAYLILIĞI: GÜNDOĞAN (BODRUM,  
MUĞLA) ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEDA KIYMET  
20209214007**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof.Dr. Işık YILMAZ**

**SİVAS  
Haziran, 2022**

**Seda KIYMET’in hazırladığı “BİR HEYELAN SAHASINDA STATİK VE DİNAMİK KOŞULLARDA ŞEV DURAYLILIĞI: GÜNDOĞAN (BODRUM, MUĞLA) ÖRNEĞİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.**

**Tez Danışmanı: Prof.Dr. Işık YILMAZ**  
Cumhuriyet Üniversitesi .....

**Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Yusuf ERZİN**  
Celal Bayar Üniversitesi .....

**Dr.Öğr.Üyesi Yavuz Selim  
DURUTÜRK**  
Cumhuriyet Üniversitesi .....

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof.Dr. ÖZLEM PELİN CAN**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.  
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Seda KIYMET, 2022

## ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

06.06.2022

Seda KIYMET

## ÖZET

### BİR HEYELAN SAHASINDA STATİK VE DİNAMİK KOŞULLARDA ŞEV DURAYLILIĞI: GÜNDOĞAN (BODRUM, MUĞLA) ÖRNEĞİ

Seda KIYMET

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2022, 46 + xii sayfa

Statik yükler ile deprem ve patlatma gibi dinamik yükler etkisinde kalan şevlerin duraylılığının araştırılması yerbilimleri mühendisliğinde karşılaşılan önemli problemlerden birisidir. Şevlerin duraylılığının, statik ve dinamik yüklerle birlikte, şevin tasarlandığı kaya ve/veya zemin özelliklerinin değerlendirilmesi yapılarak araştırılması gerekir. Statik durumda duraylı olan bir şev, dinamik yüklerle oluşan tekrarlı kayma gerilmeleri-deformasyon değişimleri sonucunda göçebilmektedir. Depremlili durumda şevlerin dinamik analizi, meydana gelmiş deprem kayıtları veya yapay olarak üretilen deprem kayıtları kullanılarak yapılır. Bu yüksek lisans tezi çalışmaları kapsamında bir şevin duraylılığının statik ve dinamik koşullarda değişiminin ortaya konulması ile değişim düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilecek çalışmalar için Ege Bölgesinde yer alan Muğla ili, Bodrum İlçesi, Gündoğan mahallesi seçilmiştir.

Statik yükler, başta deprem olmak üzere dinamik yükler etkisinde kalan şevlerin statik koşullardaki bir şevin duraylılığından farklılık göstermektedir. Bu nedenle, şevlerin duraylılığının, hem statik ve hem de dinamik koşullar için değerlendirilmesinin ayrı ayrı yapılması gerekir. Hiçbir zaman unutulmamalıdır ki statik durumda duraylı olacak bir şev, dinamik bir koşul oluştuğunda tekrarlı ve ani yüklemeler sonucunda duraylılığını koruyamayabilir. Bu yüksek lisans tezi ile aynı şevin statik ve dinamik koşullarda değişimi ortaya konularak bir farkındalık işaret edilmiş hem de değişim düzeylerinin belirlenmesi ile literatüre katkıda bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Heyelan, şev duraylılığı, statik ve dinamik koşul, örnek çalışma.

## **ABSTRACT**

### **SLOPE STABILITY IN STATIC AND DYNAMIC CONDITIONS ON A LANDSIDE SITE: THE CASE OF GÜNDOĞAN (BODRUM, MUĞLA)**

**Seda KIYMET**

**Master of Science Thesis, Department of Geological Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Işık YILMAZ**

**2022, 46 + xii pages**

Investigating the stability of slopes under static loads and the influence of dynamic loads such as earthquakes and blasting is one of the important problems encountered in earth-sciences engineering. The stability of slopes needs to be investigated by evaluating the rock and/or soil properties for which the slope is designed, along with static and dynamic loads. A slope that is stable in the static state can collapse as a result of repeated shear stress-deformation changes caused by dynamic loads. Dynamic analysis of slopes in seismic conditions is made using recorded earthquake records or artificially produced earthquake records. Within the scope of this master's thesis, it is aimed to determine the change levels of the stability of a slope by revealing the change in static and dynamic conditions. For the studies to be carried out in this context, Muğla province, Bodrum District, Gündoğan neighborhood located in the Aegean Region was selected.

Static loads differ from the stability of a slope under static conditions of slopes under the influence of dynamic loads, especially earthquakes. Therefore, the stability of slopes needs to be evaluated separately for both static and dynamic conditions. It should never be forgotten that a slope that will be stable in a static situation may not be able to maintain its stability as a result of repeated and sudden loading when a dynamic condition occurs. With this master's thesis, an awareness was pointed out by revealing the change of the same slope in static and dynamic conditions, and it also contributed to the literature by determining the levels of change.

**Key words:** Landslide, slope stability, static and dynamic condition, case study.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin her aşamasında değerli katkılarını ve desteğini esirgemeyen, çalışmalarım süresince bana titizlikle ve sabırla destek sağlayan, bilgi, deneyim ve kaynaklarından yararlandığım, çok değerli tez danışmanım, Sayın Prof. Dr. Işık YILMAZ 'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez kapsamındaki ilgili projeleri kullanmam için destek veren Atila BAĞCI' ya ve firmasına, tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, çalışmalarımı destekleyen, anlayışları ve sonsuz destekleri için canım annem, babam ve sevgili kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim.

Seda KIYMET

Çevre Mühendisi

2022

## İÇİNDEKİLER

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| <b>ÖZET</b>                              | vi   |
| <b>ABSTRACT</b>                          | vii  |
| <b>TEŞEKKÜR</b>                          | viii |
| <b>İÇİNDEKİLER</b>                       | ix   |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>                   | x    |
| <b>TABLolar DİZİNİ</b>                   | xii  |
| <br>                                     |      |
| <b>1. GİRİŞ</b>                          | 1    |
| <b>2. ÇALIŞMA ALANININ DEPREMSELLİĞİ</b> | 7    |
| <b>3. SAHA ÇALIŞMALARI</b>               | 9    |
| <b>4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI</b>        | 14   |
| <b>5. DURAYLILIK ANALİZLERİ</b>          | 16   |
| <b>6. SONUÇLAR</b>                       | 38   |
| <b>7. TARTIŞMALAR</b>                    | 41   |
| <b>KAYNAKLAR</b>                         | 43   |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                          | 46   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.1</b> Çalışma alanına ait yer bulduru haritası                                                                                                           | 6  |
| <b>Şekil 2.1</b> Çalışma alanının Türkiye Deprem Haritasındaki yeri                                                                                                 | 8  |
| <b>Şekil 3.1</b> Tez sahasının 1/25000 ölçekli haritadaki yeri                                                                                                      | 9  |
| <b>Şekil 3.2</b> HSK-1 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri                                                                                              | 11 |
| <b>Şekil 3.3</b> HSK-2 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri                                                                                              | 11 |
| <b>Şekil 3.4</b> HSK-3 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri                                                                                              | 12 |
| <b>Şekil 3.5</b> HSK-4 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri                                                                                              | 12 |
| <b>Şekil 3.6</b> SK-3 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri                                                                                               | 13 |
| <b>Şekil 5.1</b> Heyelan sınırları (Dar Alan - Geniş Alan) ve sondaj lokasyonları                                                                                   | 16 |
| <b>Şekil 5.2</b> Plastisite İndisi ve Efektif Kayma Mukavemeti Açısı Korelasyonu<br>(Ladd vd. 1997, Bjerrum ve Simons 1960, Kanja ve Wolle 1977, Olsen vd.<br>1986) | 17 |
| <b>Şekil 5.3</b> Efektif kohezyon değerinin efektif içsel sürtünme açısı ve kıvama<br>bağlı katsayı ile hesaplanması                                                | 18 |
| <b>Şekil 5.4</b> Geri hesaplama yöntemi ve Duncan ve Stark (1991) kayma direnci<br>parametreleri                                                                    | 19 |
| <b>Şekil 5.5</b> A-A' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi                                                                                                           | 21 |
| <b>Şekil 5.6</b> A-A' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)                                                                                        | 22 |
| <b>Şekil 5.7</b> A-A' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi                                                                                                          | 23 |
| <b>Şekil 5.8</b> A-A' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)                                                                                       | 24 |
| <b>Şekil 5.9</b> B-B' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi                                                                                                           | 25 |
| <b>Şekil 5.10</b> B-B' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)                                                                                       | 26 |
| <b>Şekil 5.11</b> B-B' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi                                                                                                         | 27 |
| <b>Şekil 5.12</b> B-B' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)                                                                                      | 28 |
| <b>Şekil 5.13</b> C-C' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi                                                                                                          | 29 |
| <b>Şekil 5.14</b> C-C' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)                                                                                       | 30 |
| <b>Şekil 5.15</b> C-C' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi                                                                                                         | 31 |
| <b>Şekil 5.16</b> C-C' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)                                                                                      | 32 |
| <b>Şekil 5.17</b> B-B' Kesiti Drenajsız Statik Şev Stabilite Analizi                                                                                                | 33 |
| <b>Şekil 5.18</b> B-B' Kesiti Drenajsız Statik Şev Stabilite Analizi<br>(Yakınlaştırılmış)                                                                          | 34 |

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.19</b> B-B' Kesiti Drenajsız Dinamik Şev Stabilite Analizi                                               | 35 |
| <b>Şekil 5.20</b> B-B' Kesiti Drenajsız Dinamik Şev Stabilite Analizi<br>(Yakınlaştırılmış)                         | 36 |
| <b>Şekil 6.1</b> Statik ve dinamik koşullarda şevlerin duraylılık analizlerinin<br>mukayesesi ve değişimler         | 39 |
| <b>Şekil 6.2</b> Uzun ve kısa dönem analizlerinin statik ve dinamik koşullarda<br>çoklu mukayeseleri ve değişimleri | 40 |



## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1</b> Açılan sondaj kuyularının derinlik, koordinat ve yeraltısuyu ölçümleri                                               | 10 |
| <b>Tablo 4.1</b> Laboratuvar deneyleri toplu sonuçları                                                                                | 15 |
| <b>Tablo 5.1</b> İçsel sürtünme açısının düşmesi ve kohezyonun artması halinde güvenlik sayısının $GS \leq 1$ olduğu analiz sonuçları | 19 |
| <b>Tablo 5.2</b> Analizlerde kullanılan şev duraylılığı parametreleri özeti                                                           | 37 |
| <b>Tablo 6.1</b> Şev duraylılığı analiz sonuçlarının toplu özeti                                                                      | 38 |



## 1. GİRİŞ

Şevler doğada gözlenen arazi şekilleri içerisinde en yaygın olanı olarak değerlendirilebilir. Birçok şev doğada statik ve duraylı gibi gözükse de bunların esasen çok değişken sistemler oldukları ve dinamik bir yapıya sahip oldukları asla unutulmamalıdır.

Şevlerde meydana gelen duraysızlıklar, kütlelerin hareketi ve/veya deformasyonu; kayma ve/veya akma ya da devrilme ve çökme olarak çok farklı şekillerde oluşabilir ve bunların kombinasyonlarını içerebilir. Bahsedilen bu hareketleri birbirinden ayıran en karakteristik parametreler; meydana gelen hareketler ve bu hareketlerin miktarı ile şevi oluşturan malzemelerin türü ve şevdeki suyun miktarı olarak değerlendirilebilir (Keller, 2000).

Şevlerdeki yenilmeler genellikle, şevi oluşturan zemin içerisindeki oldukça karmaşık hareketler boyunca meydana gelen yanal toprak basınçları ile dayanımın aşılması ile oluşur. Meydana gelen bu yenilmeler çoğunlukla ya doğal süreçlerin etkisiyle ya da insan etkisi sonucunda gerçekleşir. Doğal yollarda oluşan yenilmeler ilksel olaylar olarak tanımlanır ve şevi oluşturan zemin kütlelerinin sahip olduğu ağırlık etkisi nedeni ile ortaya çıkan ilksel gerilmelerin bir sonucudur. İnsan etkisiyle gerçekleşen yenilmelerse sonradan oluşturulan yapay şevlerin sonucudur (Andersland, 1992).

Şevlerdeki süreksizliklerin geometrisine ilişkin özelliklerin ortaya konulması şevlerin duraylılığına ilişkin araştırmalarda vaz geçilmez bir aşamadır. Bu nedenle de, söz konusu bu süreksizliklerin durumunun, yönelimlerinin, uzunluk, aralık ve benzeri birçok parametrelerinin düzenli bir şekilde ölçülerek değerlendirilmesi ve bu süreksizliklerin sınıflandırılmaları büyük önem taşımaktadır. Hatta oldukça küçük ve bir sistematığe sahip olmayan çatlakların bile şevlerin duraylılığı üzerindeki etkisi ile önemi 1930 yıllarında Terzaghi tarafından ortaya konulmuştur.

Mühendislik projelerinin birçoğunun şevlere oldukça yakın yerlerde olmasından ötürü bu yapılar kayma, akma devrilme, düşme gibi çok değişik türlerde duraysızlıklara açıktır. Şevlerde meydana gelen yenilmeler mühendislik yapılarında oldukça önemli hasarlar ile yıkılmalara ve insanların yaralanması ve hatta ölümlere varan felaketlere neden olabilmektedir. Bu nedenle; mühendislik yapıları için tehdit olabilecek doğal

ve/veya yapay tüm şevlerin duraylılık koşullarının araştırılması çok büyük önem taşımaktadır.

Gökmirza ve Ansal (1994) tarafından işaret edildiği gibi; zeminler, dinamik yüklemenin oluşmasıyla birlikte tekrarlı kayma gerilmeleri etkisiyle türlerine, sıklık düzeylerine, sahip oldukları statik kayma gerilmeleri ve etkisi altında kalmış oldukları gerilme geçmişlerine, meydana gelen dinamik yükleme ile oluşan tekrarlı yüklemenin çevrim sayısı ile etkilediği süreye bağlı olarak çok değişik davranışlar sergileyebilirler.

Statik koşulda duraylı olarak bulunan herhangi bir şev, olası bir dinamik yükleme ile meydana gelecek tekrarlı kayma gerilmeleri-deformasyon değişimleri ile yenilmeye uğrayabilmektedir. Dinamik yükleme koşulundaki şevlere ilişkin dinamik analizler, meydana gelmiş dinamik yüklemelere ilişkin kayıtlar ile yapay olarak üretilen dinamik yüklemeye ait kayıtların kullanımı ile gerçekleştirilebilir (Duncan ve Wright, 2005). Dinamik yüklemeyi oluşturan en önemli ve tehlikeli kaynak ise depremler olarak bilinir.

Statik yükleme veya dinamik yükleme (deprem, patlatma, vb.) etkisi altındaki şevlerin duraylılığının araştırılması çok büyük önem taşımaktadır. Şevlere ait duraylılık durumunun araştırılmasında, statik ve dinamik yükleme koşullarının birlikte değerlendirmeye alındığı bir planlama kullanılarak ilgili şevin yer aldığı kaya ve/veya zeminlere ait özelliklerin dikkate alınması gerekir.

Doğada şevlerin stabilitesi depremler tarafından iki farklı biçimde etkilenir:

1. Herhangi bir deprem oluşumu ile bu sırada ortaya çıkan sismik hareketler sonucunda açığa çıkan ivme zeminler üzerinde değişik düzeylerde devirsel kuvvetler oluşturlar,
2. Depremle birlikte ortaya çıkan yüklerin neden olduğu devirsel birim deformasyonlar nedeni ile zeminlerin makaslama direncinde düşüş meydana gelebilir.

Deprem yüklemelerinde psödostatik analizler eğer meydana gelen devirsel yükler sonucunda zeminlerin mukavemeti %15' den daha az azalırsa kullanılabilir. Psödostatik analizler yapılırken depremin etkisini olası kayma kütlelerine yaklaşık yatay bir statik kuvvet şeklinde dikkate almak önemlidir. Böylelikle, deprem sonucunda oluşan deformasyonların düzeyinin kabul görebilirliği ile ilgili yarı-ampirik fikir edinilebilir (Duncan ve Wright, 2005).

Eğer, söz konusu devirsel yükleme sonunda zeminlerin mukavemeti %15'i aşan düzeyde azalır, deprem sonucunda oluşan deformasyonları öngörebilmek için dinamik analizlere ihtiyaç duyulur. Ancak unutulmamalıdır ki; bu azalım bu düzeyde küçük de olsa bütün şevlerde bu gibi analizlerin kullanımı yaygındır. Bu tür analizler çok karmaşıktır ve ileri düzeyde de uzmanlık ve deneyime ihtiyaç gösterirler. Bundan başka çok önemli bir nokta da, eğer depremle oluşacak deformasyonları hesaplamak istiyorsak tüm bu analizlerden başka deprem bittikten sonraki potansiyel duraylılık durumunun belirlenmesi de önemlidir (Duncan ve Wright, 2005).

Seed ve Chan (1966), dinamik yüklemeler sırasında zeminlerin davranışlarını ortaya koymak üzere çalışmalar yapan ilk araştırmacılardan sayılabilir. Yaptıkları bu çalışmada, zeminlerin tekrarlı makaslama dayanımı değerlerinin dinamik yüklemeler esnasında drenajsız makaslama dayanımına ulaştığını ve böylelikle de çok büyük plastik deformasyonların (kalıcı) meydana geleceğini açıklamışlardır (Seed ve Chan, 1966).

Seed ve Chan (1966)' dan sonra, Thiers ve Seed (1969) yaptıkları çalışma ile sismik yükleme koşulunda killerin dayanım ve gerilme-deformasyon karakteristiklerini ortaya koymuşlardır.

Ogawa ve diğerleri (1977) ise; suya doygun kohezyonlu zeminlerin dinamik dayanımlarını belirlemek üzere çalışmalar yapmışlardır.

Andersen ve diğerleri (1980); Amerika Birleşik Devletleri, Wisconsin Eyaleti' nde yer alan bir yerleşim yeri olan Drammen' den topladıkları killeri üzerinde hem tekrarlı hem de statik yüklemeler altında laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir.

Ansal (1981), Ansal ve Erken (1986, 1989) da zeminlerin dinamik koşullar altında davranışlarını ortaya koymak üzere normal konsolide killeri üzerinde deneyler gerçekleştirmişler ve makale şeklinde yayınlamışlardır.

Hack ve diğerleri (2007); tekrarlı yüklerin zemin şevlerinin duraylılığı üzerindeki etkisi konusunda çalışmalar yapmışlardır.

Matsui ve Bahr (1992) ise, suya doygun killerin tekrarlı yükler uygulandıktan sonraki degradasyon özelliklerini ortaya koymuşlardır.

Özay (2002), Özay ve Erken (2002) killi zeminlerde hem dinamik yüklemenin hacim değişimi üzerindeki etkisini araştırmış, hem de killi zemin numunelerinde üç eksenli dinamik deney aleti kullanarak ilk olarak tekrarlı yük ile ve sonrasında da statik deformasyon kontrollü deneyler gerçekleştirmişlerdir.

Değişik numunelerde benzer frekans ve farklı tekrarlı makaslama gerilmesi oranları için çevrim sayısına bağlı olarak değişim gösteren makaslama dayanımının bulunduğu Ansal ve Erken (1982) tarafında özellikle işaret edilmektedir. Ansal ve Erken (1982), ayrıca bu söz konusu değerin, statik koşulda elde edilen makaslama dayanımının yarısına (%50) karşılık geldiğini belirtmişlerdir.

Ansal ve Yıldırım (1985) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, eğer statik deneyler dinamik yükleme ile ortaya çıkan boşluk suyu basınçları sönmelenmeden yapılırsa tekrarlı gerilme oranı ve çevrim sayısına da bağlı olarak dayanımda çok önemli miktarda azalım meydana geleceği ortaya konulmuştur.

Ansal ve Yıldırım (1985)' in sonuçlarına benzer şekilde Gökmirza (1994) da dinamik yükleme esnasında suya doygun zeminlerde ileri düzeyde artan boşluk suyu basınçlarının önemli ölçüde dayanım kaybına neden olduğunu belirtmektedirler.

Bunlara benzer ve katkı koyacak şekilde, Özay ve Erken (2003)' ün çalışmasında da düşük plastisiteli killerde dinamik yükleme esnasında boşluk suyu basıncı artışından başka artan deformasyon, azalan rijidite ve yumuşama olduğu da ortaya konulmaktadır.

Ishihara (1986), şevlerin depremler sırasındaki davranışlarını araştırmış, bu şevlerdeki yenilme olasılığının, ilgili şeve ait kayma bölgesi ile dış merkez arasındaki uzaklık ve doğal olarak da depremin büyüklüğüne bağlı olduğunu belirlemiştir.

Sitar ve Clough (1983), dik ve dike yakın şevlerde meydana gelen gerilme ve ivmeyi denetleyen parametreleri araştırmışlardır. Çalışmanın sonunda, gerilme ve ivmenin şevin açısı, oluşan en büyük yer ivmesi ile ilgili yerdeki zemin hâkim periyodu ile doğal peryot arasındaki oranın bir fonksiyonu olduğu ortaya konulmuştur.

Şevlerin dinamik koşullardaki duraylılığının değerlendirmesinde herhangi bir deprem ile meydana gelecek olan pik deprem ivmelerinin bilinmesi çok önemlidir. Söz konusu bu pik deprem ivmesi için faylara uzaklık ile depremin büyüklüğüne bağlı olarak

geliştirilmiş yarı-ampirik formüller Campbell (1981) ve Ambraseys (1996) tarafından verilmiştir. Dinamik yükleme etkisinde kalacak şevlerin duraylılık analizlerinde kullanılmak üzere ihtiyaç duyuludan tasarım parametrelerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalar oldukça yaygınlaşmıştır (Nova-Roessig ve Sitar, 1998; Rathje ve Bray, 2001).

Dinamik yüklemeler etkisindeki şevler için duraylılık değerlendirmesi yapabilmek için birçok farklı yaklaşımlar söz konusudur. Örneğin; Wu ve Leland (1970) tarafından şevler üzerindeki deprem etkisi yarı-statik analizler dikkate alınıp Fellenius yöntemi kullanılmıştır. Bundan başka; Grivas ve Asaoka (1982) ise hem doğal hem de yapay şevler üzerindeki dinamik yüklemeyi herhangi bir şev üzerinde etkimesi beklenen en büyük yatay ivme şeklinde hesaplarına dahil etmişlerdir.

Bu yüksek lisans tez çalışmaları kapsamında bir şevin duraylılığının statik ve dinamik koşullarda değişiminin ortaya konulması ile değişim düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tez çalışması kapsamında bahsedilen lokasyonun sadece verilerinden yola çıkıldığının ancak amacın bu sahaya ilişkin bir değerlendirme olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu kapsamda gerçekleştirilecek çalışmalar için Ege Bölgesinde yer alan Muğla ili, Bodrum İlçesi, Gündoğan mahallesi seçilmiştir (Şekil 1.1). Gündoğan mahallesi; Ege Bölgesi, Muğla ili, Bodrum İlçesi sınırları içinde yer almaktadır. Bodrum'un kuzeyinde Gündoğan koyu çevresinde yerleşimler oluşmuştur. Çalışma alanı Gündoğan körfezinin doğusunda konumlanan Küçükbüyük körfezinin kuzeydoğusunda ve deniz kenarında yer alır. Gündoğan mahallesi Bodrum ilçe merkezine 23 km, Muğla iline ise 123 km uzaklıktadır. Karayolu ile yaz-kış ulaşım mevcuttur. İnceleme alanına ayrıca Milas havaalanından hava yolu ile de ulaşmak mümkündür.

Genel olarak Gündoğan arazisi çok engebeli, yer yer ise dik topoğrafya sunar. Volkanik kayaların yayılım gösterdiği sahada, volkanik kayalar delta ağızları dışında dik eğimlerle denizle birleşir, hatta dik yarlar oluşturur. Çalışma alanında genel eğimler %20-30 aralığında olup, yer yer %30' dan büyük eğimlere çıkmaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki sahalar engebeli ve eğimli araziler olarak tanımlanır.



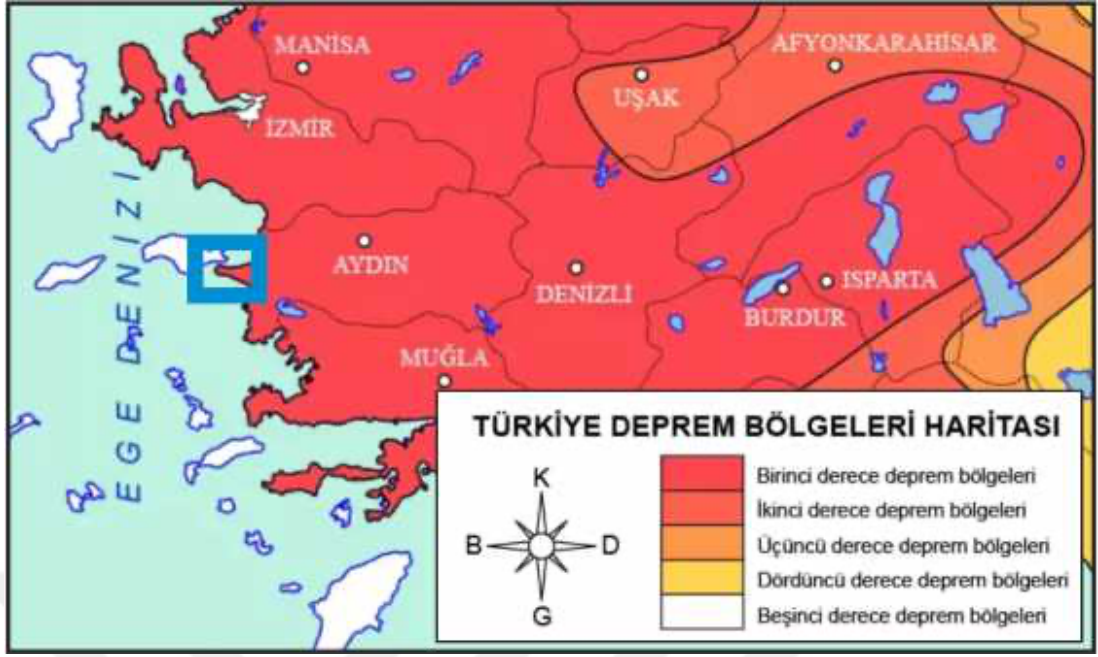
**Şekil 1.1.** Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

Çalışma sahası ve yakın çevresinde akarsu bulunmaz. Ancak Gündoğan ve Küçükbük körfezine yağışlı mevsimlerde yamaçların suyunu toplayan drenaj dereleri vardır. Yaz aylarında kururlar. Körfezlerin iç kesimlerinde, alüvyon birikimleri nedeniyle küçük düzlükler oluşmuştur. Yine yakın civarda ova, plato gibi coğrafik oluşumlara rastlanmaz.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ DEPREMSELLİĞİ

Gökten (2018)' in belirttiği gibi; Bodrum Yarımadası' nda metakumtaşı ile şist ardalanması (metakumtaşı, mermer, kireçtaşı blokları içerir), üzerinde kireçtaşı (Üst Jura – Alt Kretase) ve tüm bunları da üzerleyen ignimbirit, volkanik breş ile bazaltik ve andezitik bazaltik lavlar Neotektonik birimlerinin temelini oluşturmaktadır. Bodrum Yarımadası' nda güney bölgelerde ise yukarıdaki bütün birimleri örten muhtemelen Üst Pliyosen yaşlı Neotektonik döneme ait birimler (deltayık/gölsel karbonatlı beyaz kumtaşlarıyla başlarlar) gözlenir. Söz konusu birim yukarılara doğru kırmızı renkli kumtaşları (yukarılara doğru daha ince gözlenen ve karbonata ait mercerler gözlenen) ve bunları da üzerleyen tüfler ve volkanik çakıllar içeren akarsu çökelleri ile devam etmektedir. Kalınlığı yaklaşık 100 metre gibi ölçülmüş bu birimi takiben önemli ölçüde kalın yamaç molozları (Kuvaterner) gözlenmektedir. Burada çok sınırlı da olsa travertenler de vardır. Alüvyonlar ile birikinti konileri bölgedeki dere ağzlarında bulunmaktadır. Bodrum yarımadası'nın güneyinde doğu-batı doğrultusuna sahip ve eğim atımlı, normal fay bulunmakta olup, Bodrum'un geniş bir kısmı ilgili faya ait tavan bloğu üzerinde konumlanmaktadır. Söz konusu fay nedeni ile 2017 yılındaki depremler ile Bitez civarında gözlenen artçı şoklardan yola çıkarak ilgili fayın aktif olduğu ortaya konmuştur. Bu fayın tarihsel süreç içerisinde yerleşim yerlerinde hasara neden olan deprem meydana gelmiş olma olasılığına dikkat çekilmektedir (Gökten, 2018).

Bodrum yarımadası Türkiye Deprem Haritası' nda 1. Derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.1). Tarihsel dönemde, Bodrum'u da etkisi altına alan bölgede en büyük depremin 1481 yılında Rodos'ta yaşandığını ve 7.5 büyüklüğünde gerçekleştiği kayda alınmıştır. Genellikle genç volkanikler içerisindeki Bodrum ve civarında son 500 sene içerisinde büyüklükleri 6 ve 6' nın üzerinde en az 15 deprem meydana geldiği bilinmektedir.



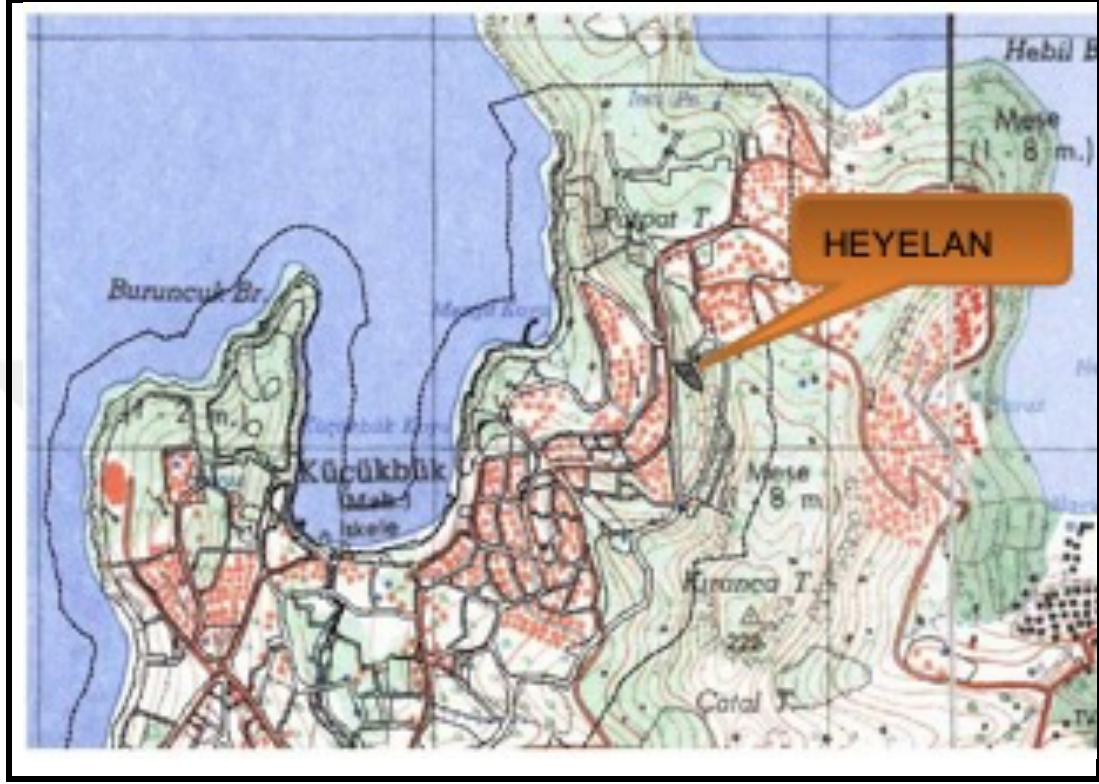
**Şekil 2.1.** Çalışma alanının Türkiye Deprem Haritasındaki yeri.

Bodrum'daki sismik hareketlilik 21 Temmuz 2017' de meydana gelen 6.6 büyüklüğündeki depremle kendini tekrar göstermiştir. Bodrum yarımadasının ve çevresindeki bölgenin pek çok fay hattı ile çevrili olduğu ve bunlardan bazılarının Milas'tan Didim'e kadar uzandığı, bazılarının ise Gökova körfezi boyunca devam ettiği ve Bodrum'a kadar ulaştığı bilinmektedir.

Bundan başka, Milas bölgesinde doğuyu sınırlayan Menteş Fayı ile Milas fayı bulunmakta olup, ayrıca Bafa'ya kadar uzanan 35 kilometre uzunluğunda bir fay söz konusudur. Bahsedile bu fayların hemen hemen tamamı aktif olup 6 üzerinde deprem üretme potansiyeline sahip oldukları gerçeği bilinmektedir.

### 3. SAHA ÇALIŞMALARI

Tez çalışmalarının gerçekleştirildiği sahanın 1:25000 ölçekli haritadaki yeri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.1.** Tez sahasının 1/25000 ölçekli haritadaki yeri

Saha çalışmaları kapsamında toprak hareketlerinin gözlemlendiği alan için 5 adet karotlu zemin araştırma sondaj kuyusu açılmıştır (Çizelge 3.1). Sondajlarda zemin özelliğindeki zonlarda SPT deneyleri uygulanmış ve örselenmemiş örnekler alınmıştır.

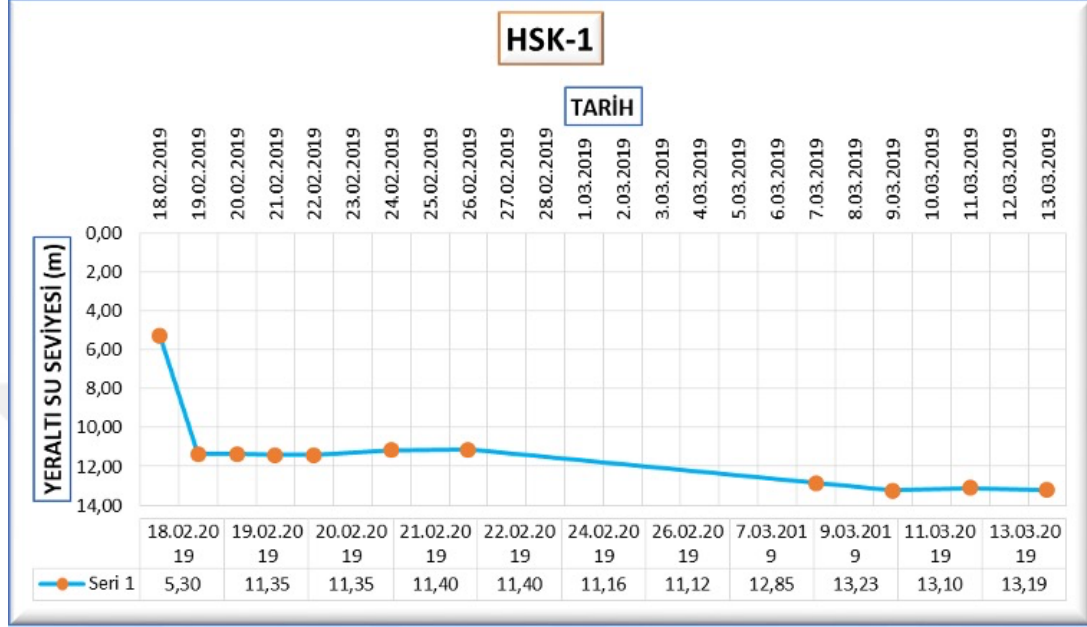
Sondaj bitimleri sonrasında yeraltısuyu rasatları düzenli olarak yapılmış ve yeraltısuyu değişimleri takip edilmiştir. Yeraltısuyundaki alçalma ve yükselmeler grafiklere dönüştürülmüş ve her bir kuyu için ayrı ayrı verilmiştir (Şekil 3.2 – 3.6).

Yeraltısuyundaki değişimlerin güncel yağırlara bağlı olduğu saptanmış olup, yağışlarla birlikte yeraltısuyunda yükselmeler gerçeklemede, yağış olmayan günlerde ise düşmektedir. Buradan volkaniklerin çatlaklarının ve yüzeysel ayrışma zonlarının suyu iletebildiği görülmektedir.

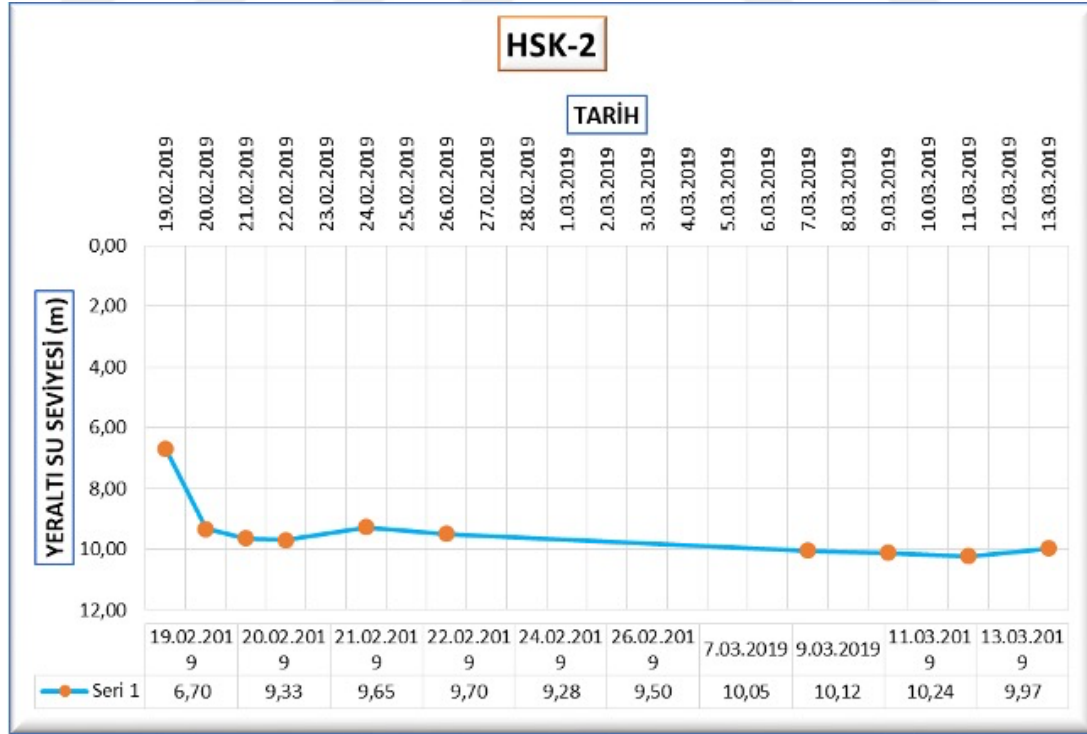
**Çizelge 3.1.** Açılan sondaj kuyularının derinlik, koordinat ve yeraltısuyu ölçümleri

| Kuyu No | Derinlik (m) | Koordinatlar |           |        | Yeraltı Su Seviyesi |            |
|---------|--------------|--------------|-----------|--------|---------------------|------------|
|         |              | X            | Y         | Z (m)  | Tarih               | Seviye (m) |
| HSK-1   | 13,50        | 4112625,62   | 532575,56 | 67,85  | 18.02.2019          | 5,30       |
|         |              |              |           |        | 19.02.2019          | 11,35      |
|         |              |              |           |        | 20.02.2019          | 11,35      |
|         |              |              |           |        | 21.02.2019          | 11,40      |
|         |              |              |           |        | 22.02.2019          | 11,40      |
|         |              |              |           |        | 24.02.2019          | 11,16      |
|         |              |              |           |        | 26.02.2019          | 11,12      |
|         |              |              |           |        | 7.03.2019           | 12,85      |
|         |              |              |           |        | 9.03.2019           | 13,23      |
|         |              |              |           |        | 11.03.2019          | 13,10      |
|         |              |              |           |        | 13.03.2019          | 13,19      |
| HSK-2   | 15,00        | 4112615,32   | 532616,21 | 82,81  | 19.02.2019          | 6,70       |
|         |              |              |           |        | 20.02.2019          | 9,33       |
|         |              |              |           |        | 21.02.2019          | 9,65       |
|         |              |              |           |        | 22.02.2019          | 9,70       |
|         |              |              |           |        | 24.02.2019          | 9,28       |
|         |              |              |           |        | 26.02.2019          | 9,50       |
|         |              |              |           |        | 7.03.2019           | 10,05      |
|         |              |              |           |        | 9.03.2019           | 10,12      |
|         |              |              |           |        | 11.03.2019          | 10,24      |
|         |              |              |           |        | 13.03.2019          | 9,97       |
| HSK-3   | 10,50        | 4112596,95   | 532636,81 | 85,37  | 19.02.2019          | 4,77       |
|         |              |              |           |        | 20.02.2019          | 8,50       |
|         |              |              |           |        | 21.02.2019          | 8,65       |
|         |              |              |           |        | 22.02.2019          | 8,84       |
|         |              |              |           |        | 24.02.2019          | 8,92       |
|         |              |              |           |        | 26.02.2019          | 9,00       |
|         |              |              |           |        | 7.03.2019           | 9,20       |
|         |              |              |           |        | 9.03.2019           | 9,30       |
|         |              |              |           |        | 11.03.2019          | 9,34       |
|         |              |              |           |        | 13.03.2019          | 9,22       |
| HSK-4   | 10,50        | 4112604,46   | 532595,33 | 73,11  | 19.02.2019          | 5,20       |
|         |              |              |           |        | 20.02.2019          | 7,28       |
|         |              |              |           |        | 21.02.2019          | 7,45       |
|         |              |              |           |        | 22.02.2019          | 7,46       |
|         |              |              |           |        | 24.02.2019          | 7,60       |
|         |              |              |           |        | 26.02.2019          | 7,72       |
|         |              |              |           |        | 7.03.2019           | 7,90       |
|         |              |              |           |        | 9.03.2019           | 8,03       |
|         |              |              |           |        | 11.03.2019          | 8,10       |
|         |              |              |           |        | 13.03.2019          | 8,10       |
| SK-3    | 10,50        | 4112596,99   | 532671,25 | 100,58 | 20.02.2019          | 8,35       |
|         |              |              |           |        | 21.02.2019          | 8,55       |
|         |              |              |           |        | 22.02.2019          | 8,73       |
|         |              |              |           |        | 24.02.2019          | 9,00       |
|         |              |              |           |        | 26.02.2019          | 9,27       |
|         |              |              |           |        | 7.03.2019           | 9,62       |
|         |              |              |           |        | 9.03.2019           | 9,73       |
|         |              |              |           |        | 11.03.2019          | 9,73       |
|         |              |              |           |        | 13.03.2019          | 9,74       |

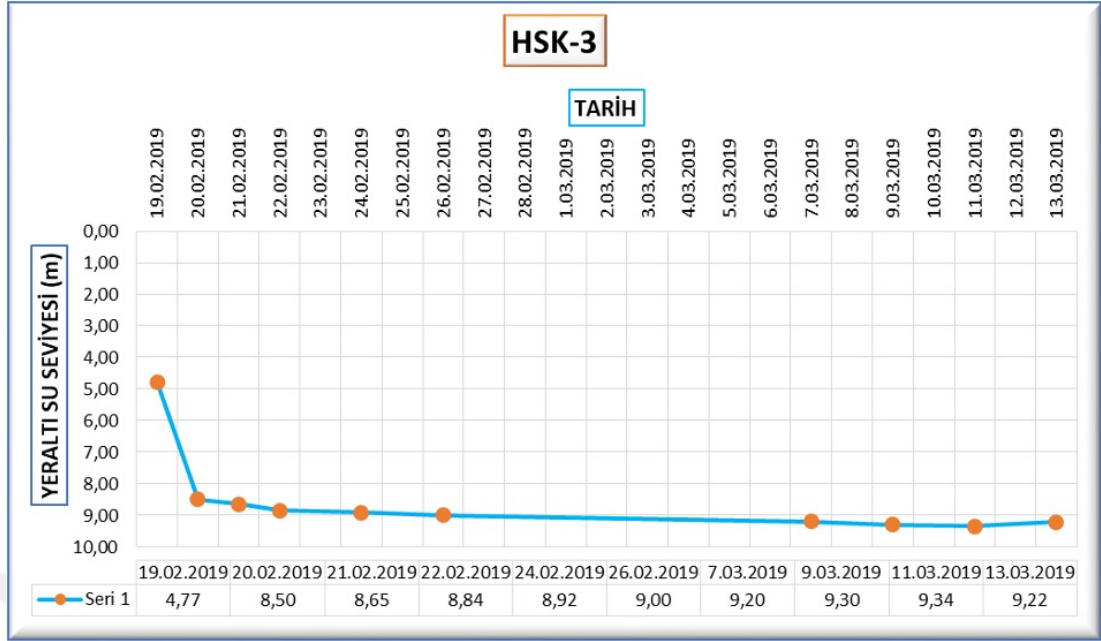
Bir başka deyişle sabit yeraltısuyu mevcut olmayıp, yağışların kayaçların çatlaklarını ve yüzeysel ayrışmanın etkin olduğu zonları beslediği söylenebilir. Kurak mevsimlerde bu suların varlığına rastlamak mümkün değildir.



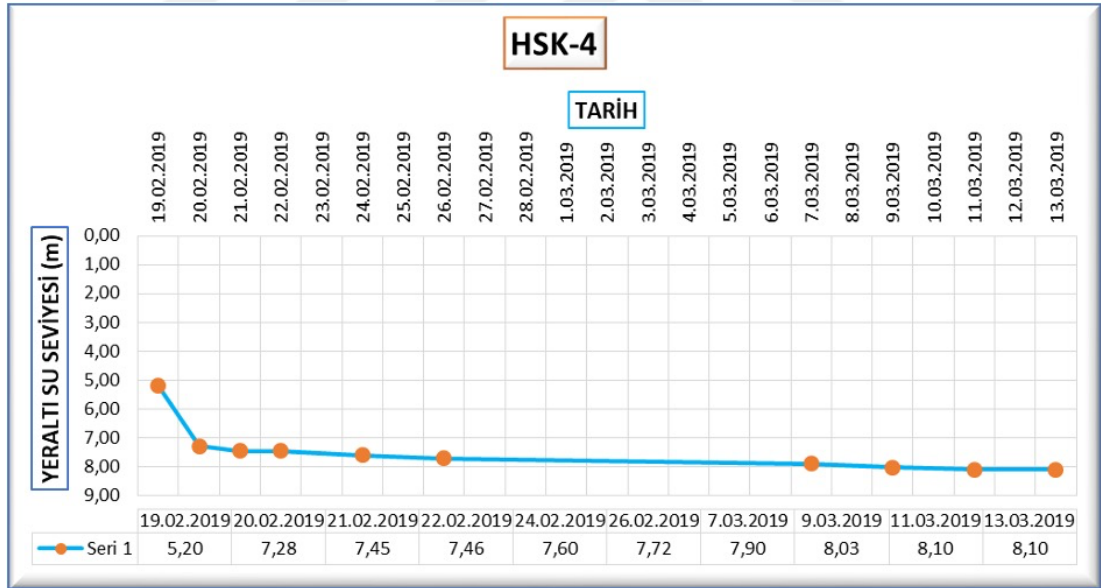
Şekil 3.2. HSK-1 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri.



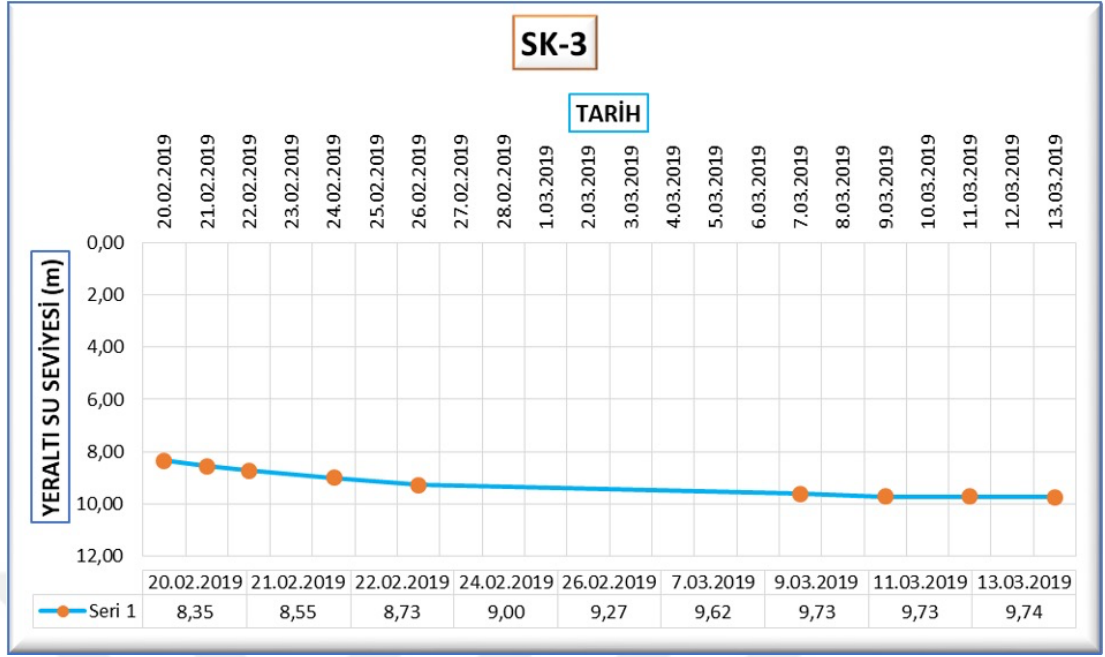
Şekil 3.3. HSK-2 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri.



Şekil 3.4. HSK-3 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri.



Şekil 3.5. HSK-4 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri.



**Şekil 3.6.** SK-3 nolu sondaj kuyusundaki yeraltısuyu değişimleri.

#### **4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI**

Zemin araştırma sondaj kuyularından alınan zemin örnekleri GEDİK Müşavirlik Ltd. Şti. Laboratuvarları' nda tanımlama ve dayanım testlerine tabi tutulmuştur.

Sondaj kuyularından alınmış olan numuneler üzerinde tanımlama amaçlı indeks deneyler kapsamında, su içeriği, birim hacim ağırlığı, tane boyu dağılımını da ortaya koymak üzere elek analizleri ve hem tanımlama hem de Plastisite İndeksi (Ip)' ni belirlemek amacıyla kıvam limitleri (Atterberg Limitleri) (Likit Limit, LL; Plastik Limit, PL) başta olmak üzere deneyler yapılmıştır.

Bundan başka, analizler ve temel değerlendirmelerde kullanılmak üzere ve başta makaslama dayanımı parametreleri olan kohezyon ve içsel sürtünme açısını belirlemek amacıyla numuneler üzerinde dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.

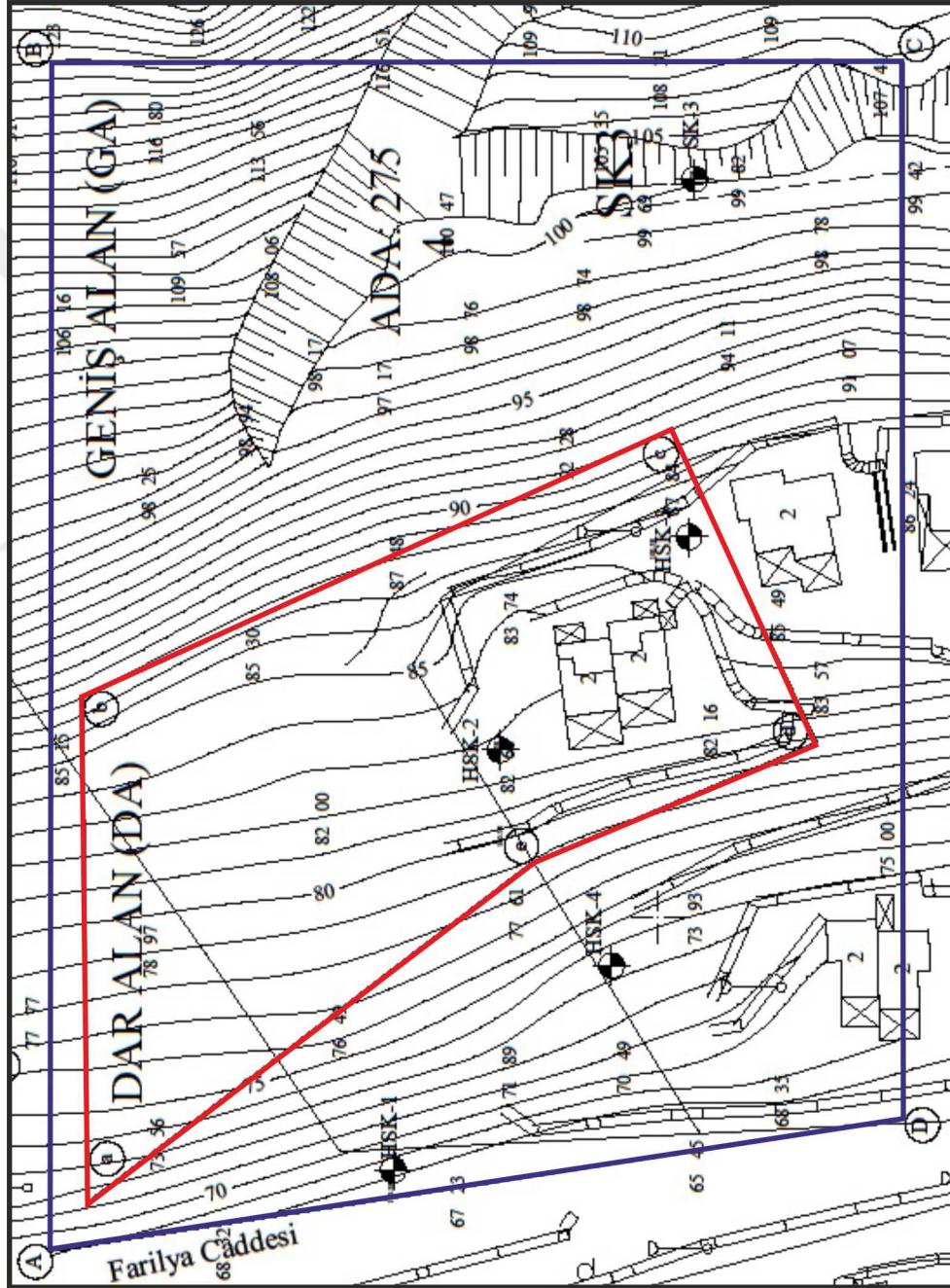
Değişik seviyelerden alınan ve deneylerden her bir numune için elde edilen ortalama sonuçlar Çizelge 4.1 ve 4.2' de toplu olarak verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Laboratuvar deneyleri toplu sonuçları

| Kuyu No | Numune Türü | Derinlik (m) | BHA (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Su İçeriği (%) | Elek Analizi |           | Kıvam Limitleri |      |      | Zemin Sınıfı |
|---------|-------------|--------------|--------------------------|-------|----------------|--------------|-----------|-----------------|------|------|--------------|
|         |             |              | Yaş                      | Kuru  |                | #10 (+)      | # 200 (-) | % LL            | % PL | % Ip |              |
| HSK-2   | UD          | 1,00-1,50    | 1,791                    | 1,566 | 24,13          | 11,38        | 63,98     | 34              | 17   | 17   | CL           |
| HSK-2   | KAROT       | 3,50-4,00    | 1,772                    | 1,572 | 24,62          | 3,85         | 71,47     | 36              | 19   | 17   | CL           |
| HSK-2   | KAROT       | 5,10-5,55    | 1,851                    | 1,613 | 14,23          | 9,84         | 61,86     | 33              | 18   | 15   | CL           |
| HSK-2   | SPT         | 7,50-7,95    | 1,786                    | 1,598 | 17,09          | 8,32         | 67,03     | 36              | 18   | 18   | CL           |
| HSK-2   | SPT         | 9,00-9,42    | 1,779                    | 1,586 | 22,30          | 10,58        | 64,69     | 34              | 19   | 15   | CL           |
| HSK-3   | UD          | 3,00-3,27    | 1,742                    | 1,539 | 15,08          | 4,15         | 65,73     | 35              | 18   | 17   | CL           |
| SK-3    | KAROT       | 4,50-5,00    | 2,270                    | 2,021 | 12,01          |              |           |                 |      |      |              |

## 5. DURAYLILIK ANALİZLERİ

Yamaç duraylılığı için öncelikle geniş alan taraması yapılmış, daha sonra toprak hareketlerinin görüldüğü kesim sahada belirlenerek alan daraltılarak, dar alan sınırları belirlenmiştir (Şekil 5.1). Daha sonra yamaç duraylılığı için 4 adet kesit alınmış ve bunlardan 3'ü için "Slide 6.0" programıyla şev duraylılığı analizleri gerçekleştirilmiştir.



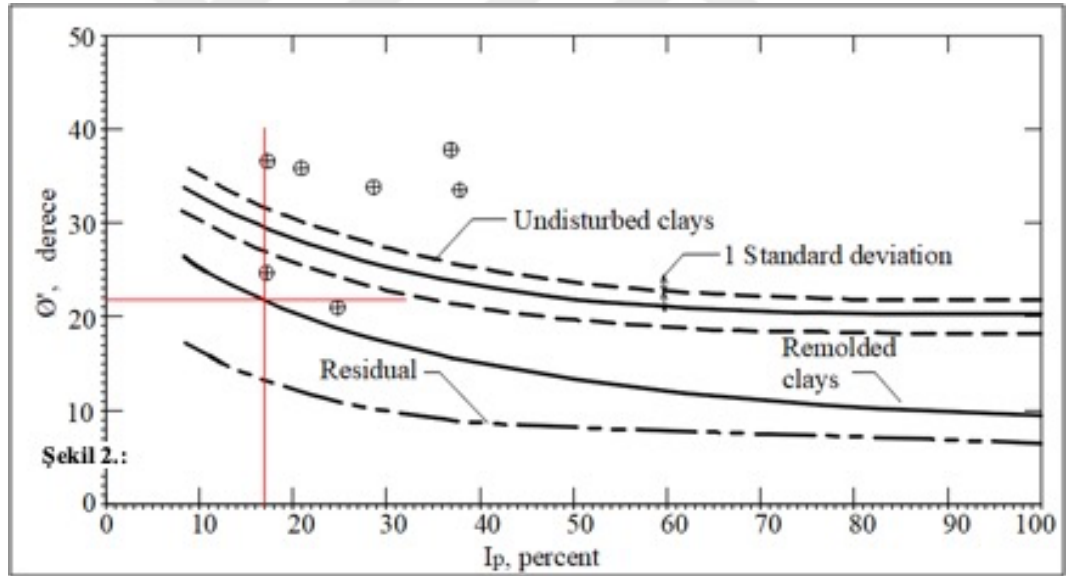
Şekil 5.1. Heyelan sınırları (Dar Alan - Geniş Alan) ve sondaj lokasyonları.

Şev duraylılığı analizi için drenajlı parametrelere ( $C_1$ ,  $\phi_1$ ) ihtiyaç vardır. Bu parametreler aşağıdaki grafik kullanılarak elde edilmiştir. Alınan örneklerin  $I_p$  ortalaması 17 bulunmuştur. Ancak, bilineceği üzere su içeriğinin artması, likit limit değerlerinin yükselmesi zeminin dayanım parametrelerini düşürmektedir. Bu nedenle, optimum olumsuz koşulları yansıtan laboratuvar parametrelerinin kullanılmasının daha doğru olacağı düşünülmüştür.

Aşağıda drenajlı zemin parametrelerinin grafik ve formül yardımıyla hesabı verilmiştir.

$$PI_{ort} = 17 \text{ ve } \phi_{ort} = 19^\circ$$

0,0 m- 3,0 m arası derinliklerde (HSK-2=3,00 m, HSK3=1,40 m) kil için,  $\phi_1=21,75^\circ$  olarak belirlenmiştir (Şekil 5.2).



**Şekil 5.2.** Plastisite İndisi ve Efektif Kayma Mukavemeti Açısı Korelasyonu (Ladd vd. 1997, Bjerrum ve Simons 1960, Kanja ve Wolle 1977, Olsen vd. 1986)

Bundan başka;  $c_1 = 10 \cdot \tan 21,75^\circ = 4 \text{ kPa} = 0,04 \text{ kg/cm}^2 = 0,4 \text{ ton/m}^2$  hesaplanır (Şekil 5.3).

| Efektif kohezyon değeri;                                           |                                |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| $c'(\text{kPa}) = \alpha \times \tan \phi'$ (Lunne vd., 1997)      |                                |
| $\phi'$                                                            | efektif kayma mukavemeti açısı |
| $\alpha$                                                           | Kıvama bağlı katsayı           |
| <b>Tablo 7      <math>\alpha</math> Katsayısı (Lunne vd.,1997)</b> |                                |
| Kıvam                                                              | $\alpha$                       |
| Yumuşak kil                                                        | 5-10                           |
| Orta katı kil                                                      | 10-20                          |
| Katı kil                                                           | 20-50                          |

**Şekil 5.3.** Efektif kohezyon değerinin efektif içsel sürtünme açısı ve kıvama bağlı katsayı ile hesaplanması

Duncan ve Stark tarafından (1991) kayma direnci parametrelerinin geri hesap yöntemi ile bulunması yönünde geliştirmiş oldukları formüller kullanılarak drenajlı parametrelerin değişimleri durumunda yamaç duraylılığının güvenlik sayısının  $GS \leq 1$  olduğu geri analizler gerçekleştirilmiştir. Şev duraylılığı geri hesap analiz yöntemi Şekil 5.3'te ve sonuçları ise Tablo 5.1'de özet halinde sunulmuştur.

Analizler aşağıdaki tespitler doğrultusunda yapılmıştır.

Doğal şevin yatayla yaptığı açısı: 23 derece

Heyelan yapan yamaç parçasının uzunluğu: 33 m

Kayan kütle kalınlığı: 3,0 m

Suya doymun zeminin kalınlığı: 3,0 m

Zeminin birim hacim ağırlığı : 1,75 ton/m<sup>2</sup>

Zeminin drenajlı içsel sürtünme açısı,  $\phi_1$ : 21,750

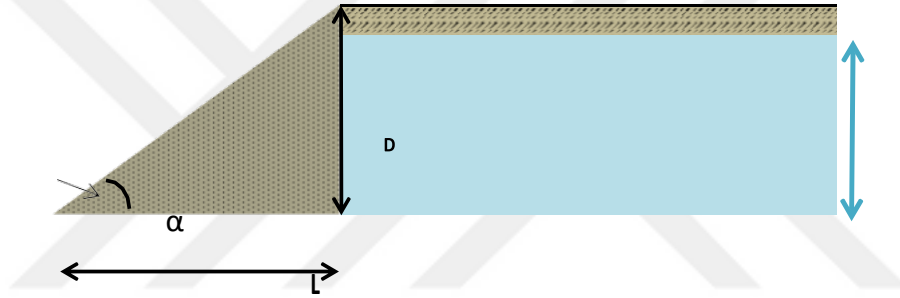
Zeminin drenajlı kohezyonu,  $c_1$ : 4,00 kPa = 0,40 ton/m<sup>2</sup>

**Çizelge 5.1.** İçsel sürtünme açısının düşmesi ve kohezyonun artması halinde güvenlik sayısının  $GS \leq 1$  olduğu analiz sonuçları

|                        |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| $\phi' =$              | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   |
| $c'(\text{ton/m}^2) =$ | 0,95 | 0,92 | 0,89 | 0,86 | 0,83 | 0,80 |
| $G_s =$                | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |

|                        |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| $\phi' =$              | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   |
| $c'(\text{ton/m}^2) =$ | 0,77 | 0,74 | 0,71 | 0,68 | 0,65 | 0,62 |
| $G_s =$                | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |

Şev duraylılığı geri hesaplama yöntemi ve Duncan ve Stark (1991) kayma direnci parametrelerinin geri hesap yöntemi ile bulunması aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 5.4.** Geri hesaplama yöntemi ve Duncan ve Stark (1991) kayma direnci parametreleri.

$L$  = Kayan Kütlenin Uzunluğu

$D$  = Kayan Kütlenin Kalınlığı

$H$  = Kayan Kütlenin Kalınlığı ( $= D/\cos\alpha$ )

$H_s$  = Yeraltısuyunun derinliği

$\alpha$  = Katmanın yatayla yaptığı açı

$G_s$  = Şevin Güvenlik Katsayısı

$G_s = [k_1 * A * (\tan\phi/\tan\alpha)] + (k_2 * B * c)$

$\phi$  = Zeminin sürtünme açısı

c= kohezyon

k1 ve k2 uzunlukla ilgili faktörler olup aşağıdaki gibi tanımlanırlar.

$$k1= 1+36*\sin\alpha*(D/L)^2$$

$$k2= 1,5+10*\sin\alpha*(D/L)^2$$

A ve B ise yeraltısuyunun geometrisine ve zeminin birim hacim ağırlığı değerlerine ilişkin faktörler olup aşağıdaki gibi tanımlanırlar.

$$A= 1- (Hs/D)*(\gamma_s/\gamma)$$

$$B= 1/(\cos^2\alpha*\tan\alpha)$$

Yukarıda verilen denklemler ve yöntem kullanarak örnek bir hesaplama aşağıda görüldüğü gibi gerçekleşmektedir.

$$L= 33,00 \text{ m}$$

$$D= 3,00 \text{ m}$$

$$\alpha= 23,00^\circ$$

$$Hs= 3,00 \text{ m}$$

$$Y= 1,75 \text{ ton/m}^3$$

$$\emptyset= 22^\circ$$

$$c= 0,71 \text{ ton/m}^2$$

Yazılım faktörleri aşağıdaki gibi hesaplar

$$H= 3,26$$

$$A= 0,43$$

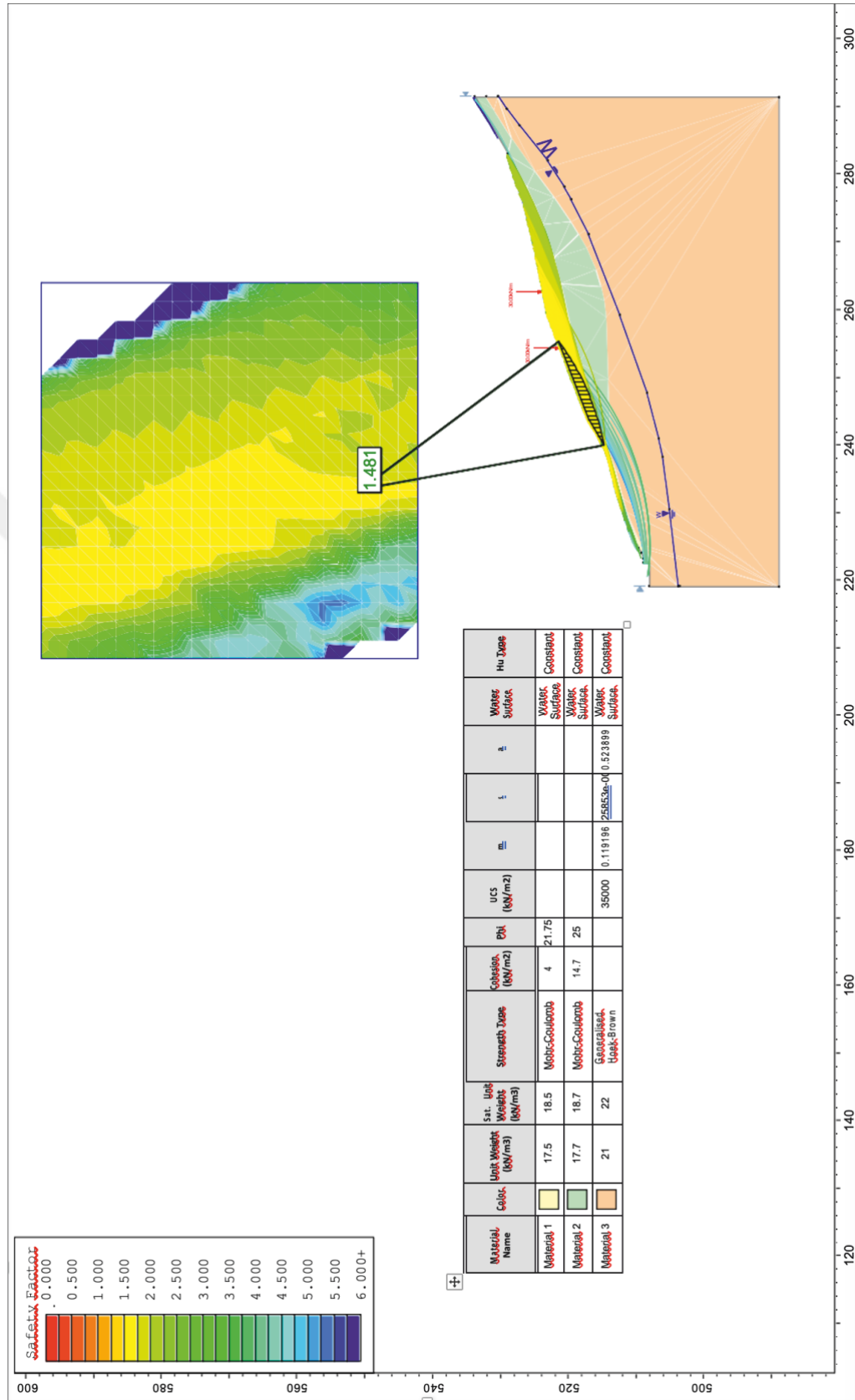
$$B= 2,78$$

$$K1= 1,12$$

$$K2= 1,53$$

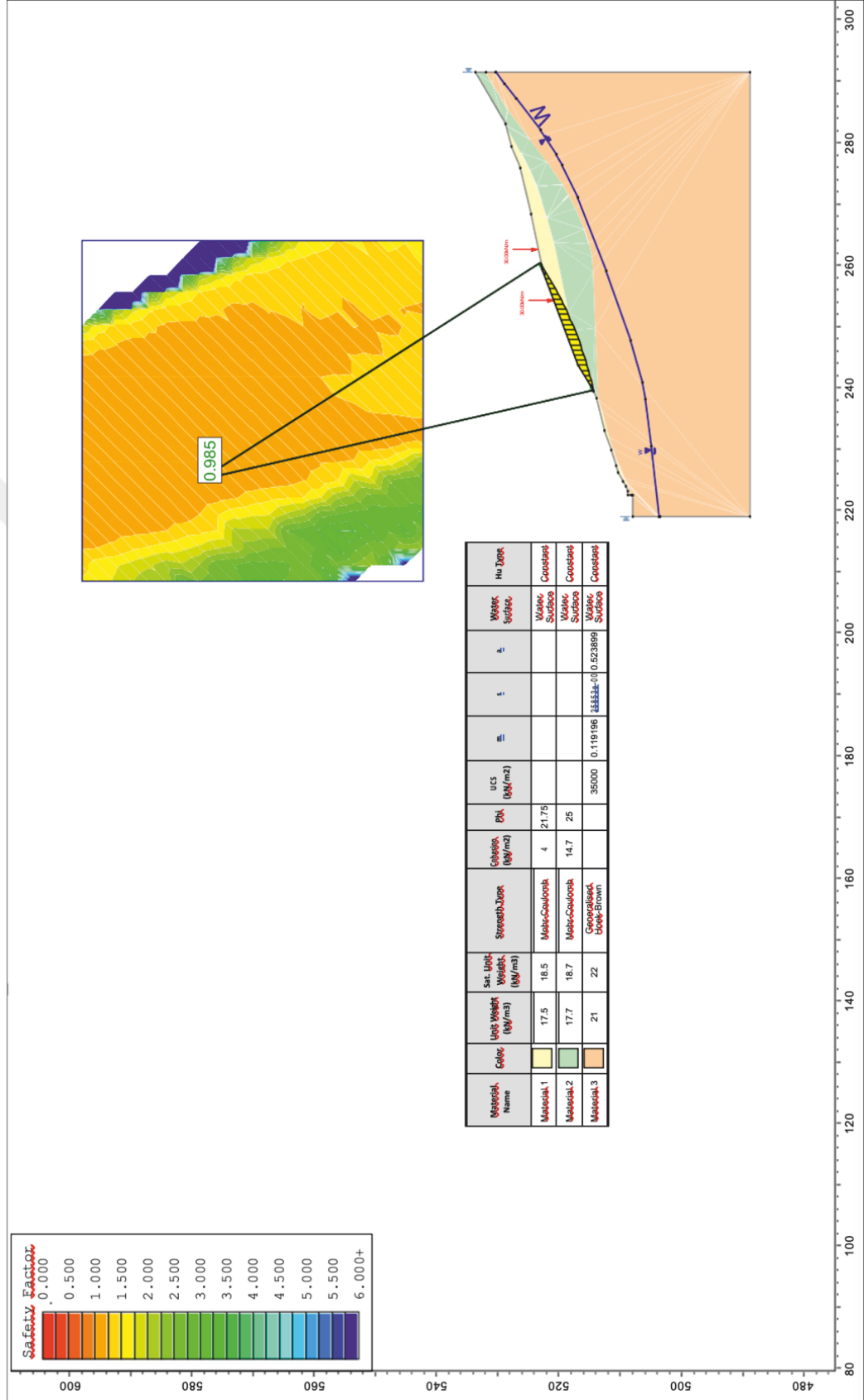
Son olarak yazılım tarafından çıktı değeri olarak Güvenlik Katsayısı Gs bulunur.

$$Gs= 0,99$$

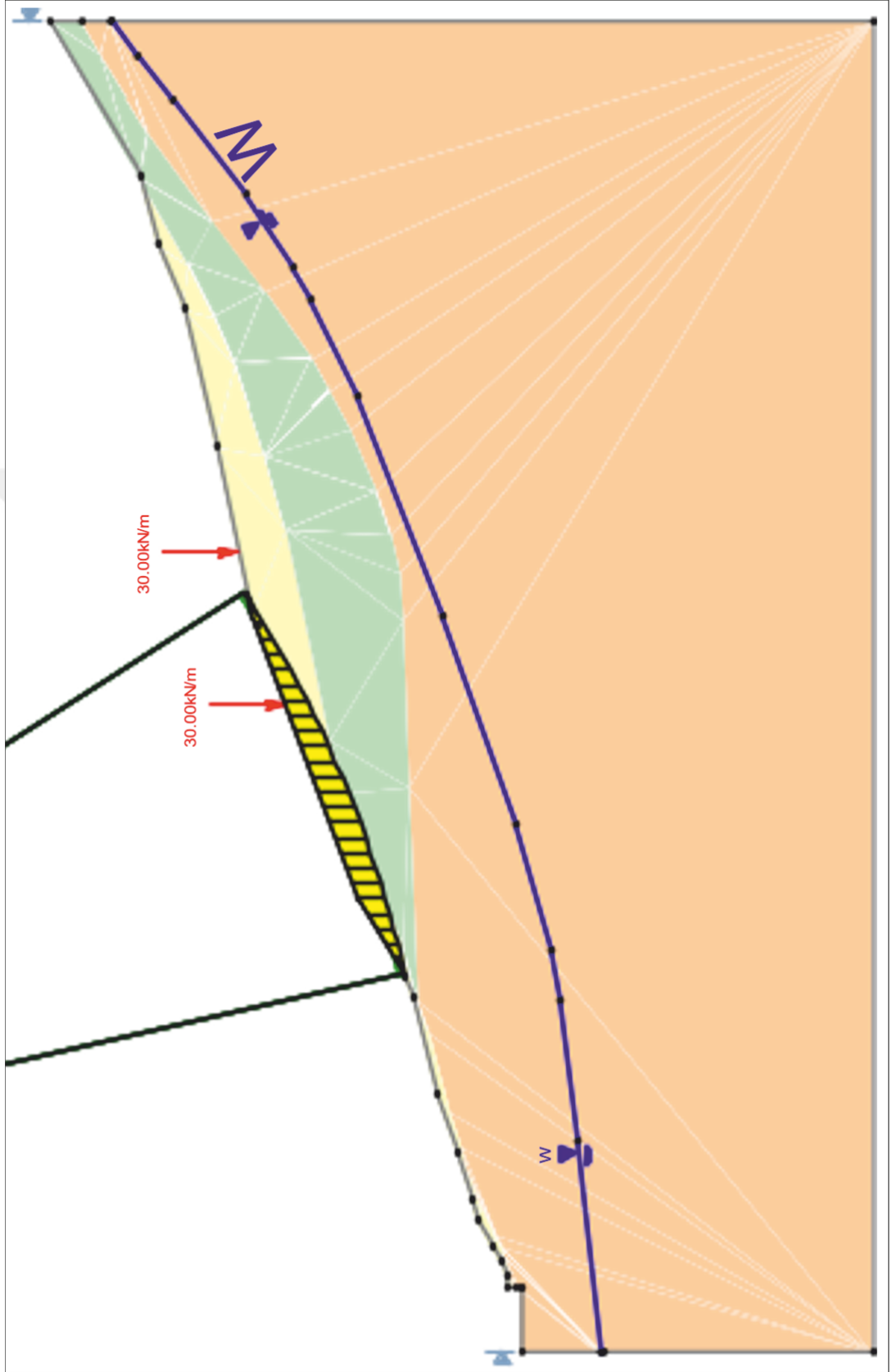


Şekil 5.5. A-A' Kesiti Statik Şev Stabilité Analizi

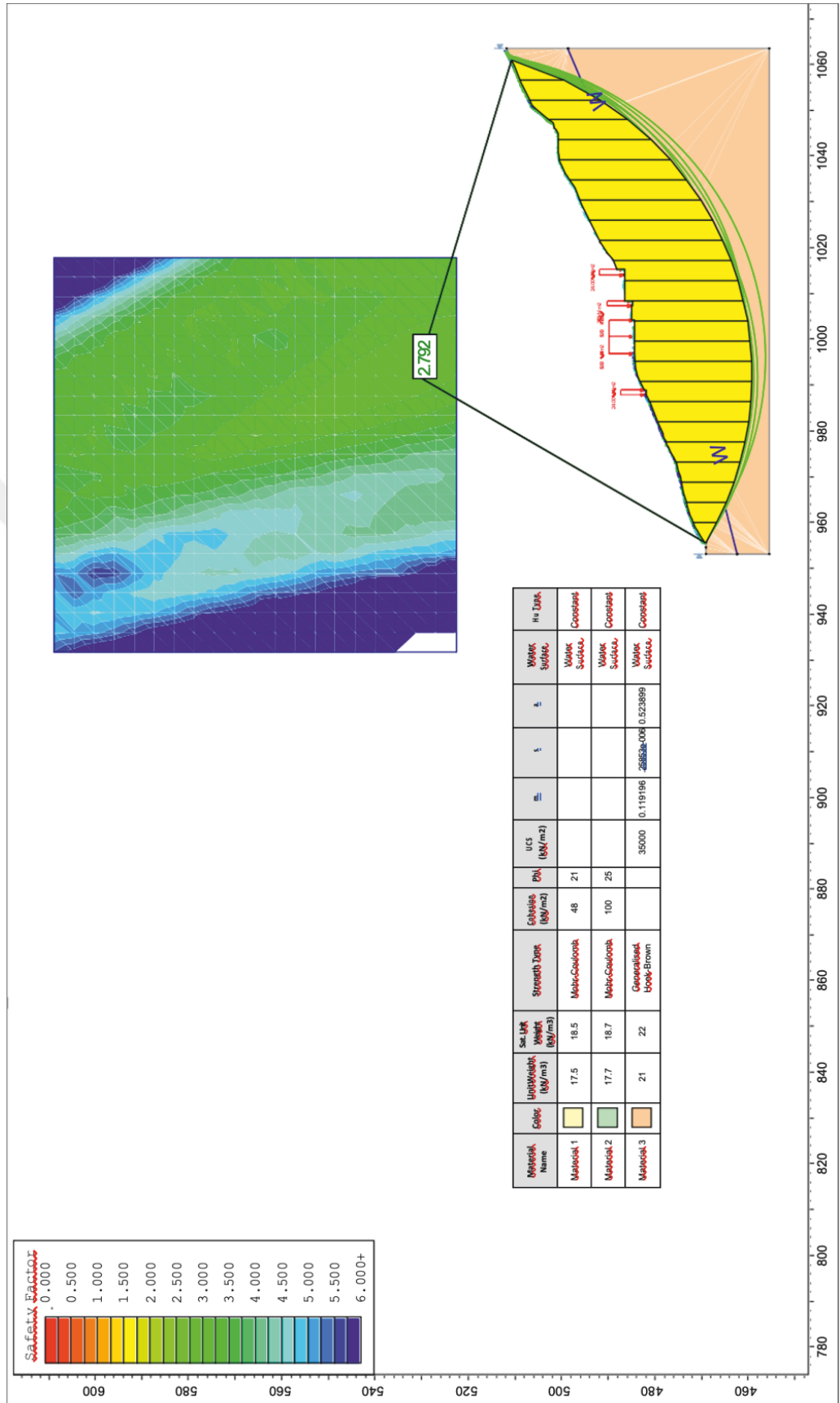




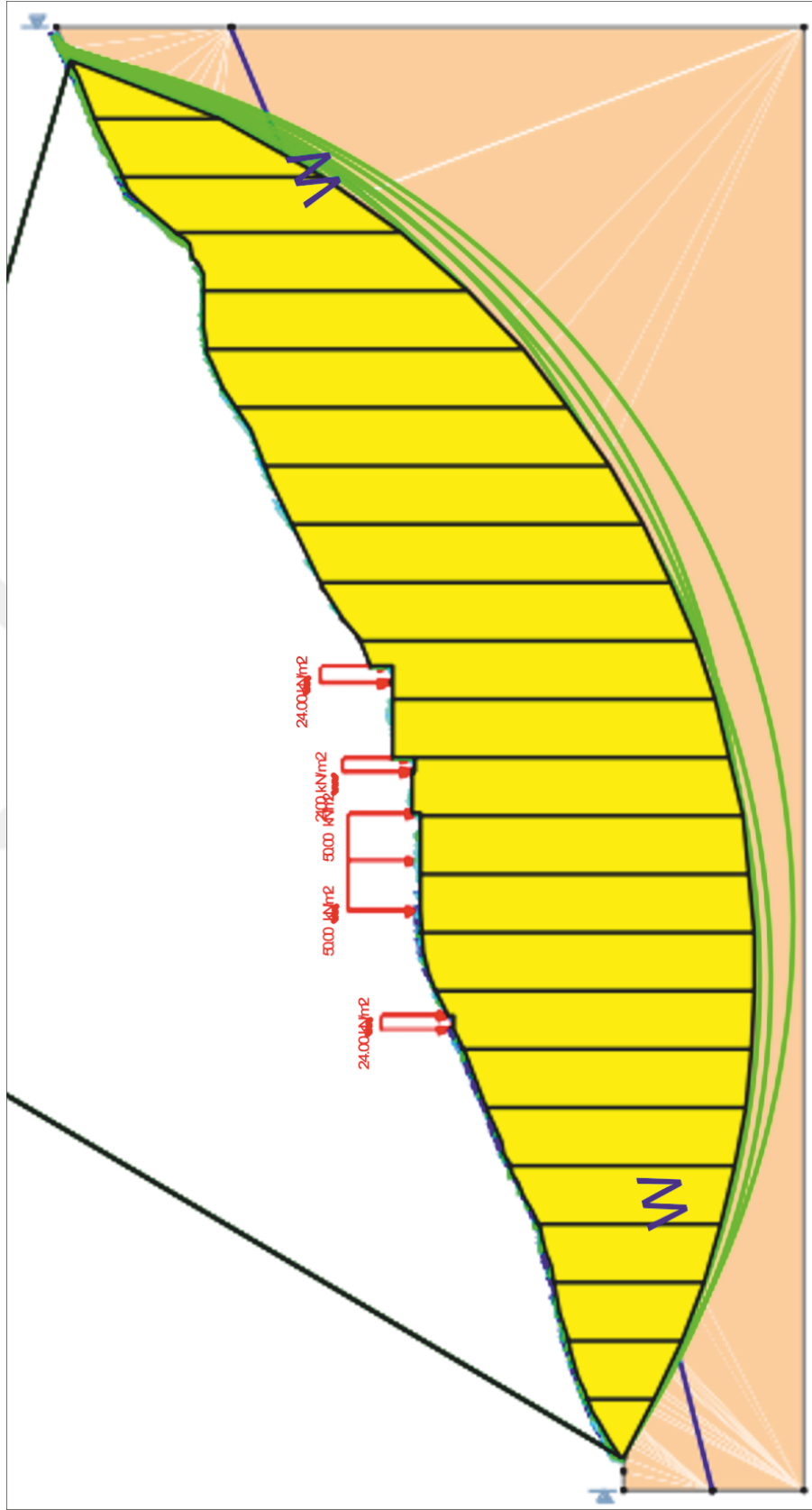
Şekil 5.7. A-A' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi



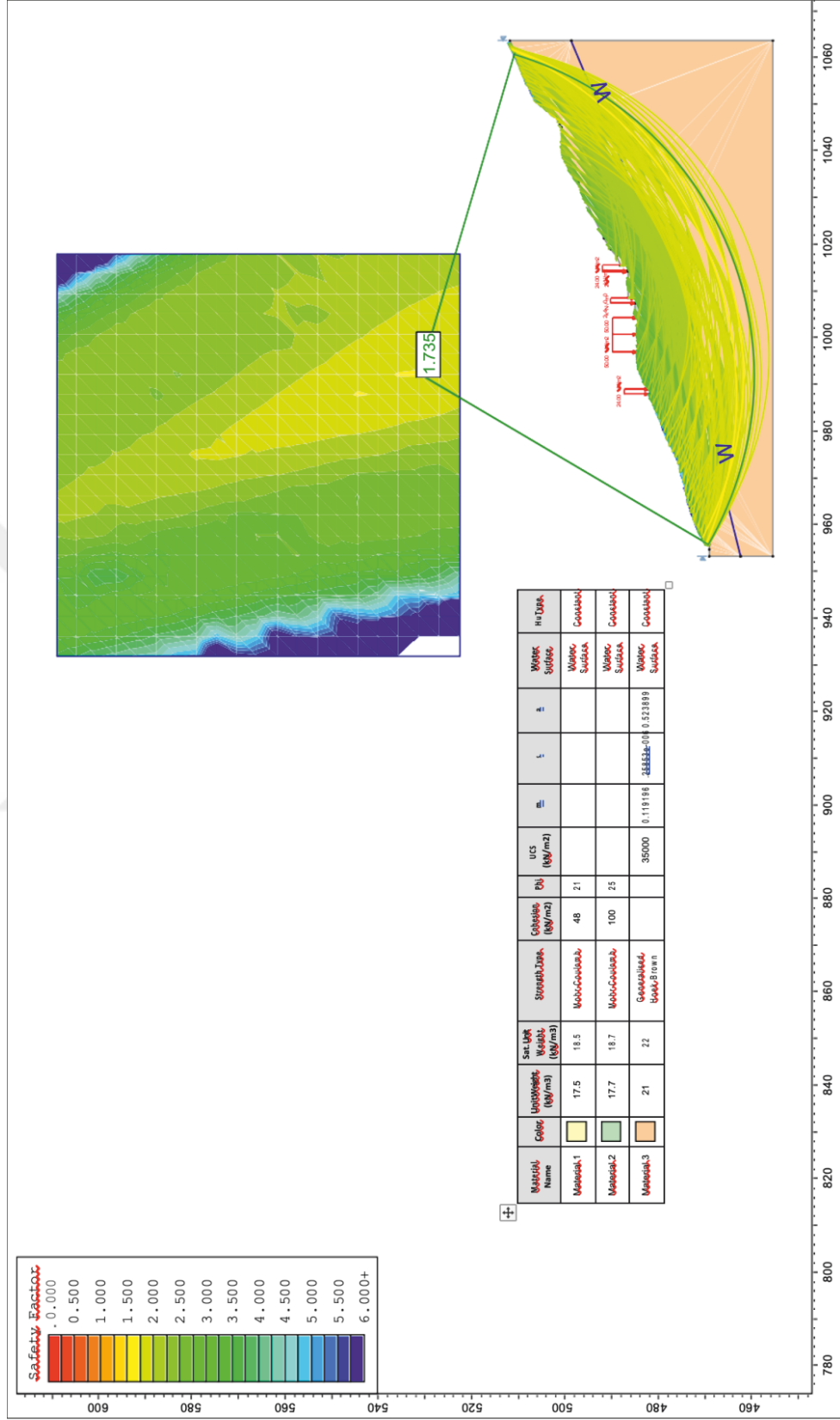
Şekil 5.8. A-A' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)



Şekil 5.9. B-B' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi

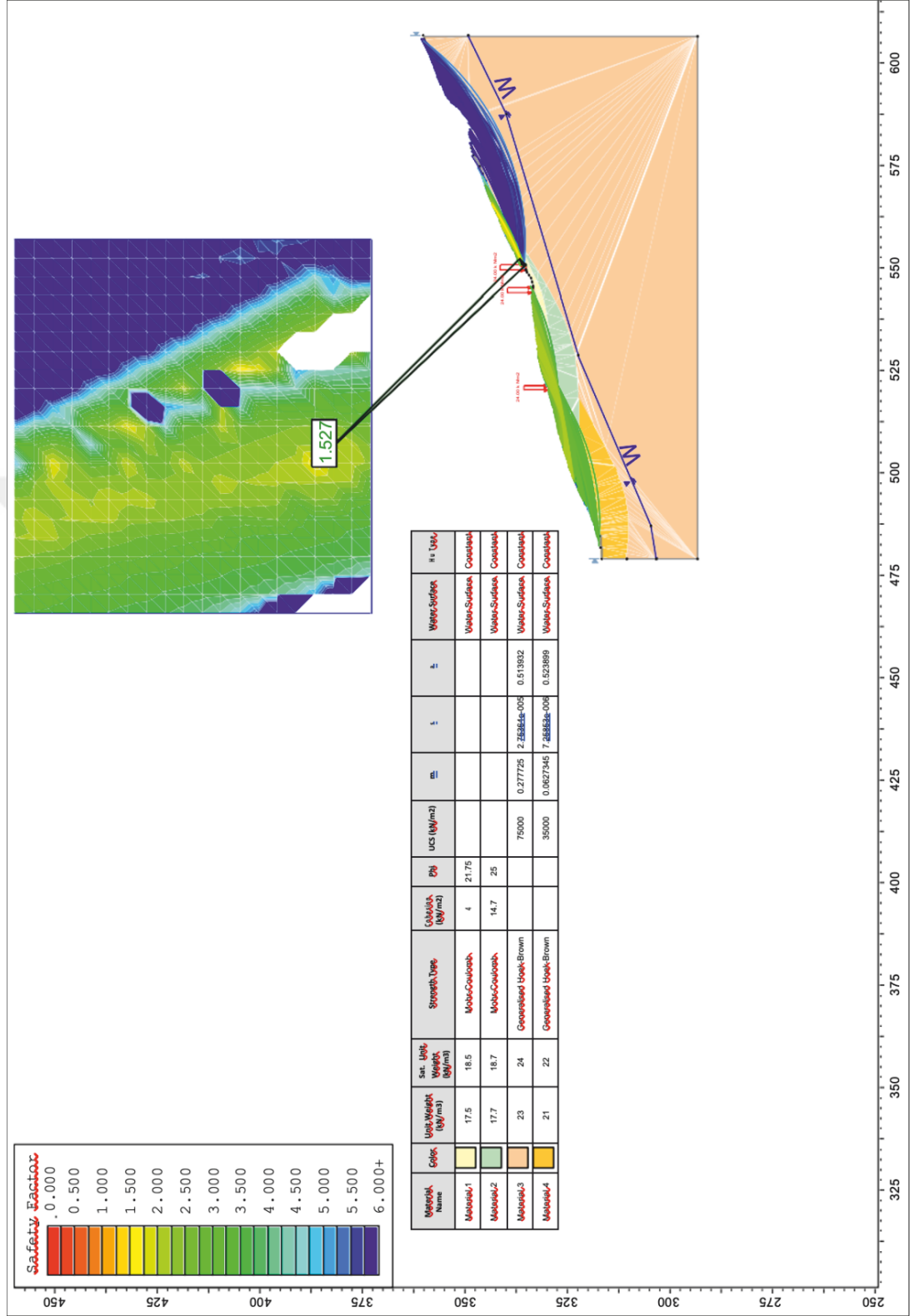


Şekil 5.10. B-B' Kesiti Statik Şev Stabilité Analizi (Yakınlaştırmış)

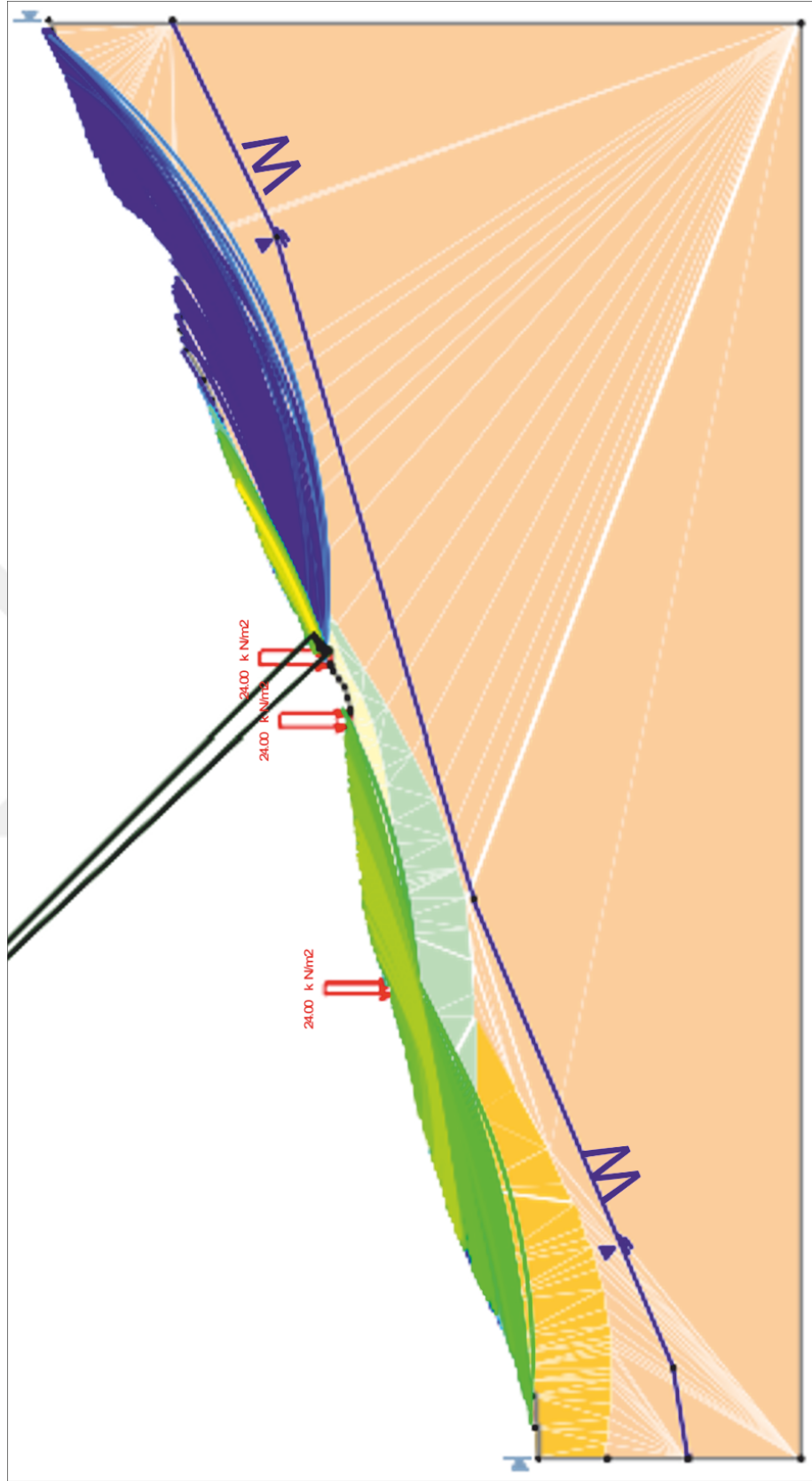


Şekil 5.11. B-B' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi

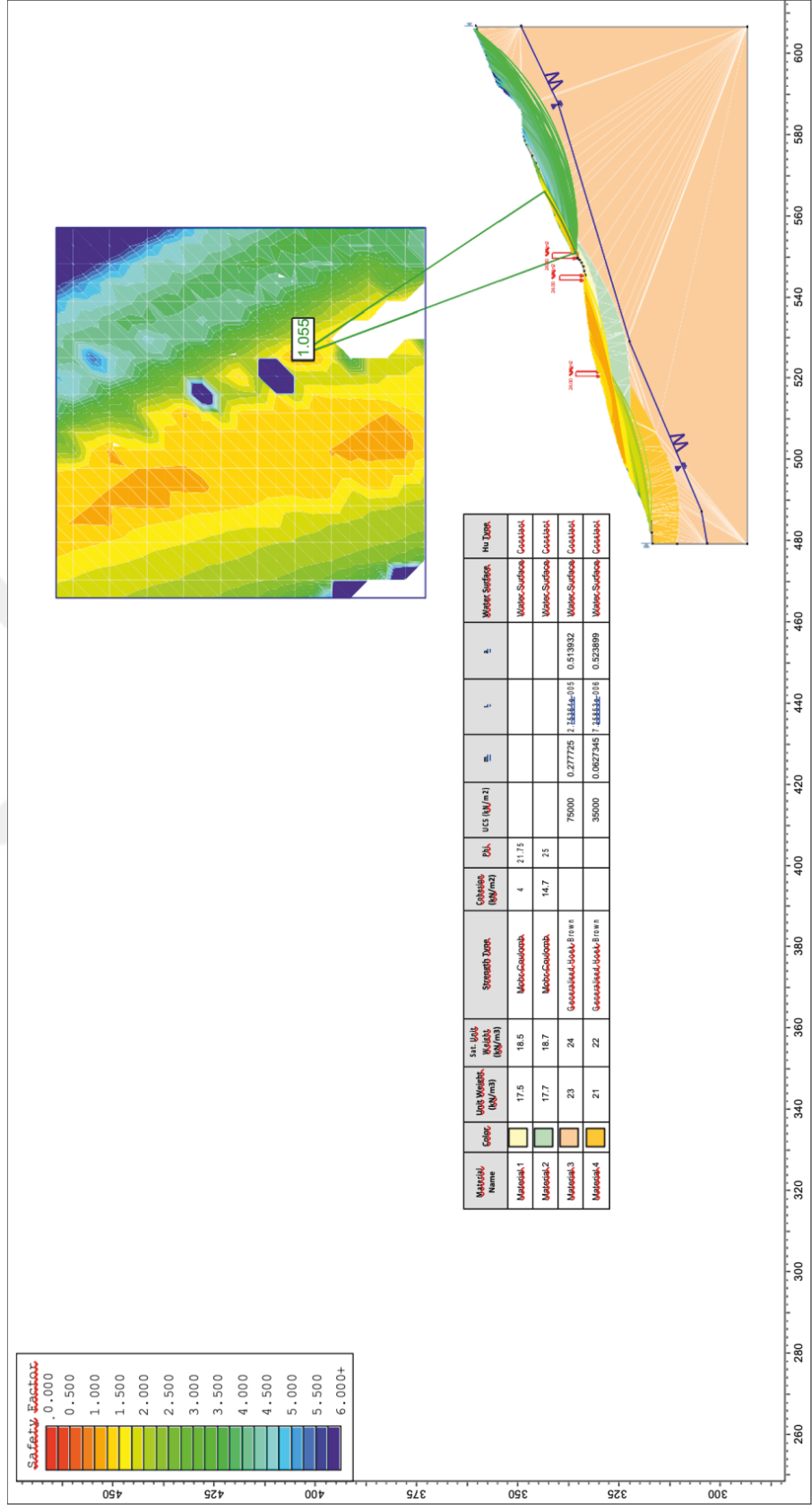




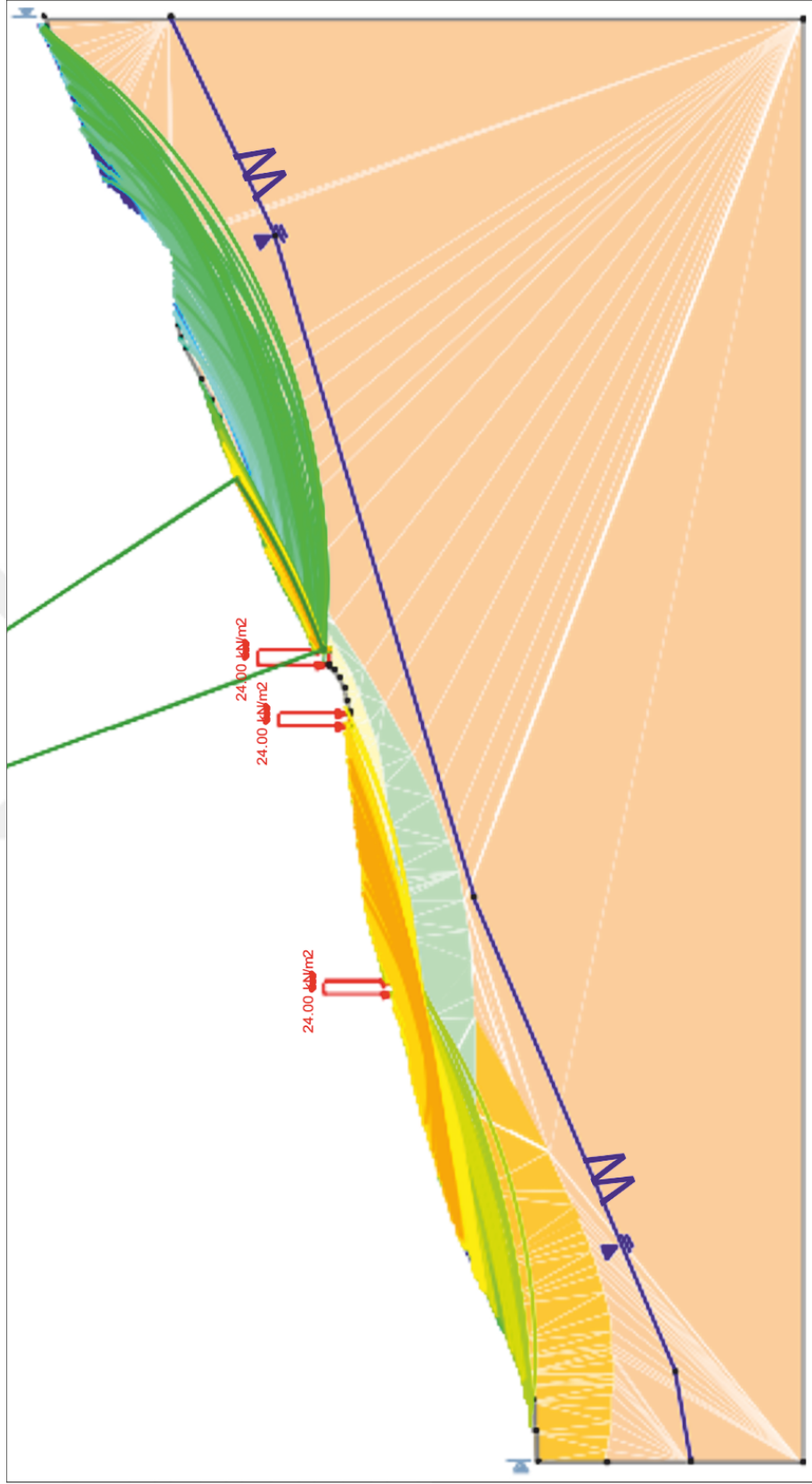
Şekil 5.13. C-C' Kesiti Statik Şev Stabilite Analizi



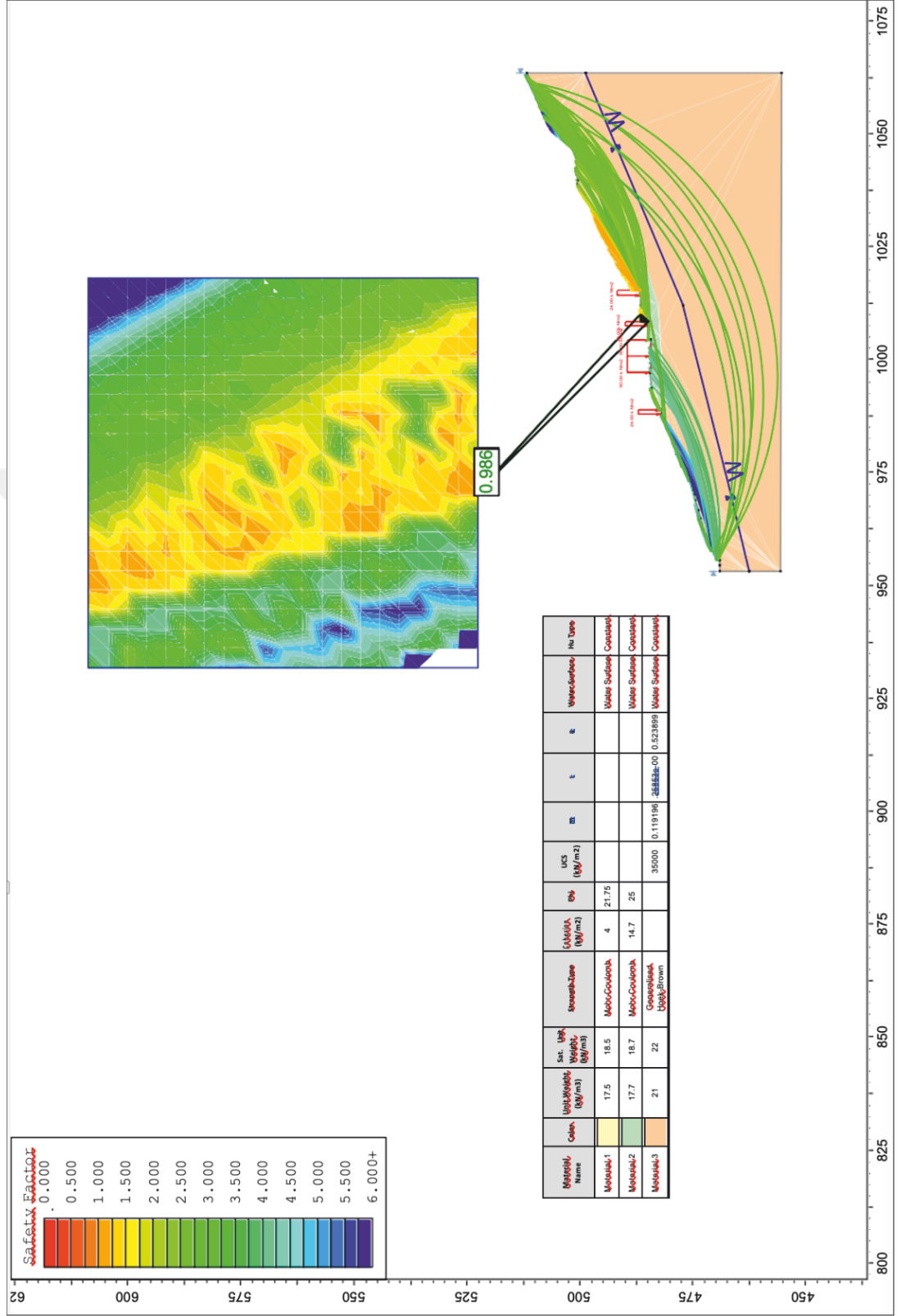
Şekil 5.14. C-C' Kesiti Statik Şev Stabillite Analizi (Yakınlaştırılmış)



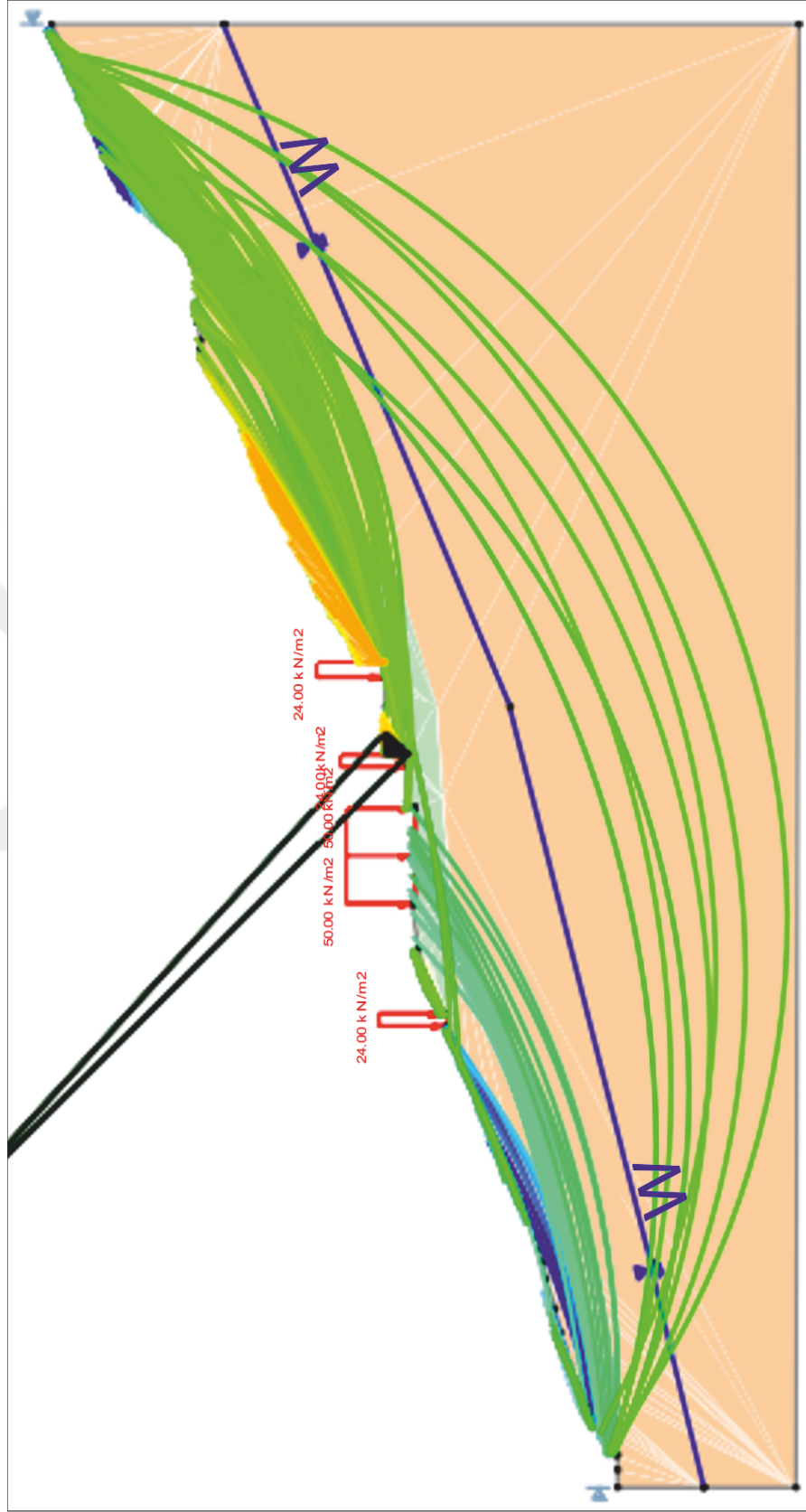
Şekil 5.15. C-C' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi



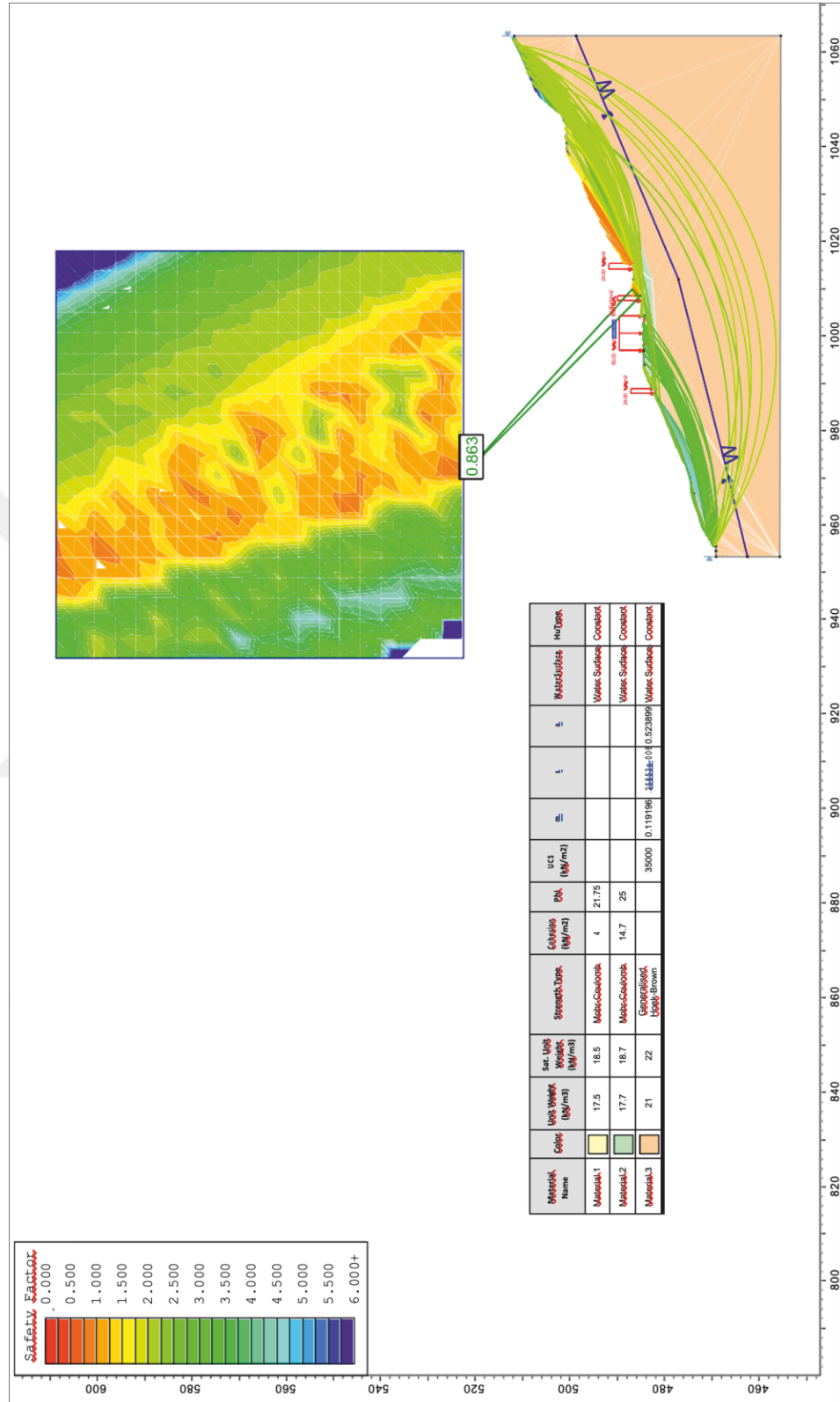
Şekil 5.16. C-C' Kesiti Dinamik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)



Şekil 5.17. B-B' Kesiti Drenajsız Statik Şev Stabilité Analizi



Şekil 5.18. B-B' Kesiti Drenajsız Statik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)



Şekil 5.19. B-B' Kesiti Drenajsız Dinamik Şev Stabilite Analizi

**Şekil 5.20. B-B' Kesiti Drenajsız Dinamik Şev Stabilite Analizi (Yakınlaştırılmış)**

**Tablo 5.2.** Analizlerde kullanılan şev duraylılığı parametreleri özeti.

| Birim                               | Birim Hacim<br>Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> ) | Drenajlı                   |                                | Tek Eksenli<br>Basınç Dayanımı<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Kohezyon<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Drenajsız                        |                                | Tek Eksenli<br>Basınç Dayanımı<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Analiz Tipi            | Y.A.S. |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------|--------|
|                                     |                                              | İçsel Sürünme<br>Açısı (Ø) | İçsel<br>Sürtünme<br>Açısı (Ø) |                                                        |                                  | Kohezyon<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | İçsel<br>Sürtünme<br>Açısı (Ø) |                                                        |                        |        |
| Siltli Kil                          | 17,5                                         | 4                          | 21,75                          | -                                                      | 48                               | 21                               | -                              | -                                                      | Mohr-<br>Coulomb       | Var    |
| Çok-Tam<br>Ayrışmış<br>Volkanik Zon | 17,7                                         | 14,7                       | 25                             | -                                                      | 100                              | 25                               | -                              | -                                                      | Mohr-<br>Coulomb       | Var    |
| Çok-Orta<br>Ayrışmış<br>Aglomerata  | 21                                           | -                          | -                              | 35000                                                  | -                                | -                                | -                              | 35000                                                  | Gen.<br>Hoek-<br>Brown | Var    |
| Andezit                             | 23                                           | -                          | -                              | 75000                                                  | -                                | -                                | -                              | 75000                                                  | Gen.<br>Hoek-Brown     | Var    |

**Not:** Aglomeralar zayıf kayaç (oldukça bozunmuş, köşeli parçalı), oldukça örselenmiş, çok sayıda birbirini kesen süreksizliklere sahip olarak değerlendirilmiştir.

## 6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında;

**a.** Toprak hareketlerinin meydana geldiği 27 Şubat 2019 tarihinden önce mevsim itibariyle bölgede ortalama yağışların üzerinde bir yağış meydana geldiği ve küçük çaplı yüzeysel heyelanın olduğu 27 Şubat 2019 tarihinde büyüklüğü 3.0 düzeyinde Bodrum merkezli deprem olduğu ve toprak hareketinin deprem sonrası meydana geldiği bölge halkı tarafından rapor edildiği gerçeği göz önünde bulundurulmuştur.

**b.** Analizlerde, kesitlerden geçen istinat duvarları ve konutlardan düşey yükler geldiği dikkate alınmıştır.

**c.** Analizlerde uzun dönem için hesaplanan drenajlı zemin parametreleri ve kısa dönem için ise laboratuvarından elde edilen drenajsız zemin parametreleri kullanılmıştır.

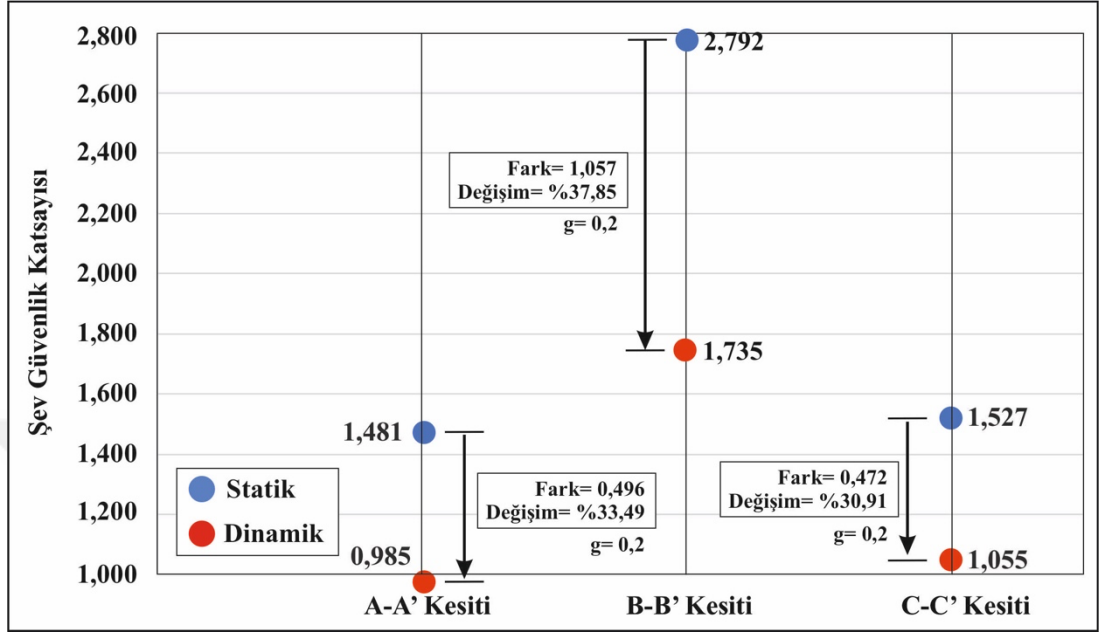
**d.** Tüm analizlerde yeraltısuyu belirtilmiştir.

**e.** Analizler topluca değerlendirildiğinde, toprak hareketleri en üstte bulunan ve kalınlığı topografyanın geometrisine bağlı olarak 0,50-3,00 m kalınlığındaki siltli killeri içinde gelişmiş olduğu belirlenmiştir.

Analiz sonuçları aşağıda tabloda topluca verilmiş (Tablo 6.1) olup birbirleri ile mukayesesi ile değişimleri ise Şekil 6.1’de verilen grafiklerde açıkça görülmektedir.

**Tablo 6.1.** Şev duraylılığı analiz sonuçlarının toplu özeti.

| Analiz No | Analiz Adı  | Analiz Tipi | Uzun/Kısa Dönem Analiz | Yer ivmesi (g) | Güvenlik Faktörü |
|-----------|-------------|-------------|------------------------|----------------|------------------|
| 1         | A-A’ Kesiti | Statik      | Uzun                   | -              | 1.481            |
| 2         | A-A’ Kesiti | Dinamik     | “                      | 0,2            | 0.985            |
| 3         | B-B’ Kesiti | Statik      | “                      | -              | 2,792            |
| 4         | B-B’ Kesiti | Dinamik     | “                      | 0,2            | 1,735            |
| 5         | C-C’ Kesiti | Statik      | “                      | -              | 1.527            |
| 6         | C-C’ Kesiti | Dinamik     | “                      | 0,2            | 1.055            |
| 7         | B-B’ Kesiti | Statik      | Kısa                   | -              | 0.986            |
| 8         | B-B’ Kesiti | Dinamik     | “                      | 0,2            | 0.863            |



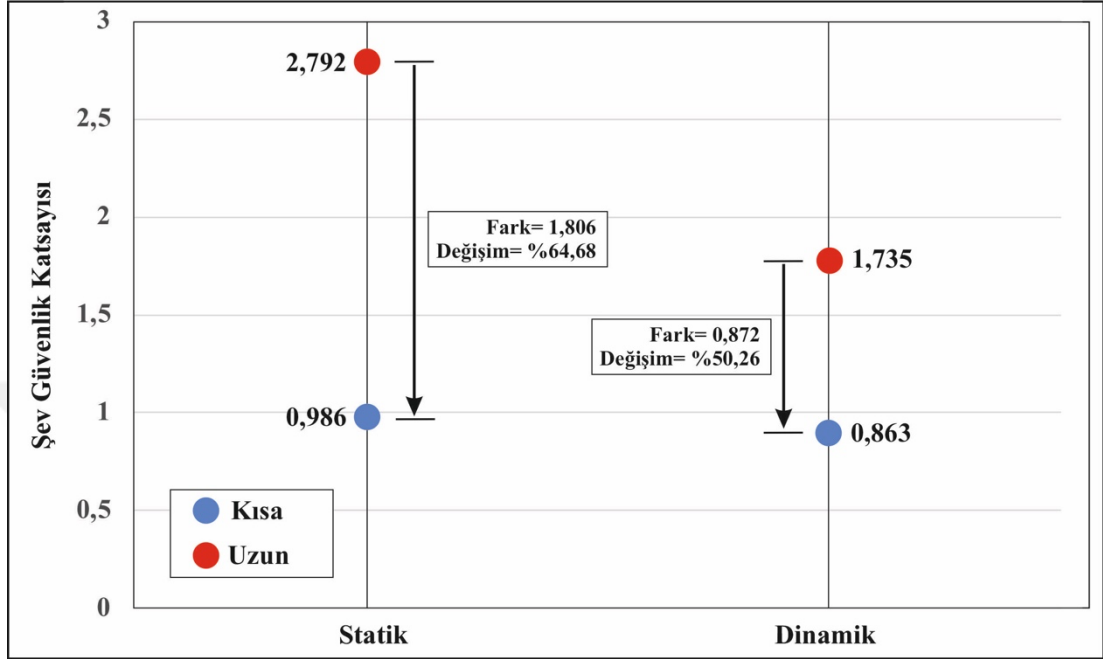
**Şekil 6.1.** Statik ve dinamik koşullarda şevlerin duraylılık analizlerinin mukayesesi ve değişimler.

Şekil 6.1' de görüldüğü gibi; tüm kesitlerde gerçekleştirilen analizlerde statik koşuldaki duraylı güvenlik katsayıları dinamik analizlerde duraysız olarak elde edilmiştir. Güvenlik katsayılarındaki değişim %37,85 lik bir düşüşe kadar ulaşmıştır. Statik ve dinamik koşullardaki güvenlik katsayısındaki ortalama değişim ise %34,08 düşüş şeklinde gerçekleşmiştir.

Görüldüğü gibi; statik durumda duraylı olan bir şev, dinamik yüklerle oluşan tekrarlı kayma gerilmeleri-deformasyon değişimleri sonucunda göçebilmektedir. Dinamik yükleme durumunda şevlerin dinamik analizi, meydana gelmiş dinamik yükleme kayıtları veya yapay olarak üretilen dinamik yükleme kayıtları kullanılarak yapılmalıdır. Dinamik yüklemeyi oluşturan en önemli ve tehlikeli kaynağın ise depremler olduğu unutulmamalıdır.

Görüldüğü gibi; uzun dönem ve kısa dönem şev duraylılığı analizleri arasındaki etkinin göz önünde bulundurulması son derece büyük önem taşımaktadır. Kısa dönem duraylılık analizlerindeki ani yükleme etkisi ile boşluk suyu basınçları oluşurken, uzun

dönem duraylılık analizlerindeki yavaş yükleme ise suyun drenajına olanak tanımış ve boşluk suyu basınçlarının oluşmasına engel olmuştur. Bu tez çalışmasında her iki koşulun da etkisi aşağıda verilen Şekil 6.2’ de açık olarak görülmektedir.



**Şekil 6.2.** Uzun ve kısa dönem analizlerinin statik ve dinamik koşullarda çoklu mukayeseleri ve değişimleri.

Şekil 6.2’ de görüldüğü gibi; statik ve dinamik koşulda kısa dönem (drenajsız) analizlerinde duraysız olan şev güvenlik katsayıları uzun dönem (drenajlı) analizlerinde duraylı olarak elde edilmiştir. Güvenlik katsayılarındaki değişim %64,68 lik bir düşüşe kadar ulaşmıştır. En küçük değişim şevinde malzemesine bağlı olarak %50,26 düşme olarak elde edilmiştir.

Söz konusu bu yüksek lisans tez çalışmaları ile herhangi bir şevin duraylılıklarının hem statik ve dinamik koşullarda hem de uzun (drenajlı) ve kısa (drenajsız) dönem analizlerinde değişimleri ortaya konulmuş ve değişim düzeyleri de belirlenmiştir.

Bu çalışmanın en önemli sonuçları olarak; statik yükler, başta deprem olmak üzere dinamik yükler etkisinde kalan şevlerin statik koşullardaki bir şevin duraylılığından farklılık göstereceği ortaya konulmuştur.

## 7. TARTIŞMALAR

Şevlerin duraylılığının, hem statik ve hem de dinamik koşullar için değerlendirilmesinin ayrı ayrı yapılması gerekir. Bu tez çalışmasında da görüldüğü gibi; hiçbir zaman unutulmamalıdır ki statik durumda duraylı olacak bir şev, dinamik bir koşul oluştuğunda tekrarlı ve ani yüklemeler sonucunda duraylılığını koruyamayabilir.

Gerçekleştirilen bu yüksek lisans tezinin tamamlanması ile birlikte aynı şevin statik ve dinamik koşullarda değişiminin ortaya konulması ile hem bir farkındalık ortaya konulmuş hem de değişim düzeyleri belirlenerek literatüre katkıda bulunulmuştur.

Temeller altındaki killi zeminler genellikle hızlı bir şekilde yüklenirler, üst yapı inşaatı tamamlandığı anda drenaj pek gerçekleşmemiştir. Dolayısıyla yapı yükü nedeniyle oluşan boşluk suyu basıncının dağılması uzun yıllar sürer. Bu durumda drenajsız hızlı bir kayma dayanımı deneyi yapmak doğru olur. Bu gibi durumlarda örneğin kısa süreli yarmalardaki şev duraylılığı hakkında tahminlerde bulunmak için hızlı ve drenaja müsaade edilmeden gerçekleştirilen dayanım deneylerinden faydalanmalıdır.

Buna karşın örneğin; zemin şevleri ile ilgili uzun süreli duraylılık problemleri genellikle drenaja izin verilerek gerçekleştirilen dayanım deneyleri sonuçlarının kullanıldığı duraylılık analizleri tercih edilmelidir. Çünkü, drenajlı deneylerde suya doymun killer dahi görülür bir sürtünme açısı verirler.

Analizlerden de görüleceği üzere kayma dairesi derinlikleri drenajlı parametrelerin geçerli olduğu durumlarda sığdır.

Gerek drenajlı gerekse de drenajsız şev stabilite analizlerinden uzun yıllardır oluşmayan toprak kaymasının uzun süreli yağışlarla suya doymun hale gelen zeminler deprem etkisiyle tetiklenerek kaymaya maruz kalabilirler.

Bu tez çalışması ile ilgili olarak özellikle dikkate alınması gereken önemli nokta, söz konusu tez çalışması kapsamında dikkate alınmış olan sahanın sadece verilerinin kullanıldığı ve ancak bu tez çalışmasının amacının bu sahaya ilişkin bir değerlendirme olmadığı göz önünde bulundurulması gerekliliğidir.

Yani bu tez çalışmasının sonuçları ilgili bölgede daha sonradan gerçekleştirilecek olan potansiyel yerleşim ve yapılanma sırasında dikkate alınmalı ancak nümerik analizler ile bunların sonuçları doğrudan bir tasarım değerleri olarak kullanılmamalıdır.



## KAYNAKLAR

- Al- Homoud, A. S., Ahmed, B. T. and Salah, A. T.** (1997): A comparative study of slope stability methods and mitigative design of a highway embankment landslide with a potential for deep seated sliding. *Engineering Geology*, 47, 157-173.
- Ambraseys, N.N.** (1996): The Prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe; *Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, Volume 33, Number 3, 107A-107A(1).
- Andersen, K. H., Pool, J.H., Brown, S.F., Rosenbrand, W. F.** (1980): Cyclic and static laboratory tests on drammen clay; *J. of Geotech. Eng. Division, ASCE*, 106, 499-529.
- Andersland, O. B. and Khafaji, A. W.** (1992): Geotechnical Engineering and Soil Testing. *Saunders College Publishing*, 695 p.
- Ansal, A.M.** (1981): Zeminlerin dinamik kayma gerilmeleri altında davranışları; *Doçentlik Tezi, İTÜ İnşaat Fak.*, İstanbul.
- Ansal, A.M., Erken, A.** (1982): Rate dependent dynamic behavior of normally consolidated clay; *7th Eoropean Conference on Earthquake Eng.*, Athens, Greece, 329-336.
- Ansal, A. M., Erken, A.** (1986): Kohezyonlu zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında davranışı; *Deprem Araştırma Bülteni*, 50, 10-53.
- Ansal, A. M., Erken, A.** (1989): Undrained behavior of clay under cyclic shear stresses; *J. of the Geotech. Eng., ASCE*, 115, 968-983.
- Ansal, A. M., Yıldırım, H.** (1985): Killerin tekrarlı yükler altında kayma mukavemeti; *II. Ulusal Kil Sempozyumu, Hacettepe Üniversitesi*, Ankara, 329-341.
- Burroughs, E. R. and Thomas, B. R.** (1977): Declining root strength in Douglas after as a factor in slope stability. *USDA Forest Service Research Paper INT-* 190.

- Campbell, R. H.** (1975): Soil slips, debris flows and rainstorm in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California. *U.S.A. Geological Survey, Professional Paper* 851.
- Campbell, K.W.** (1981): Near source attenuation of peak horizontal acceleration; *Bull. Seis. Soc.*, Volume 71, 2039-2070.
- Duncan, J. M., Wright, S. G.** (2005): Zemin Şevlerinin Duraylılığı. *John Wiley & Sons Inc.*, Hoboken, New Jersey, 311 s.
- Govi, M, Pasuto, A., Silvano, S. and Siorpaes, C.** (1993): An example of a low-temperature-triggered landslide. *Engineering Geology*, 36, 53-65.
- Gökten, Y.E.** (2018): Bodrum yarımadasının bazı Neotektonik özellikleri; Bodrum Fayı. ATAG 22. Çalıştay, 01-13 Kasım 2018, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, *ATAG 2018 Bildiri Özleri Kitabı*, s. 63.
- Grivas, D.A., Asaoka, A.A.** (1982): Slope stability prediction under static and seismic loads; *J. of the Geotech. Eng. Div., ASCE*, Vol. 108, No. GT5, 713-729.
- Hack, R., Alkema, D., Kruse, G. A. M., Leenders, N., Lizi L.** (2007): Influences of earthquakes on the stability of slopes; *Eng. Geology*, 91, 4-15.
- Ishihara, K.** (1986): Stability of natural deposits during earthquakes; *Collected Papers, Dept. Civil Eng.*, Vol. 24, Tokyo, 1-56.
- Keller, E. A.** (2000): Environmental Geology. *Prentice Hall, N.J.*, 592 p.
- Leggett, R. P.** (1973): Cities and geology. *New York, McGraw Hill*, 365 p.
- Matsui, T., Abe, N., Bahr, M.A.** (1991): Degradation of saturated clays after cyclic loading; *Prof. 2th. Int. Conf. On Recent Advances in Geotech. Earthquake Eng. and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, USA*, Vol. 1, 1.18, 41-46.
- Nova-Roessig, L., Sitar, N.** (1998): Centrifuge studies of the seismic response of reinforced soil slopes; *Proceedings of the Third Geotech. Eng. and Soil Dynamics Conf., Geotech. Special Publication, Vol. 75. ASCE, Seattle, Washington*, 458–468.

- Ogawa, S., Shibayama, T., Yamaguchi, H.** (1977): Dynamic strength of saturated cohesive soil; *Proc. 7th Int. Soil Mech. & Found. Eng.*, Vol.2, 103-107.
- Özay, R.** (2002): Örselenmemiş killi zeminlerin statik mukavemetine deprem yüklerinin etkisi; *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Özay, R., Erken, A.** (2003): Tekrarlı yük etkisinde kalmış düşük plastisiteli killi zeminlerin davranışı; *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul*, 1-5.
- Özay, R., Erken, A.** (2002): Killerde dinamik yüklemenin hacim değişimine etkisi; *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Eskişehir*, 342-348.
- Rathje, E.M., Bray, J.D.** (2001): One- and two-dimensional seismic analysis of solid-waste landfills; *Can. Geotech. J.* 38 (4), 850–862.
- Seed, H.B., Chan, C.K.** (1966): Clay strength under earthquake loading condition; *J. of the Soil Mech. and Found. Eng. Div., ASCE*, Vol. 92, 53-78.
- Sitar, N., Clough, G.W.** (1983): Seismic response of steep slopes in cemented soils; *J. of Geotech. Eng.*, Vol.109, No.2, 210-227.
- Terzaghi, K.** (1950): Mechanism of landslides. The Geological Society of America: Application of Geology to Engineering Practice, *Berken Volume*, 83-123.
- Thiers, G.R., Seed, H.B.** (1969): Strength and stress-strain characteristics of clays subjected to seismic loading conditions; *American Society of Testing and Materials, ASTM*, 450, 3-56.
- Wu, T.H., Leland, M.K.** (1970): Safety analysis of slopes; *J. of the Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, Vol 96, No. 2, 609-630.