



**ŞİSTLERİN AYRIŞMASI İLE OLUŞAN REZİDÜEL ZEMİNLERİN VE
KAYA KÜTLESİNİN STATİK – DİNAMİK KOŞULLARDA ŞEV
DURAYLILIĞININ BELİRLENMESİ, BİR AÇIK İŞLETME ÖRNEĞİ**

Işık ŞENER AYDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Işık ŞENER AYDEMİR

03/01/2024

ŞİSTLERİN AYRIŞMASI İLE OLUŞAN REZİDÜEL ZEMİNLERİN VE KAYA
KÜTLESİNİN STATİK – DİNAMİK KOŞULLARDA ŞEV DURAYLILIĞININ
BELİRLENMESİ, BİR AÇIK İŞLETME ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Işık ŞENER AYDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2024

ÖZET

Dünya genelinde, açık işletmeye sahip maden ocaklarında cevher üretimi için şevlendirme uygulamaları yapılmaktadır. Tez çalışması kapsamında Kuzeybatı Anadolu Bölgesi'nde işletilmekte olan bir maden ocağındaki şistlerin ayrışmasıyla oluşan rezidüel zemin şevlerinin stabilitesi incelenmiştir. Ocakta yaygın olarak şist birimler gözlenmiştir. Bu birimlerin içeriği kalkşist, kuvars feldispar şist, klorit serisit şist ve kuvars şist şeklindedir. Bu birimler orta-tamamen ayrışmış ve özellikle üst seviyelerde ocağın büyük bir bölümünde rezidüel zemin özelliği kazanmıştır. Rezidüel birimin çok düşük dayanımlı yapısı, bölgedeki faylanma ve yapısal unsurlar ile yüzey suları etkisi birleşince bu şevlerde kütle hareketleri olduğu görülmüştür. Özellikle yüzey suları, şevlerde gözenek suyu basıncı oluşturarak yenilmelere sebep olmuştur. Kütle hareketi gerçekleşmiş şev yüzeylerinden alınan örselenmemiş örnekler üzerinde zemin indeks deneyleri ile konsolidasyonlu-drenajlı (CD) koşullarda makaslama deneyleri yapılarak rezidüel zeminlerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Gözlenen kaymaların saha ölçümleri ile geometrileri ve doygunluk oranları belirlenerek güvenlik sayıları belirlenmiş, geri analiz yöntemi ile kayan malzemenin makaslama dayanımı değerleri saptanmıştır. Sonrasında alınan numuneler üzerinde yapılan konsolidasyonlu-drenajlı deneyler ile bu makaslama parametreleri karşılaştırılmıştır. Rezidüel zeminlerde oluşan duraysızlıkların mekanizmaları limit denge analizleri ve sonlu eleman analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, işletme sahasında ayrışmanın nispeten daha düşük olduğu zonlarda süreksizlik düzlemleri, hat etütleri ile ölçülerek süreksizlik koşulları değerlendirilmiş ve süreksizlik kontrollü duraysızlık olasılığı kinematik analizler ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmalara ek olarak işletme sahasının planlanan nihai ocak geometrisi üzerinde limit denge analizleri ve sonlu eleman analizleri kullanılarak stabilite değerlendirmeleri yapılmıştır. Son aşamada da zaman alanında sonlu elemanlar analizleri yapılarak deprem etkisi altında şev stabilitesi incelenmiştir.

Bilim Kodu : 91105
Anahtar Kelimeler : Şist, rezidüel zeminler, ayrışma, şev stabilitesi
Sayfa Adedi : 227
Danışman : Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

DETERMINATION OF SLOPE STABILITY OF RESIDUAL SOILS AND ROCK
MASS FORMED BY WEATHERING OF SCHISTS UNDER STATIC – DYNAMIC
CONDITIONS, A CASE STUDY FROM AN OPEN PIT MINE

(M. Sc. Thesis)

Işık ŞENER AYDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

Worldwide, in open pit mines, sloping is practiced for mine production. Within the scope of this thesis, the stability of the residual soil slopes formed by the weathering of schists in a mine operating in the Northwestern Anatolia Region was investigated. Schists are commonly observed in the mine. These units consist of calcschist, quartz feldspar schist, chlorite sericite schist and quartz schist. These units are moderately weathered to completely weathered and acquired residual soil characteristics in a large part of the mine, especially in the upper levels. It was observed that the very low strength character of the residual unit is combined with the faulting and structural elements in the region and the effect of surface waters resulted in mass movements on these slopes. Particularly the surface waters have caused failures by creating pore water pressure on the slopes. The mechanical properties of the residual soils were determined by performing soil index tests and shear tests under consolidated-drained (CD) conditions on undisturbed samples taken from the slope surfaces where mass movement occurred. The geometries and saturation ratios of the observed slides were determined on site measurements, the factor of safety was determined, and the shear strength values of the sliding material were determined by back analysis method. Then these shear parameters were compared with the drained shear strength tests performed on the samples taken from the field. The mechanisms of instabilities occurring in residual soils were evaluated using limit equilibrium and finite element analyses. At the same time, discontinuity conditions were evaluated by measuring the discontinuity planes in the zones where weathering is relatively low in the operation area, and the possibility of discontinuity controlled instability was evaluated by kinematic analysis. In addition to these studies, limit equilibrium and finite element analyses were performed on the planned final pit geometry of the operation site. Finally, slope stability under the influence of earthquake was examined by performing finite element analyses in the time domain.

Science Code : 91105

Key Words : Schist, residual soils, weathering, slope stability

Page Number : 227

Supervisor : Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tez çalışması sürecinde bilgisini, desteğini esirgemeyen ve bana yardımcı olan değerli Sayın Danışman Hocam Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez dönemim boyunca beni destekleyen ve yardımcı olan “INR Mühendislik Müşavirlik A.Ş.” yönetiminden Ömer ARDIÇ ve Aykut AYDERMAN ile tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca maddi-manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan annem Jale ŞENER, babam Kemal ŞENER ve kız kardeşim Kıvılcım AYYILDIZ’a teşekkür ederim.

En son olarak da desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve hep yanımda olan eşim Cenk AYDEMİR’e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1. Şev Stabilitesi.....	5
2.1.1. Heyelan sınıflaması.....	5
2.1.2. Şevlerde gözlenen başlıca yenilmeler	9
2.1.3. Şev duraysızlığının temel mekanizması.....	13
2.1.4. Şev duraylılığı analiz yöntemleri	14
2.2. Zemin ve Kaya Kütlelerinde Parametre Belirlenmesi.....	18
2.2.1. Zeminlerde duraylılık koşulları.....	18
2.2.2. Kohezyonlu zeminlerde kalıcı makaslama dayanımı.....	19
2.2.3. Kaya kütlelerinin makaslama dayanımı	21
2.3. Geri Analiz	28
3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	29
4. JEOLojİ	31
4.1. Bölgesel Jeoloji	31

	Sayfa
4.2. Yapısal Jeoloji	33
4.3. Depremsellik	34
4.4. Yeraltı Suyu Seviyesi ve Yüzey Sularının Belirlenmesi.....	39
4.3. Ocak ve Çevresinin Morfolojik Yapısı	44
5. GÜVENLİK KATSAYISI KAVRAMI VE MADEN ŞEVLERİNDE GÜVENLİK KATSAYISI SEÇİMİ	45
6. ZEMİN VE KAYA KÜTLESİ NİTELİĞİNDEKİ BİRİMLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	49
6.1. Sondaj Çalışmaları	49
6.2. Geri Analiz Girdileri ve Model Kurulumu.....	49
6.2.1. Heyelan malzemesi ve malzeme parametreleri.....	54
6.2.2. Kaya kütle parametreleri.....	66
6.3. Süreksizlik Ölçümleri ve Kinematik Analizler	72
7. MADEN OCAĞININ NİHAİ TASARIMINA YÖNELİK ANALİZLER	77
7.1. Stabilitate Analizleri	77
7.2. Dinamik Analizler	86
7.2.1. Kullanılan deprem kaydı.....	87
7.2.2. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak zaman tanım alanında yapılan dinamik analizler.....	91
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	101
EK-1. Karot sandık fotoğrafları	102
EK-2. Süreksizlik ölçümleri.....	224
ÖZGEÇMİŞ	227

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hıza göre sınıflama.....	8
Çizelge 2.2. Limit denge yöntemlerinin karşılaştırılması.....	17
Çizelge 2.3. Mevcut analiz yöntemlerinin özeti	17
Çizelge 2.4. Ayırışma dereceleri.....	24
Çizelge 5.1. Maden Mühendisliği uygulamalarında güvenlik sayısı (açık işletmeler)...	46
Çizelge 5.2. Maden Mühendisliği uygulamalarında güvenlik sayısı (açık işletmeler)...	47
Çizelge 5.3. Limit denge yöntemleri ile yapılan analizler sonucunda farklı durumlar için istenilen minimum güvenlik sayıları	47
Çizelge 6.1. Limit denge yöntemi ile yapılan geri analiz sonuçlarının özeti.....	58
Çizelge 6.2. Konsolidasyonlu-drenajlı kesme kutusu deney sonuçları.....	63
Çizelge 6.3. Görgül bağıntılar kullanılarak hesaplanan efektif kayma direnci açıları ve geri analiz sonuçlarının karşılaştırılması	66
Çizelge 6.4. Tamamen ayrıışmış kaya birim için Hoek-Brown Yenilme Ölçütü esas alınarak belirlenmiş kaya kütlesi mekanik özellikleri	71
Çizelge 6.5. Orta ayrıışmış kaya birim için Hoek-Brown Yenilme Ölçütü esas alınarak belirlenmiş kaya kütlesi mekanik özellikleri	72
Çizelge 7.1. Limit denge yöntemi ile yapılan nihai ocak tasarımına yönelik stabilite analiz sonuçlarının özeti	84
Çizelge 7.2. Yer hareketi parametreleri	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Doğal yamaçlar ve mühendislik amaçlı şevler.....	1
Şekil 1.2. Şevlere ait şematik gösterim (H: şev yüksekliği, β : şev açısı-eğim açısı, θ : kayma dairesi merkez açısı, ab: şev yüzeyi, bc: şev tepesi, a: şev topuğu).....	2
Şekil 2.1. Harekete göre sınıflama.....	6
Şekil 2.2. Örnek bir kayma mekanizmasının şematik gösterimi	7
Şekil 2.3. Başlıca şev yenilmeleri (üst soldan başlayarak sırasıyla; akma, devrilme, dairesel kayma, düzlemsel kayma, krip akması ve düşme).....	9
Şekil 2.4. Dairesel kayma şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.5. Düzlemsel kayma	12
Şekil 2.6. Kama tipi kayma.....	12
Şekil 2.7. Bükülme devrilmesi.....	12
Şekil 2.8. Blok tipi devrilme.....	13
Şekil 2.9. Kayan bloğun güvenlik sayısının hesaplanması: (a) kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) ile tanımlanan makaslama dayanımını diyagramı; (b) kayan bloğun ağırlığından kaynaklanan W kuvvetinin kayma düzlemine paralel ve dik bileşenlere ayrılması (ψ_p : eğim)	13
Şekil 2.10. Makaslama uygulanan bir örnek.....	19
Şekil 2.11. Makaslama gerilmesi (τ) – makaslama yer değiştirmesi (δ) eğrisi	19
Şekil 2.12. Doruk ve artık makaslama koşulları için yenilme zarflarının elde edilmesi.....	20
Şekil 2.13. Kaya malzemesi ve kaya kütlesi.....	21
Şekil 2.14. GSI sınıflama abağının sağlam ve masif kaya grubu eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali.....	23
Şekil 2.15. Doğrusal (Mohr-Coulomb) ve eğrisel yenilme zarflarının σ - τ grafiklerinin karşılaştırılması: üstte üç eksenli deney ve altta makaslama deneyi verilmiştir.....	25
Şekil 2.16. Örnek boyutunun büyümesine bağlı olarak, bir yeraltı açıklığı ile bir kaya şevinde kaya malzemesinden kaya kütlesine geçişi gösteren temsili kesit.....	26

Şekil	Sayfa
Şekil 2.17. Kaya malzemesi için 1995’te önerilmiş m_i sabiti değerleri.....	28
Şekil 4.1. Çalışma sahasının deprem yer hareketi parametreleri (DD-1 için)	36
Şekil 4.2. Çalışma sahasının deprem yer hareketi parametreleri (DD-2 için)	36
Şekil 4.3. Çalışma sahasının yerel zemin sınıfı	37
Şekil 4.4. Çalışma sahasının tasarım spektral ivme katsayıları (DD-1 için)	38
Şekil 4.5. Çalışma sahasının tasarım spektral ivme katsayıları (DD-2 için)	39
Şekil 4.6. Statik su seviyesine göre oluşturulmuş su tablası kesitleri.....	42
Şekil 4.7. Çalışma sahasının 3 boyutlu yükseklik modeli	44
Şekil 5.1. Limit denge koşulu	45
Şekil 6.1. GA1 numaralı geri analiz çıktısı.....	56
Şekil 6.2. GA2 numaralı geri analiz çıktısı.....	56
Şekil 6.3. GA3 numaralı geri analiz çıktısı.....	57
Şekil 6.4. GA4 numaralı geri analiz çıktısı.....	57
Şekil 6.5. GA7 numaralı geri analiz çıktısı.....	58
Şekil 6.6. GA4 numaralı sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları.....	59
Şekil 6.7. GA7 numaralı sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları.....	59
Şekil 6.8. GA4 numaralı sonlu elemanlar analizi çıktısı	60
Şekil 6.9. GA7 numaralı sonlu elemanlar analizi çıktısı	60
Şekil 6.10. Plastisite indisi-efektif kayma direnci açısı ilişkisi	64
Şekil 6.11. Plastisite indisi-efektif kayma direnci açısı ilişkisi	65
Şekil 6.12. Plastisite indisi-efektif kayma direnci açısı ilişkisi	65
Şekil 6.13. Tamamen ayrıışmış kaya birimine ait GSI puanı	68
Şekil 6.14. Orta ayrıışmış kaya birimine ait GSI puanı	69
Şekil 6.15. Tamamen ayrıışmış kaya birimine ait RocLab çıktısı	70
Şekil 6.16. Orta ayrıışmış kaya birimine ait RocLab çıktısı	71

Şekil	Sayfa
Şekil 6.17. Süreksizlik düzlemleri kullanılarak mevcut şevlerde süreksizlik kontrollü duraysızlık olasılığının kinematik analizler ile değerlendirilmesi (düzlemsel kayma).....	74
Şekil 6.18. Süreksizlik düzlemleri kullanılarak mevcut şevlerde süreksizlik kontrollü duraysızlık olasılığının kinematik analizler ile değerlendirilmesi (kama tipi kayma).....	74
Şekil 7.1. K1 hattına ait mevcut ve nihai ocak topoğrafyalarını gösterir kesit.....	79
Şekil 7.2. K6 hattına ait mevcut ve nihai ocak topoğrafyalarını gösterir kesit.....	79
Şekil 7.3. K1 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum)	80
Şekil 7.4. K1 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/pseudo-statik durum / DD2).....	80
Şekil 7.5. K1 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/pseudo-statik durum / DD1).....	81
Şekil 7.6. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum)	82
Şekil 7.7. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/statik durum).....	82
Şekil 7.8. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/pseudo-statik durum / DD2)	83
Şekil 7.9. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/pseudo-statik durum / DD1)	83
Şekil 7.10. K1 numaralı kesit için sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları	85
Şekil 7.11. K6 numaralı kesit için sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları	85
Şekil 7.12. K1 numaralı kesit (sonlu elemanlar yöntemi) (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum).....	85
Şekil 7.13. K6 numaralı kesit (sonlu elemanlar yöntemi) (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum).....	86
Şekil 7.14. K6 numaralı kesit (sonlu elemanlar yöntemi) (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/statik durum)	86
Şekil 7.15. Peer kuvvetli yer hareketine girilen arama kriterleri	87
Şekil 7.16. Peer kuvvetli yer hareketi veri tabanında yapılan arama sonuçları ve seçilen deprem kaydı	88

Şekil	Sayfa
Şekil 7.17. RSN1111_KOBE_NIS000.AT2 kaydı için ivme-zaman, hız-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri	89
Şekil 7.18. RSN1111_KOBE_NIS000.AT2 kaydı için tepki spektrumu grafiği	90
Şekil 7.19. Zaman alanında yapılan dinamik sonlu elemanlar modeli ve dinamik sınır koşulları	91
Şekil 7.20. Plastik kayma birim deformasyonlarının dağılımı	92
Şekil 7.21. Seçilen noktalarda deprem sırasında oluşan yatay deplasmanlar	92
Şekil 7.22. Plastik kayma birim deformasyonlarının dağılımı ve deformasyon vektörleri.....	93
Şekil 7.23. Suyu tam doygun koşulda seçilen noktalarda deprem sırasında oluşan yatay deplasmanlar	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Güney Afrika’da bir bakır madeni işletmesi	2
Resim 2.1. Zeminlerde açılmış şevlerde gözlenen kavisli-dönel kayma	10
Resim 2.2. Zeminlerde açılmış şevlerde gözlenen dairesel kayma	11
Resim 4.1. Çalışma alanında gözlenen birimler	33
Resim 4.2. Çalışma alanında gözlenen süreksizlikler.....	34
Resim 4.3. Kütle hareketlerinin ve su sızıntılarının da gözlendiği suya doymuş şev	42
Resim 4.4. Ocak içi kanal görünümü.....	43
Resim 6.1. GA1 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	50
Resim 6.2. GA2 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	51
Resim 6.3. GA3 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	51
Resim 6.4. GA4 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	52
Resim 6.5. GA5 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	52
Resim 6.6. GA6 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	53
Resim 6.7. GA7 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	53
Resim 6.8. GA8 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	54
Resim 6.9. GA9 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar	54
Resim 6.10. Heyelan malzemesine ait örnekler (laboratuvar örneklerinden OO-01 ve OO-02)	62
Resim 6.11. Heyelan malzemesine ait örnekler (laboratuvar örneklerinden OO-03 ve OO-04)	62
Resim 6.12. Heyelan malzemesine ait örnekler (laboratuvar örneklerinden OO-05 ve OO-06)	63
Resim 6.13. Tamamen ayrılmış kaya kütlelerine ait fotoğraflar (1)	66
Resim 6.14. Tamamen ayrılmış kaya kütlelerine ait fotoğraflar (2)	67
Resim 6.15. Orta ayrılmış kaya kütlelerine ait karot fotoğrafları (1).....	67
Resim 6.16. Orta ayrılmış kaya kütlelerine ait karot fotoğrafları (2).....	67

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Türkiye'nin paleotektonik yapıları	31
Harita 4.2. 1/250 000 ölçekli Türkiye diri fay haritaları serisi, Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No:4. Kırmızı hat Holosen fayı, Mor hat Kuvaterner fayı göstermektedir.....	35
Harita 4.3. Susurluk havzası ve alt havzaları	40
Harita 4.4. Statik su seviyesine göre oluşturulmuş su tablası haritası	41
Harita 6.1. Geri analiz kesitlerini gösterir plan.....	50
Harita 6.2. Alınan laboratuvar numunelerinin yerlerini ve geri analiz hatlarını gösterir plan	61
Harita 6.3. Ölçümü yapılan süreksizlikleri gösterir plan (kırmızı noktalar alınan çatlak, foliasyon ve fay yüzeylerine aittir).....	73
Harita 7.1. Maden ocağının nihai tasarımı için alınan kesit hatlarını gösterir plan	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

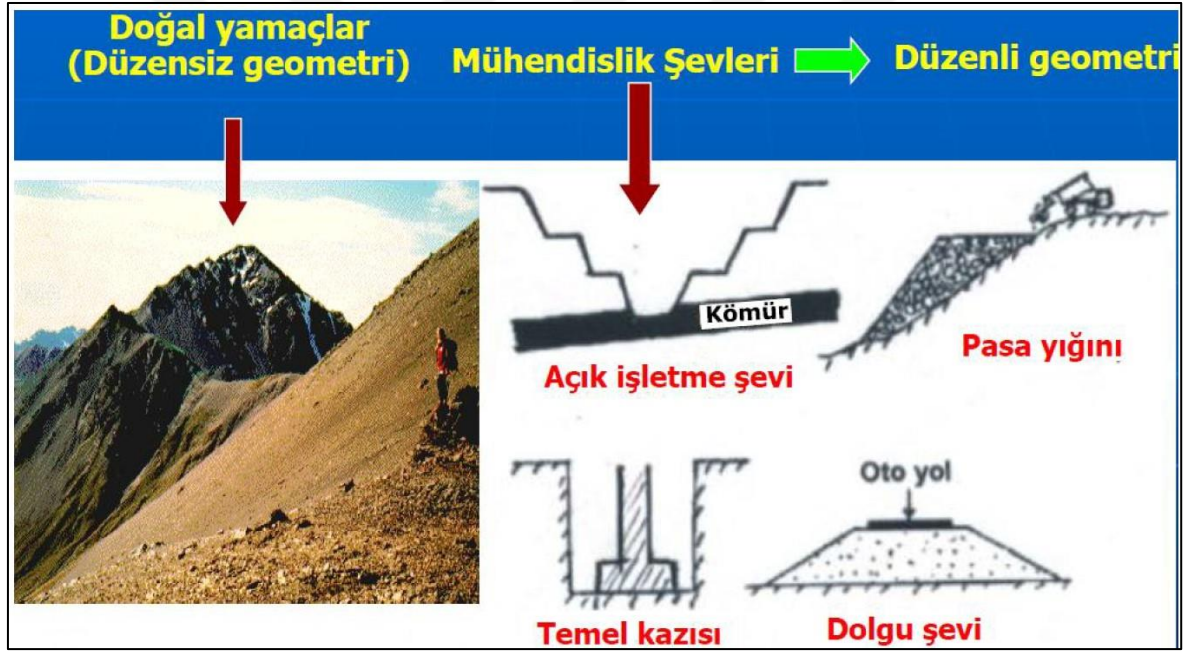
Simgeler	Açıklamalar
$^{\circ}$	Derece
%	Yüzde
a	Boyutsuz kaya kütle parametresi
β	Şev açısı-eğim açısı
c	Kohezyon
c'	Efektif kohezyon
Df	Örselenme faktörü
g	Yer çekim ivmesi
gr/cm³	Gram/santimetreküp
km	Kilometre
km²	Kilometrekare
kN/m³	Kilo Newton/metreküp
kPa	Kilo Paskal
mb	Boyutsuz kaya kütle parametresi
m_i	Kaya malzeme parametresi
MPa	Mega Paskal
σ_{ci}	Tek eksenli basınç dayanımı
τ	Makaslama gerilmesi
s	Boyutsuz kaya kütle parametresi
S	Makaslama dayanımı
W_n	Su muhtevası
ϕ'	Efektif içsel sürtünme açısı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
θ	Kayma dairesi merkez açısı
γ_{doygun}	Doygun birim hacim ağırlık
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık

Kısaltmalar	Açıklamalar
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CD	Konsolidasyonlu-drenajlı
F	Fay
Fl	Foliasyon
FS, F, GS, FoS	Güvenlik sayısı
GSI	Jeolojik dayanım indeksi
H	Şev yüksekliği
J	Çatlak
KB-GD	Kuzeybatı-güneydoğu
LL	Likit limit
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PGA	En büyük yer ivmesi
PI	Plastisite İndisi
PL	Plastik limit
sn	saniye
SS	Kayma yüzeyi
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
USCS	Zemin sınıflaması
UU	Konsolidasyonsuz-drenajsız

1. GİRİŞ

Şev (yamaç), düzensiz veya belirli geometriye sahip eğimli yüzeylerdir [1]. Doğal yamaçlar düzensiz geometrisi olan şevleri ya da yamaçları, farklı mühendislik amaçlarıyla yapılan yer üstü kazılarına ait şevler ise düzenli geometrisi olan şevleri temsil eder (örneğin bir açık işletmede kömür üretmek için basamaklı bir geometri oluşturarak örtü kazısı yapılması) [1]. Mühendislik amaçlı şevler aşağıda belirtilen başlıca 3 grupta değerlendirilir (Şekil 1.1):

- Kazı şevleri
- Dolgu şevleri
- Pasa ve atık yığını şevleri



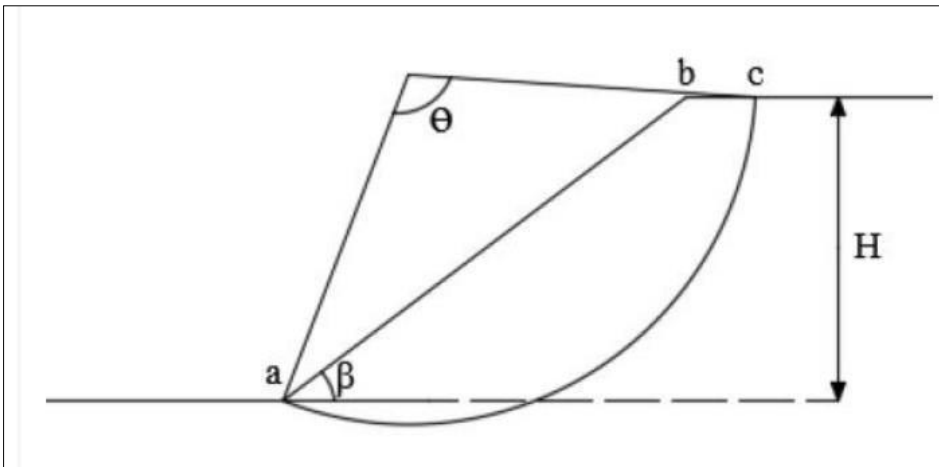
Şekil 1.1. Doğal yamaçlar ve mühendislik amaçlı şevler [1]

Duraylılık (stabilite), herhangi bir cismin yerini ve konumunu koruyabilmesi koşuludur [1]. Yenilme, duraysızlık durumuna karşılık gelir [1]. Şev duraysızlığı, şevi oluşturan malzemenin yerçekimi ve diğer kuvvetlerin etkisiyle (dış kuvvetler) yenilerek dayanımının en düşük olduğu zayıf bir yüzey boyunca dengeye ulaşana kadar eğim aşağı hareket etmesidir [1]. Resim 1.1’de bir açık ocak işletmesine ait şevlerde duraysızlık örneği verilmiştir.



Resim 1.1. Güney Afrika'da bir bakır madeni işletmesi [1]

Şekil 1.2'de gösterildiği gibi, şevin yatayla yaptığı açı şev açısıdır. Şev tabanı ile üst yüzeyi arasındaki düşey uzaklığa şev yüksekliği adı verilir. Şevin yüzeyi ile şev tabanının kesiştiği nokta şev topuğu olarak isimlendirilir. Kayma yüzeyi, doğal zeminin üst kısmında kalır ve hareket eden kütlenin alt yüzeyidir. Ayna, kayan zemin kütlelerinin dik veya dike yakın yüzeyine denir. Esas aynanın ön tarafında kayan kısım içerisinde bir kayma kaması ve tali aynalar oluşabilir. Tepe, hareket eden kütle ile ana aynanın kesiştiği yerin en üst noktasına denir. Kritik şev açısı, stabiliteyi bozmadan şeve verilebilecek maksimum açıdır. Kritik şev yüksekliği, çekme gerilmeleri etkisi ile çatlaklar oluşmadan, şeve verilebilecek maksimum yüksekliktir. Şev düzleminde bulunan kütlenin; kayma, düşme, göçme vb. tehlikelerinin varlığının araştırılmasına şev stabilitesi incelemesi adı verilir [2].



Şekil 1.2. Şevlere ait şematik gösterim (H: şev yüksekliği, β : şev açısı-eğim açısı, θ : kayma dairesi merkez açısı, ab: şev yüzeyi, bc: şev tepesi, a: şev topuğu)

Çalışma kapsamında Kuzeybatı Anadolu Bölgesi'nde işletilmekte olan bir maden ocağında yer alan şevler incelenmiştir. Maden, yer kabuğunda iç ve dış doğal etkenlerle oluşan, ekonomik yönden değer taşıyan minerallere verilen addır [3]. Madencilik ise yeraltındaki maden cevherlerinin araştırılması, çıkarılması ve işletilmesiyle ilgili teknik ve yöntemlerin bütünüdür [4]. Maden ocaklarında cevherin çıkarılması ve işletilmesi ile ilgili teknik ve yöntemlerden biri de şevlendirmedir (palyelendirme). Maden ocaklarında şevin tanımı, işletmede iki ve/veya ikiden fazla basamak arasındaki eğik yüzeye verilen isimdir.

Şist orta dereceden bir tür başkalaşım kayacıdır. Şistler genellikle orta veya büyük, düz, tabaka benzeri taneler sahiptir. Şistteki mineral taneleri, ısı ve basınç uygulandığında pul pul ölçeklere ayrılarak çıplak gözle görülebilir. Ayrıca kayaçlar sıcaklık ve basınç etkisi altında metamorfizmaya uğraması sonucu yapraklanmalı kayaçlara dönüşür. Şist kelimesi metamorfik kayaçların %80'ini ifade eden genel bir isimdir. Şist terimi kayaçların içindeki baskın minerallerle beraber kullanılarak asıl kayacın adını oluşturur. Örneğin, biyotit ve muskovitten oluşan şistlere mikaşist denir [5]. Bu çalışma kapsamında karşılaşılan şistler ise klorit-serisit şist, kuvars-feldispar şist, kuvars şist ve kalkşistdirlerdir. Bu birimler tamamen ayrıışmış ve özellikle ocak geometrisinin üst seviyelerinde ocağın büyük bir bölümünde rezidüel zemin özelliği kazanmıştır. Rezidüel zemin ise, orijinal kaya dokunun tamamıyla bozunarak zemin formuna geçmesine denilir. Ayrışma ürünleri taşınmadan yerinde kalarak kalıntı (rezidüel) zemin adını alır. Bu forma geçmiş bileşen taneler parmakla ve elle baskı yapıldığında ufalanabilir [6].

Çalışma kapsamında incelenen ocakta gözlenen şist birimler tamamen ayrıışmış ve özellikle üst seviyelerde, ocağın büyük bir bölümünde rezidüel zemin özelliği kazanmıştır. Rezidüel birimin çok düşük dayanımlı yapısı bölgedeki faylanma, yapısal unsurlar ve yüzey suları etkisi ile birleşince bu şevlerde kaymalar oluşturmıştır.

Çalışma kapsamında kaymaya sebep olan rezidüel birimlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özellikler kullanılarak statik ve dinamik koşullarda şev stabilitesinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Kütle hareketi gerçekleşmiş şev yüzeylerinden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde zemin tanımlama ve CD makaslama deneyleri yapılarak birimlerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma alanında gözlenen kaymaların geometrileri belirlenerek farklı

doygunluk oranları için güvenlik sayıları belirlenmiş, geri analiz yöntemi ile kayan malzemenin makaslama dayanımı parametreleri saptanmış ve daha sonra sahadan alınan numuneler üzerinde yapılan konsolidasyonlu-drenajlı deneyler ile bu makaslama parametreleri karşılaştırılmıştır.

Örselenmemiş numune alımının güç olduğu çalışma alanlarında, elde edilen numuneler üzerinde yapılan deneyler hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bir diğer hatalı sonuç sebebi ise deney prosedürlerinin yanlış uygulanmasıdır. Bu sebeple, eğer kütle hareketleri gözle görülebiliyor ve fiziksel olarak ölçülebiliyorsa, bu hareketin geometrisi net bir şekilde ortaya konulup, geri analizler yapılarak, jeolojik birimlere ait mekanik özellikler daha doğru bir şekilde hesaplanabilir.

Elde edilen parametrelerle, nihai ocak tasarımının stabilite analizleri daha gerçekçi bir şekilde yapılabilir. Bu çalışmada da bu hedeflenmiştir.

En son olarak da Rocscience RS2 kullanılarak seçilen deprem kaydıyla zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Şev Stabilitesi

Şev düzleminde bulunan kütlenin; kayma, düşme, göçme vb. tehlikelerinin varlığının araştırılmasına şev stabilitesi (duraylılığı) incelemesi adı verilir [2].

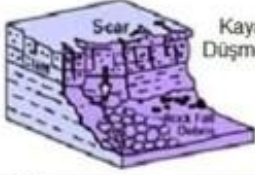
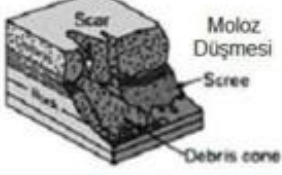
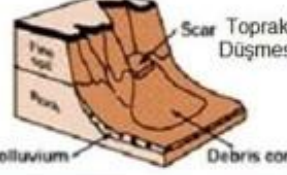
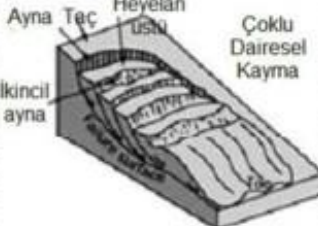
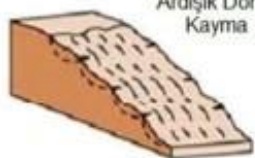
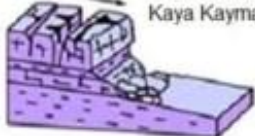
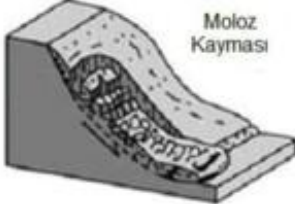
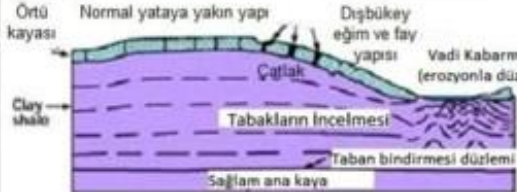
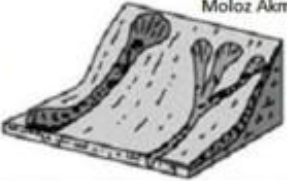
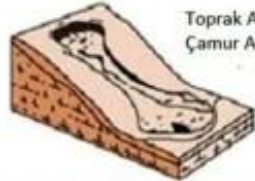
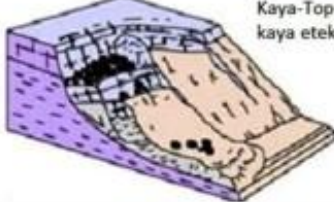
Bu çalışma kapsamında daha çok, şev stabilitesi incelemelerinden heyelanlar üzerinde durulmuştur. Heyelanlar, duraysızlık koşulu, stabilite analiz yöntemleri vb. aşağıda kısaca anlatılmıştır.

2.1.1. Heyelan sınıflaması

Heyelan bir yamacın (şev) yer çekimi, eğim, su ve benzeri kuvvetlerin etkisi ile dışa ve aşağıya doğru hareket etmesi olarak tanımlanabilir [7]. Heyelanlar aşağıdaki kriterlere göre sınıflanmaktadır [8];

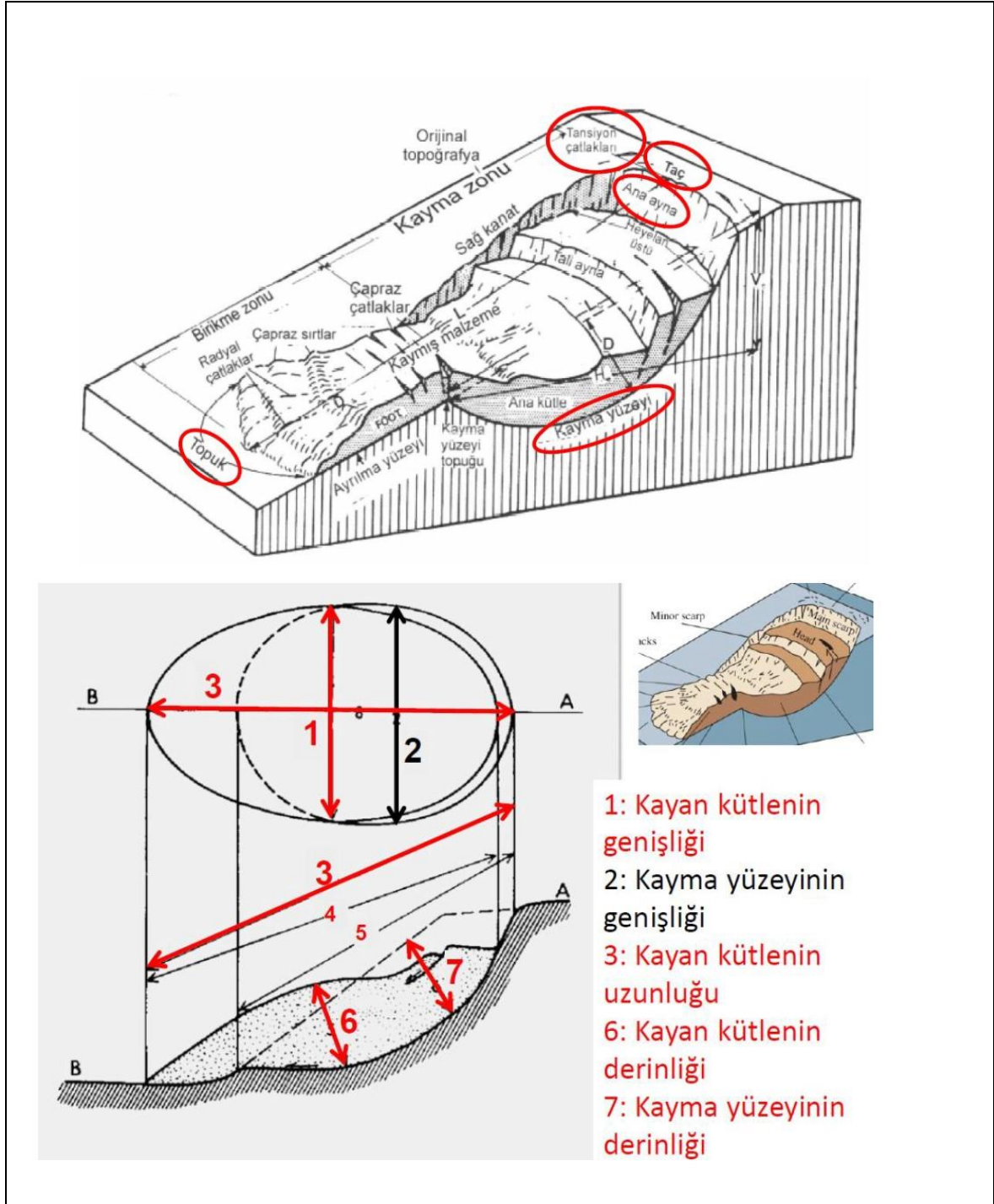
- Hareketin tipi
- Malzeme türü
- Hareketin hızı
- Yenilen malzemenin ve yenilen alanın geometrisi
- Yaş
- Sebepler
- Yer değiştiren kütlenin kopma derecesi
- Jeolojik yapı ile kayma geometrisi arasındaki ilişki
- Gelişme (oluşma) derecesi
- Tip örneğinin coğrafik konumu
- Etkinlik durumu

Şekil 2.1’de hareket ve malzeme türüne göre yapılan sınıflama verilmiştir.

Malzeme Hareketin Türü		KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER		 Kaya Düşmesi	 Moloz Düşmesi Scree Debris cone	 Toprak Düşmesi Cellulium Debris cone
		 Kaya Devrilmesi	 Moloz Devrilmesi Debris cone	 Toprak Devrilmesi Debris cone
KAYMALAR	DÖNEL	 Tek Dairesel Kayma	 Ayn ayn Heyelan usı Çoklu Dairesel Kayma	 Ardışık Dönel Kayma
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)	 Kaya Kayması (*)	 Moloz Kayması	 Toprak Kayması
YAYILMALAR		 Örnek: Bombelenme ve Vadi oluşumu Normal yataya yakın yapı Dışbükey eğim ve fay yapısı Vadi Kabarması (erozyonla düzleşmiş) Çatlak Tabakların İncelmesi Taban bindirmesi düzlemi Sağlam ana kaya Clay shale Örtü kayası		 Toprak yayılması
		 Kaya Akması Buzul moloz akması	 Moloz Akması	 Toprak Akması Çamur Akması
KARMAŞIK		 Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü		 Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen dönel/kısmen düzlemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde

Şekil 2.1. Harekete göre sınıflama [8]

Şekil 2.2’de kayma mekanizması şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Örnek bir kayma mekanizmasının şematik gösterimi [8]

Heyelanlar kayma derinliğine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler [1];

- <1,5 m derinlik ise yüzey hareketi
- 1,50 – 5 m derinlik ise sığ heyelan
- 5 – 20 m derinlik ise derin heyelan
- >20 m derinlik ise çok derin heyelan

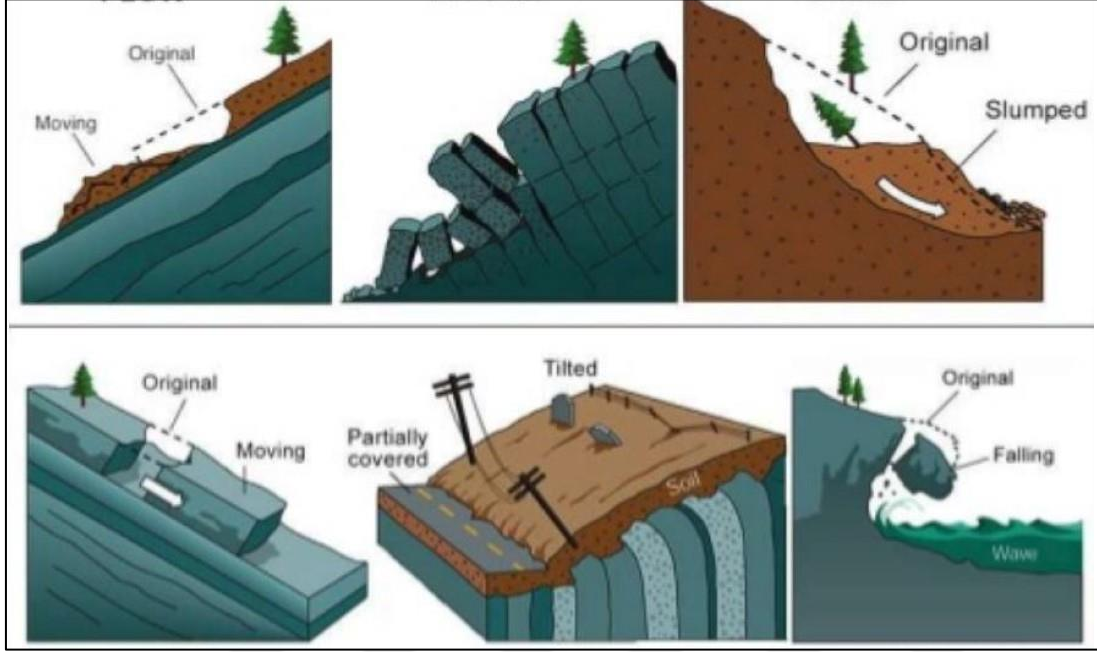
Çizelge 2.1’de heyelanların hıza göre sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1. Hıza göre sınıflama [8]

Varnes, 1978	WP/WLI, 1995			Doğaya Etkisi
Hız	Hız sınıfı	Hız limitleri	Hızın tanımlanması	
>3m/sn	7	$>5 \times 10^3$ (>5 m/sn)	Son derece hızlı	Büyük şiddetli afet, hareket eden malzemenin etkisiyle binaların yıkılması, birçok ölümler, mümkün olmayan kaçış
>0,3 m/dk	6	>50 (>3 m/dk)	Çok hızlı	Can kaybı ve mal kaybı, mevcut hız tüm insanların kaçabilmesi için oldukça hızlı
>62,5 mm/saat	5	>0,5 (>1,8 m/saat)	Hızlı	Maddi hasar meydana gelir. Yapılar, evler ve diğer şeyler yıkılır. İnsanların bir yerlere tahliye edilmesi mümkündür.
>50 mm/gün	4	$>5 \times 10^{-3}$ (>430 mm/gün)	Orta	Bazı hassas olmayan yapılar bir süre için (geçici) korunabilir.
>4,1 mm/gün	3	$>5 \times 10^{-5}$ (>4,3 mm/gün)	Yavaş	Hareket sırasında iyileştirme yapıları oluşturulabilir; şayet toplam hareket özel bir hızlanma safhasında çok fazla değilse hassas olmayan yapıların bakımı yapılabilir
>0,164 mm/gün	2	$>5 \times 10^{-6}$ (>0,043 mm/gün)	Çok yavaş	Hareketle bazı hassas olmayan yapılar zarar görmez.
>0,164 mm/gün	1	$>5 \times 10^{-6}$ (<0,043 mm/gün)	Son derece yavaş	Aletsel ölçüler olmadan hissedilemez. Önlem alınarak inşaat yapmak olasıdır.

2.1.2. Şevlerde gözlenen başlıca yenilmeler

Şekil 2.3'te başlıca şev yenilmeleri gösterilmiştir.

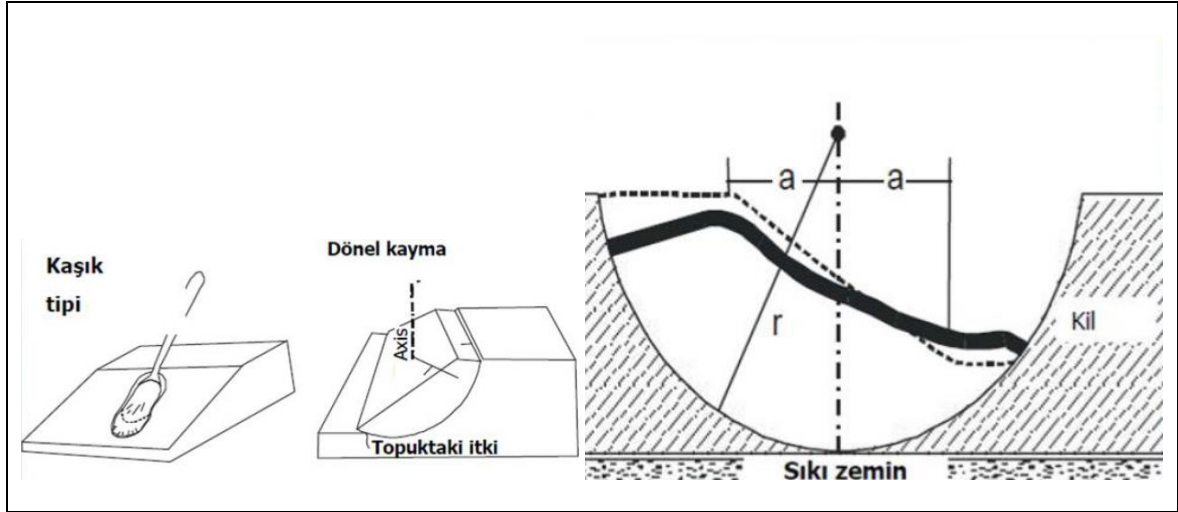


Şekil 2.3. Başlıca şev yenilmeleri (üst soldan başlayarak sırasıyla; akma, devrilme, dairesel kayma, düzlemsel kayma, krip akması ve düşme) [9]

Aşağıda ise zeminlerde ve çok aşırı kırıklı-çatlaklı kaya kütlelerinde meydana gelen dönel (dairese) kayma ve kayalarda meydana gelen düzlemsel-kama-devrilme tipi kaymalar özetlenmiştir.

Dönel (dairese) kayma

Dönel kaymalar, Şekil 2-4'te görüldüğü üzere, bir yenilme yüzeyi boyunca kaşık şeklinde bir yüzey oluşturarak meydana gelen kaymalardır. Hareket içsel bir kayma yüzeyi boyunca meydana gelir ve hareketle ilgili çatlaklar plan görünümünde iç içe ve hareket yönüne doğru konkavdır. Kütle geriye doğru yatmış şekildedir. Dönel (dairese) kaymalarda harekete bağlı olarak arkada tansiyon çatlakları gözlenmektedir. En tipik özelliklerinden biri de topukta bir kabarma ile hareket eden kütlelerin üzerindeki objelerde (direk, duvar veya ağaç) geriye doğru yatma görülmesidir. Bu tip duraysızlıklar kil-silt gibi zeminlerde meydana geldiği gibi dolgularda, maden işletmelerindeki pasa sahalarında ve ileri derecede ayrılmış kayalarda da görülmektedir [1].



Şekil 2.4. Dairesel kayma şematik gösterimi [8]

Aşağıda, Resim 2.1 ve 2.2’de, dönel-dairesel kaymaya ait temsili fotoğraflar verilmiştir.



Resim 2.1. Zeminlerde açılmış şevlerde gözlenen kavisli-dönel kayma [10]



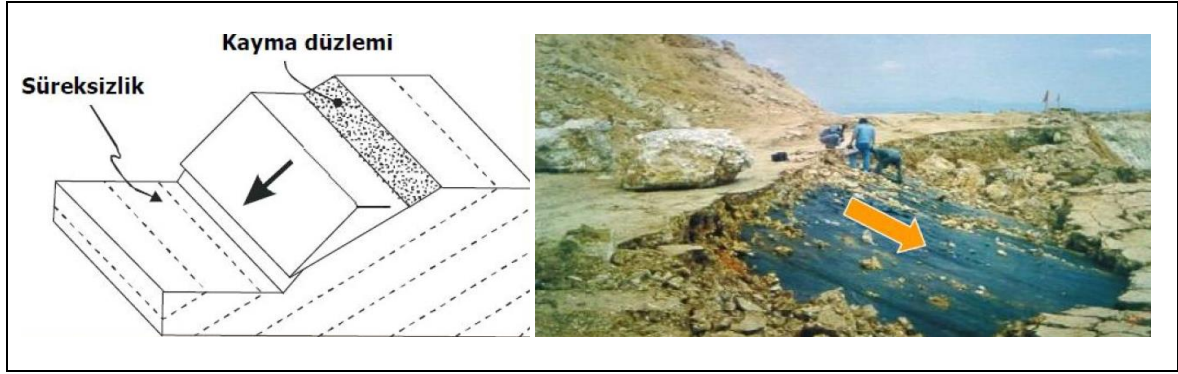
Resim 2.2. Zeminlerde açılmış şevlerde gözlenen dairesel kayma [11]

Düzlemsel-kama-devrilme tipi kayma

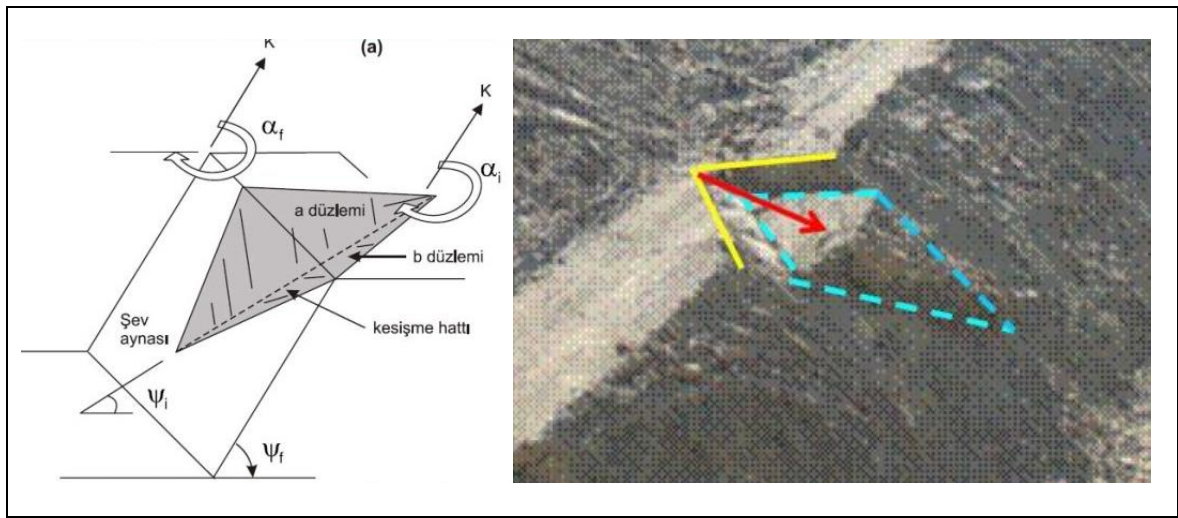
Düzlemsel kaymalar (Şekil 2.5), düzlemsel veya çok az ondülasyonlu yüzeyler üzerinde gerçekleşen makaslama yenilmeleri sonucu meydana gelir. Kayan kütle bu tür kaymalarda çok aşırı derecede deforme olmaz [1].

Kama tipi kaymalar (Şekil 2.6), birbirini kesen iki süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral kama bloğunun kesişme hattının, şev aynasının eğiminden daha yatık bir dalım açısına sahip olması durumunda şev boyunca hareket etmesidir [1].

Devrilme tipi kaymalar, bükülme ve blok tipi olarak ikiye ayrılır. Bükülme devrilmesi (Şekil 2.7), toprak erozyon, kayma, kazı gibi nedenlerle ince ve devamlılığı yüksek kolanların kazı boşluğuna doğru bükülmesi ve kayacın çekme dayanımının aşılması olarak tanımlanır. Burada egemen mekanizma çekme dayanımının aşılmasıdır. Blok tipi devrilme (Şekil 2.8) ise, dike yakın süreksizlikler içeren ve bu süreksizlikleri bölen diğer süreksizliklerin oluşturduğu blokların kayması sonucu meydana gelir. Topuktaki ilk ve en kısa blok kayınca arkadaki bloklarda devrilme davranışı gösterebilir. Yenilmenin tabanı bükülme türü devrilmeye göre daha belirgin olup, çapraz süreksizliklerden dolayı basamaklı bir görünüm sergiler [1].



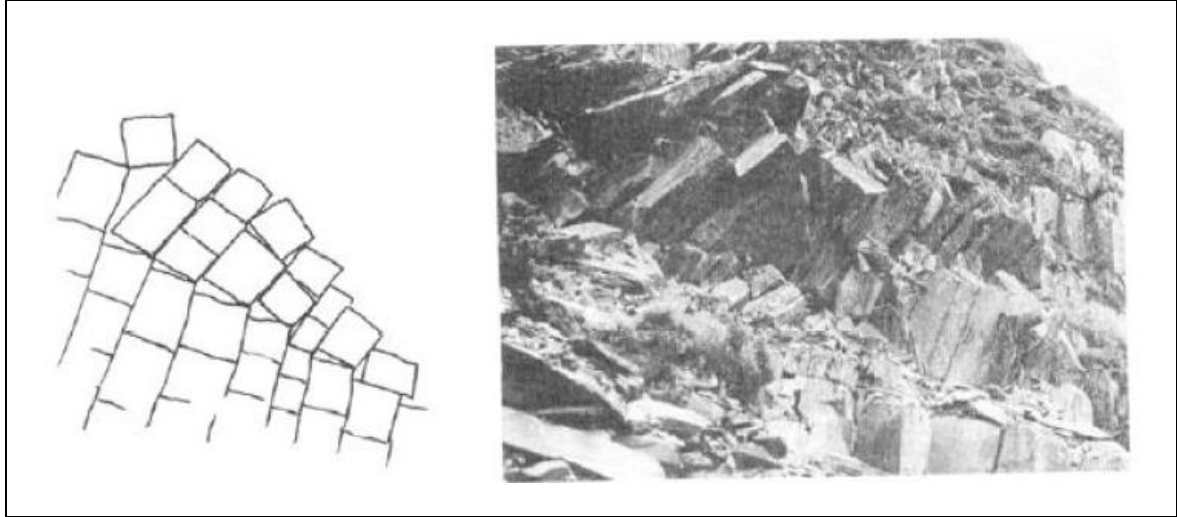
Şekil 2.5. Düzlemsel kayma [1]



Şekil 2.6. Kama tipi kayma [1]



Şekil 2.7. Bükülme devrilmesi [1]

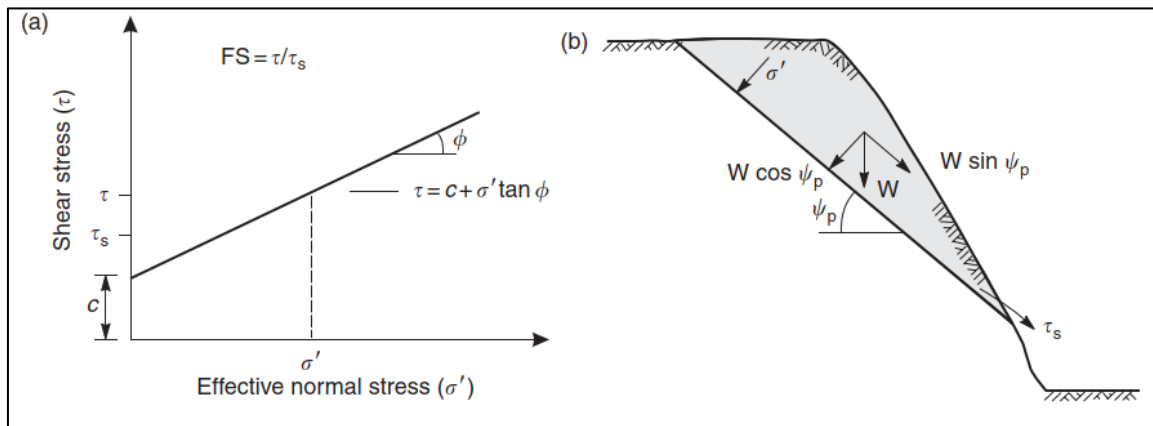


Şekil 2.8. Blok tipi devrilme [1]

2.1.3. Şev duraysızlığının temel mekanizması

Bölüm 2.2.2’de gösterilen jeolojik koşullar için şevlerin stabilitesi, kayma yüzeyi boyunca (Şekil 2.9) oluşan makaslama dayanımına bağlıdır. Tüm kayma tipi yenilmeler için zeminin, makaslama dayanımının kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) cinsinden ifade edildiği bir Mohr-Coulomb malzemesi olduğu varsayılabilir [12].

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad (2.1)$$



Şekil 2.9. Kayan bloğun güvenlik sayısının hesaplanması: (a) kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) ile tanımlanan makaslama dayanımını diyagramı; (b) kayan bloğun ağırlığından kaynaklanan W kuvvetinin kayma düzlemine paralel ve dik bileşenlere ayrılması (ψ_p : eğim) [12]

Eşitlik 2.1, normal gerilme-kayma gerilmesi grafiğinde düz bir çizgi olarak ifade edilir (Şekil 2.9 (a)). Burada kohezyon, kayma gerilmesi eksenindeki kesişme ile; içsel sürtünme açısı ise çizginin eğimi ile tanımlanır. Efektif normal gerilme, kayma düzlemi üzerinde yer alan bloğun ağırlığından kaynaklanan gerilme ile bu yüzeye etki eden boşluk suyu basıncı arasındaki farktır. Şekil 2.9 (b)'de gösterilen blok için güvenlik sayısının hesaplanması, kayma yüzeyine etki eden kuvvetin dik ve paralel etki eden bileşenlere ayrılmasını içerir. Yani kayma yüzeyinin eğimi ψ_p , alanı A ve kayma yüzeyinin üzerinde duran bloğun ağırlığı W ise, kayma düzlemindeki normal ve kayma gerilmeleri ve eşitlik 2.1 aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [12].

$$\sigma \text{ (normal gerilme)} = (W \cos\psi_p) / A \text{ ve } \tau_s \text{ (kayma gerilmesi)} = (W \sin\psi_p) / A \quad (2.2)$$

ve eşitlik 2.1 şu şekilde ifade edilir;

$$\tau = c + ((W \cos\psi_p \tan\phi) / A) \quad (2.3)$$

$$\tau_s A = W \sin\psi_p \text{ ve } \tau A = cA + W \cos\psi_p \tan\phi \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4'te " $W \sin\psi_p$ " terimi kayma düzlemine etki eden bileşke kuvvetlerden kaydırıcı kuvveti tanımlarken " $W \cos\psi_p \tan\phi$ " terimi kaymaya karşı koyan kuvveti tanımlar. Şekil 2.11 (b)'deki bloğun stabilitesi, güvenlik sayısı (GS) olarak adlandırılan karşı koyan ve kaydırıcı kuvvetlerin birbirine oranı ile ölçülür. Bu nedenle, güvenlik sayısı için eşitlik 2.5 ve 2.6 kullanılabilir [12].

$$GS = \text{Karşı Koyan Kuvvet} / \text{Kaydırıcı Kuvvet} \quad (2.5)$$

$$GS = (cA + W \cos\psi_p \tan\phi) / (W \sin\psi_p) \quad (2.6)$$

2.1.4. Şev duraylılığı analiz yöntemleri

Şevlerin duraylılığının analizi için; sonlu elemanlar, sonlu farklar gibi sayısal yöntemler kullanılır.

Kinematik analiz yöntemi

Bu yöntem duraylılığı yapısal özellikler tarafından denetlenen eklemli kaya kütlelerinde açılmış şevlerde uygulanır ve sadece şev aynası ile süreksizliklerin yönelimlerini ve süreksizlik yüzeylerinin içsel sürtünme açısını dikkate alır. Buna karşın kohezyon, kayan bloğun ağırlığı, şevin geometrisi, su basıncı, dış kuvvetleri dikkate almaz. Dolayısı ile bu analiz yöntemi tek başına doğrudan bir tasarım yöntemi olmayıp, kinematik anlamda duraylı şevlerin belirlenerek, kritik olabilecek duraysızlıklar için ayrıntılı analizlerin yapılması amacıyla yol gösteren bir ön analiz yöntemidir [1].

Limit denge analiz yöntemi

Kuvvetler ve moment denklğine bağlıdır. Bu yöntemler, duraysızlık modeline bağlı olarak, kayan kütlenin dilimlere bölünerek önce her dilimin ayrı ayrı, daha sonra tüm dilimler dikkate alınarak kayan kütlenin dengesinin belirlenmesi ve incelenen şev için güvenlik katsayısının hesaplanması esasına dayanır. Yenilme (kayma) yüzeyinin üzerindeki malzeme serbest bir kütle olarak kabul edilir. Hesaplamalardan elde edilen sonuç (güvenlik sayısı), sadece incelenen yenilme yüzeyi için geçerli olup, en küçük güvenlik sayısı değerini veren kritik kayma yüzeyi belirlenene değin hesaplamalara devam edilir. Hesaplanan en küçük güvenlik sayısı, incelenen duraysızlık türü için o şevin güvenlik katsayısı olarak kabul edilir. Bu yöntemler; kayan kütlenin ağırlığını (W), malzemenin makaslama dayanımını (c , ϕ), gözenek suyu basıncını (u) (yer altı su seviyesi olabilir veya basınçlı su seviyesi olabilir), şevin geometrisini, yer ivmesini (sismik koşulları), tansiyon çatlağının konumunu, dış yükleri (deprem, bina yükleri vb.) dikkate alır ve hem tasarım hem de iyileştirme amaçlarıyla en yaygın olarak kullanılır [1].

Güvenlik sayısının hesaplanmasında, çalışılan malzemenin kesme mukavemetini doğru seçmek gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, geri analizlerde Mohr-Coulomb ve stabilite analizlerinde Genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme kriteri kullanıldığı için sadece onlar hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Mohr-Coulomb yenilme kriteri; zeminlerin makaslama dayanımını modellemenin en yaygın yoludur [13].

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \quad (2.7)$$

Burada,

s = makaslama dayanımı

c' = efektif kohezyon

σ_n = toplam normal gerilme

u = gözenek suyu basıncı

ϕ' = efektif içsel sürtünme açısı

Mohr-Coulomb eşitliği hem toplam hem de efektif gerilme koşulları için kullanılabilir. Gözenek suyu basıncı dikkate alınmaz ve Mohr-Coulomb eşitliği basitçe aşağıdaki şekilde yazılır [13].

$$s = c + \sigma_n \tan \phi \quad (2.8)$$

Genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme kriteri; aşağıdaki denklem ile tanımlanmaktadır [13].

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} ((m_b \sigma_3' / \sigma_{ci}) + s)^a \quad (2.9)$$

Burada,

m_b = malzeme sabitinin (sağlam kaya için) kaya kütlesi için indirgenmiş bir değeri

s ve a = kaya kütlesinin özelliklerine bağlı sabitler

σ_{ci} = sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı (UCS)

Birden çok limit denge analiz yöntemleri vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır. Çizelge 2.2'de moment ve kuvvet dengesi ve dilim üzerindeki kuvvetler kabulü açısından karşılaştırılması verilmiştir [14].

- Bishop
- Morgenstern-Price
- Janbu
- Lowe ve Karafiath

- Fellenius
- Spencer

Çizelge 2.2. Limit denge yöntemlerinin karşılaştırılması [14]

Yöntem	Kuvvet Dengesi		Moment Dengesi
	X Yönünde	Y Yönünde	
Bishop	+	+	+
Morgenstern-Price	+	+	+
Janbu	+	+	-
Lowe ve Karafiath	+	+	-
Fellenius	-	-	+
Spencer	+	+	+

Kuvvet ve moment dengesini kullanan yöntemler teorik olarak diğerlerine göre daha gerçeğe yakın denklemlerdir. Çizelge 2.3'te Bishop, Morgenstern-Price ve Spencer yöntemleri ile ilgili özet bilgiler verilmiştir [1].

Çizelge 2.3. Mevcut analiz yöntemlerinin özeti [1]

Yöntem Adı	Geliştiren	Sınırlamalar, Varsayımlar ve Denge Koşulları
Bishop	[15]	Hassas bir yöntemdir. Sadece dairesel kayma yüzeyleri içindir. Düşey dengeyi ve moment dengesini sağlar. Dilim üzerindeki yanal kuvvetlerin yatay olduğunu varsayar.
Morgenstern-Price	[16]	Hassas bir yöntemdir. Tüm durumlar için dengeyi sağlar. Herhangi bir kayma yüzeyi şekline uygulanabilir. Yanal kuvvetlerin eğimi daha önceki örnekleri takip eder; $f(x)$ olarak adlandırılır. Yanal kuvvetin eğimi aynı olabilir veya dilimden dilime farklılık gösterebilir.
Spencer	[17]	Hassas bir yöntemdir. Tüm durumlar için dengeyi sağlar. Herhangi bir kayma yüzeyi şekline uygulanabilir. Yanal kuvvetlerin eğiminin tüm dilimler için aynı olduğunu varsayar.

2.2. Zemin ve Kaya Kütlelerinde Parametre Belirlenmesi

Çalışma sahasında, özellikle de ocağın üst kotlarında rezidüel zeminler ile karşılaşmıştır. Bu rezidüel zeminler ince taneli zeminlerdir. Yer yer içerisinde kum ve ince çakıllar da içerse de kohezyonlu zemin olarak tanımlanmışlardır (saha gözlemleri ve laboratuvar deney sonuçları). Çalışma sahasından, malzeme parametresi belirlemek için, kütle hareketi olmuş şev yüzeylerinden örselenmemiş numuneler alınmış ve laboratuvar da konsolidasyonlu-drenajlı kesme kutusu deneyleri yaptırılmıştır. Bununla birlikte gelen laboratuvar sonuçları, yenilmiş bir zeminde beklenen kalıcı makaslama dayanımı değerleri ile uyuşmadığı için rezidüel zeminde malzeme parametresi belirlenirken geri analiz yöntemine gidilmiş ve ampirik (görgül) bağıntılar ile geri analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışma sahasında karşılaşılan rezidüel zeminlere göre daha az oranda olsa da kaya özelliğini koruyan malzemeler de mevcuttur. Ocak fizibilite çalışmalarından başlanarak günümüze kadar, ocak işletmesi tarafından birçok sondaj çalışması yapılmıştır. Ancak bu sondajlar cevher araştırma üzerine yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan analizlerde kohezyonlu zeminler ve kaya birimleri kullanılmıştır. Bu sebeple aşağıda kısaca zeminlerde duraylılık koşulları, kohezyonlu zeminlerde kalıcı makaslama dayanımı ve kaya ortamlar için makaslama dayanımı parametreleri hakkında literatür bilgileri verilmiştir.

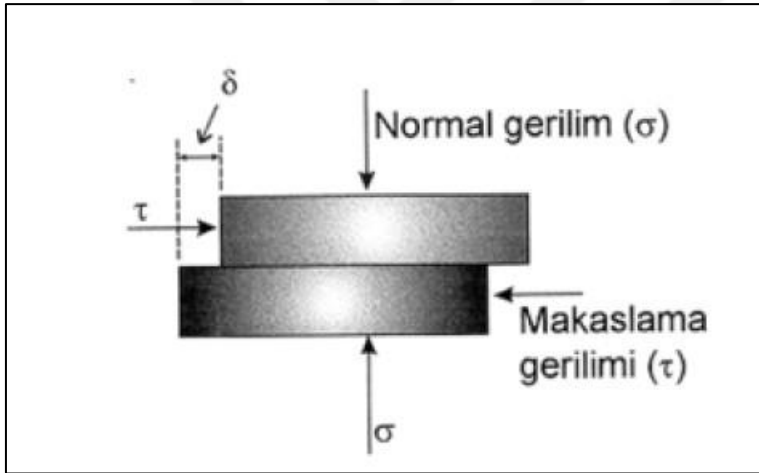
2.2.1. Zeminlerde duraylılık koşulları

Bir zeminde yükleme ve yük boşaltma (kazı) işlemleri gözenek suyu basıncında (u), dolayısıyla etkin (efektif) gerilmede ($\sigma' = \sigma - u$) bir değişime neden olur. Dolayısıyla bir zeminin makaslama dayanımı, klasik Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ($s = c + (\sigma - u) \tan \phi$) dikkate alındığında, zamana yani drenaj koşullarına bağlı olarak değişecektir. Örneğin permeabilitesi yüksek olan kum ve çakıl gibi zeminlerde drenaj çok kısa sürede ve kazı sırasında gerçekleşirken, kil gibi ince taneli ve çok düşük permeabiliteye sahip zeminlerde drenajın gerçekleşmesi çok uzun hatta onlarca yıl sürebilir. Bu nedenle, şevlerin duraylılığı (stabilite) incelenirken makaslama dayanımı açısından, yükleme ve kazı koşulları ile inşaatın süresine bağlı olarak, drenajlı (uzun dönem) ve drenajsız (kısa dönem) koşullardan hangisinin daha kritik olabileceği konusu önem kazanır. Bu doğrultuda şevlerin

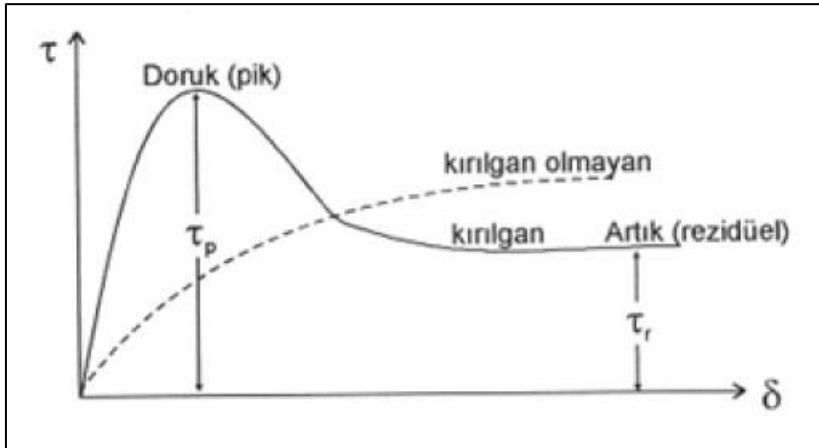
duraylılığında; kısa süreli duraylılık (drenajın gerçekleşmesi için uzun bir sürenin bulunmaması – kazı sonu) ve uzun süreli duraylılık (drenajın gerçekleşmesi için uzun bir sürenin geçmesi – kazıdan sonraki durum) olmak üzere iki farklı duraylılık söz konusudur [1].

2.2.2. Kohezyonlu zeminlerde kalıcı makaslama dayanımı

Herhangi bir zemin makaslama kutusuna yerleştirilip dik yönde uygulanan normal gerilme sabit tutulursa, makaslama kutusunun iki parçasının birbirine göre göreceli hareketiyle zemin bu harekete karşı direnç gösterir (Şekil 2.10). Bu direnç makaslama dayanımı olup, makaslama gerilmesiyle makaslama yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 2.11’de gösterildiği gibi elde edilir.



Şekil 2.10. Makaslama uygulanan bir örnek [18]

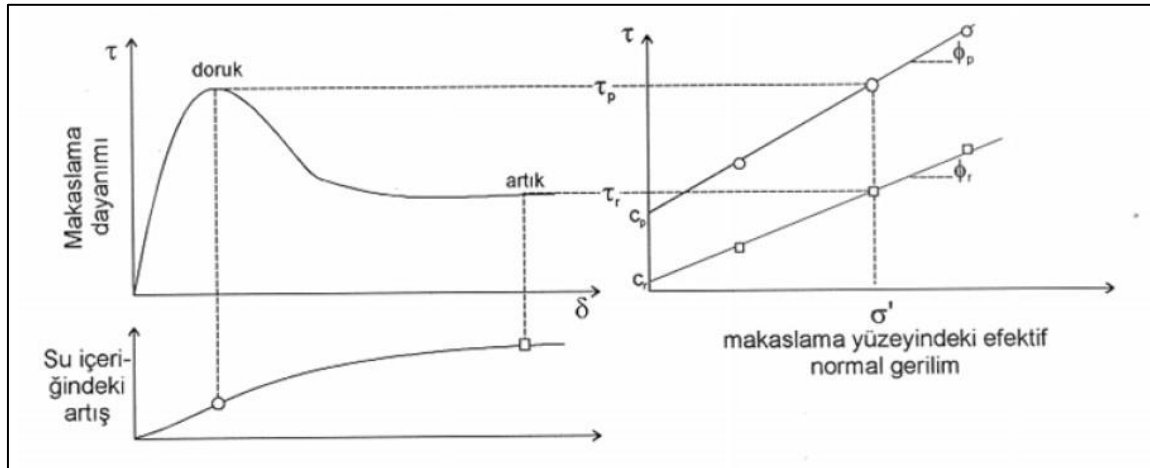


Şekil 2.11. Makaslama gerilmesi (τ) – makaslama yer değiştirmesi (δ) eğrisi [18]

Zeminlerde kalıcı makaslama dayanımını elde etmek için kullanılan belli başlı deneylerden ikisi kesme kutusu ve üç eksenli basınç dayanımı deneyleridir. Her iki deney ile drenajlı durumda, zeminler için hem doruk (pik) hem de artık (rezidüel) mukavemet değerleri bulunabilir. Üç eksenli basınç deneyinde, deformasyon arttırılarak zemin en yüksek dayanım değerine (pik) ulaşması sağlanır. Bunun ardından deformasyon arttırılmaya devam edilir ve böylece zeminin dayanımı düşmeye başlar ve sabit bir değere gelir (artık makaslama dayanımı). Kesme kutusu deneyinde, artan deformasyon ile zemin doruk (pik) dayanımına ulaşır, sonrasında zeminin tekrarlı kesilmesi ile artık (rezidüel) makaslama dayanımı elde edilmiş olur.

Zeminlerin kalıcı makaslama dayanımlarında kohezyonun etkisi yoktur. Çünkü, zeminler doruk mukavemetlerine ulaştıktan sonra taneler arası bağlar etkinliğini yitirmeye başlar ve büyük deformasyonlar sonucu tamamen ortadan kalkarlar. Dolayısıyla kalıcı dayanımı, sadece taneler arası sürtünmeden kaynaklanır [19].

Şekil 2.12’de zeminlerde, doruk (τ_p , c_p , ϕ_p) ve artık (τ_r , c_r , ϕ_r) makaslama koşulları için yenilme zarflarının elde edilmesi gösterilmektedir.

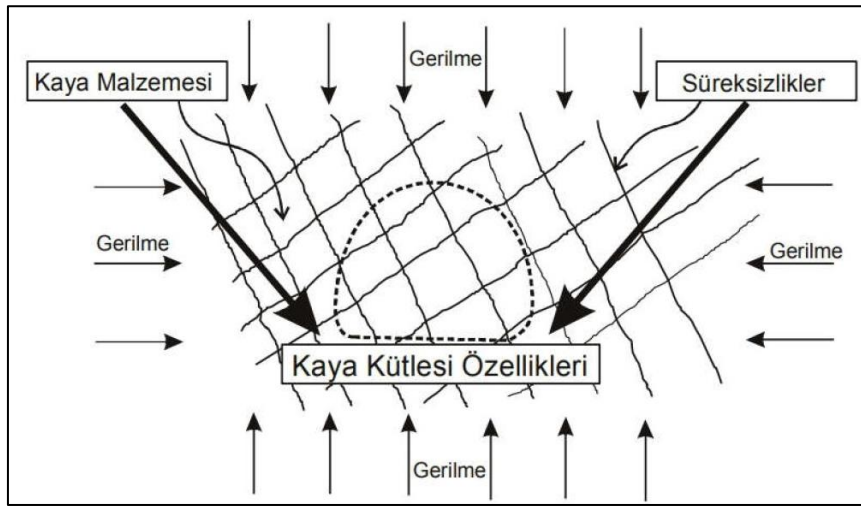


Şekil 2.12. Doruk ve artık makaslama koşulları için yenilme zarflarının elde edilmesi [18]

2.2.3. Kaya kütlelerinin makaslama dayanımı

Kaya malzemesi ve kaya kütlesi

Kaya malzemesi, kaya kütlesinde tabakalanma, şistozite, fay vb zayıf zonlar arasında bulunan ve çekme dayanımını azaltabilecek kırık ve zayıflık düzlemi içermeyen kaya parçalarıdır. Kaya kütlesi, kaya malzemesi ve süreksizliklerin (tabakalanma, şistozite, fay vb zayıflık düzlemleri) birlikte bulunduğu kütledir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Kaya malzemesi ve kaya kütlesi [20]

Kaya kütle sınıflama sistemleri

Günümüzde kullanılan pek çok kata kütle sınıflama sistemleri mevcuttur. Bu çalışma kapsamında sadece GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) sınıflama sistemleri kullanılmıştır.

GSI kaya kütle dayanımının ve kaya kütle deformasyon modülünün tahmininde kullanılır. GSI sistemi, kaya yapısı ve blok yüzey koşulları olmak üzere iki faktörün tanımına odaklanır [20].

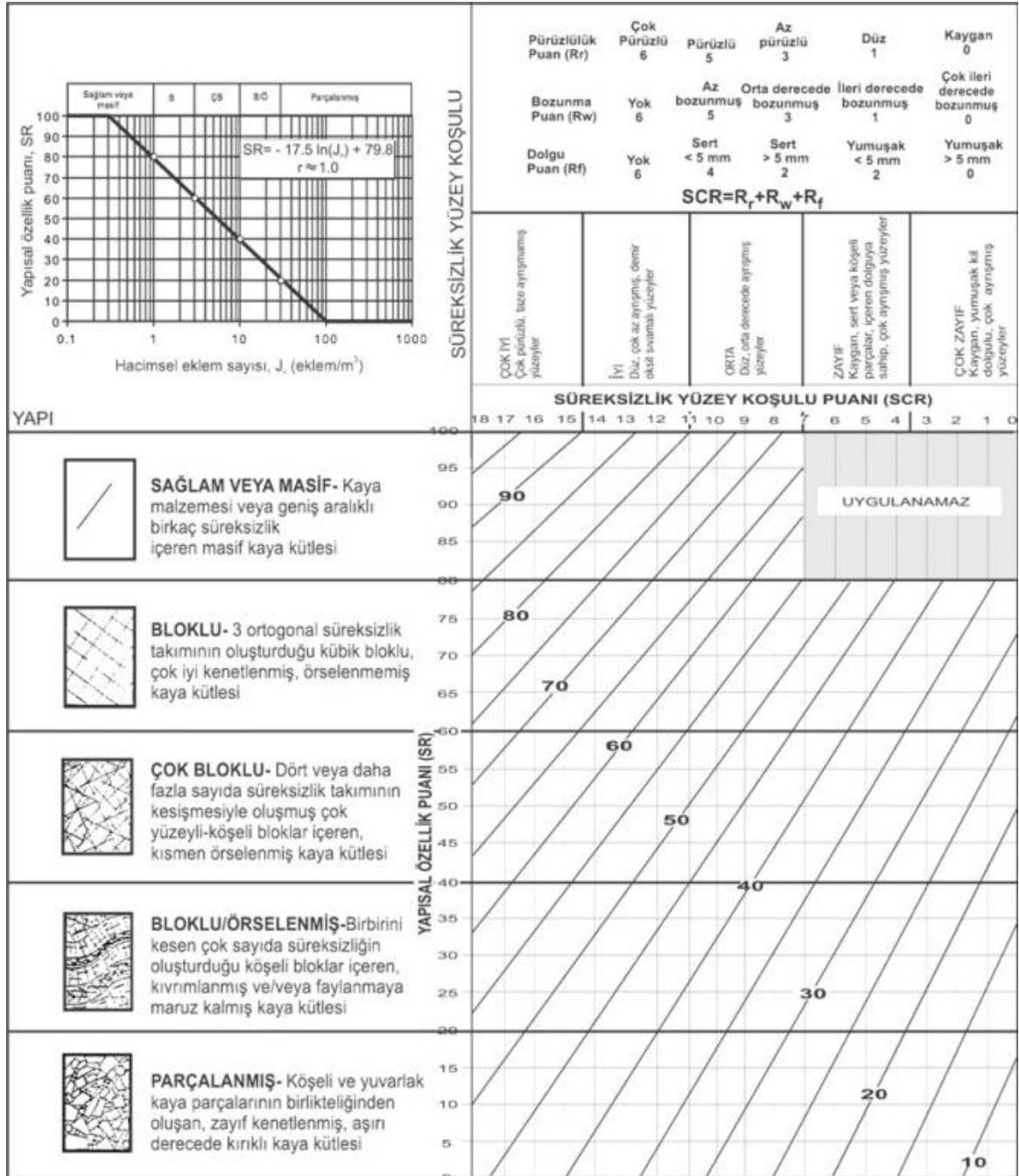
Yakın aralıklı eklemlerle bölünmüş kaya kütlelerinin mekanik davranışlarının tahmini, laboratuvar deneyleri için gerekli olan örnek boyutlarının büyük olması nedeniyle kaya mekaniğinin temel sorunlarından biridir. Kaya malzemeleri ve kaya kütleleri için önerilmiş olan görgül (ampirik) yenilme ölçütleri arasında yer alan Hoek-Brown yenilme ölçütü oldukça popüler olmuştur. Ölçüt, özellikle zayıf kaya kütlelerine uygulanmasıyla ilgili bazı

sınırlamaları nedeniyle, ilk kez önerildiği 1980'den bu yana farklı zamanlarda tekrar düzenlenmiş ve geliştirilmiştir. 1997 yılında GSI kaya kütlelerinde ölçek etkisini dikkate alan bir parametre olarak geliştiricileri tarafından ölçüte dahil edilmiştir [20].

1999 yılında Sönmez ve Ulusay tarafından verilen bir yaklaşımla [21], 1981 yılında ISRM tarafından önerilen [22] aralıklara uygun olarak tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v) değerleri kullanılarak belirlenen yapısal özellik puanını GSI sistemine uyarlamıştır [20].

2002 yılında Sönmez ve Ulusay [23], 1999 yılında Sönmez ve Ulusay'ın önerdiği [21] niceliksel GSI sistemine sağlam ve masif kaya grubunu da ekleyerek aşağı son halini vermiştir (Şekil 2.16).





Şekil 2.14. GSI sınıflama abağının sağlam ve masif kaya grubu eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali [23]

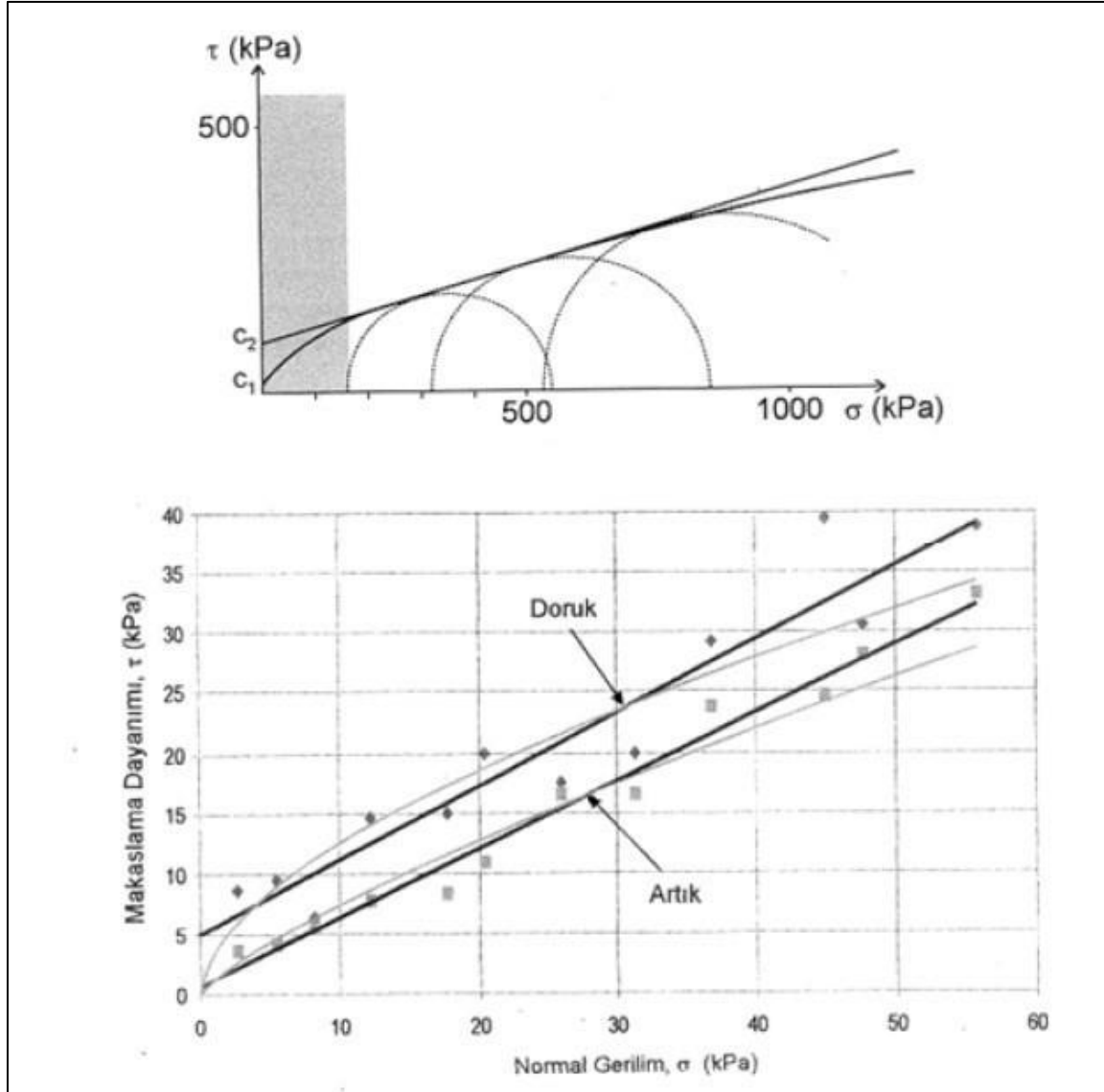
Çalışma kapsamında, duraysızlık problemleri kayaların ayrışma dereceleri ile doğrudan bağıntılı olduğu için, karşılaşılan kayalar litolojik isimlerine göre değil de ayrışma derecelerine göre tanımlanmıştır. Bu tanımlama yapılırken de Çizelge 2.4 kullanılmıştır.

Çizelge 2.4. Ayırışma dereceleri [12]

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Ayırışmanın Derecesi
Ayırışmamış (taze)	Kayanın malzemesinin ayrıştığına dair görünür bir işaret olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde hafif renk değişimi gözlenebilir.	1
Az Ayırışmış	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Tüm kaya malzemesi ayrışma nedeniyle renk değiştirmiş olabilir ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	2
Orta Derecede Ayırışmış	Kaya malzemesinin yarısından azı ayrışma ve/veya parçalanma ile toprak haline dönüşmüştür. Kaya; taze, ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	3
Çok Ayırışmış	Kaya malzemesinin yarısından fazlası ayrışma ve/veya parçalanma ile toprak haline gelmiştir. Kaya; taze, ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	4
Tamamen Ayırışmış	Kaya malzemesinin tümü ayrışma ve/veya parçalanma ile toprak zemine dönüşmüştür. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	5
Artık (Rezidüel) Zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmakla birlikte, zemin taşınmamıştır.	6

Eğrisel yenilme ölçütü

Mohr-Coulomb yenilme ölçütü pratik ve çoğu kez yeterli bir ölçüt olmakla birlikte, bazı malzemelerin yenilme zarfı doğrusallıktan önemli düzeyde sapabilir (Şekil 2.17). Üç eksenli deneylerde, özellikle düşük yanal basınçlarda, makaslama deneylerinde de düşük normal gerilme seviyelerinde Şekil 2.15'te gösterilen yenilme zarfları eğrisel olmaya eğilim gösterebilir [18].

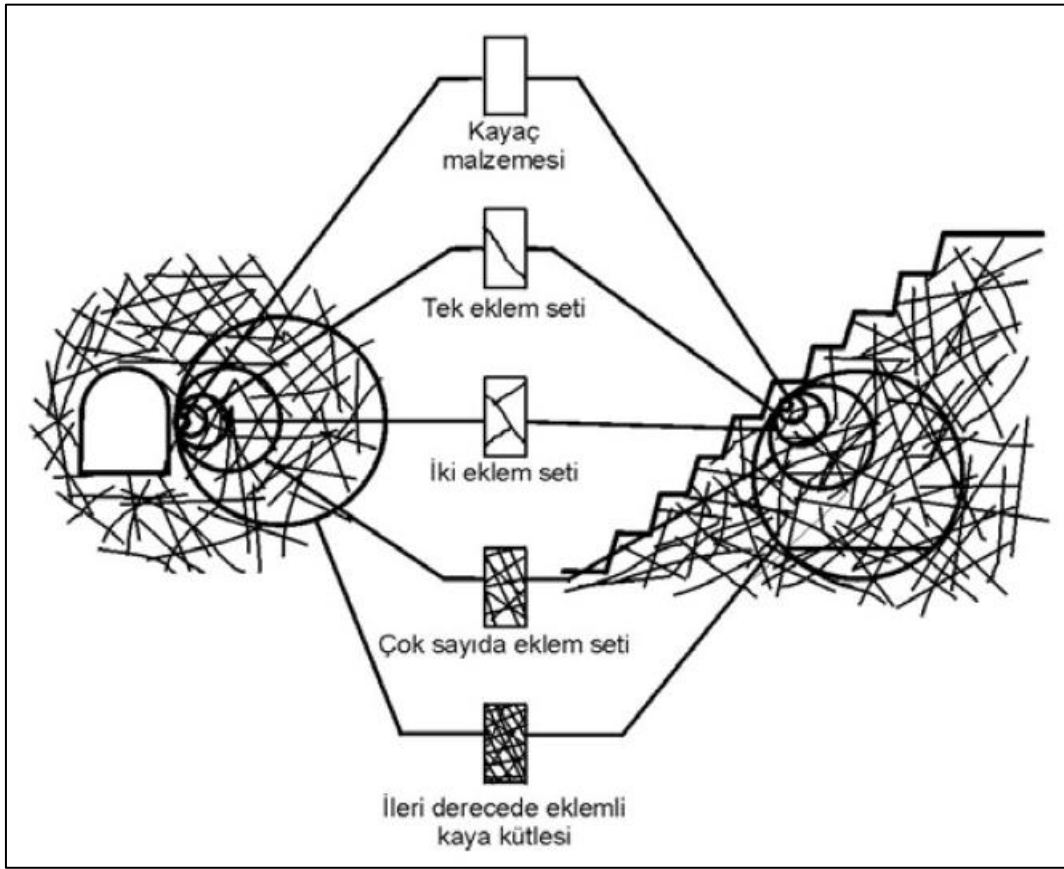


Şekil 2.15. Doğrusal (Mohr-Coulomb) ve eğrisel yenilme zarflarının σ - τ grafiklerinin karşılaştırılması: üstte üç eksenli deney ve altta makaslama deneyi verilmiştir [18]

Hoek-Brown yenilme ölçütü

Kayalar küçük ölçekte dikkate alındıklarında, kaya malzemesi önem kazanırken, ölçek büyüdüğünde kaya malzemesinden eklemli kaya kütlelerine geçiş söz konusudur (Şekil 2.16). Farklı sebeplerle gelişmiş çok sayıdaki süreksizlikler tarafından bölünmüş kaya kütlelerinin davranışı, kaya malzemesinin aksine hem süreksizlikler hem de kaya malzemesi tarafından denetlenir. Dolayısıyla kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin, kaya malzemesiyle birlikte süreksizlikleri de içerecek boyutlardaki örnekler üzerinde tayin edilmesi gerekir. Ancak bu tür ortamlardan, kaya malzemesi ile birlikte süreksizlikleri de

içeren ve metre boyutuna ulaşan örneklerin alınması ve bunların laboratuvar deneyleri için hazırlanması mümkün olmadığı gibi, bu boyuttaki örnekler için laboratuvar da kullanılabilecek büyük deney hücreleri de geliştirilmemiştir. Bu sınırlamalar, araştırmacıları kaya kütlelerinin dayanımının daha pratik şekilde belirlenebileceği yöntemlerin geliştirilmesine zorlamıştır. Seksenli yılların başında geliştirilen ve günümüze değin bazı değişikliklere de uğrayan Hoek-Brown yenilme ölçütü, görgül bir yenilme ölçütü olup, kaya kütlelerinin dayanımı ile ilgili söz konusu kısıtlamaları önemli ölçüde gidermiş ve kaya mekaniği bilim dalındaki ilgi çekici gelişmelerden biri olmuştur [18].



Şekil 2.16. Örnek boyutunun büyümesine bağlı olarak, bir yeraltı açıklığı ile bir kaya şevinde kaya malzemesinden kaya kütlelerine geçişi gösteren temsili kesit [18]

Hoek-Brown yenilme ölçütünde; en büyük asal gerilme (σ_1) ve en küçük asal gerilme (σ_3), diğer bir ifadeyle normal gerilme ile makaslama dayanımı arasındaki ilişki eğrisel olup, yenilme ölçütü bir karakök parabolü olan aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m\sigma_3\sigma_c + s\sigma_c^2)^{0.5} \quad (2.10)$$

Burada,

σ_1 = en büyük asal gerilme

σ_3 = en küçük asal gerilme

σ_c = kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı

m = kaya türüne göre değişen malzeme sabiti

s = süreksizlik yoğunluğunu ifade eden boyutsuz kaya kütlesi sabiti

olup, ölçütün esas aldığı parametrelerden σ_c kaya malzemesinden alınmış karot örnekleri üzerinde laboratuvarda yapılan tek eksenli sıkışma deneyleriyle tayin edilir. Kaya malzemesinin “ m ” parametresi ise, farklı hücre basınçları altında yapılan üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen veri çiftleri (σ_1 ve σ_3) kullanılarak, özgün Hoek-Brown ölçütünden veya kaya türlerine göre hazırlanmış çizelgelerden (Şekil 2.17) belirlenir. “ m ” parametresi kaya malzemesi için m_i simgesiyle gösterilir. Yenilme ölçütündeki “ s ” sabiti, kaya kütlesinin içerdiği bloklar arasındaki çekilme dayanımına ve süreksizlikler tarafından sınırlanan kaya malzemesi parçalarının birbiriyle kenetlenme derecesine bağlı bir sabittir. Kaya malzemesi için $s = 1$ iken, bu sabit kaya kütlesinin kalitesine göre, 1’den 0’a doğru azalmaktadır. “ m ” sabiti ise; kayanın türüne, kayayı oluşturan tanelerin büyüklüğüne, geometrisine bağlı olarak değişmektedir [18].

Kayaç tipi	Sınıf	Grup	İri	Orta	İnce	Çok ince
SEDİMANTER	Klastik		Konglomera (22)	Kumtaşı 19 ← Grovak → (18)	Silttaşı 9	Kiltaşı 4
	Klastik Olmayan	Organik	← Tebeşir → (18) ← Kömür → (18)			
		Karbonatlı	Breş (20)	Sparitik kireçtaşı (10) Jips (16)	Mikritik kireçtaşı 8 Anhidrit (13)	
		Kimyasal				
	METAMORFİK	Foliasyonsuz		Mermer 9	Hornfels (19)	Kuarsit 24
Düşük foliasyonlu		Migmatit (30)	Amfibolit 31	Milonit (6)		
Foliasyonlu*		Gnays 33	Şist (10)	Fillit (10)	Sleyt 9	
MAĞMATİK	Açık		Granit 33 Granodiyorit (30) Diyorit (28) Gabro 27 Norit 22	Dolerit (19)	Riyolit (16) Dasit (17) Andezit 19 Bazalt (17)	Obsidiyen (19)
	Koyu					
		Püskürük piroklastik		Aglomera (20)	Breş (18)	Tuf (15)

Şekil 2.17. Kaya malzemesi için 1995'te önerilmiş m_i sabiti değerleri [18]

2.3. Geri Analiz

Kütle hareketi yapan bir şevde, güvenlik sayısı (GS) = 1 kabulü ile, zeminin kayma anındaki makaslama dayanımı parametrelerinin hesaplanması yöntemidir.

Doğru şekilde yapılmış bir geri analiz ile uygun olarak yapılmış laboratuvar deney sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların benzer olması beklenir. Geri analiz çalışması yapılabilmesi için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır [1].

- Hareketin gerçekleştiği şevin kaymadan önceki geometrisi
- Kayma anındaki yer altı su tablasının konumu (boşluk suyu basınçları)
- Hareket eden kütle ve çevresinin litolojisi, birimlerin birbiri ve kendi içlerindeki konumu (dokanak, tabakalanma vb.)
- Kayma yüzeyi geometrisi (derinlik vb.)

3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Tez konusu ile ilgili olarak pek çok çalışma bulunmaktadır. Aşağıda belli başlı çalışmalardan bahsedilmiştir.

Ün ve Yıldız çalışmalarında bir şev stabilitesi problemi incelemiştir. Göçme potansiyeli yüksek bir şev üzerinde bulunan bir yol güzergahı incelenmiştir. Şevde güvenlik analizinde kullanılan programların tutarlılığının incelenmesi ve şev hareketini önleyecek tasarımın belirlenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak şevin topoğrafik özellikleri belirlenmiş ve mevcut duruma ait model oluşturulmuştur. Şev modeline ait verileri elde etmek için arazi ve laboratuvar verilerinden faydalanılmıştır. Geri analiz yöntemi kullanılarak kayma yüzeyine ait parametreler elde edilmiştir. Mevcut durumu yansıtan model üzerinde, şevi güvenli hale getirecek tasarım oluşturulmuştur. Analizler; sonlu elemanlar yöntemini esas alan Plaxis 2D ve limit denge yöntemine dayanan Slide V.6.0 programları ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, güvenlik analizi hesabında kullanılan programlardan uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ele alınan şev stabilitesi probleminde, iyileştirme yöntemi olarak fore kazı ile destekleme uygun görülmüştür. Ek olarak drenaj yöntemleri ile yüzey sularının uzaklaştırılması önerilmiştir [24].

Varol, Ayhan ve Akın çalışmalarında Avnik (Bingöl) demir açık ocak işletmesinde meydana gelen şev duraysızlıklarını incelemişlerdir. Duraysızlıklar; ileri derecede kırıklı, çatlaklı, fillit ve şist birimlerinde meydana gelmiştir. Limit denge analizi yöntemi ile geri analizler yapılmış ve duraysız şevlerin makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir. Limit denge yöntemi ile makaslama dayanım parametreleri belirlenirken Hoek-Brown yenilme ölçütü kullanılmıştır. Geri analizler neticesinde elde edilen GSI değerleri (35-32) ile arazi çalışmalarından elde edilen GSI değerleri (41-35) birbiri ile uyumludur. Geri analizler neticesinde fillit ve şist birimleri için Hoek-Brown parametreleri sırası ile m_b : 0,147 ve 0,173, s : $3,305 \times 10^{-5}$ ve $8,566 \times 10^{-5}$, a : 0.516 ve 0.511 olarak hesaplanmıştır [25].

Tarakçıoğlu, Fırat ve Işık çalışmalarında bir otoyol projesinin 7 palyeden oluşan yüksek yarmalı kesimini incelenmişlerdir. Bu otoyolun yapımı sırasında ilgili kilometrelerdeki şevlerde farklı zamanlarda hareketlilikler meydana gelmiştir. Yarma şevlerinde gözlemlenen hareketlerin nedeni olarak eski heyelan kütlelerinin tacının öngörülen noktadan geride olması ve yarma kazısı esnasında bu kısımda kalan gevşek malzemelerin hareket etmesi olarak

belirlenmiş ve taş dolgu yapılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada şev uygulanan istifsiz taş dolgu sonrası meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Limit denge analiz yöntemleri kullanılarak Slide programında geri hesap yöntemi ile kayma yüzeyi parametreleri elde edilmiştir. Analiz sonrası elde edilen parametreler, deprem durumundaki güvenlik katsayıları da değerlendirilerek kazıklı çözüm önerisi getirilmiştir [26].

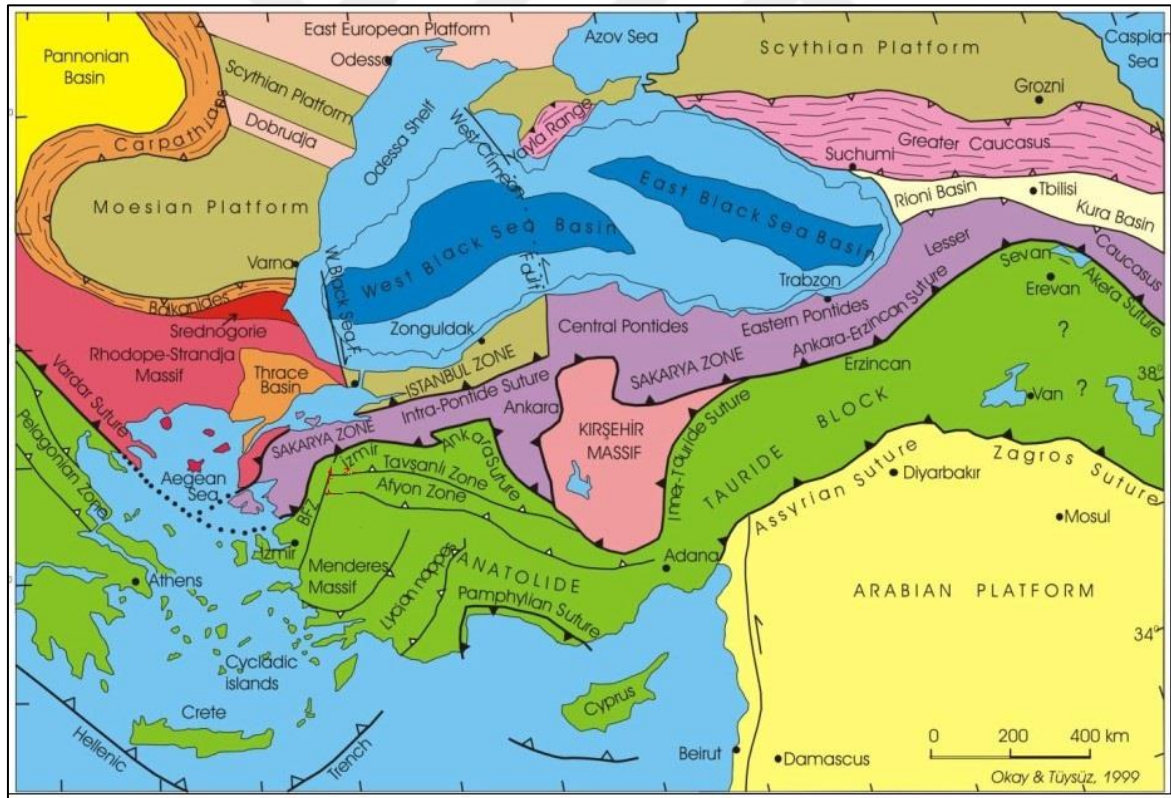
Alçakal çalışmasında şev stabilitesi kavramına öncelikli olarak değinmiş ardından tahkik yöntemleri hakkında bilgiler vermiştir. Şev stabilitesinin kaybolduğu bir başka deyişle göçmenin gerçekleştiği durumlarda geri hesap yöntemi kullanılarak zemin parametrelerine nasıl ulaşıldığı konusunda bilgiler verilmiştir. Son olarak da İstanbul Kemerburgaz'da gerçekleştirilen bir konut inşaatı sırasında desteksiz olarak açılan temel kazısında meydana gelen şev hareketi, önce limit denge yöntemi, sonra da sonlu elemanlar yöntemi kullanılan bilgisayar programları kullanılarak geri hesap yöntemi ile incelenmiş ve elde edilen kesme dayanımı parametreleri karşılaştırılmış ve geri hesaplanan zemin parametrelerine göre yapılan iyileştirme projesi hakkında bilgiler aktarılmıştır [27].

4. JEOLJİ

4.1. Bölgesel Jeoloji

Türkiye’yi oluşturan birincil tektonik birimleri güneyden kuzeye doğru; Güneydoğu Anadolu, Anatolid-Torid Bloğu, Sakarya Zonu ve Istranca Masifi şeklinde beş tektonik birliğe ayrılmıştır [28].

Pontidler’in güney kesimini oluşturan Sakarya Zonu ile Anatolid-Torid Bloğu Tersiyer’e gelene kadar hiçbir zaman bitişik tek bir kıta parçası oluşturmamıştır. İzmir-Ankara-Erzincan Kenedini hem Paleozoyik hem de Mesozoyik’te var olmuş Tetis Okyanusu’nun kenedini temsil eder ve kenet kuşağı boyunca iki farklı okyanusun varlığı söz konusudur (Harita 4.1).



Harita 4.1. Türkiye’nin paleotektonik yapıları [29]

Çalışma sahası Türkiye’nin ana tektonik birliklerinden olan Afyon zonu içerisinde kalmaktadır. Afyon zonu Menderes masifi ile Afyon’un batısı Denizli’nin kuzeyi arasında kalmaktadır. Ana kayaç grubu, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlardan, gnays, şist, mika

şist, fillit, amfibolit, mermer ve kuvarsit olup metamorfizmanın çeşitli dereceleri izlenebilmektedir. Bu metamorfik birim Sarıcası Formasyonu olarak isimlendirilmiştir [30]. Paleozoyik metamorfik kayalar Triyas yaşlı karbonatlı kayalar, Jura yaşlı kireçtaşı ve üst Kretase yaşlı rekristalize kireçtaşı ollistolitleri ve ofiyolitik melanj ile bunları çevreleyen bordo-gri renkli makaslanmış kumtaşı ve şeyl tarafından üzerlenmektedir. Paleozoyik metamorfikler, Kretase ve Mesozoyik dönemde oluşmuş ofiyolitik melanj ve sedimanter birimler, Oligosen ve alt Miyosen dönemde gerçekleşen Batı Anadolu yükselmesine bağlı olarak gelişen felsik magmatik kütle tarafından kesilmiştir. Granit, granitik porfiri ve aplitik dayklar ile temsil edilen bu intrüzyon, Alaçam Dağ Granitleri olarak isimlendirilmiştir [30].

Dayk, lav akıntısı ve domlardan oluşan alt Miyosen yaşlı volkanik intrüzyon ve alt orta Miyosen yaşlı piroklastik birimler stratigrafik olarak metamorfiklerin ve ofiyolitik melanjin üzerinde yer almaktadır (Resim 4.1). Neojen döneminin sonlarına doğru, genç terrastrial sedimanlar oluşmaya başlamış ve Kuvaterner depozitler tarafından üzerlenmiştir. Çalışma alanındaki dominant birim olan Paleozoyik yaşlı metamorfikler; mineralizasyon ve alterasyon tiplerine göre şu şekilde sınıflandırılmıştır;

- i. Kalkışist: Bej-açık gri renkli, zayıf şistozite özellikte, az dayanımlı ve asit ile reaksiyona girmektedir.
- ii. Kuvars Feldispar Şist: Bej-açık yeşil renkli, çalışma alanında geniş alanlarda gözlenebilmektedir. Feldispar mineralizasyonu ve rengiyle ayırtlanabilmektedir.
- iii. Klorit Serisit Şist: Genelde koyu yeşil renklidir. Çalışma alanında cevher taşıyan kayalardır. İyi gelişmiş şistozite ve mafik mineralizasyon bantlarının verdiği koyu yeşil renkle ayırt edilmektedir.
- iv. Kuvars Şist: Açık yeşilimsi gri renkli olup stratigrafik olarak istifin en altındadır. Kuvars matriks ve kuvars porfirblastlar ile ayrılmakta olup mostralari çalışma alanın güneyinde yer almaktadır.



Resim 4.1. Çalışma alanında gözlenen birimler

4.2. Yapısal Jeoloji

Çalışmanın bulunduğu alan yapısal olarak, Anatolid-Torid bloğu içerisinde sahaya yaklaşık sırasıyla 11 km ve 16 km mesafede bulunan Düvertepe ve Simav fay zonları gibi tektonik yapılar tarafından kontrol edilmektedir. Her iki fay zonu da KB-GD yönlü faylardır. Bölgenin genel tektonik özellikleri ve sahada yapılan gözlemsel çalışmalara göre, çalışma alanının bulunduğu alanda lokal faylar gözlenmektedir. Kısıtlı mostralarda yapılan incelemeler neticesinde daha ziyade metamorfizma etkisinde kısmen de tektonik hareketler neticesinde şistlerde birçok yönde kırık ve çatlaklar gelişmiştir (Resim 4.2).

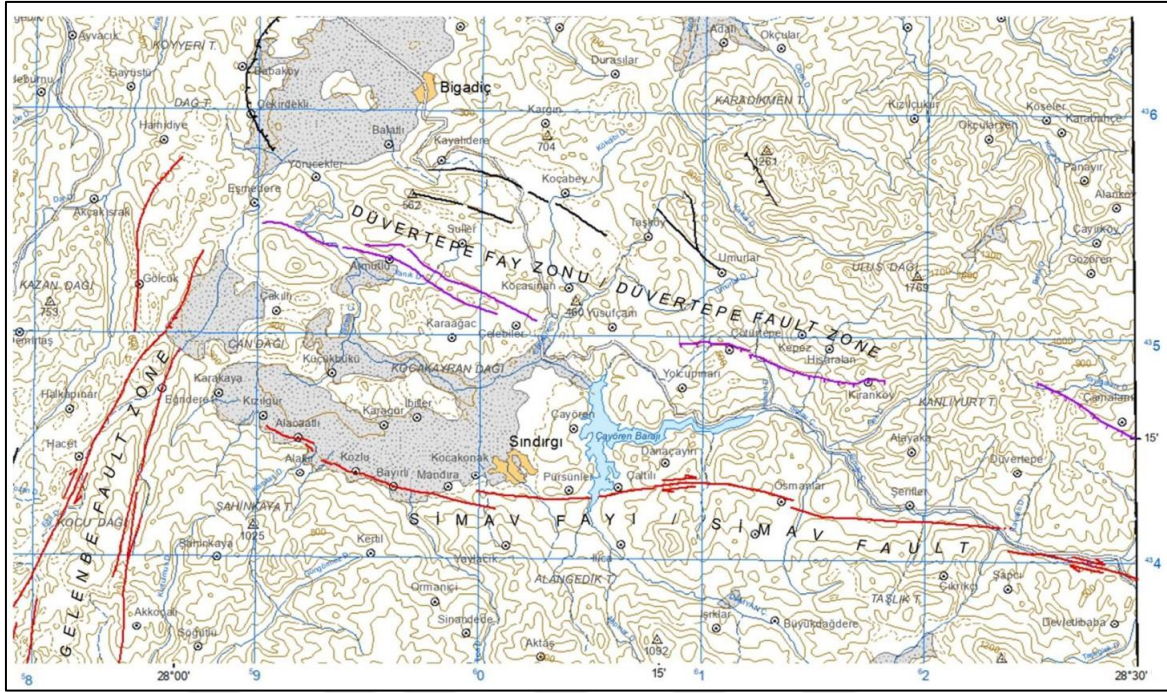
Saha genelinde gerçekleştirilmiş kırık çatlak ölçümlerine göre ana foliasyon doğrultusu kuzeybatı yönündedir.



Resim 4.2. Çalışma alanında gözlenen süreksizlikler

4.3. Depremsellik

Tez alanı, Türkiye diri fay haritasında sınırları gösterilmiş olan Simav grabeninin 20 km kuzeybatısında yer almaktadır (Harita 4.2). Önceki çalışmalara göre, çalışma alanının yakınında iki önemli neotektonik özellik vurgulanmaktadır. Bunlardan ilki, proje alanının 11 km güneyinde yer alan ve Pleyistosen’de kırılmış olan Kuvaterner yaşlı Düvertepe Fayı’dır. İkincisi ise maden ocağının 16 km güneyindeki Simav fay zonudur ve Holosen yaşlı aktif bir faydır. 19 Mayıs 2011 tarihinde bu fay zonu üzerinde 5,7 büyüklüğünde Simav depremi meydana gelmiş ve orta derece bir deprem olmasına rağmen binalarda hasar meydana gelmiştir.



Harita 4.2. 1/250 000 ölçekli Türkiye diri fay haritaları serisi, Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No:4 [31]. Kırmızı hat Holosen fayı, Mor hat Kuvaterner fayı göstermektedir

Çalışma alanının PGA değerleri, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmî Gazete’de yayınlanan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasında 50 yıl içerisinde %10 aşılma olasılığı ile tekrarlanma periyodu 475 yıl için 0,37 g; 50 yıl içerisinde %2 aşılma olasılığı ile tekrarlanma periyodu 2475 yıl için 0,68 g olarak verilmektedir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).




Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Tez Sahası	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar

Çıktılar

$S_5 = 1.685$	$S_1 = 0.406$	$PGA = 0.684$	$PGV = 39.817$
---------------	---------------	---------------	----------------

S_5 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 PGA : En büyük yer ivmesi [g]
 PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 4.1. Çalışma sahasının deprem yer hareketi parametreleri (DD-1 için) [32]




Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Tez Sahası	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar

Çıktılar

$S_5 = 0.890$	$S_1 = 0.210$	$PGA = 0.373$	$PGV = 20.646$
---------------	---------------	---------------	----------------

S_5 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
 PGA : En büyük yer ivmesi [g]
 PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 4.2. Çalışma sahasının deprem yer hareketi parametreleri (DD-2 için) [32]

Çalışma alanında karşılaşılan zemin malzemesi kayaların yerinde tamamen ayrışarak rezidüel formu; kaya malzemesi ise orta-tamamen ayrışmış formu olarak gözlendiği için, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmî Gazete’de yayınlanan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)’ne [33] çalışma alanına ait yerel zemin sınıflaması ZC olarak alınmıştır (Şekil 4.3). Yerel zemin sınıflarının, TBDY’de de anlatıldığı üzere kısa periyot (S_{DS}) ve 1,0 saniye periyot için (S_{D1}) tasarım spektral ivme katsayılarını etkilediği için, doğru seçilmesi önemlidir (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).

İleriki bölümlerde yapılan pseudo-statik stabilite analizlerinde PGA 50 yılda %10 ve %2 aşılma olasılıkları sırası ile 0,37 ve 0,68 g olarak alınmıştır.

Yerel Zemin Sınıfları				
Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $P_I > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşılabılır zeminler, yüksek derecede hassas killler, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killler, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($P_I > 50$) killler , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killler.			

Şekil 4.3. Çalışma sahasının yerel zemin sınıfı [32]

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_B \leq 0.25$	$S_B = 0.50$	$S_B = 0.75$	$S_B = 1.00$	$S_B = 1.25$	$S_B \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sehiye özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_B = 1.685$ için $F_S = 1.200$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sehiye özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_1 = 0.406$ için $F_1 = 1.500$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

$$S_{DS} = S_S F_S = 1.685 \times 1.200 = 2.022$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.406 \times 1.500 = 0.609$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Şekil 4.4. Çalışma sahasının tasarım spektral ivme katsayıları (DD-1 için) [32]

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_B \leq 0.25$	$S_B = 0.50$	$S_B = 0.75$	$S_B = 1.00$	$S_B = 1.25$	$S_B \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_B = 0.890$ için $F_S = 1.200$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_1 = 0.210$ için $F_1 = 1.500$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

$$S_{DS} = S_B F_S = 0.890 \times 1.200 = 1.068$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.210 \times 1.500 = 0.315$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

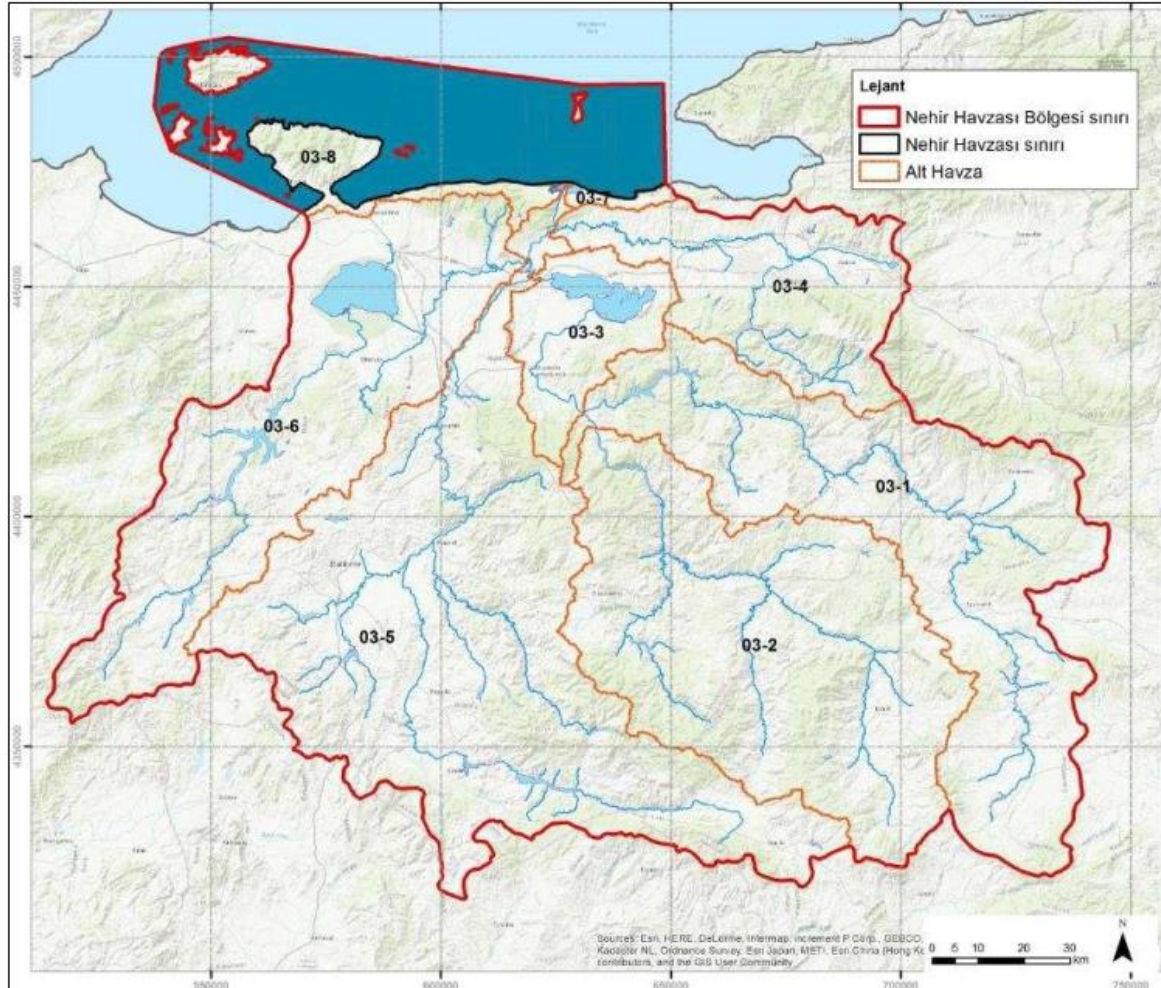
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Şekil 4.5. Çalışma sahasının tasarım spektral ivme katsayıları (DD-2 için) [32]

4.4. Yeraltı Suyu Seviyesi ve Yüzey Sularının Belirlenmesi

Tez sahasının bulunduğu Susurluk Havzası, Anadolu yarımadasının kuzeybatısında bulunmaktadır. Havza, 24 299 km² drenaj alanına sahip olup, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %3,1'ini kaplamaktadır [34]. Kocaçay-Manyas alt havzası, 4 072 km² drenaj alanı ile kuzeyde Marmara Denizi ile sınırlanırken, güneyinde Gediz Havzası, batısında ise Kuzey Ege ve Marmara Havzası ile sınırlanmaktadır. Havza, Madra Çayı, Kocaçay ve bu çayların

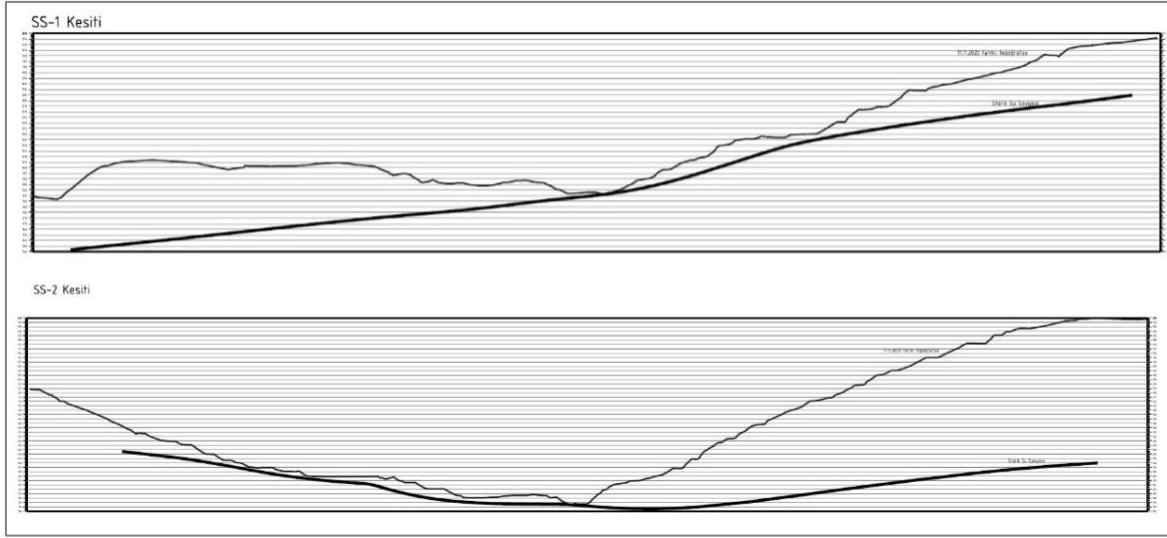
yan kolları ile drene edilerek Manyas Gölü'ne dökülmektedir. Susurluk havzası ve alt havzalarını gösterir harita aşağıda verilmiştir (Harita 4.3).



Harita 4.3. Susurluk havzası ve alt havzaları [34]

Çalışma alanı Acısu deresi ve yan kolları olan Peynirlikuyu, Kaynarsu dereleri ile drene edilmektedir. Çalışma alanı boyunca kuzeydoğu-güneybatı yönünde akış gösteren Acısu çalışma alanının akış aşağısında İndere ile birleşerek daha güneyde akış gösteren Kocadere'ye dökülmektedir.

Çalışma sahasında, analizlerde kullanılan kesitlerde yeraltı su seviyesi için, maden işletmesinin yeraltı su seviyesini belirleyebilmek adına açtığı yeraltı suyu gözlem kuyularından aldıkları periyodik statik su seviyesi okumaları ile oluşturdukları yeraltı su tablası haritasından yararlanılmıştır (Harita 4.4 ve Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Statik su seviyesine göre oluşturulmuş su tablası kesitleri

Yüzey suyu ve açık şevlerinin suya doygunluğunun araştırılması için saha çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalarda sonucunda şevlerden su sızıntılarının olduğu gözlenmiştir (Resim 4.3).



Resim 4.3. Kütle hareketlerinin ve su sızıntılarının da gözlemlendiği suya doymuş şev

Kütle hareketlerinin gerçekleşmesinin ardından yapılan saha ziyaretlerinde açık ocak alanında yüzey suyu yönetiminin şev dibi toprak kanallarıyla sağlandığı tespit edilmiştir. Açık ocağın bulunduğu alt havzadan gelen yüzey akışı ocağın akış yukarısında bulunan toprak kuşaklama kanallarıyla yönlendirilmektedir. Buna ek olarak mevcut ocağın üst sınırına yakın kesimlerinde, ocak içinde ayrı bir toprak kuşaklama kanalı bulunmaktadır (Resim 4.4) ve ilerleyen dönemlerde Acısu deresinin yönlendirme çalışmaları bu kanal ile yapılacaktır fakat hareketlilik gözlemlendiği tarihlerde henüz yönlendirme çalışmalarına başlanmamıştır.



Resim 4.4. Ocak içi kanal görünümü

Çalışma sahasında yapılan gözlemler şev yüzeylerinin genellikle sığ yeraltı suyu dolaşımından etkilendiğine ve ocağa gelen güncel yüzey suyu girdilerinin (doğrudan yağış ve yüzey akışı) kısa süreli sığ yeraltı suyu dolaşımı neticesinde yüzey şevlerinden çıktığına işaret etmektedir.

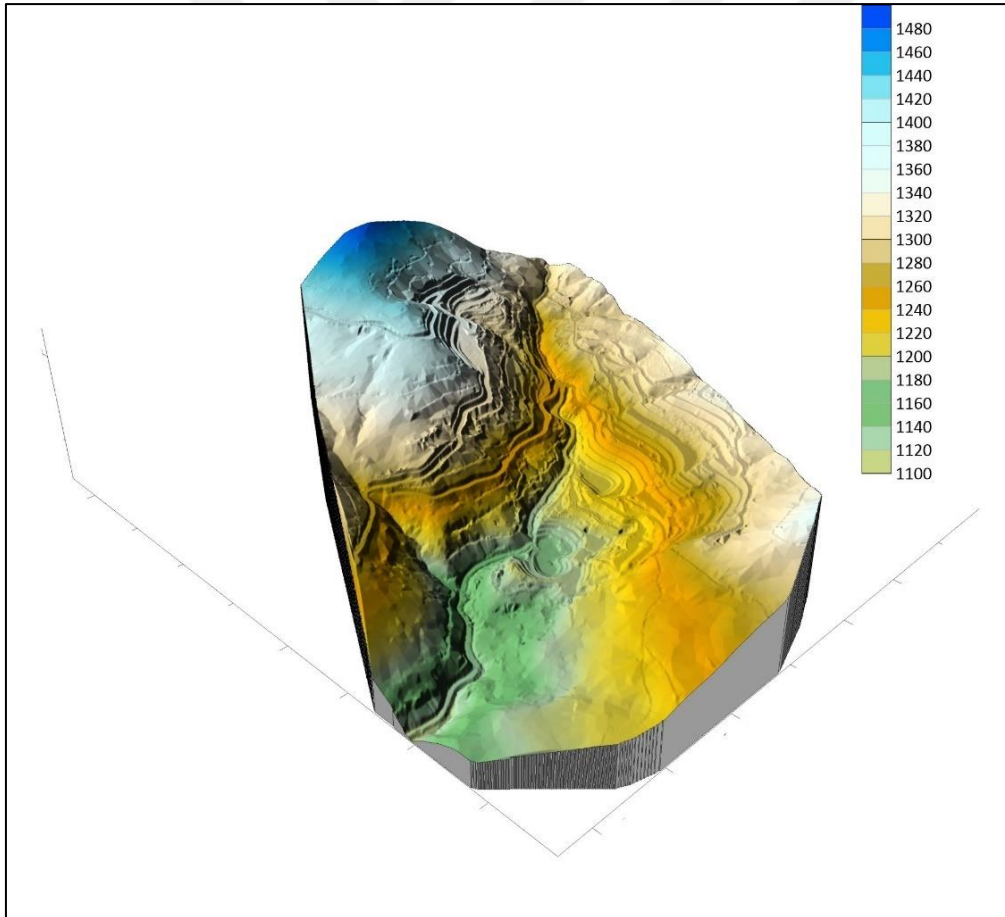
Ocak genelinde gözlenen kütle hareketlerinin temel nedeni suya doymun duruma geçen birimlerde yüksek gözenek suyu basıncına bağlı olarak makaslama dayanımındaki azalmadır.

Ayrıca açık ocak faaliyetleri devam ederken ocakta susuzlaştırma sistemi olarak kullanılmak üzere yatay drenler açılmıştır. Yatay drenlerin lokasyonları potansiyel fay zonları, doğal topoğrafya ve doğal drenaj sistemi dikkate alınarak belirlenmiş, kuyu derinlikleri ise açık

ocak geometrisine göre seçilmiştir. Yapılan saha gözlemlerinde bu kuyulardan da düzenli olarak su gelişi olduğu gözlenmiştir.

4.3. Ocak ve Çevresinin Morfolojik Yapısı

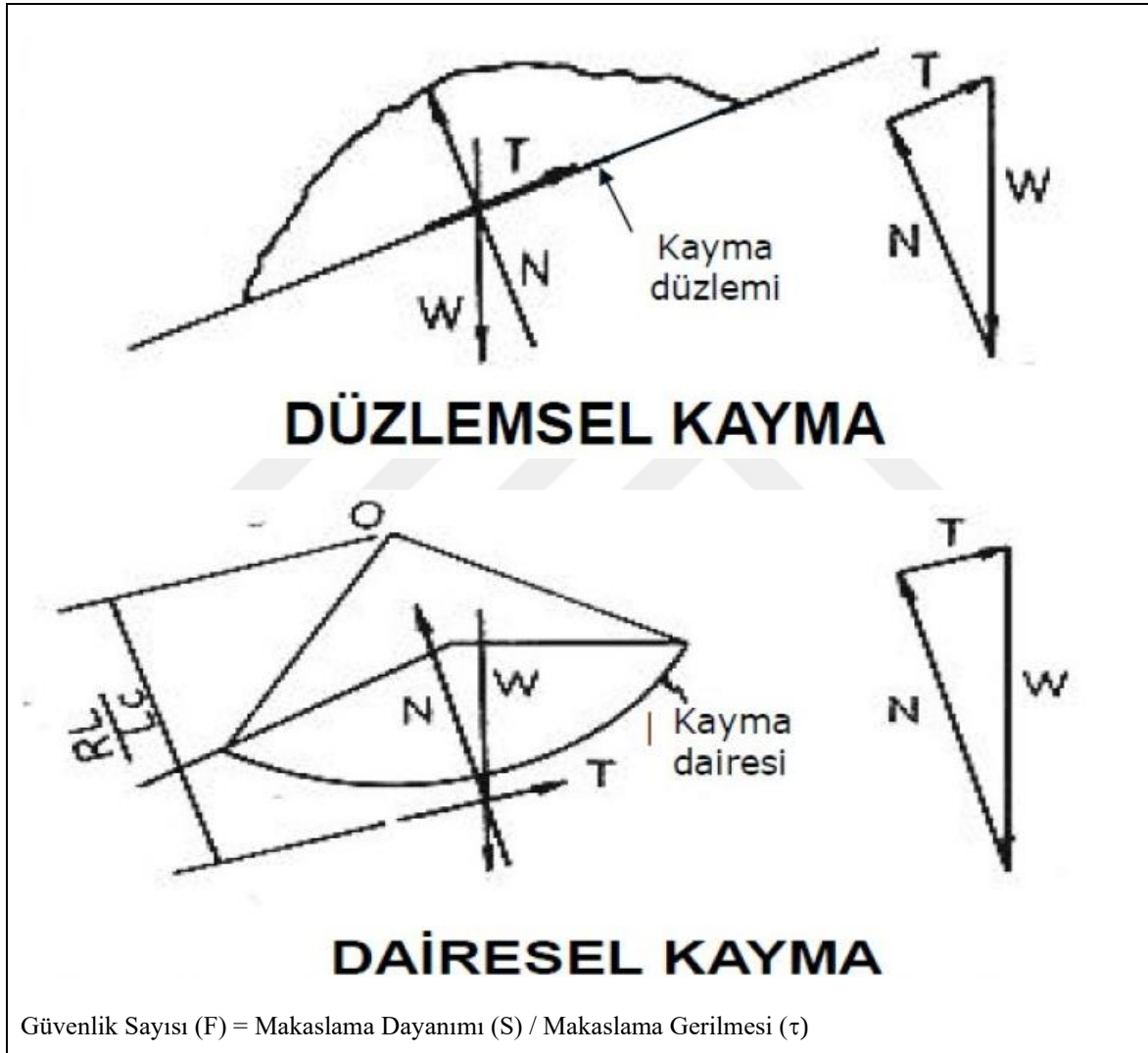
Tez sahasının yüksekliği, deniz seviyesinden itibaren, 1100-1500 metre arasında değişmektedir (Şekil. 4.7). Çalışma alanında projelendirme aşamasında nihai ocak geometrisinin projelerini hazırlayan firma tarafından, ocak genel şev açısının 25° ile 47° arasında, basamak şev açılarının ise 40° ila $63,5^{\circ}$ arasında olması önerilmiştir. Kütle hareketlerinin başladığı dönemde basamak yükseklikleri 5,5 metre ila 11,0 metre arasında iken basamak şev açıları ise 20° ila 45° arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu basamaklara ait genel şev açılarının ise 20° olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Çalışma sahasının 3 boyutlu yükseklik modeli

5. GÜVENLİK KATSAYISI KAVRAMI VE MADEN ŞEVLERİNDE GÜVENLİK KATSAYISI SEÇİMİ

Pratik olarak, tüm şev duraylılık analizleri limit denge kavramına dayanmaktadır (Şekil 5.1). Öncelikle bir kayma yüzeyi kabul edilir ve kayma yüzeyi boyunca makaslama gerilmesi etkidiğinde limit denge koşulu aşağıdaki gibi ifade edilir.



Şekil 5.1. Limit denge koşulu [1]

Şevi oluşturan malzemenin veya üzerinde kaymanın gelişeceği süreksizlik yüzeyinin makaslama dayanımı (S) ile kaymanın gerçekleşmesi için gereken makaslama gerilmesi (τ) arasındaki oran. Güvenlik sayısı şev duraylılığının sayısal anlamda bir göstergesidir. Şevlerin tasarımında güvenlik sayısı denildiğinde akla gelen değer, şevin göçmeye karşı güvenlik seviyesini tanımlayan sayıdır. FS, F, GS, FoS gibi gösterim şekilleri vardır. Bir

şevin güvenlik seviyesi; zeminin nihai makaslama dayanımı ile göçme başlangıcında (harekete geçen) mobilize olan makaslama dayanımı birbirine oranıdır ($GS = \text{koruyan} / \text{deviren}$).

Eğer; $GS < 1$ ise şev duraysız (yenilme olur).

Eğer; $GS = 1$ ise şev limit denge koşulunda (kayma durumu).

Eğer; $GS > 1$ ise şev duraylı.

En düşük şev güvenlik sayıları yönetmelikler tarafından önerilen değerlerden alınabilir. Bu konuda birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Maden mühendisliği uygulamalarında (açık işletmeler) önerilen güvenlik sayıları Çizelge 5.1 ve 5.2’de özetlenmektedir.

Çizelge 5.1. Maden Mühendisliği uygulamalarında güvenlik sayısı (açık işletmeler) [35]

A.B.D. (Federal Register, 1977)		En Küçük GS		
1	Kazı sonu	1,30		
2	Gözenek suyunun zamana bağlı olarak sönmülmesinin söz konusu	1,50		
3	Deprem riskinin dikkate alınmış olması koşulu (2 numaralı durum için)	1,00		
A.B.D. (D’Appolonia Cons. Engrs. Inc, 1975)		En Küçük GS		
		Afet Potansiyeli Açısından		
		Yüksek	Orta	Düşük
1	Tasarımda laboratuvarıda belirlenmiş makaslama dayanımının esas alınması koşulu	1,50	1,40	1,30
2	Tasarımın o saha için belirlenen en yüksek yer ivmesi de dikkate alınarak yapılması koşulu	1,20	1,10	1,00
İNGİLTERE (National Coal Board, 1979)		GS		
		I**	II**	
1	Kayma yüzeyi boyunca doruk makaslama dayanımının kullanılması	1,50	1,25	
2	Kayma yüzeyinin, tabanda yer alan ve makaslama dayanımı artık	1,35	1,15	
3	Kayma yüzeyinin suyla dolmuş ve makaslama dayanımı olmayan derin	1,35	1,15	
4	Hem (2) hem de (3) numaralı koşulların birlikte geliştiği durumlar	1,20	1,10	
* İnsan yaşamı, araç-gereç ve yapılar için tehlike varsa				
** İnsan yaşamı, araç-gereç ve yapılar için tehlike beklenmiyorsa				
KANADA (Mines Branch, Canada, 1971)		GS		
		I**	I**	
1	Tasarımda doruk makaslama dayanımının esas alınması	1,50	1,30	
2	Tasarımda artık makaslama dayanımının esas alınması	1,30	1,20	
3	Analizlerde 100 yıllık dönüşüm periyoduna göre hesaplanmış deprem ivmelerinin dikkate alınması	1,20	1,10	
4	Deprem bölgelerindeki seddelerin tabanında yatay düzlem üzerinde gelişen kaymalar için, ince taneli malzemenin makaslama dayanımının sıfır olarak alınması koşulu	1,30	1,30	
* İnsan yaşamı, araç-gereç ve yapılar için tehlike varsa				
** İnsan yaşamı, araç-gereç ve yapılar için tehlike beklenmiyorsa				

Çizelge 5.2. Maden Mühendisliği uygulamalarında güvenlik sayısı (açık işletmeler) [36]

Hoek ve Bray, 1977		GS
1	Uzun süreli duraylı kalmalarına gerek duyulmayan açık işletme şevleri için	1,00-1,30
2	Nakliye yolu, otoyol, tesis vb. önemli yapılara komşu konumdaki açık işletme şevleri için	1,00-1,30

Şev analizleri konusunda Türk Standartları'ndan da yararlanmak mümkündür. TS8853'te limit denge yöntemleri ile yapılan analizler sonucunda farklı durumlar için istenilen minimum güvenlik sayıları ise Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Limit denge yöntemleri ile yapılan analizler sonucunda farklı durumlar için istenilen minimum güvenlik sayıları [37]

Koşullar	Toplam Gerilme Analizi	Efektif Gerilme Analizi	Deprem Durumu
Dolgularda yapım sonu	1,50	-	-
Yarmalar	1,50	1,25	1,00
Barajda kararlı sızıntı	1,50	1,25	-
Barajda ani göl boşalması	1,50	1,10	-
Uzun vadede duraylılık	-	1,20	-
Yamaç üzerinde yapı olması	1,80	1,50	1,20
Fisürlü kil ortamda	-	1,50	-

Bu tez kapsamında limit denge yöntemi ile yapılmış olan stabilite analizlerinde, en küçük güvenlik sayısı için; statik durumda 1,30, pseudo-statik durumda ise 1,00 koşulu aranmıştır.



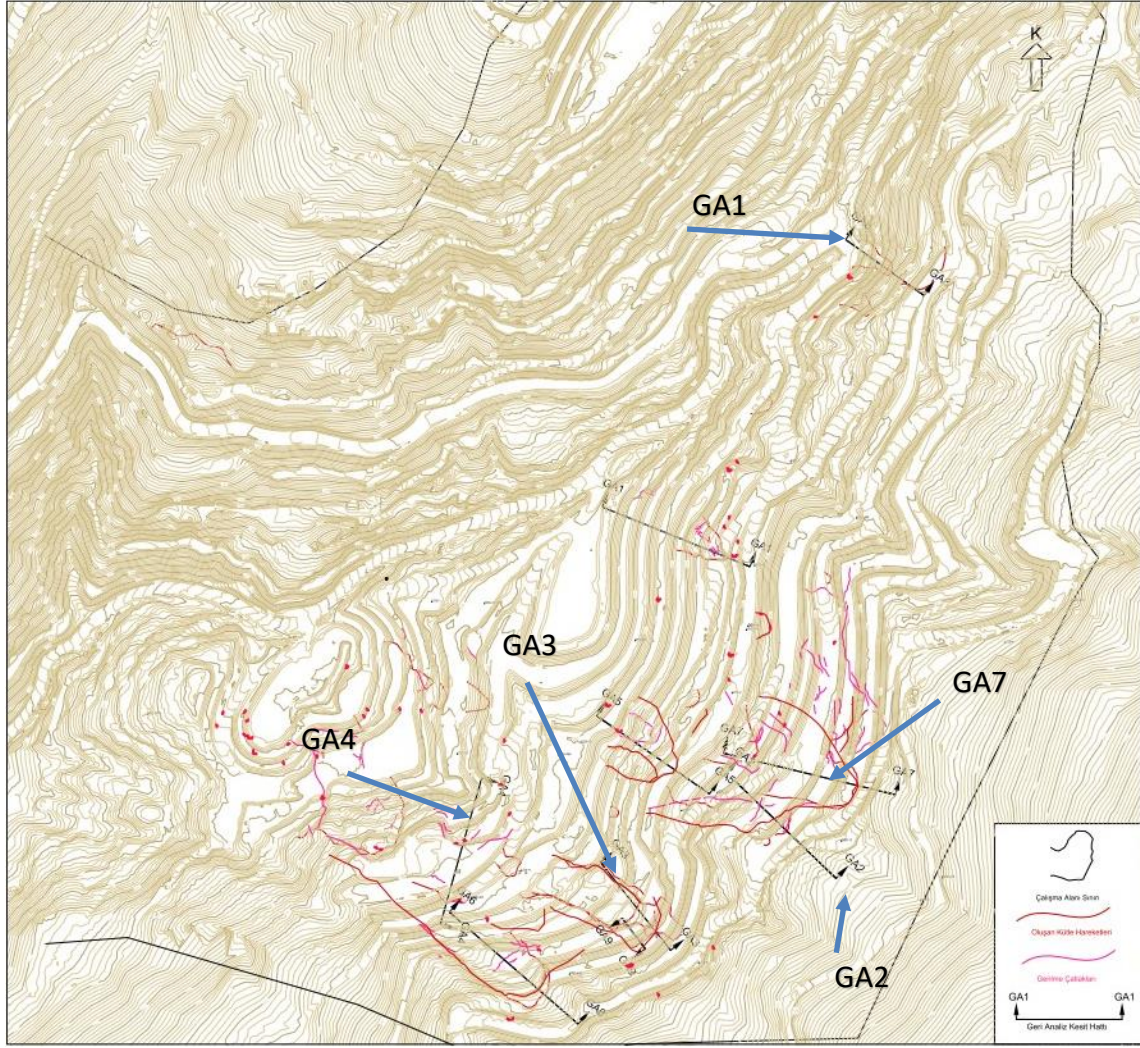
6. ZEMİN VE KAYA KÜTLESİ NİTELİĞİNDEKİ BİRİMLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

6.1. Sondaj Çalışmaları

Çalışma sahasında, işletme tarafından, ocak genelinde arama döneminden bu yana, cevher araştırma çalışmaları vb. nedenler ile 500'e yakın farklı derinliklerde araştırma sondajları yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında tüm kuyular detaylı bir şekilde incelenmiş ve analizlerde 16 adet sondaj kuyusu kullanılmıştır. Bu kuyulara ait karot sandık fotoğrafları EK-1'de verilmiştir.

6.2. Geri Analiz Girdileri ve Model Kurulumu

Çalışma sahasında, farklı noktalarda, meydana gelen kütle hareketleri (heyelan) yerinde incelenmiştir. Yapılan taş-topuk bölgesi ölçümleri ve mevcut topoğrafya veriler dikkate alınarak tespit edilmiş heyelan geometrilerine dayanarak hareket miktarları belirlenmiş ve şevlerin $GS=1$ koşulunu sağlayan heyelan malzemesine ait makaslama dayanımı parametreleri GA1, GA2, GA3, GA4 ve GA7 numaralı kesitler üzerinde geri analizler ile, farklı varyasyonlar denenerek saptanmıştır. Analizlerin gerçekleştirildiği kesitlerin yerlerini gösteren plan Harita 6.1'de gösterilmiştir.



Harita 6.1. Geri analiz kesitlerini gösterir plan

Çalışma sahasında gözlenen heyelanlara ait görseller Resim 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 ve 6.9’da verilmiştir.



Resim 6.1. GA1 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.2. GA2 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.3. GA3 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.4. GA4 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.5. GA5 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.6. GA6 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.7. GA7 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.8. GA8 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar



Resim 6.9. GA9 numaralı geri analizde kullanılan heyelana ait fotoğraflar

6.2.1. Heyelan malzemesi ve malzeme parametreleri

Geri analiz ile parametre tayini

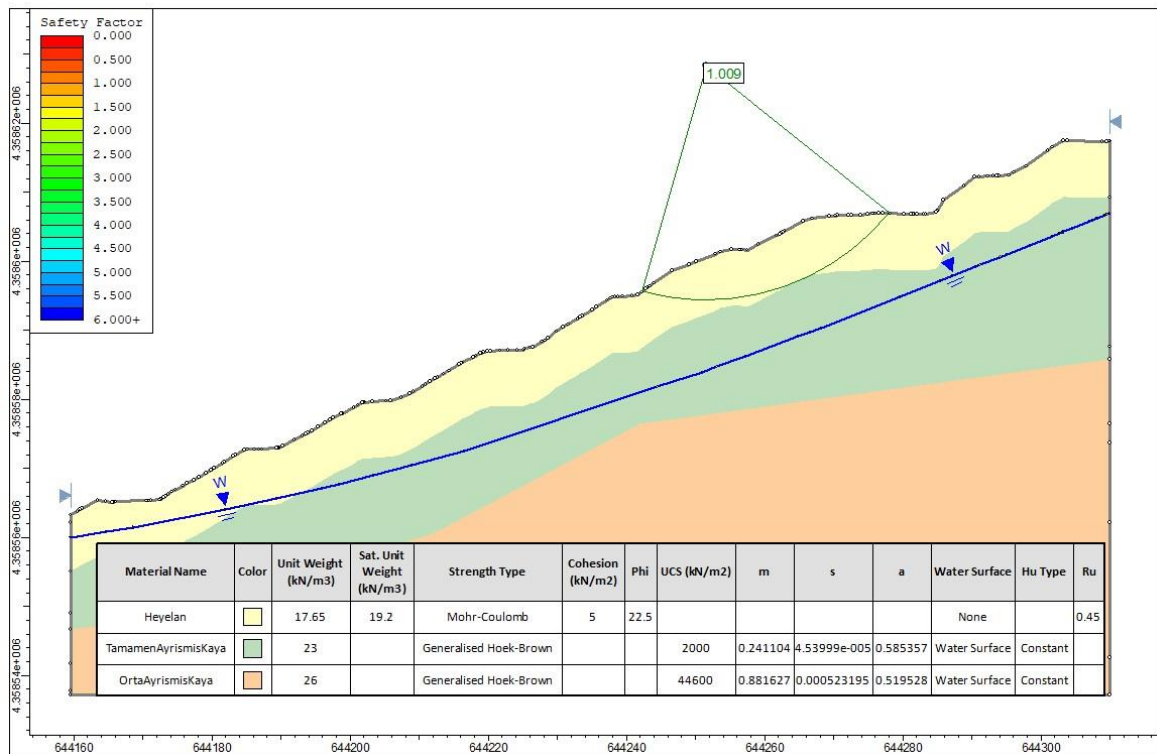
Çalışma sahasında yer alan jeolojik birimlerin mekanik parametrelerini belirlemek için çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemlerden biri de “heyelan malzemesi” olarak

isimlendirilen ve hareket etmiş malzemenin geri analiz yöntemi ile tayin edilmesidir. Bu malzeme, daha önce de belirtildiği gibi, ocağın üst seviyelerinde kaya özelliğini kaybetmiş, tamamen zemin durumuna geçmiş ve özellikle de yüzey suları ile (yağış vb.) doygunluğu artarak mekanik kazılar sonucu hareket etmeye başlamış olan birimdir. Yapılan geri analizlerde, heyelan malzemesi için uygun parametreler elde edilmeye çalışılmış ve Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılmıştır.

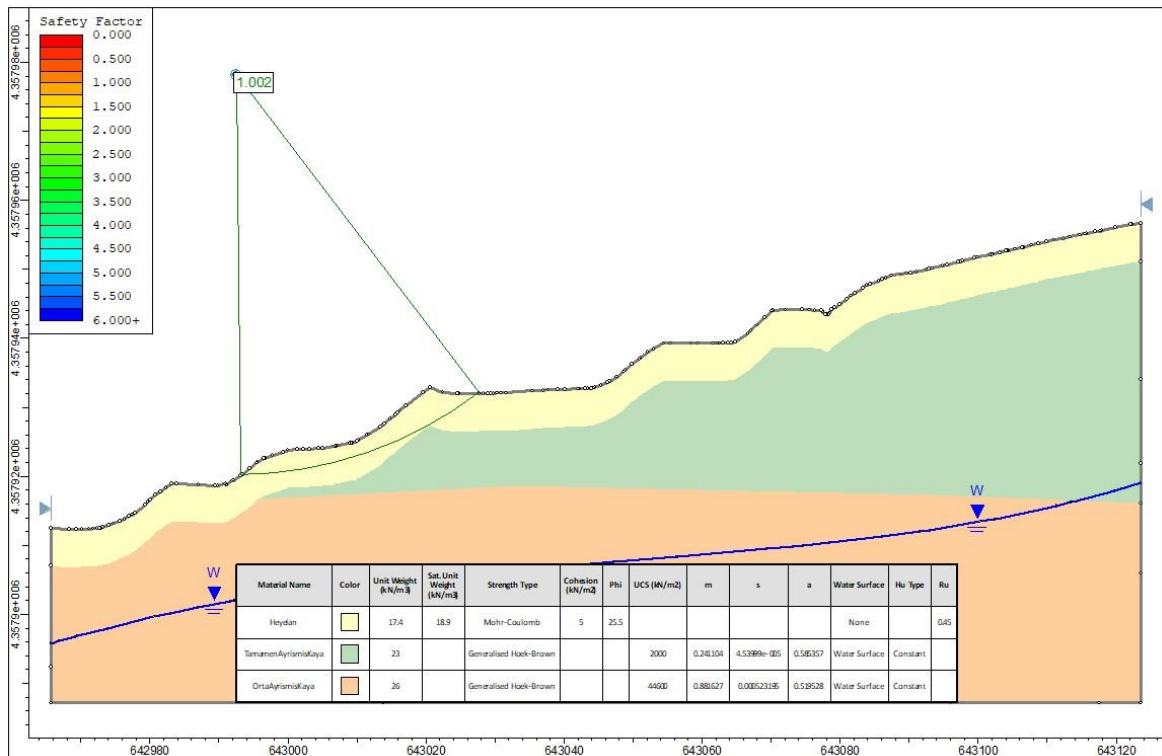
Sahanın genelinde dairesel kaymaların hâkim olduğu ve bu tür kaymaların birkaç basamağı birden kapsadığı yapılan detaylı saha incelemeleri ile saptandığı için analizlerde dairesel kayma geometrisi kullanılmıştır.

Yapılan gözlemsel değerlendirmeler ve saha ölçümleri dikkate alınarak yamaçlardaki kayma yüzeyleri belirlenmiş ve bu yüzeylerde güvenlik sayısı 1 koşulu aranmıştır. Her bir kesit için farklı kohezyon değerleri için farklı içsel sürtünme açısı değerleri saptanmıştır. Tez kapsamında uygun görülen kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerine ait çıktılar kullanılmıştır. Bu analizlerde doygun birim hacim ağırlık değerleri laboratuvar sonuçlarından alınmış ve doygun birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, sahada, şevlerde uygulanan sıg yatay drenaj çalışmaları sonucunda su akışının (yüzey suyu dolaşımının) gözlenmiş olması sebebi ile, heyelan malzemesinin suya doygunluğunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple boşluk suyu basıncı katsayısı (ru) değeri tam doygunu yakın bir değer olan 0,45 olarak alınmıştır.

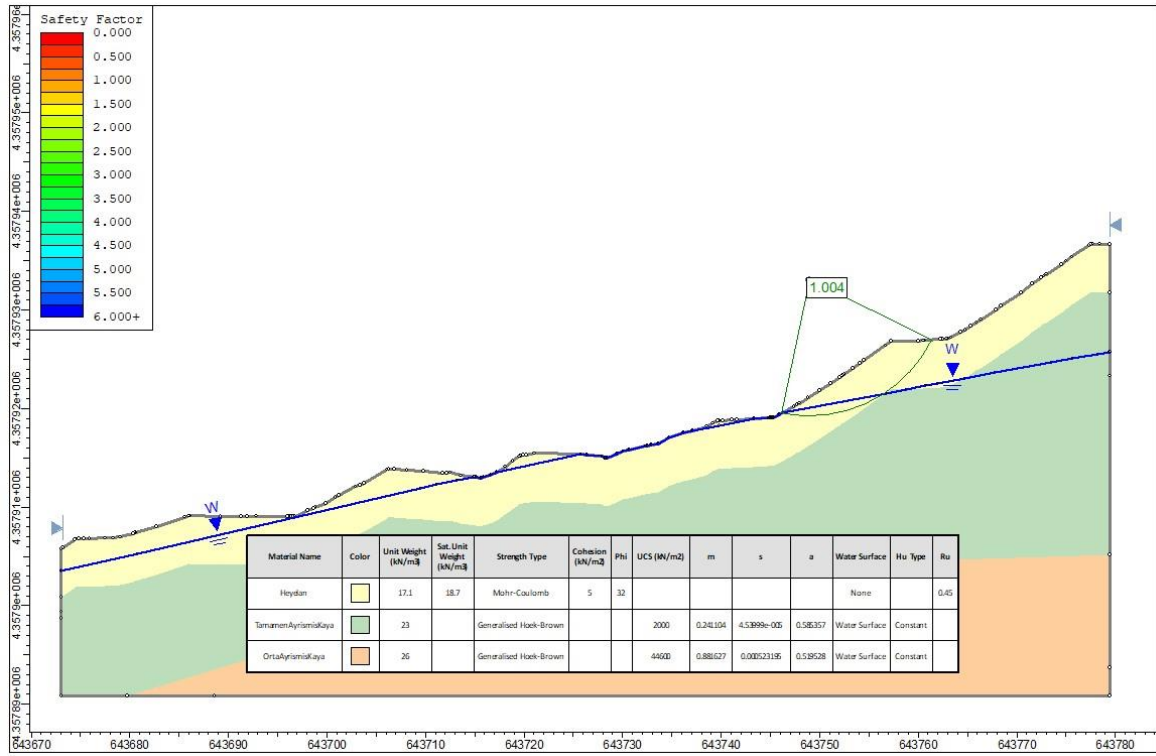
2 boyutlu limit denge metodu kullanılarak yapılan geri analiz çıktıları aşağıda, Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5'te verilmiştir.



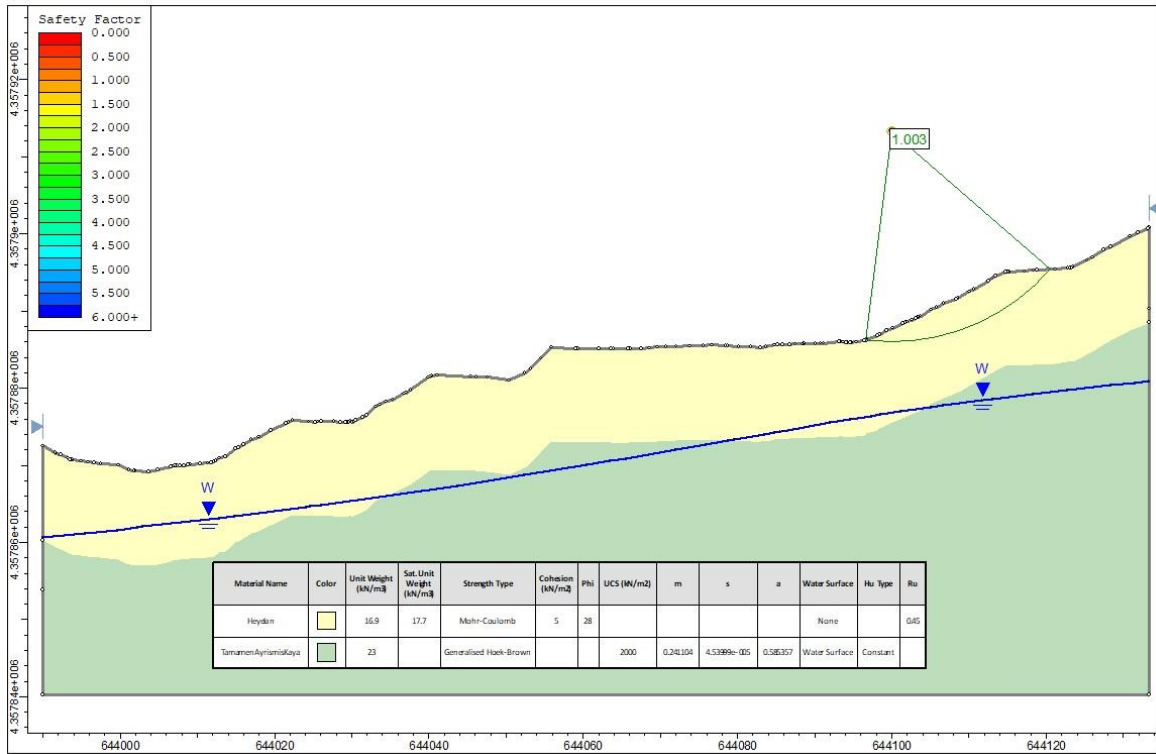
Şekil 6.1. GA1 numaralı geri analiz çıktısı



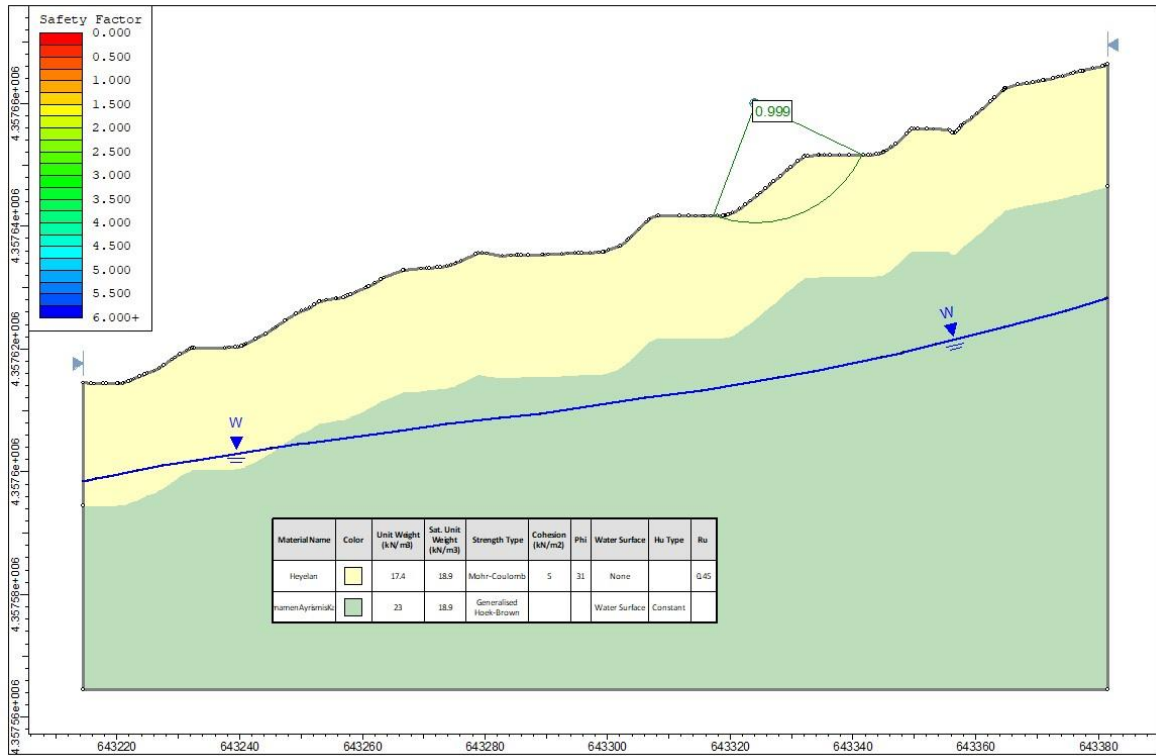
Şekil 6.2. GA2 numaralı geri analiz çıktısı



Şekil 6.3. GA3 numaralı geri analiz çıktısı



Şekil 6.4. GA4 numaralı geri analiz çıktısı



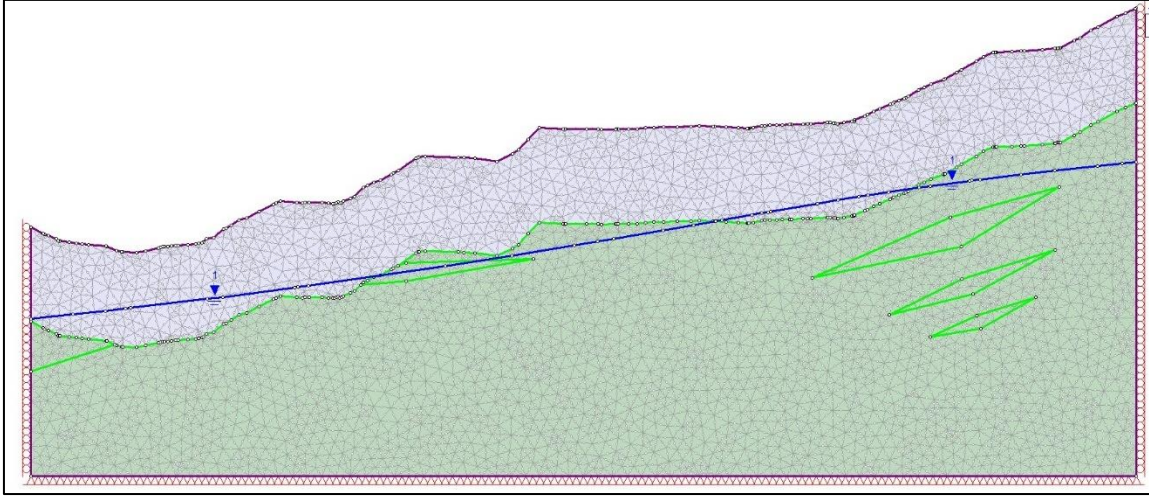
Şekil 6.5. GA7 numaralı geri analiz çıktısı

Limit denge analizlerinin sonuçları ve kullanılan parametreler aşağıda, Çizelge 6.1’de özet olarak sunulmuştur.

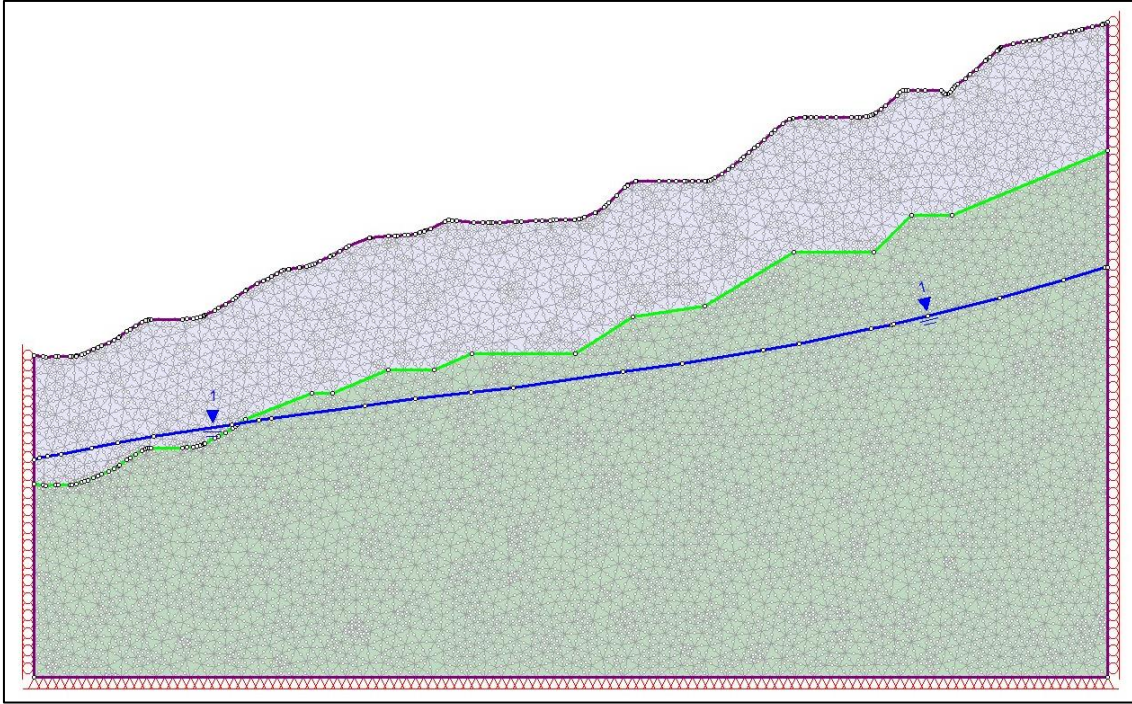
Çizelge 6.1. Limit denge yöntemi ile yapılan geri analiz sonuçlarının özeti

Kesit No	c' (kPa)	ϕ' (°)	γ_n (kN/m ³)	γ_{doygun} (kN/m ³)
GA1	5	22,5	17,65	19,20
GA2	5	25,5	17,40	18,90
GA3	5	32	17,10	18,70
GA4	5	28	16,90	17,70
GA7	5	31	17,40	18,90

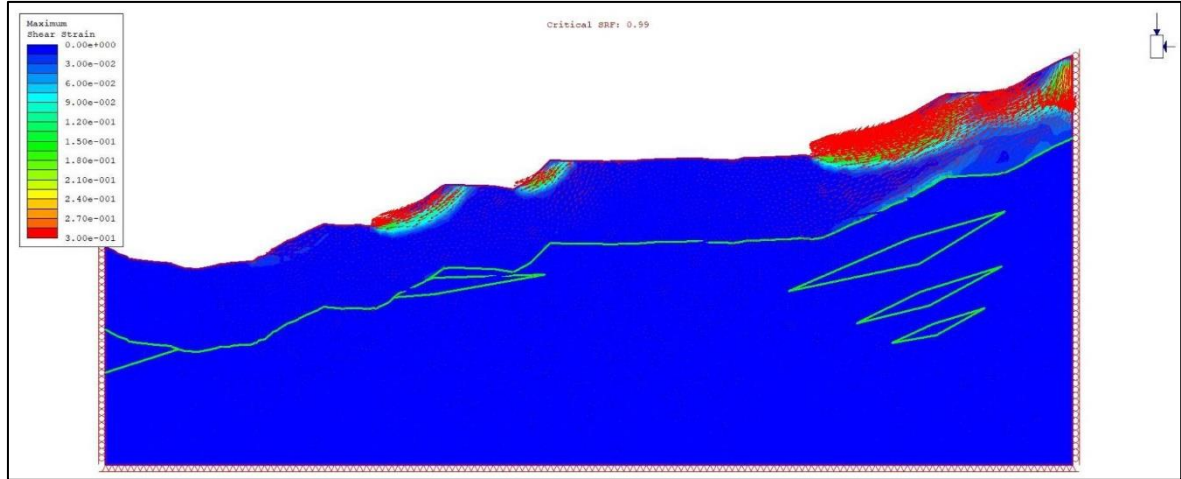
Bu rezidüel zeminler içerisinde oluşan duraysızlıkların mekanizmaları daha sonra da sonlu elemanlar analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir ve birbirleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Tez çalışması kapsamında GA4 ve GA7 numaralı kesitler üzerinde çalışılmıştır. Analizlerde kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de iki kesit için de sunulmuştur. Sağ ve sol sınır deplasmanlara izin verebilecek biçimde, alt sınır ise deplasmanlara izin verilmeyecek biçimde belirlenmiştir. Bu analizlere ait çıktılar ise Şekil 6.8 ve 6.9’da verilmiştir.



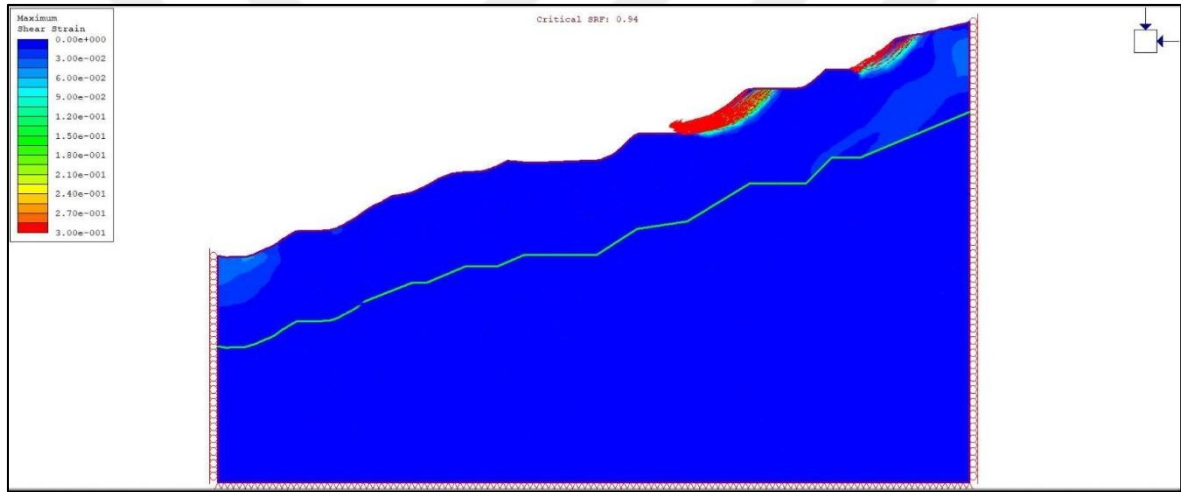
Şekil 6.6. GA4 numaralı sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları



Şekil 6.7. GA7 numaralı sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları



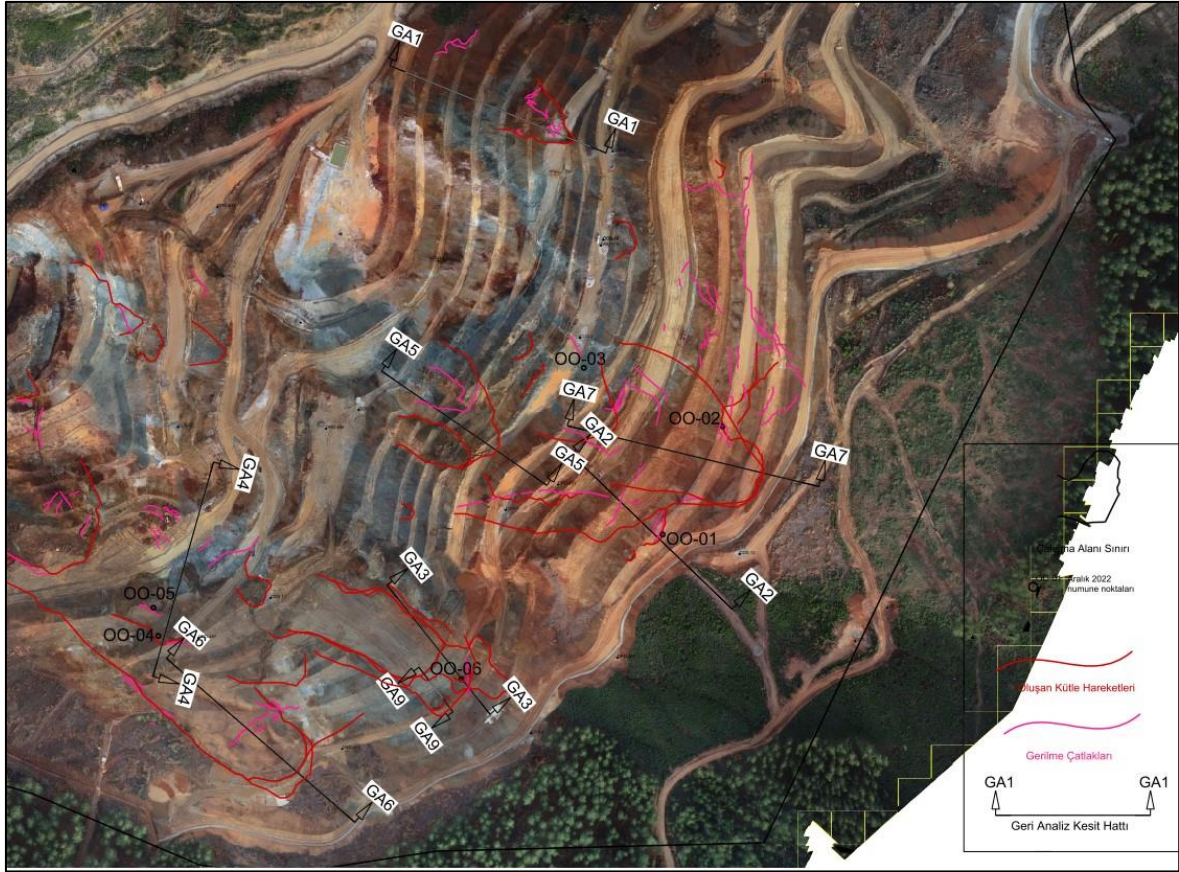
Şekil 6.8. GA4 numaralı sonlu elemanlar analizi çıktısı



Şekil 6.9. GA7 numaralı sonlu elemanlar analizi çıktısı

Laboratuvar deneyleri ile parametre tayini

Aynı zamanda, saha çalışmaları esnasında, kütle hareketlerinin gözlemlendiği şev yüzeylerinden 6 adet örselenmemiş numune alınmış ve konsolidasyonlu-drenajlı kesme kutusu deneyleri yaptırılmıştır (Harita 6.2.). OO-01 numaralı örnek GA2 numaralı heyelanın, OO-02 numaralı örnek GA7 numaralı heyelanın, OO-04 ve OO-05 numaralı örnekler GA4 numaralı heyelanın ve OO-06 numaralı örnek GA3 numaralı heyelanın şev yüzeyinden alınmıştır. OO-03 numaralı örnek ise olası fay yüzeyinden alınmıştır (Resim 6.10, 6.11 ve 6.12).



Harita 6.2. Alınan laboratuvar numunelerinin yerlerini ve geri analiz hatlarını gösterir plan

Numune alıcılar, zemin mekaniği laboratuvarlarında bulunan kesme kutusu deney aleti boyutlarına uygun olarak hazırlanmış çelik ve numune alıcının şev yüzeyine batırılacağı kısmı keskin olacak şekilde hazırlanmış kare kutulardan oluşturulmuştur. Numune alıcılar şev yüzeylerine insan gücü ile ittirilmiş ve numunenin kutuya dolduğundan emin olunduktan sonra etrafı kazılarak çıkarılmıştır. Numune alımının ardından kutunun açıkta kalan kısımları parafinlenerek, su kaybının en az seviyede olacağı şekilde paketlenmiştir.



Resim 6.10. Heyelan malzemesine ait örnekler (laboratuvar örneklerinden OO-01 ve OO-02)



Resim 6.11. Heyelan malzemesine ait örnekler (laboratuvar örneklerinden OO-03 ve OO-04)



Resim 6.12. Heyelan malzemesine ait örnekler (laboratuvar örneklerinden OO-05 ve OO-06)

Laboratuvar sonuçları ile geri analiz sonuçlarının birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir. Özellikle rezidüel makaslama dayanımında, artık (rezidüel) kohezyonun sıfıra yakın olduğu bilinirken laboratuvar sonuçlarında bu durum gözlenememiştir. Bu durumun sebebi ise örnek alımı sırasındaki uygulama hataları olabileceği gibi yapılan laboratuvar deneylerindeki hatalar da olabilir. Deney sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Konsolidasyonlu-drenajlı kesme kutusu deney sonuçları

Numune Numarası	OO-01	OO-02	OO-03*	OO-04	OO-05	OO-06
W _n (%)	20,1	16,0	19,3	25,1	21,5	18,0
γ_n (gr/cm ³)	1,77	1,80	1,74	1,70	1,72	1,76
LL (%)	31,0	53,3	29,0	30,3	47,6	35,6
PL (%)	20,3	27,0	21,4	23,9	28,2	25,8
PI (%)	10,7	26,4	7,6	6,4	19,4	9,8
Zemin Sınıfı (USCS)	CL	CH	SC	ML	ML	ML
c (kPa) (CD) (peak)	17,2	58,2	14,7	12,8	21,6	30,5
ϕ (°) (CD) (peak)	8	14	13	7	11	13
c (kPa) (CD) (residual)	7,4	20,8	9,4	5,2	13,9	17,9
ϕ (°) (CD) (residual)	5	8	6	5	6	7

* OO-03 numaralı numune, diğer kayma yüzeylerinden alınan numunelerden zemin sınıfı olarak farklıdır ve heyelan malzemesini yansıtmamaktadır. Bu sebeple tez çalışması kapsamında kullanılmamıştır. Bilgi amaçlı verilmiştir.

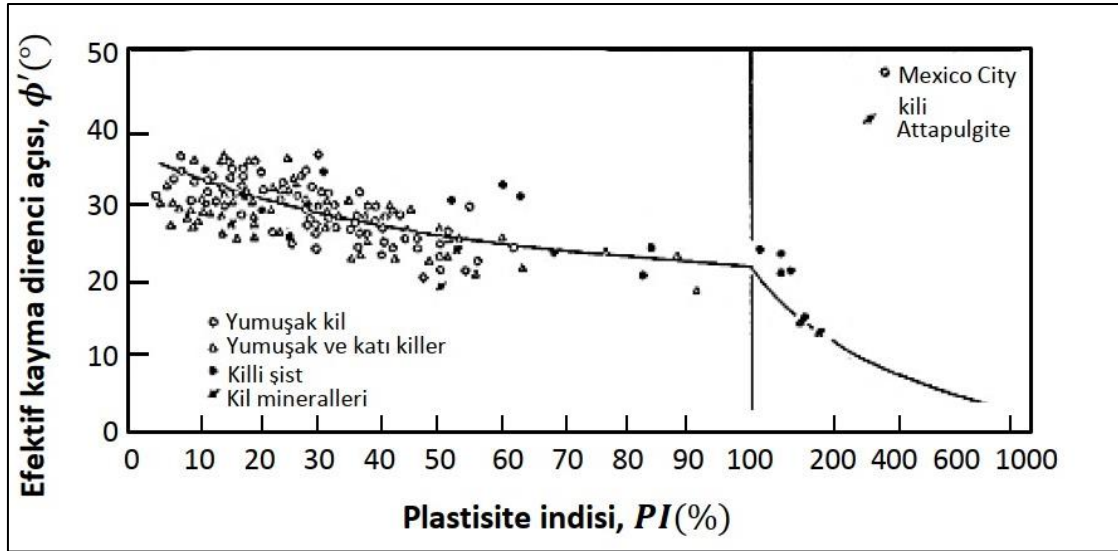
Görgül (ampirik) bağıntılar ile parametre tayini

Zemin mekaniği deneyleri örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden oluşmaktadır. Örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan ve mukavemet/deformasyon parametrelerinin belirlenmesine yönelik deneyler genellikle zaman alıcı deneyler olup ülkemizde genellikle az sayıda ve ancak iyi donanımlı laboratuvarlarda yapılabilmektedir [38].

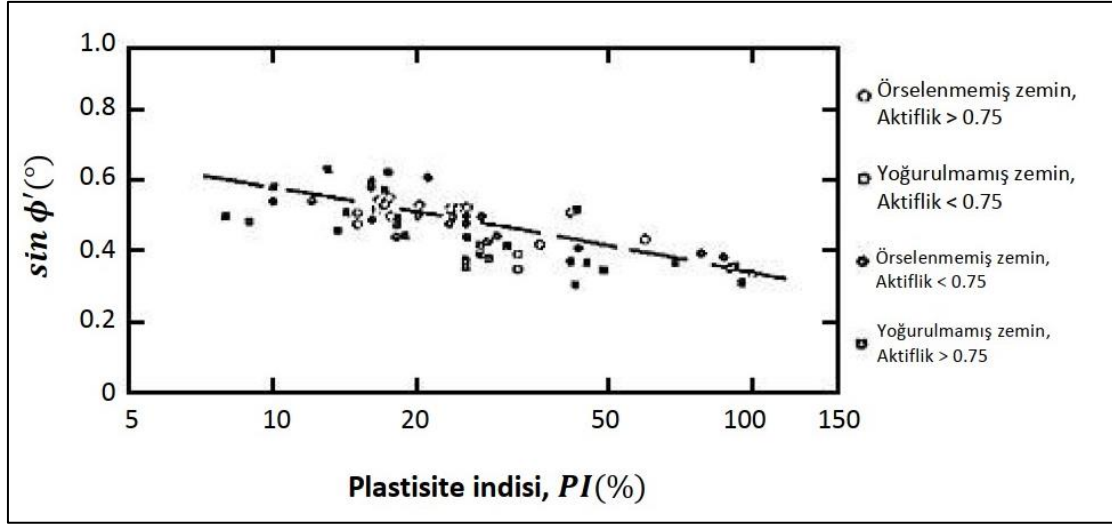
Örselenmiş örnekler üzerinde, ağırlıklı olarak zemin türlerinin belirlenmesine yönelik yapılan tanımlama deneyleri ise kısa süre alan, düşük maliyetli ve çok sayıda laboratuvarda yapılabilen rutin deneylerdir. Tanımlama deneyleri çalışmalarda çok sayıda yapılmakta ve yeterli veri tabanı oluşturmaktadır [38].

Literatürde, kolayca belirlenebilen zemin özellikleri ile daha maliyetli ve zaman alan deneylerden elde edilen parametreler arasında korelasyonlar önerilmiştir [38].

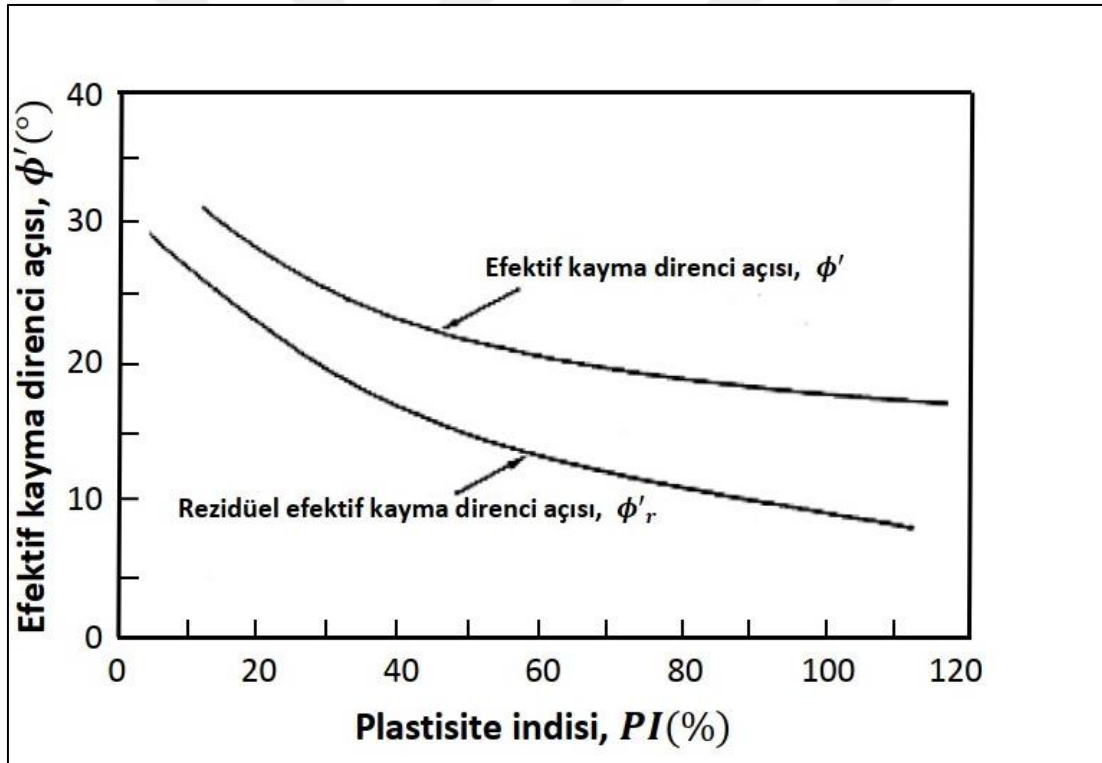
Bu korelasyonlarda birisi de zeminin plastisite indisi ile efektif kayma direnci açısı arasında önerilen korelasyonlardır. Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12’de bu korelasyonlar gösterilmektedir.



Şekil 6.10. Plastisite indisi-efektif kayma direnci açısı ilişkisi [39]



Şekil 6.11. Plastisite indisi-efektif kayma direnci açısı ilişkisi [40]



Şekil 6.12. Plastisite indisi-efektif kayma direnci açısı ilişkisi [41]

Laboratuvardan gelen Atterberg limitleri deney sonuçları kullanarak görgül bağıntılar ile tayin ettiğimiz efektif kayma direnci açıları, geri analiz modellerine girildiğinde GS=1 için Çizelge 6.3'te gözlenen sonuçları vermektedir.

Çizelge 6.3. Görgül bağıntılar kullanılarak hesaplanan efektif kayma direnci açıları ve geri analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Kesit No	ϕ_r (°)	PI (%)	c' (kPa)	ϕ' (°)
	Görgül Bağıntılar ile Hesaplanan		Geri Analiz ile Hesaplanan	
GA1	22	26.40 (OO-02)	5	22,5
GA2	27	10.70 (OO-01)	5	25,5
GA3	28	9.80 (OO-06)	5	32
GA4	26	12.90 (OO-04 ve OO-05'in ortalaması)	5	28
GA7	29	6.40 (OO-04)	5	31

Sonuç olarak, nihai durum ocak stabilite analizlerinde kullanılmak üzere geri analiz sonuçlarından elde edilen parametrelerin kullanılması uygun görülmüştür.

6.2.2. Kaya kütle parametreleri

Hem geri analizlerde hem de ilerleyen bölümlerde yer alan nihai ocak stabilite analizlerinde, heyelan malzemesi ve rezidüel zemin niteliğindeki birimin altında bulunan “tamamen ayrıışmış” ve “orta ayrıışmış” kaya birimlerin özelliklerine de ihtiyaç vardır. “Tamamen ayrıışmış kaya” biriminin ayrışma dereceleri fazla olsa da kaya özelliklerini koruması sebebi ile kaya kütle sınıflaması yapılmış ve kaya kütle parametreleri atanmıştır. “Orta ayrıışmış kaya” birimi ise çalışma sahasında, kırıklı-çatlaklı, kaya formunu koruyan özelliklerde gözlenmiştir. Resim 6.13, 6.14, 6.15 ve Şekil 6.16’da hem “tamamen ayrıışmış kaya” hem de “orta ayrıışmış kaya” birimlerine ait örnek fotoğraflar bulunmaktadır.



Resim 6.13. Tamamen ayrıışmış kaya kütlelerine ait fotoğraflar (1)



Resim 6.14. Tamamen ayrılmış kaya kütlmesine ait fotoğraflar (2)

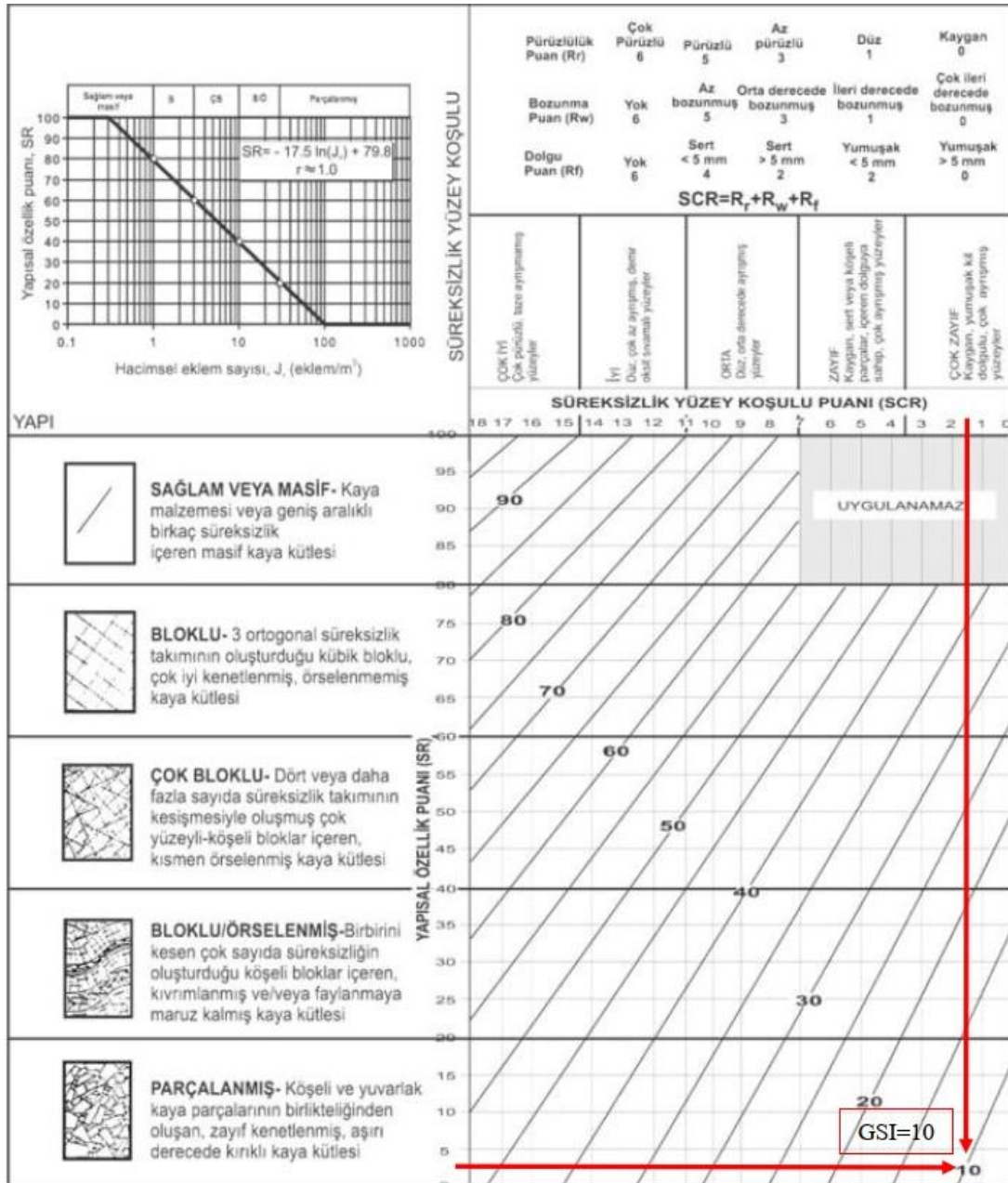


Resim 6.15. Orta ayrılmış kaya kütlmesine ait karot fotoğrafları (1)

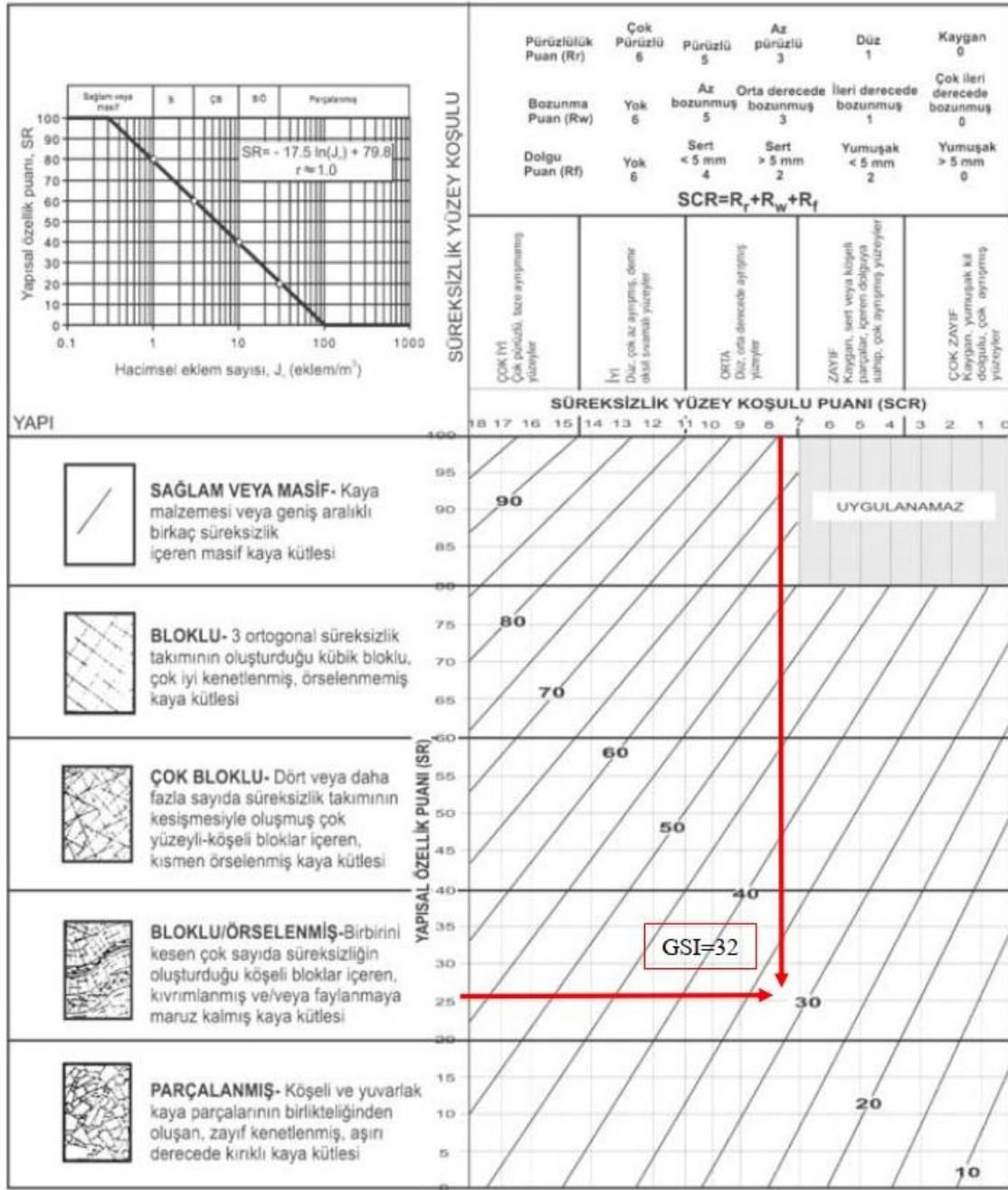


Resim 6.16. Orta ayrılmış kaya kütlmesine ait karot fotoğrafları (2)

Çalışma sahasında tamamen ve orta ayrılmış kaya birimleri için Hoek-Brown yenilme ölçütü esas alınarak kaya kütlelerinin mekanik özellikleri belirlenmiştir [42]. Ocak fizibilite çalışmalarından başlanarak günümüze kadar, ocak işletmesi tarafından birçok sondaj çalışması yapılmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri çalışma sahasında yapılan sondajlar ve arazi çalışmalarından, m_i değeri ise farklı kaya türlerine göre oluşturulmuş tablolardan alınmıştır [43]. GSI puanı, 2002 yılında Sönmez ve Ulusay tarafından son hali verilen GSI abağı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 6.13 ve 6.14).



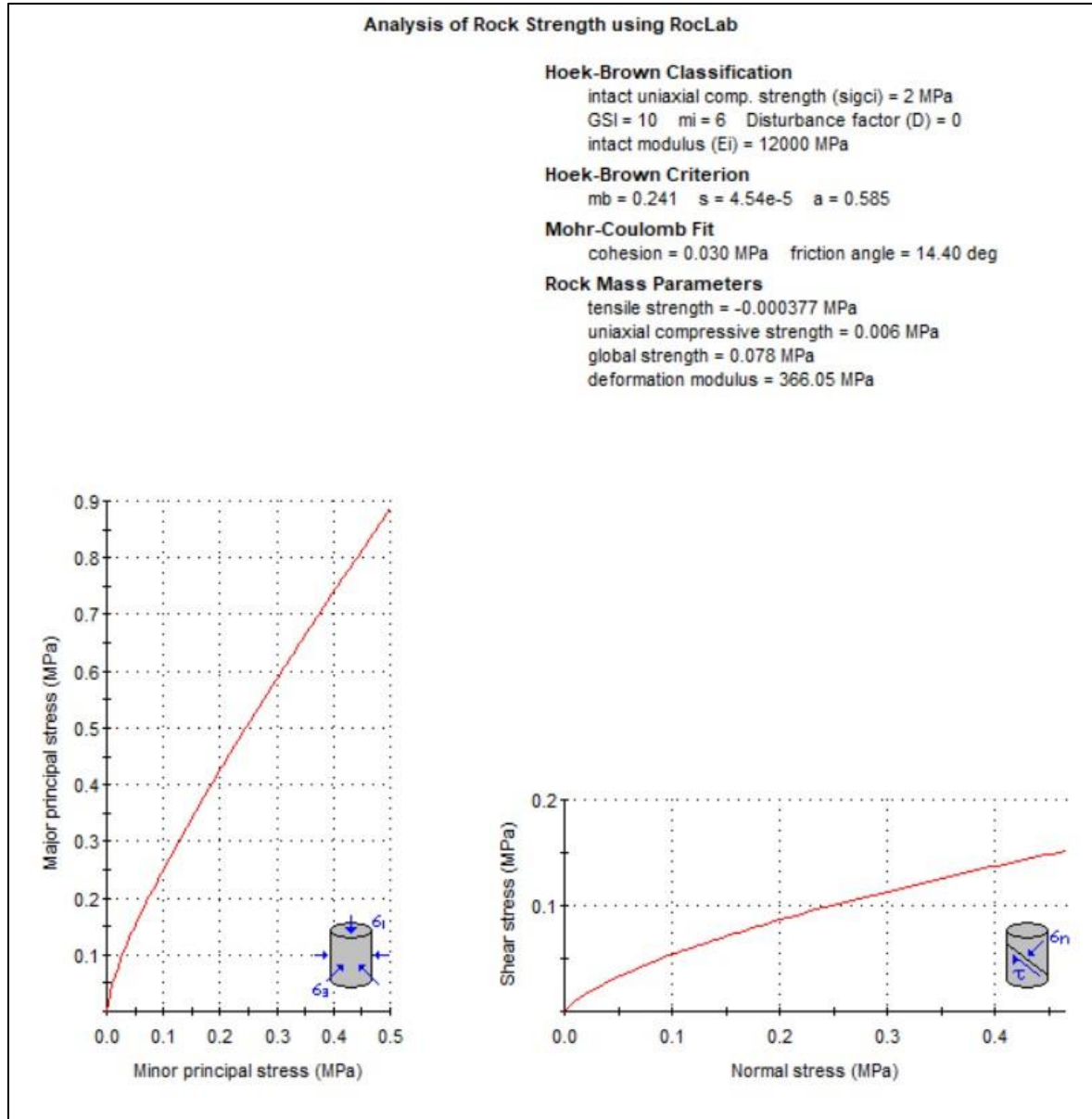
Şekil 6.13. Tamamen ayrılmış kaya birimine ait GSI puanı [23]



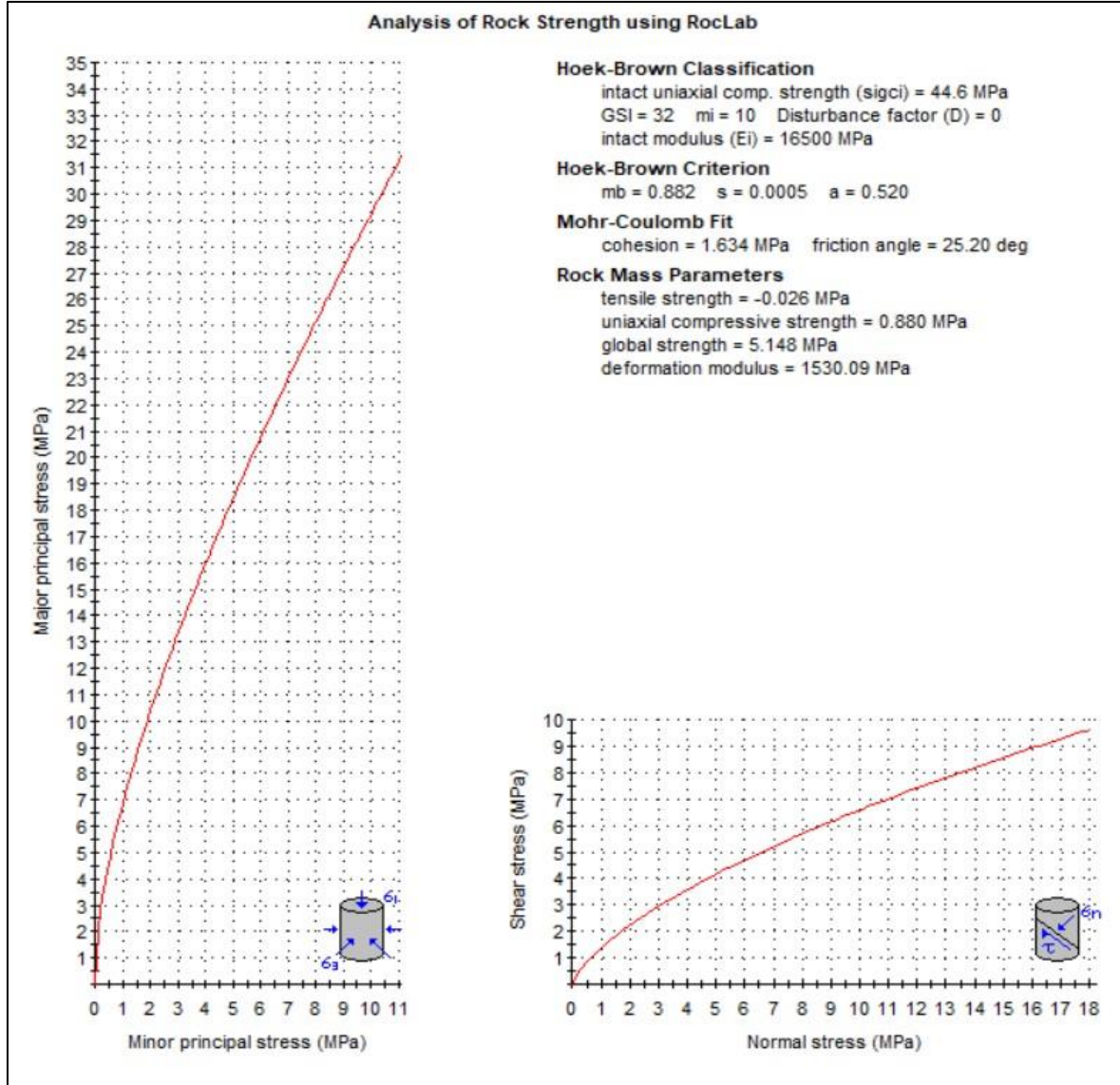
Şekil 6.14. Orta ayrılmış kaya birimine ait GSI puanı [23]

D_f, kaya kütlesi örselenme faktörüdür ve patlatma hasarı veya gerilme yumuşamasına maruz kalan kaya kütlesinin örselenme derecesidir. Örselenmemiş kaya kütleleri için 0'dan başlayarak, çok örselenmiş kayalarda 1'e kadar değişen aralıkta değerler alır [40]. Çalışma sahasında yapılan kazı düşük kaliteli kaya kütlelerinde (patlatma yapılmamış) mekanik olarak veya elle yapılan kazı sınıfına girdiği için D_f=0 olarak alınmıştır.

Tüm bu veriler kullanılarak, Hoek-Brown boyutsuz malzeme sabitlerine geçilmiştir (Şekil 6.15 ve 6.16).



Şekil 6.15. Tamamen ayrılmış kaya birimine ait RocLab çıktısı [43]



Şekil 6.16. Orta ayrışmış kaya birimine ait RocLab çıktısı [43]

En son olarak, Çizelge 6.4 ve 6.5'te her iki malzeme için de kaya kütlesi mekanik özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 6.4. Tamamen ayrışmış kaya birim için Hoek-Brown Yenilme Ölçütü esas alınarak belirlenmiş kaya kütlesi mekanik özellikleri

Birim Hacim Ağırlık (γ) (kN/m ³)	m_i (-)	GSI (-)	σ_{ci} (MPa)	m_b (-)	s (-)	a (-)	Örselenme Faktörü (Df) (-)
23	6	10	2,00	0,241	0,0000454	0,585	0

Çizelge 6.5. Orta ayrışmış kaya birim için Hoek-Brown Yenilme Ölçütü esas alınarak belirlenmiş kaya kütlesi mekanik özellikleri

Birim Hacim Ağırlık (γ) (kN/m ³)	m_i (-)	GSI (-)	σ_{ci} (MPa)	m_b (-)	s (-)	a (-)	Örselenme Faktörü (Df) (-)
26	10	32	44,60	0,882	0,0005	0,520	0

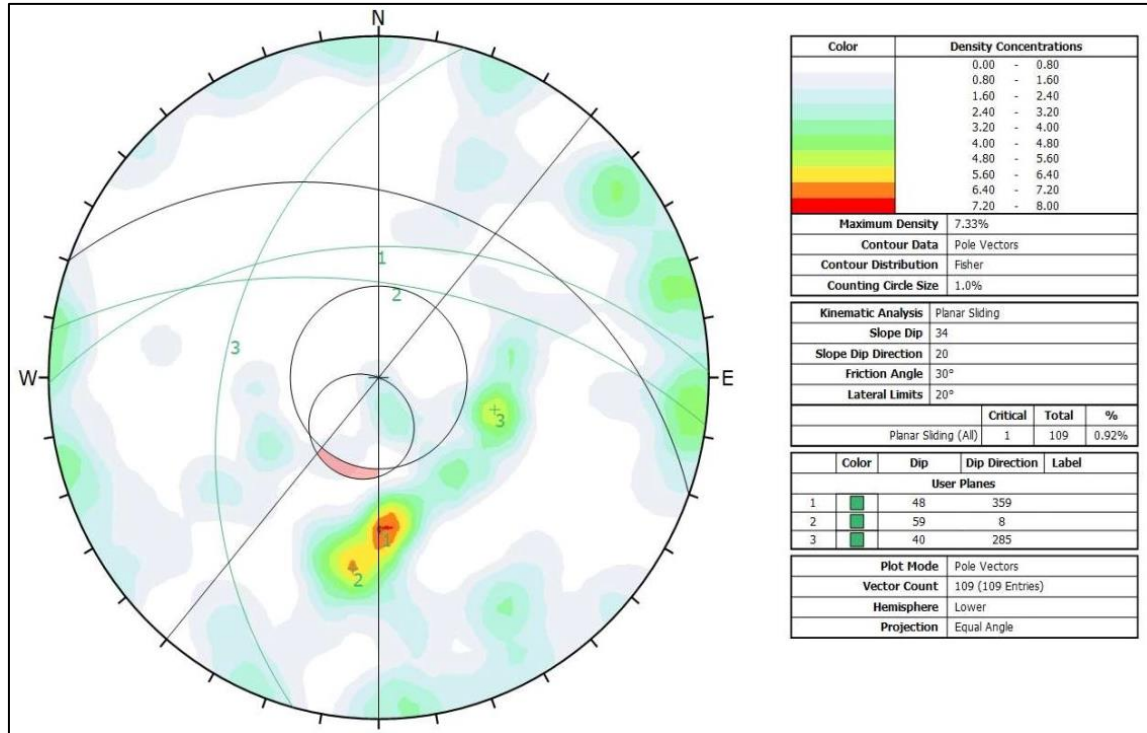
6.3. Süreksizlik Ölçümleri ve Kinematik Analizler

Tez sahasında ayrışmanın nispeten daha düşük olduğu zonlarda süreksizlik düzlemleri ölçülerek süreksizlik koşulları değerlendirilmiş ve süreksizlik kontrollü duraysızlıklar kinematik analizler ile değerlendirilmiştir. Ölçülen süreksizlik düzlemleri kayma yüzeyi, çatlak, foliasyon ve faylardan oluşmaktadır ve liste olarak EK-2’de verilmiştir. Kayma yüzeyleri hariç tüm ölçümler kinematik analiz için kullanılmıştır (Harita 6.3). Kinematik analiz sonuçları Şekil 6.17 ve 6.18’de verilmiştir.

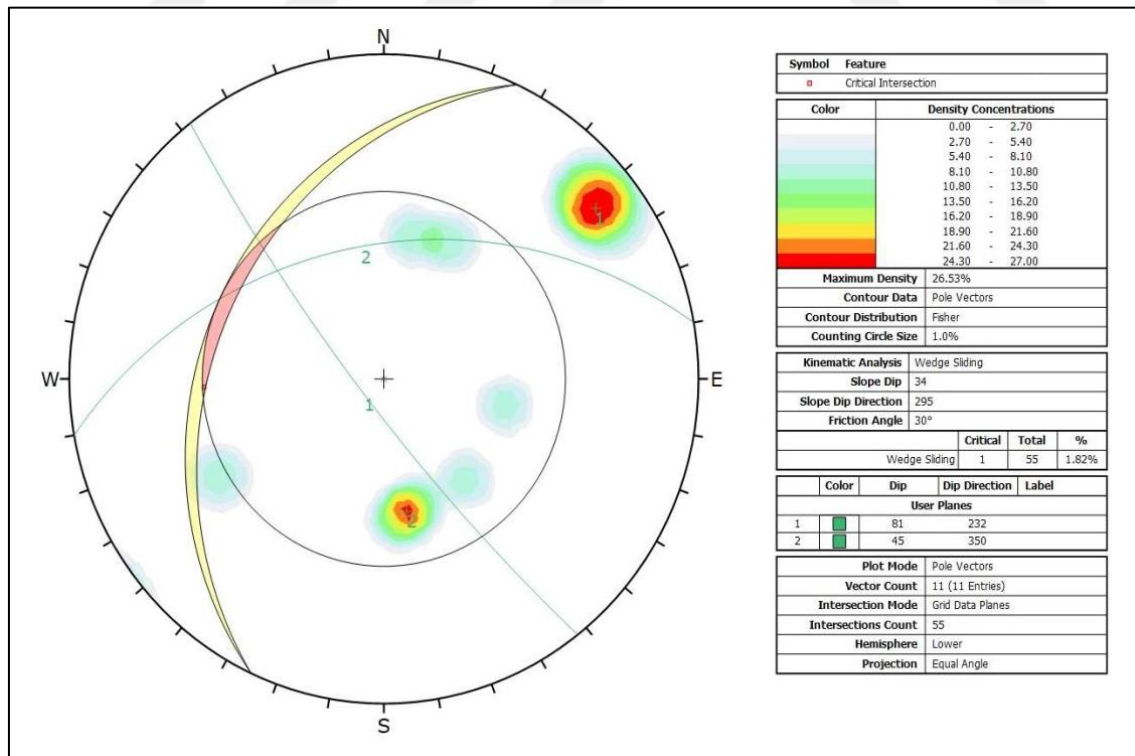
Devrilme, dike yakın süreksizlikler içeren ve bu süreksizlikleri bölen diğer süreksizliklerin oluşturduğu blokların kayması sonucu meydana gelir. Topuktaki ilk ve en kısa blok kayınca arkadaki bloklarda devrilme davranışı gösterebilir [1]. Çalışma sahasında, devrilmeye sebep olacak süreksizlik yapıları bulunmadığı için, tez çalışmaları kapsamında devrilme türü kayma için kinematik analizler yapılmamıştır.



Harita 6.3. Ölçümü yapılan süreksizlikleri gösterir plan (kırmızı noktalar alınan çatlak, foliasyon ve fay yüzeylerine aittir)



Şekil 6.17. Süreksizlik düzlemleri kullanılarak mevcut şevlerde süreksizlik kontrollü duraysızlık olasılığının kinematik analizler ile değerlendirilmesi (düzlemsel kayma)



Şekil 6.18. Süreksizlik düzlemleri kullanılarak mevcut şevlerde süreksizlik kontrollü duraysızlık olasılığının kinematik analizler ile değerlendirilmesi (kama tipi kayma)

Şekil 6.17'ye baktığımızda, dairesel kayma için, ölçümü alınan tüm süreksizliklere ait veri girişi ile kazı şev yüzeylerinin genel eğim yönü/eğim açısı karşılaştırıldığında sadece 1 adet süreksizlikte kritik durum olduğu ve diğer süreksizliklerde herhangi bir kritik durumun gözlenmediği anlaşılmaktadır.

Şekil 6.38'e baktığımızda, kama tipi kayma için, ölçümü alınan tüm süreksizliklere ait veri girişi ile kazı şev yüzeylerinin genel eğim yönü/eğim açısı karşılaştırıldığında sadece 1 adet süreksizlikte kritik durum olduğu ve diğer süreksizliklerde herhangi bir kritik durumun gözlenmediği anlaşılmaktadır.

Bu veriler değerlendirildiğinde, çalışma sahasında meydana gelmiş olan kütle hareketlerinin, kayalarda bulunan süreksizliklerden kaynaklı değil de rezidüel zeminler içerisinde meydana gelen dairesel kayma mekanizmalarından dolayı gerçekleştiği anlaşılmaktadır.



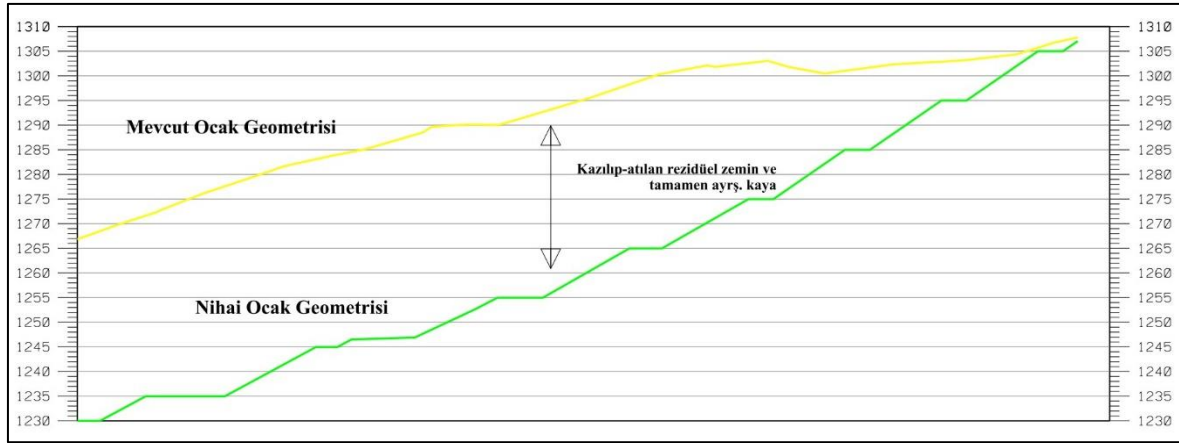
7. MADEN OCAĞININ NİHAİ TASARIMINA YÖNELİK ANALİZLER

7.1. Stabilite Analizleri

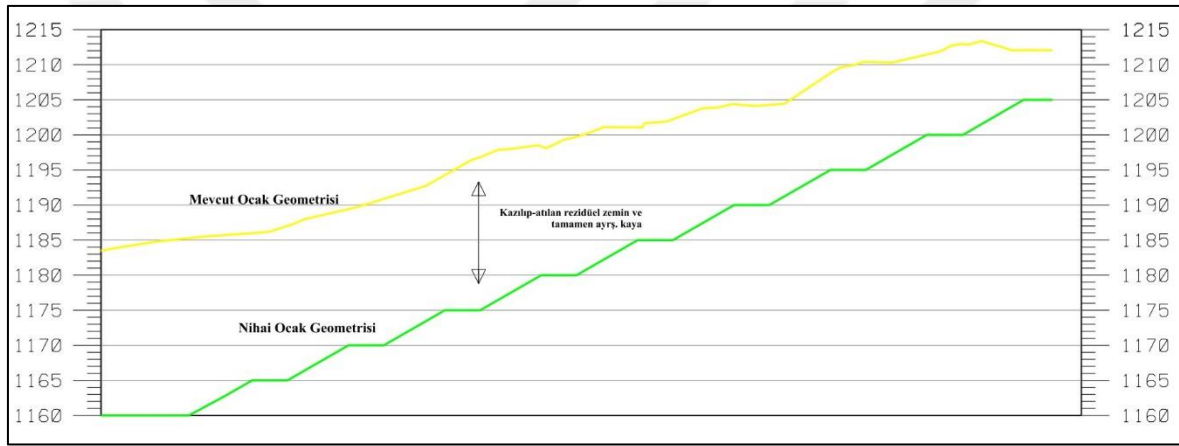
Stabilite analizlerinde, cevher geometrisi dikkate alınarak nihai ocak geometrisi kullanılmıştır. Bu varsayım, tüm ocağın 30^0 basamak açısıyla tasarlandığı geometriyi göstermektedir (Harita 7.1). Tüm ocağı temsil edecek ve ocak için kritik olan iki ayrı hattan kesitler alınıp analizler bu kesitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu analizler gerçekleştirilirken açık ocağa ait hidrojeolojik kavramsal model belli olmadığı için tüm kesitler yeraltı suyunun yüzeyde olduğu koşulu ile başlamış ve yatay ve düşey drenlerle susuzlaştırma çalışmaları koşulları gerçekleştirilmesi koşulları düşünülerek, her bir kesit için üst kottan itibaren belirli aralıklarla yeraltı suyu tablasının geriye çekildiği varsayımına gidilmiştir.

Bu doğrultuda, iki kritik kesit üzerinde statik ve pseudo-statik yükleme koşulları altında 2 boyutlu limit denge metoduna göre stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kayma düzlemleri, zemin ortamlar için dairesel (circular) ve kaya ortamlar için dairesel olmayan (non-circular) şekilde seçilmiştir.

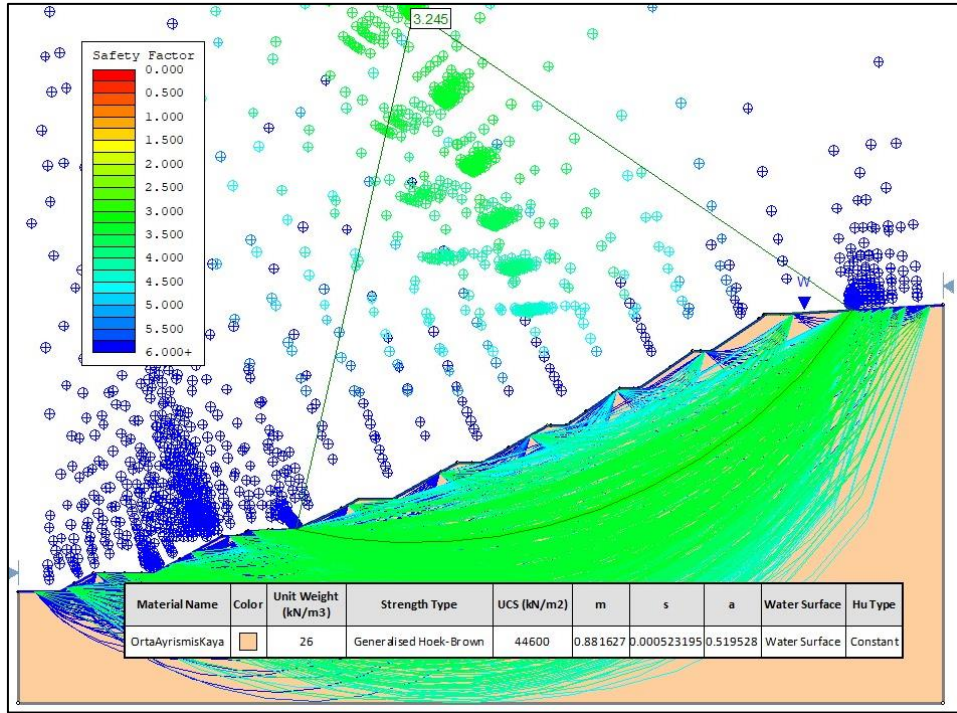
Stabilite analizleri yapılırken, limit denge analiz yöntemlerinden “Spencer” kullanılmıştır. Bunun sebebi ise hem kuvvet dengesini hem de moment dengesini kullanması ve tüm kayma yüzeyleri için uygun olmasıdır.



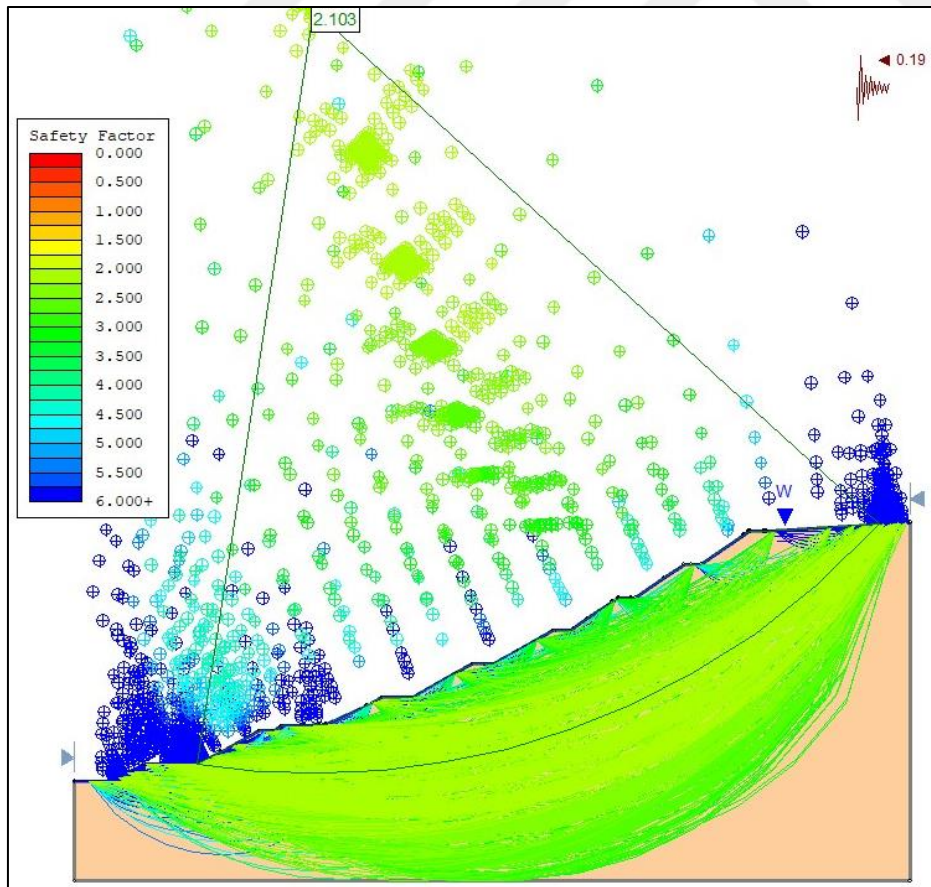
Şekil 7.1. K1 hattına ait mevcut ve nihai ocak topoğrafyalarını gösterir kesit



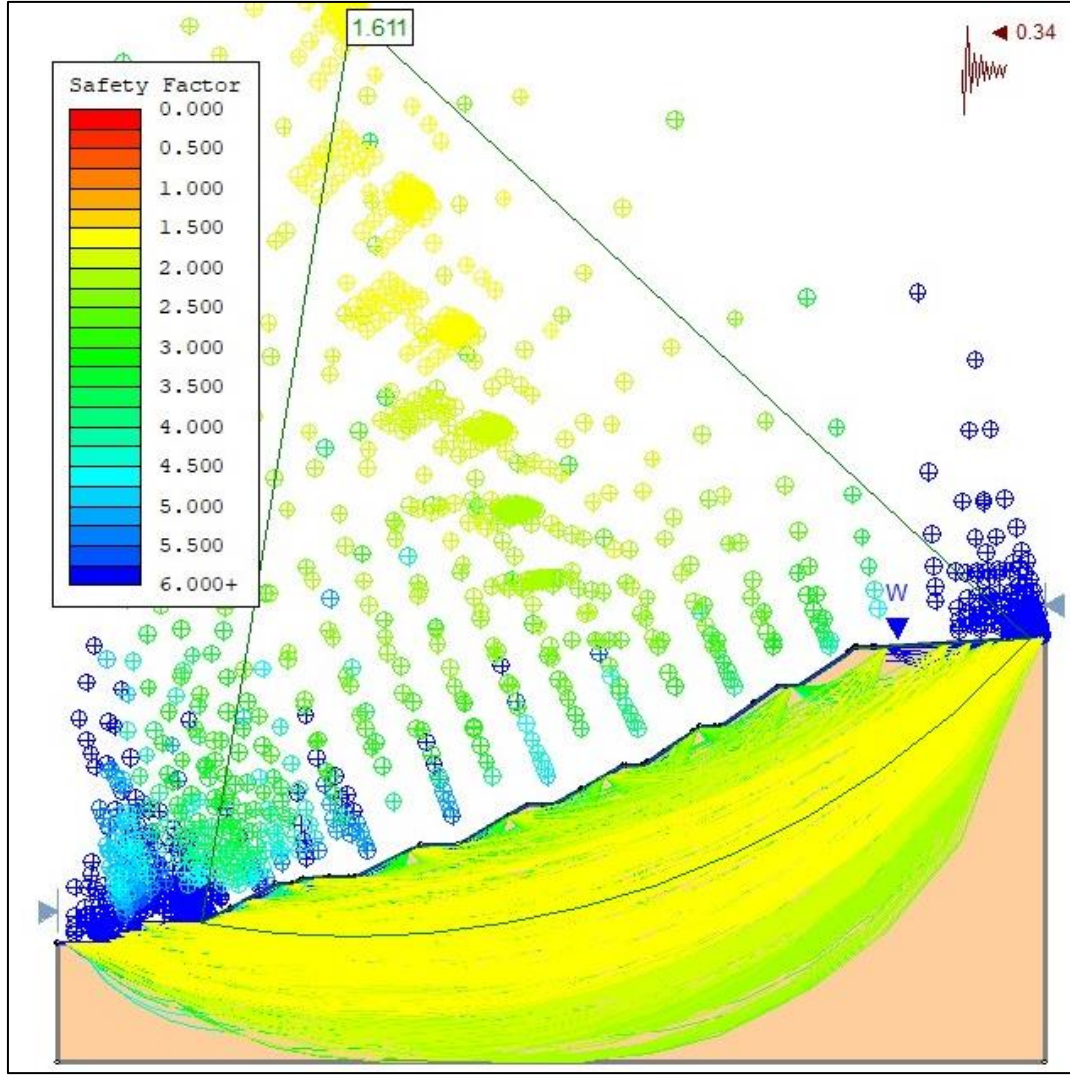
Şekil 7.2. K6 hattına ait mevcut ve nihai ocak topoğrafyalarını gösterir kesit



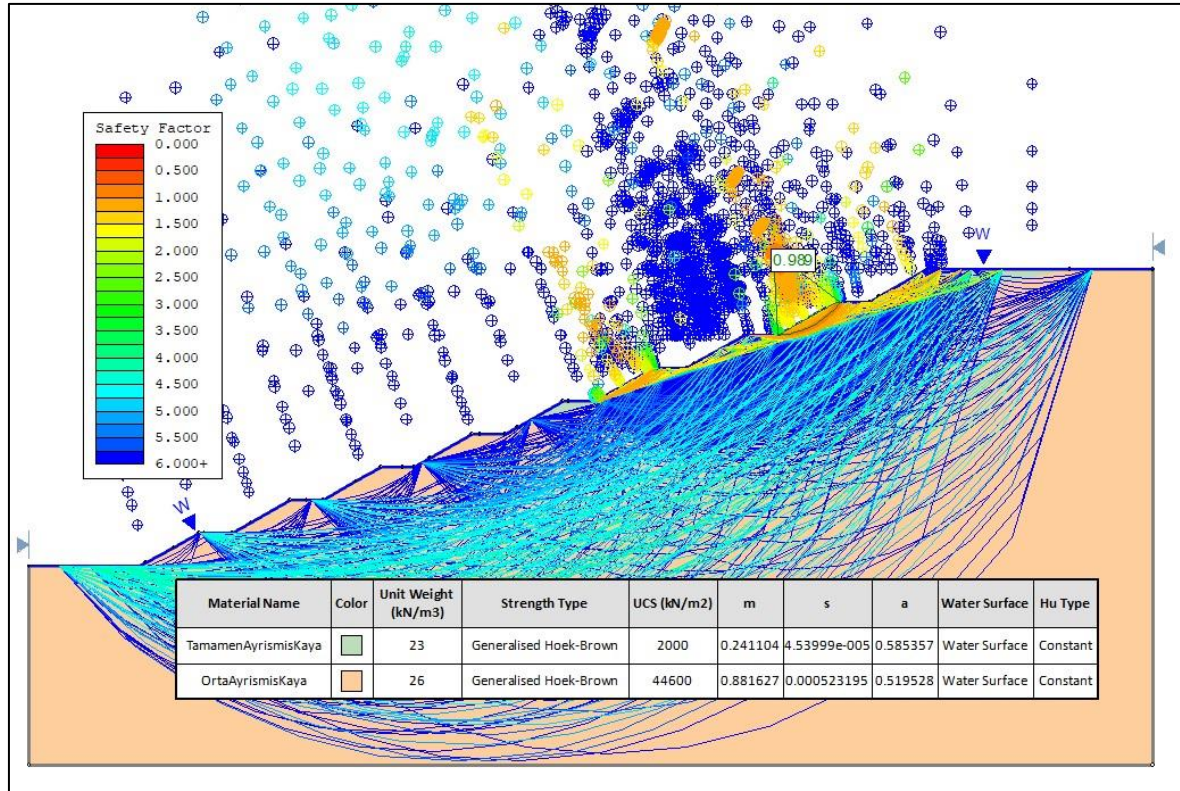
Şekil 7.3. K1 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum)



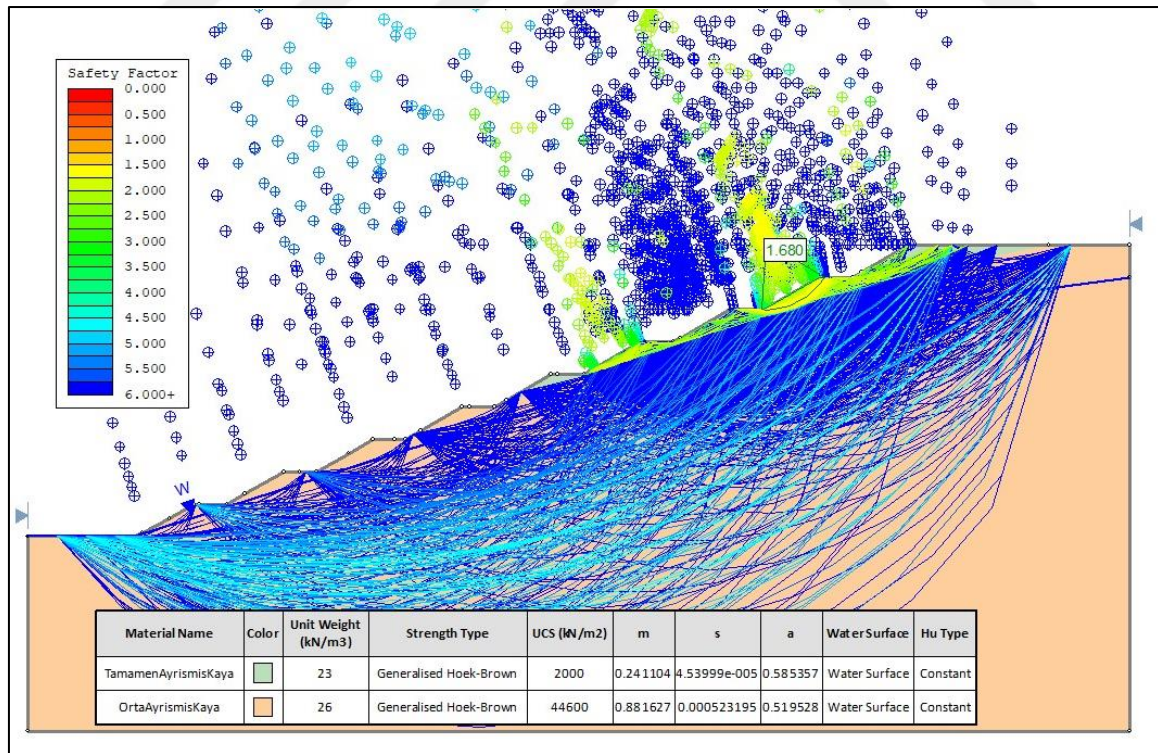
Şekil 7.4. K1 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/pseudo-statik durum / DD2)



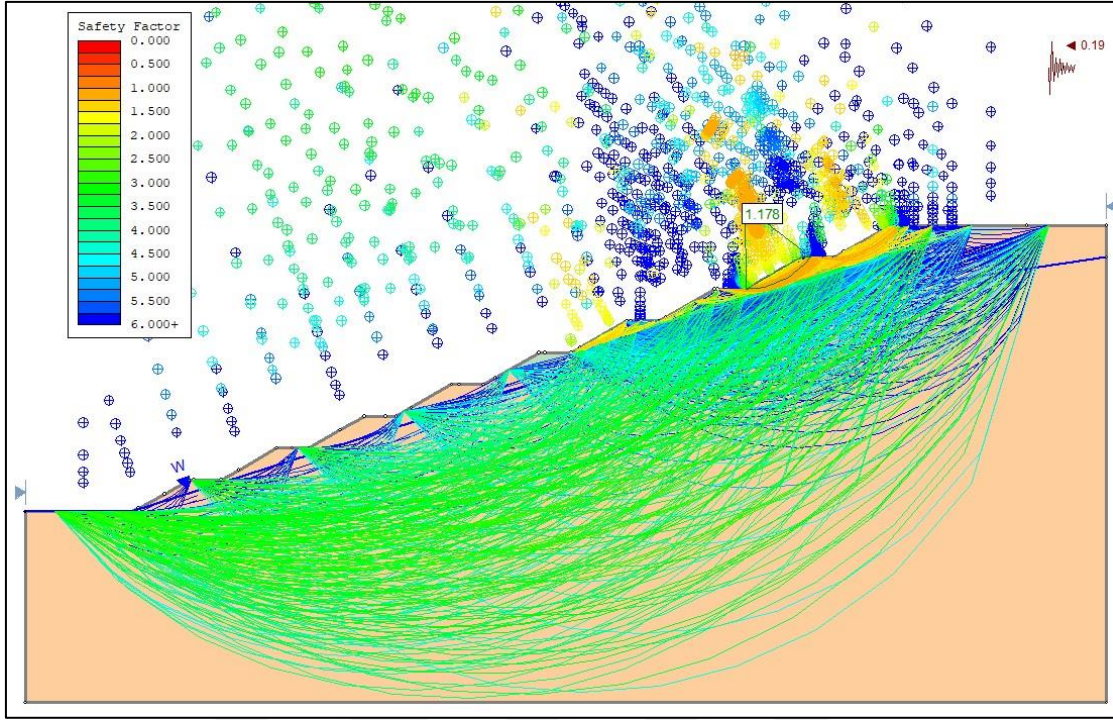
Şekil 7.5. K1 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/pseudo-statik durum / DD1)



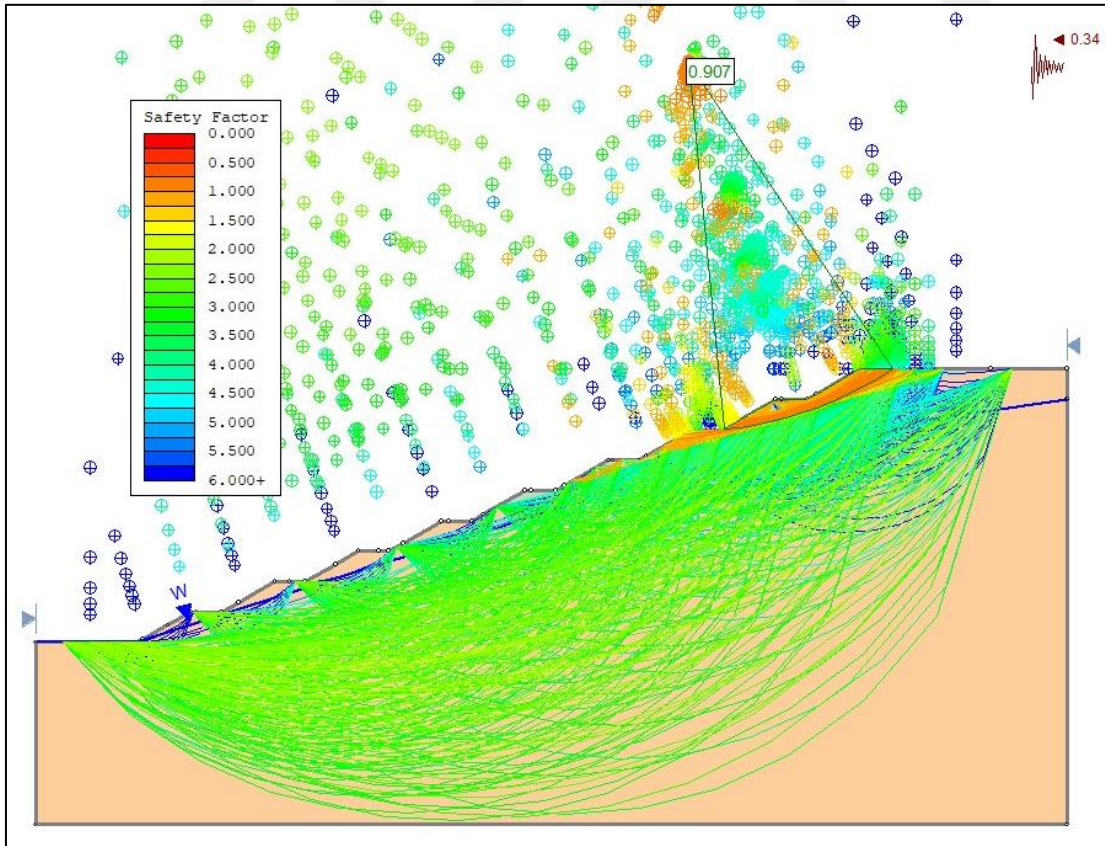
Şekil 7.6. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum)



Şekil 7.7. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/statik durum)



Şekil 7.8. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/pseudo-statik durum / DD2)



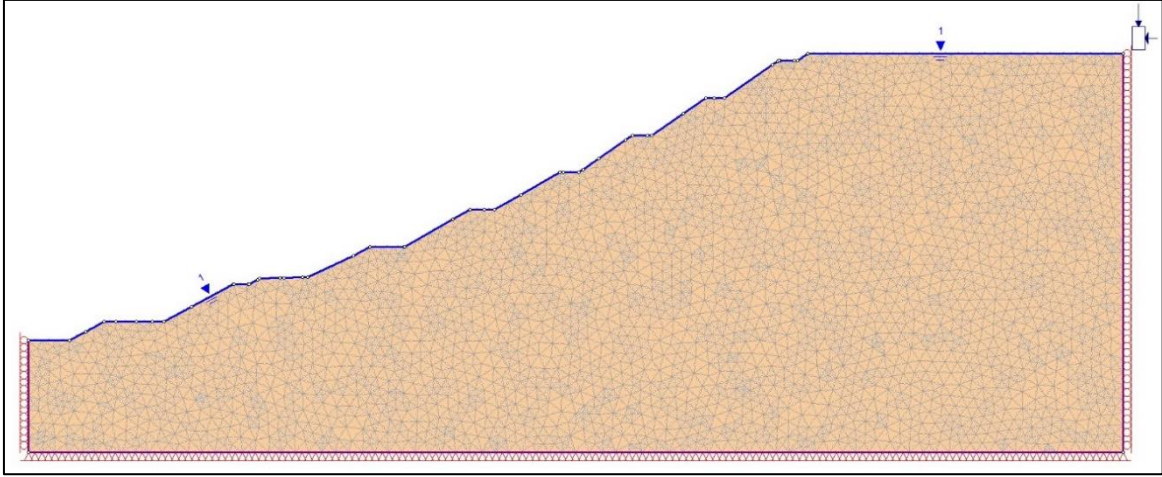
Şekil 7.9. K6 numaralı kesit (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/pseudo-statik durum / DD1)

Çizelge 7.1. Limit denge yöntemi ile yapılan nihai ocak tasarımına yönelik stabilite analiz sonuçlarının özeti

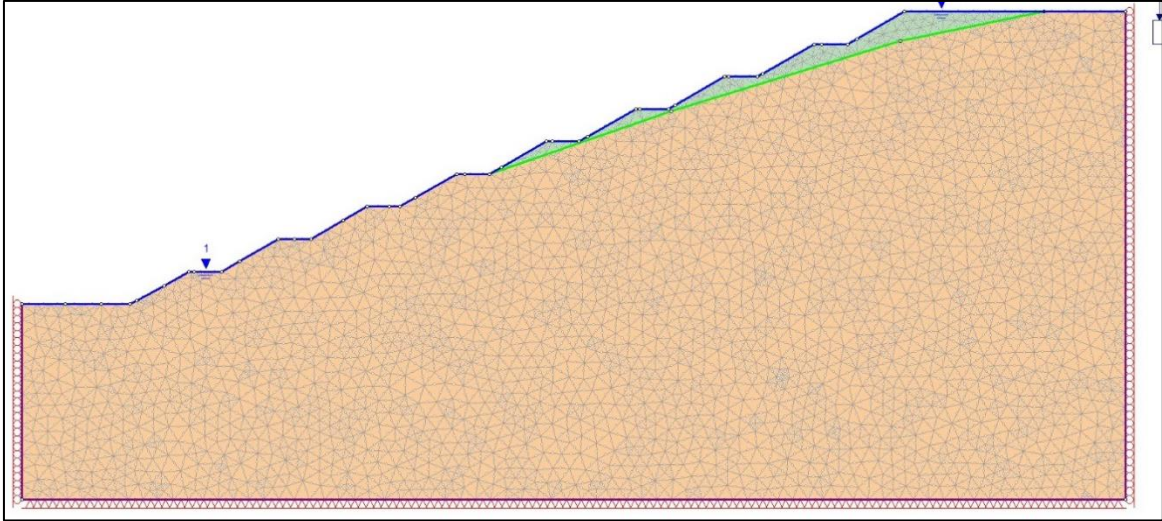
Analiz No	Kesit No	Yeraltı Suyu Durumu	Statik Durum / Güvenlik Sayıları	Pseudo Statik Durum / Güvenlik Sayıları (DD2)	Pseudo Statik Durum / Güvenlik Sayıları (DD1)
1	K1	Yüzeyde	3,25	2,10	1,61
2	K6	Yüzeyde	0,99	-	-
3	K6	Yüzeyden 5 metre derinde	1,68	1,18	0,91

Yukarıdaki çizelgeye bakıldığında 1 ve 3 numaralı analizlerde, bu tez kapsamında kabul edilebilir en küçük güvenlik sayılarının yakalandığı görülmektedir. Fakat yine 3 numaralı analizde 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlama periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD1) için aranan en küçük güvenlik sayısını sağlayamadığı görülmektedir. Ancak, ocak nihai tasarımına yönelik stabilite sağlanabilmesi için 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlama periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD2) durumunda en küçük güvenlik katsayısını yakalaması koşulu aranmaktadır ve bu koşulu sağlamaktadır.

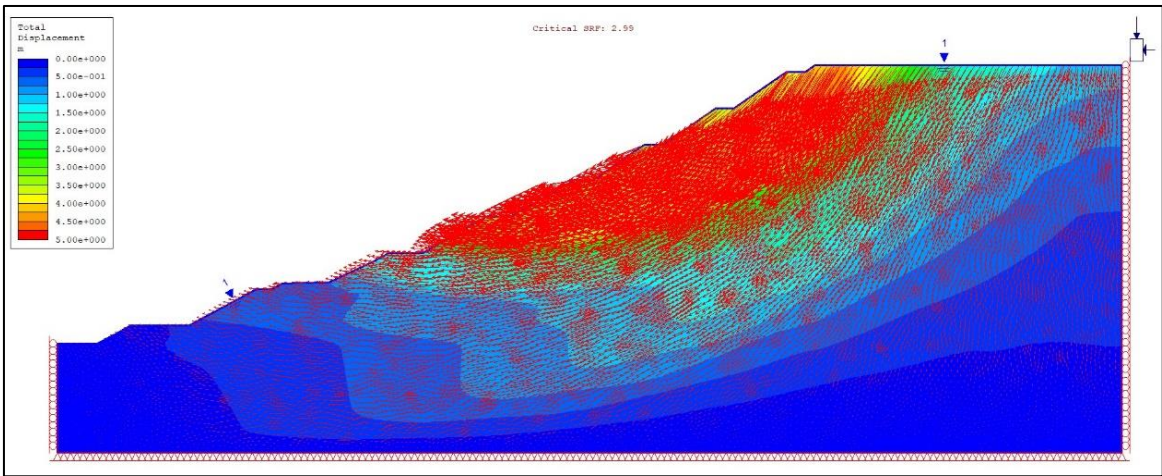
Bu şevlerde oluşan duraysızlıkların mekanizmaları daha sonra da sonlu elemanlar analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir ve birbirleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Analizlerde kullanılan sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de iki kesit için de sunulmuştur. Sağ ve sol sınır deplasmanlara izin verebilecek biçimde, alt sınır ise deplasmanlara izin verilmeyecek biçimde belirlenmiştir. Analizlere ait çıktılar K1 kesiti için Şekil 7.12’de; K6 kesiti için Şekil 7.13 ve 7.14’te verilmiştir.



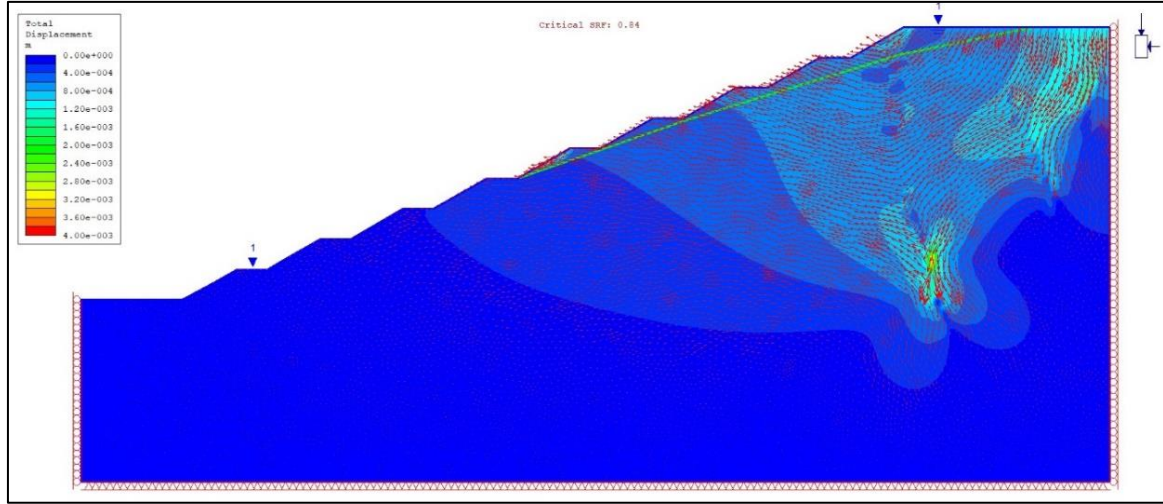
Şekil 7.10. K1 numaralı kesit için sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları



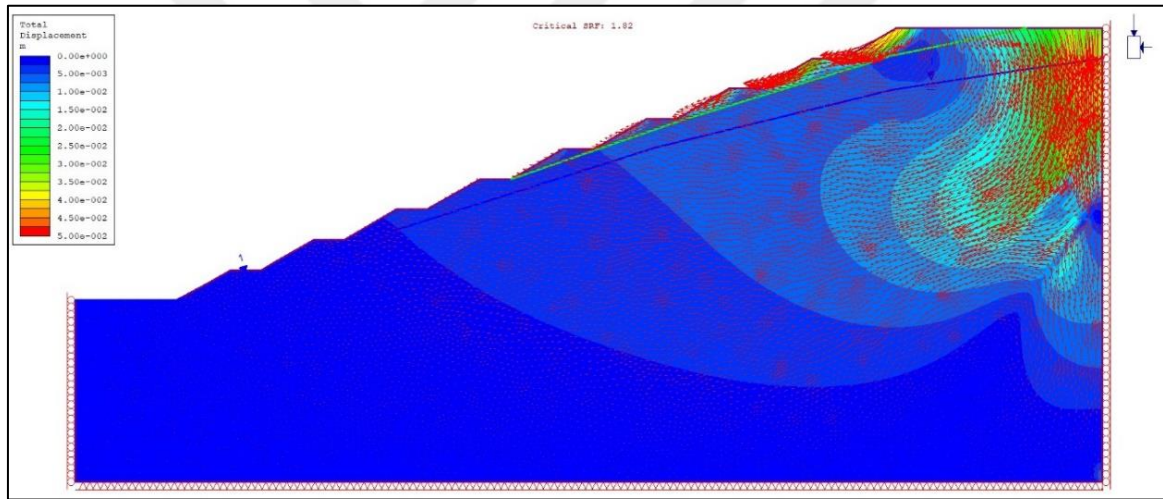
Şekil 7.11. K6 numaralı kesit için sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları



Şekil 7.12. K1 numaralı kesit (sonlu elemanlar yöntemi) (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum)



Şekil 7.13. K6 numaralı kesit (sonlu elemanlar yöntemi) (yeraltı suyu tablasının yüzeyde olma koşulu/statik durum)



Şekil 7.14. K6 numaralı kesit (sonlu elemanlar yöntemi) (yeraltı suyu tablasının yüzeyden 5 m aşağıda olma koşulu/statik durum)

7.2. Dinamik Analizler

Çalışılan “K6” numaralı kesitin susuzlaştırma çalışmaları ile yeraltı suyunun yüzeyden 5 metre geriye çekilmesi koşulu ile yeraltı suyunun yüzeyde olması koşulu ve Peer kuvvetli yer hareketi veri tabanından alınan deprem kaydı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile dinamik koşullar altında zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir.

7.2.1. Kullanılan deprem kaydı

Peer kuvvetli yer hareketi veri tabanı kullanılarak, moment büyüklüğü 6,5 ve 7,0 arasında olan ve yanal atımlı fay mekanizmalı depremler araştırılmış (Şekil 7.15) ve bulunan kayıtlardan en uygun olan “Kobe-Japan / 1995 Nishi-Akashi” vakası (Şekil 7.16) seçilmiştir.

Load Sample Input Values

Clear Input Values

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1,...,RSNn

Event Name :

Station Name :

Search Parameters:

Fault Type :

Magnitude :

min,max

RJB(km) :

min,max

Rrup(km) :

min,max

Vs30(m/s) :

min,max

D5-95(sec) :

min,max

Pulse :

Additional Characteristics:

Max No. Records :

(<=100)

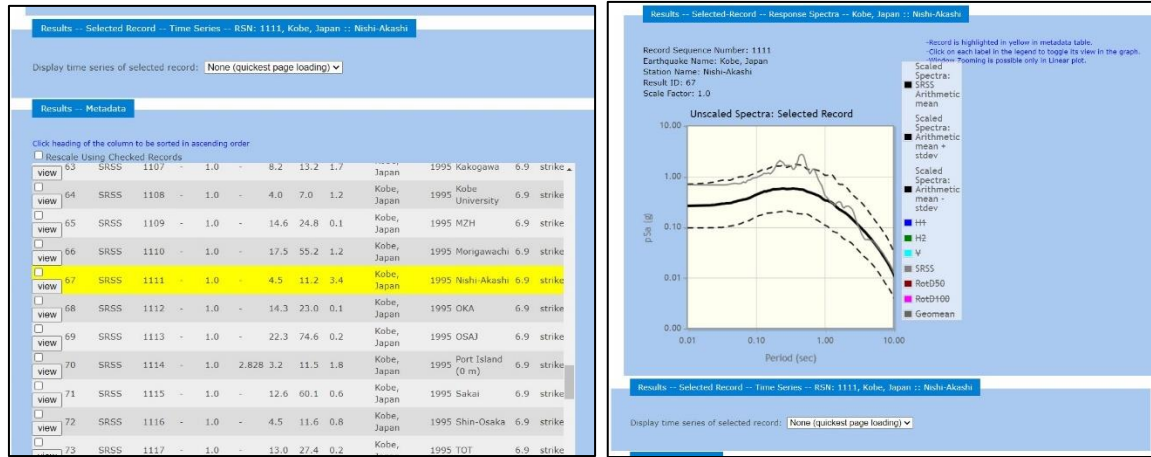
Suite

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

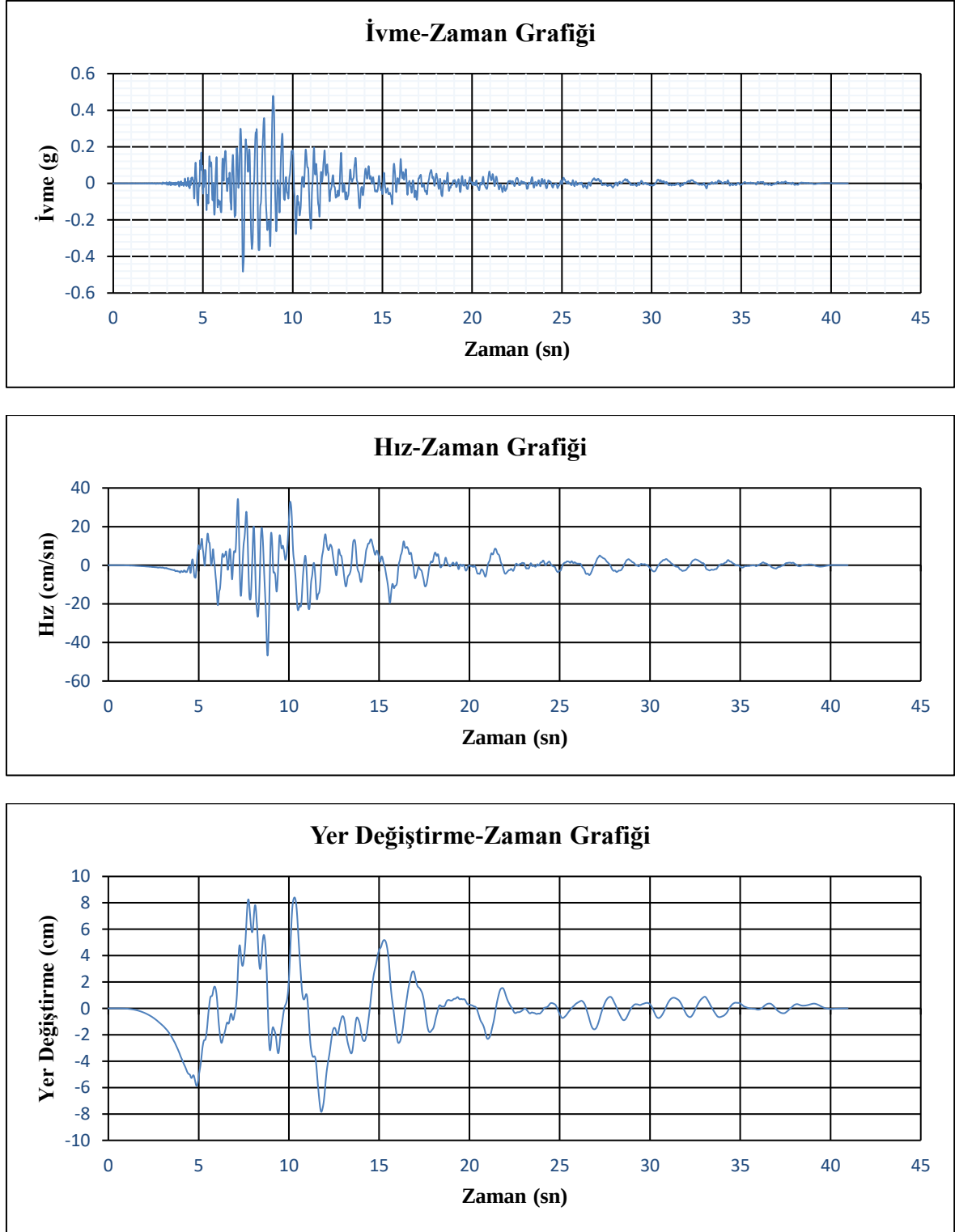
Suite Average :

Şekil 7.15. Peer kuvvetli yer hareketine girilen arama kriterleri [45]

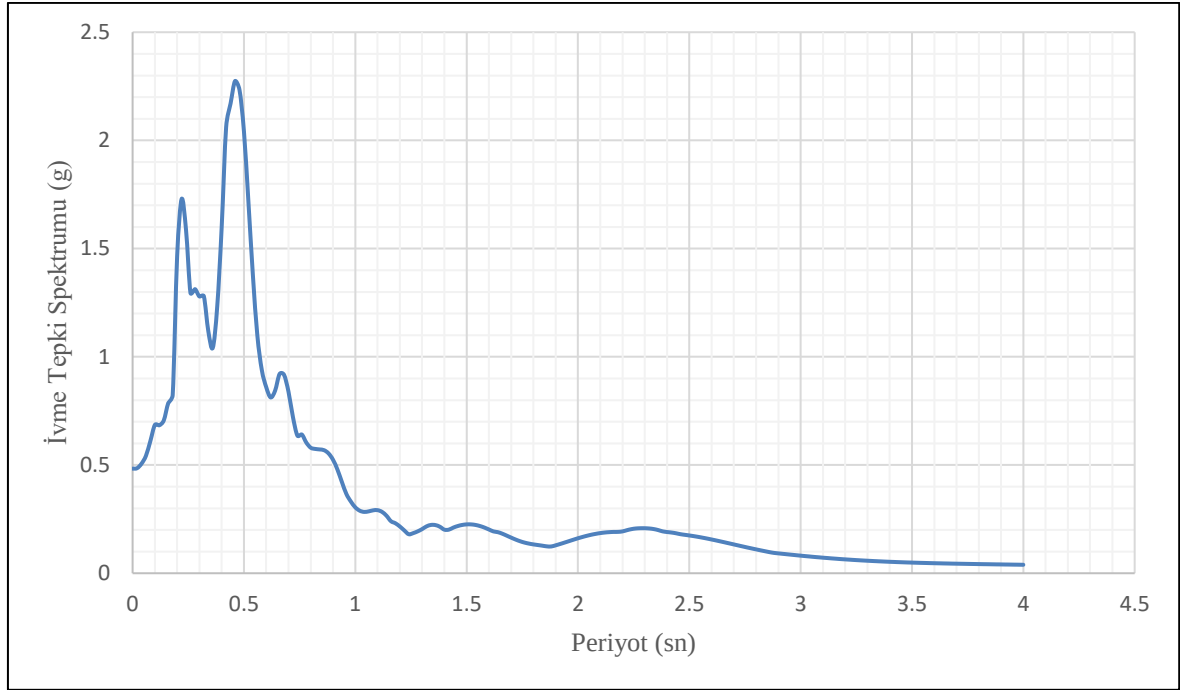


Şekil 7.16. Peer kuvvetli yer hareketi veri tabanında yapılan arama sonuçları ve seçilen deprem kaydı [45]

Peer kuvvetli yer hareketi veri tabanı kullanılarak seçilen kayıttan kuzey-güney bileşeni (RSN1111_KOBE_NIS000.AT2) kullanılarak ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman grafikleri (Şekil 7.17) ve %5 sönüm oranı için Tepki Spektrumu grafikleri (Şekil 7.18) verilmiştir. Ayrıca bu kayıta ait yer hareketi parametreleri Çizelge 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.17. RSN1111_KOBE_NIS000.AT2 kaydı için ivme-zaman, hız-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri [46]



Şekil 7.18. RSN1111_KOBE_NIS000.AT2 kaydı için tepki spektrumu grafiği [46]

Çizelge 7.2. Yer hareketi parametreleri [46]

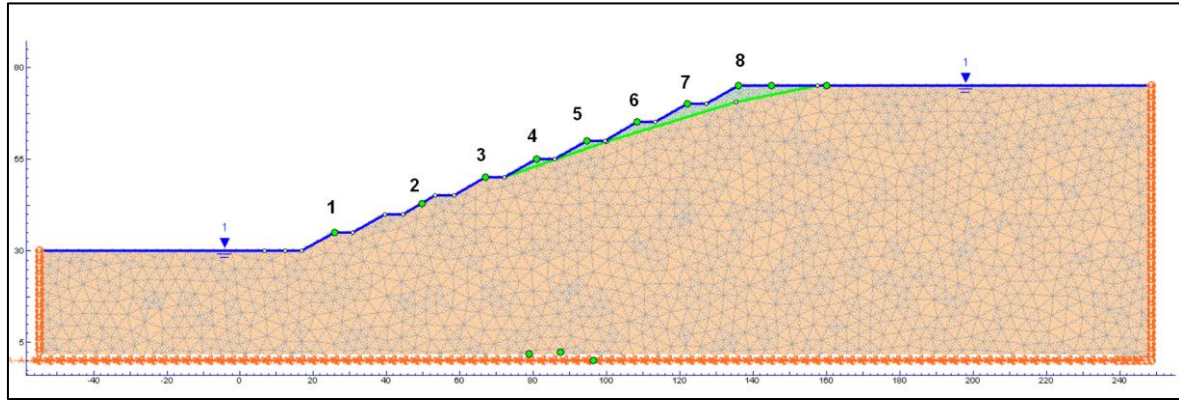
Parametre	Düzeltilmiş İvme Kaydı	Parametre	Düzeltilmiş İvme Kaydı
Maksimum ivme (g)	0,48323	Hız spektrumu yoğunluğu (cm)	163,08414
Maksimum ivmenin zamanı (sn)	7,24000	Housner yoğunluğu (cm)	147,55240
Maksimum hız (cm/sn)	46,82464	Sürekli maksimum ivme (g)	0,36552
Maksimum hızın zamanı (sn)	8,82000	Sürekli maksimum hız (cm/sn)	32,90841
Maksimum yer değiştirme (cm)	8,40581	Etkili tasarım ivmesi (g)	0,49033
Maksimum yer değiştirmenin zamanı (sn)	10,31000	A95 parametresi(g)	0,47715
Vmax / Amax: (sn)	0,09878	Baskın periyot (sec)	0,46000
İvme RMS: (g)	0,07288	Ortalama periyot (sec)	0,49497
Hız RMS: (cm/sn)	6,95065	Maksimum artımlı hız (cm/sec)	66,59120
Yer değiştirme RMS: (cm)	2,17734	Hasar endeksi ((g)^c)	4,14520
Arias yoğunluğu: (m/sn)	3,35208	Etki döngü sayısı	3,06094
Karakteristik yoğunluk (lc)	0,12592	IP Endeksi	30,57454
Özgül enerji yoğunluğu (cm2/sn)	1978,35527	Sa,avg (g)	0,35429
Kümülatif mutlak hız (cm/sn)	1432,84321	Standartlaştırılmış CAV (g*sn)	1,28022
İvme spektrum yoğunluğu (g*sn)	0,56083	-	-

Bu kayıtta, tepki spektrumu grafiğinde, $t = 0$ 'a gittiğindeki spektral ivme, maksimum yer ivmesidir yani maksimum ivme değeri ≈ 0.47 g'dir. En yüksek spektral ivme değeri (≈ 2.85 g) ise 0,1. periyotta okunmuştur.

7.2.2. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak zaman tanım alanında yapılan dinamik analizler

Çalışma sahasının nihai şev geometrisinin stabilitesini araştırmak amacı ile Rocscience RS2 ile zaman alanında dinamik analizler yapılmıştır. Analizlerde Kobe, 1995 depremi Kuzey – Güney yönlü kaydı kullanılmıştır. Dinamik analizler “K6” kesitinde yeraltı suyu seviyesinin beş metre aşağıda ve zemin yüzeyinde olduğu koşullar için yapılmıştır. Analizlerde Rayleigh sönümü kullanılmış ve sonum oranı %2 olarak alınmıştır.

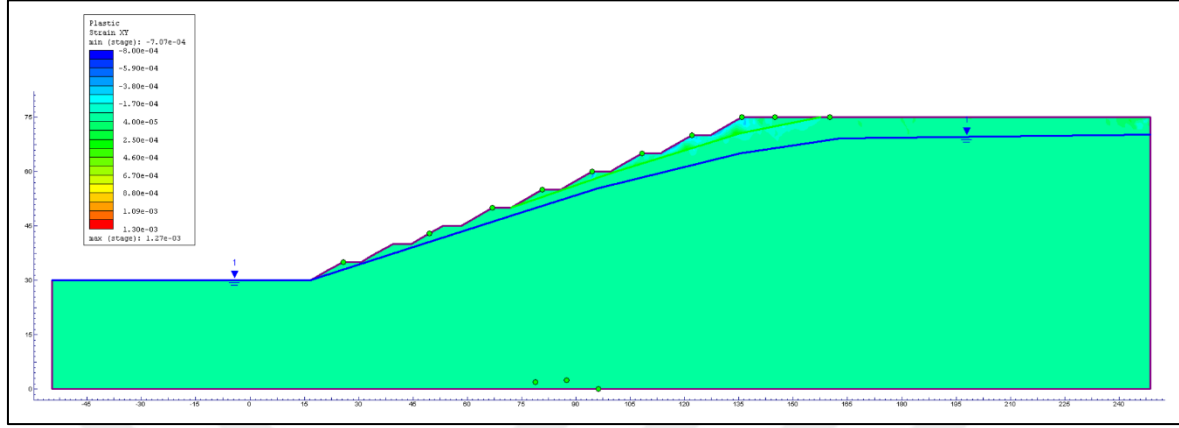
Analizler statik koşul ve ardından deprem kaydı çözümü şeklinde iki aşamalı olarak yapılmıştır. Analizlerde kullanılan sonlu elemanlar ağı ve dinamik sınır koşulları Şekil 7.19'da sunulmuştur. Sağ ve sol sınır için deprem dalgalarının model içerisine yansımaları önleyecek biçimde geçirimli sınır koşulları kullanılmıştır. Alt sınırdan deprem kaydı uygulanmış ve absorbe edici sınır koşulu kullanılmıştır.



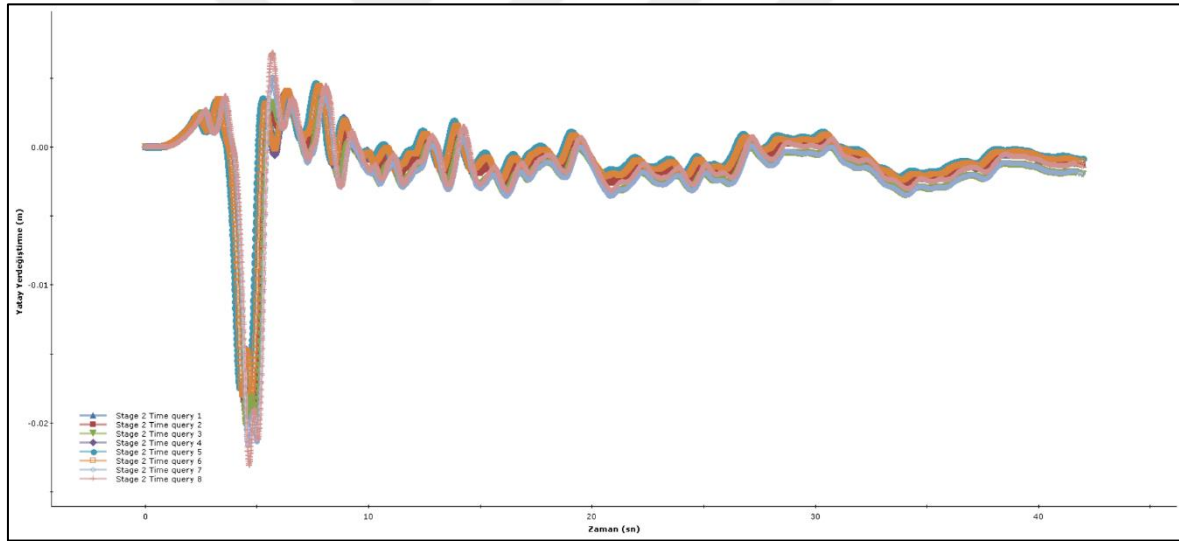
Şekil 7.19. Zaman alanında yapılan dinamik sonlu elemanlar modeli ve dinamik sınır koşulları

Yeraltı suyu seviyesinin 5 metre derinlikte olduğu koşul için yapılan analizler sonucunda elde edilen plastik kayma birim deformasyonlarının dağılımı Şekil 7.20'de sunulmuştur. Şekil 7.20 incelendiğinde tamamen ayrılmış kaya birimlerde limitli miktarda plastik kayma birim deformasyonu olduğu görülmüştür. Bu nedenle tamamen ayrılmış kaya birimlerin

deprem sırasında stabilitesini koruduğu düşünülmektedir. Şekil 7.21’de ise seçilen noktalarda deprem sırasında oluşan yatay deplasmanların zamanla değişimi sunulmuştur.

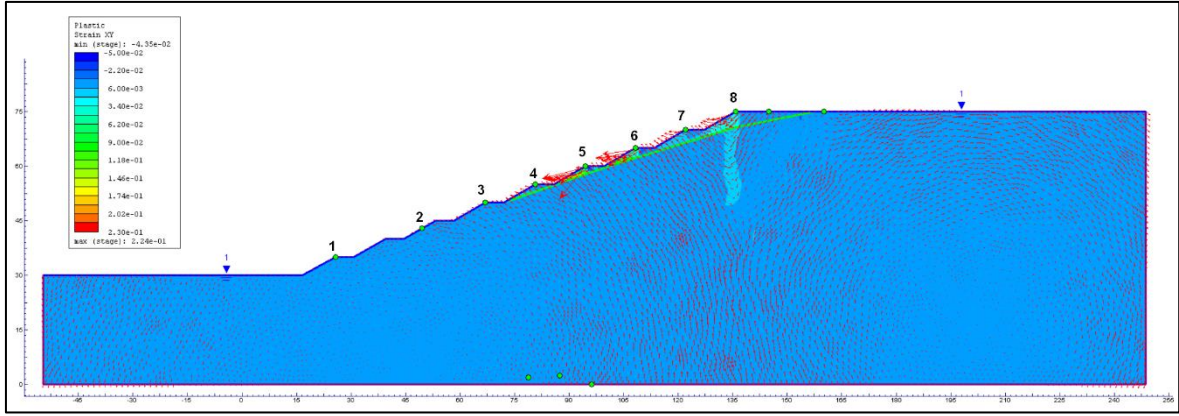


Şekil 7.20. Plastik kayma birim deformasyonlarının dağılımı



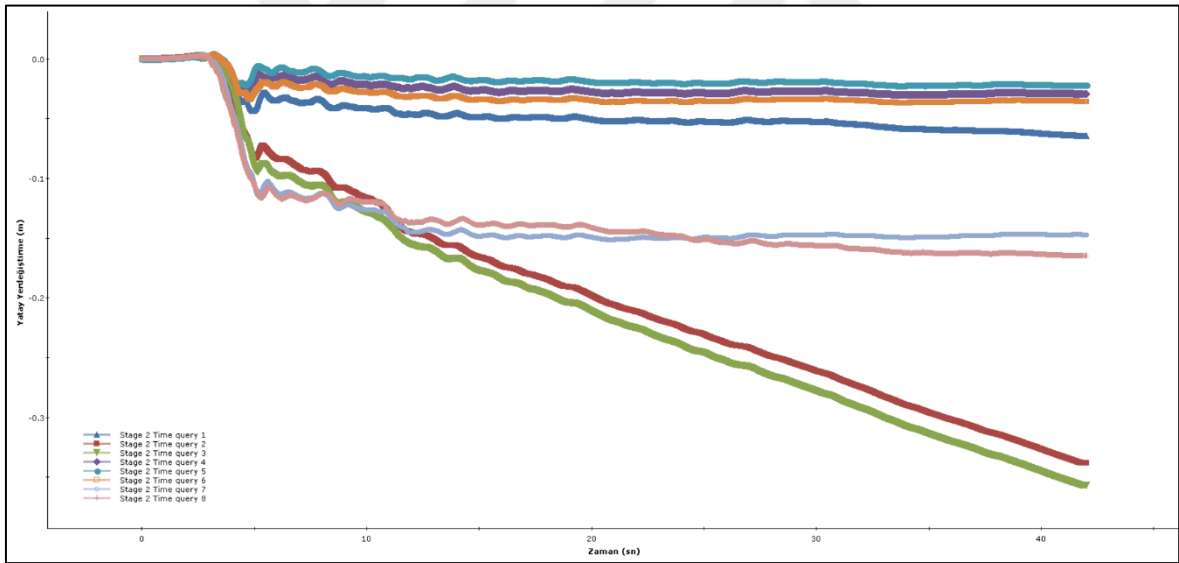
Şekil 7.21. Seçilen noktalarda deprem sırasında oluşan yatay deplasmanlar

Yeraltı suyu seviyesinin yüzeyde olduğu koşul için yapılan dinamik analiz sonucunda elde edilen plastik kayma birim deformasyonlarının dağılımı ve deformasyon vektörleri Şekil 7.22’te sunulmuştur. Şekil 7.22 incelendiğinde tamamen ayrılmış kaya birimlerin deprem sırasında stabil olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 7.22. Plastik kayma birim deformasyonlarının dağılımı ve deformasyon vektörleri

Şekil 7.23'te seçilen noktalarda deprem sırasında oluşan yatay deplasmanların zamanla değişimi görülmektedir. Kalıcı deplasmanların varlığı şev stabilitesinin yeterli olmadığını göstermektedir.



Şekil 7.23. Suya tam doygun koşulda seçilen noktalarda deprem sırasında oluşan yatay deplasmanlar



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir açık ocak maden işletmesinin kazıları sırasında şevlerde meydana gelen kütle hareketleri incelenmiştir. Söz konusu kütle hareketleri rezidüel zemin niteliğinde birimlerde meydana gelmiştir, heyelan malzemesinin makaslama dayanımları güvenlik sayısı 1 elde edilecek şekilde geri analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışma, bu işletme içinde aynı zemin koşullarına ait şevler üzerinde yapılacak kazıların güvenli bir şekilde yapılabilmesi için altlık oluşturmaktadır.

Yapılan nihai ocak geometrisini araştıran stabilite analizlerinden anlaşıldığı üzere, tüm saha genelinde heyelan malzemesi ve rezidüel (kalıntı) olan tüm malzemelerin kazılıp-atılması gerektiği görülmektedir.

Yine yapılan nihai ocak tasarımını araştıran stabilite analizlerinden anlaşıldığı üzere, sahanın büyük bir bölümünde şevlerde yatay ve düşey drenler ile susuzlaştırma çalışmaları yapılarak, tamamen ayrıışmış kaya malzemesindeki gözenek suyu basıncının azaltılması gerekmektedir. Susuzlaştırma çalışmaları ile birlikte, ocağın genelinde şev basamak açılarının yatırılması (basamak açıları $\leq 30^0$) gerektiği anlaşılmaktadır.

İşletme sahasında yer yer orta ayrıışmış kaya birimin bulunması sebebi ile kinematik analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda süreksizlik kontrollü yenilme olasılığı görülmemekle birlikte basamak yönelimleri ve süreksizlik yönelimleri değişiklik gösterebileceği için yeni yapılacak kazı çalışmalarında çalışma sahasında kaya kütlesi niteliğindeki birimlerde kinematik analizlerin yapılmasının faydalı olacağı görüşüne varılmıştır.

Özellikle şist gibi kayaçların ayrışma ürünü olan rezidüel zeminlerde gerçekleştirilen kazı faaliyetleri sırasında ve sonrasında deformasyonların kontrol edilebilmesi için yerinde düzenli ölçümler yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

1. Özdemir, G. (2018). *Şev stabilitesi problemlerinin limit denge ve sonlu elemanlar analiz yöntemi ile çözümü*. TMMOB JMO eğitim sunumu (yayınlanmadı).
2. İnternet: Insapedia. (2019, 20 Eylül). *Şev nedir? Şevler ile ilgili tanımlar*. URL: <https://insapedia.com/sev-nedir-sevler-ile-ilgili-tanimlar>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2023.
3. İnternet: Wikipedia. *Maden şevler/* URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/Maden_sevler/, Son Erişim Tarihi: 04.11.2023.
4. İnternet: Wikipedia. *Madencilik/* URL: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Madencilik/>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2023.
5. İnternet: Wikipedia. *Şist/* URL: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Şist/>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2023.
6. İnternet: JMO. *Kaya ve zemin tanımlaması*. URL: https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/20ccac43371f6a9_ek.doc?tipi=2&turu=H&sube=12/, Son Erişim Tarihi: 04.11.2023.
7. İnternet: Wikipedia. *Heyelan/* URL: <https://tr.wikipedia.org/wiki/heyelan/>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.
8. Varnes, D. J. (1978). Landslides-Analysis and Control. *National Academy of Sciences, Transportation Board Special Report*, 176, 11-33.
9. İnternet: Işık, N. S. *Şevlerin stabilitesi ve güncel yaklaşımlar*. URL: https://eski.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b8f4da105037f72_ek.pdf?tipi=79&turu=xs&sube=3, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.
10. İnternet: Black Geotechnical. *Slope stability*. URL: <https://www.blackgeotechnical.com.au/slope-stability>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.
11. İnternet: Corangamite CMA. (2020). *Photo*. URL: <https://www.ccma.vic.gov.au/soilhealth/photo.html>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.
12. Wyllie, D. C. and Mah. C. W., (2004). *Rock slope engineering*. Civil and mining. 4th edition.
13. İnternet: Rocscience, (2004). *Slide 2*. URL: <https://www.rocscience.com/help/slide2/documentation/slide-model/material-properties/define-material-properties/strength-parameters/strength-type>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.
14. Abramson, L. W. (1996). *Slope stability and stabilizations methods*. New York. Wiley, 245.
15. Bishop, A. W., (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slope. *Geotechnique*, 10, 129-150.

16. Morgenstern, N. R. and Price, V. E., (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, 15, 79-93.
17. Spencer, E., (1967). *A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces*. *Geotechnique*, 17, 11-26.
18. Ulusay, R. (2008). *Kaya ve zeminlerde şev duraylılığı ve tasarımı (kurs notu)*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, 1-116.
19. Koltuk, S. (2005). *Zeminlerin kalıcı kayma mukavemetinin halka kesme deneyi ile belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 12-13.
20. İnternet: Sönmez, H. (2020). *JEM720 süreksizlik analizi ve kaya kütle sınıflamaları*. URL: <https://yunus.hacettepe.edu.tr/~haruns/JEM720.html>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024
21. Sonmez, H. and Ulusay, R. (1999). Modification to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 743-760.
22. ISRM. (1999). *Rock Characterization testing and monitoring*. Brown, E. (Ed.). Oxford: Pergamon Press, 211.
23. Sonmez, H. and Ulusay, R. (2002). A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, 26, 77-99.
24. Ün, Buse. ve Yıldız, A. (2021). Şev stabilitesi problemlerinin geri analizle çözümü: örnek bir vaka. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9-1, 174-181.
25. Varol, O. O., Ayhan, M. ve Akın, M., (2021). Kaya kütle makaslama dayanımının geri analiz yöntemi ile belirlenmesi: Bir vaka analizi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 60(3), 137-145.
26. Tarakçıoğlu, B., Fırat, S. ve Işık, N. S. (2023). Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ile bir vaka analizi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 16(1), 24-34.
27. Alçakal, Ö. (2009). *Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ve bir vaka analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, xiii.
28. Okay, A. I., and Göncüoğlu, M. C. (2004). The Karakaya Complex: a review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 75-95.
29. Okay, A.I., and Tüysüz, O., (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath and M. Seranne (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen*. Geological Society, London: Special Publication, 156, 475-515.
30. Akdeniz, N. ve Konak, N. (1979). *Simav emet tavşanlı dursunbey yörelerinin jeolojisi*. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No:6547, Ankara.

31. İnternet: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2011). *Türkiye diri fay haritaları serisi, Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No:4.* URL: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/diri_fay_haritalari/balikesir.pdf, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.
32. İnternet: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, *Resmî web sitesi.* URL: <https://tdth.afad.gov.tr/>, Son Erişim Tarihi: 23.11.2023.
33. İnternet: Resmî Gazete. (2018, 18 Mart). Türkiye bina deprem yönetmeliği. URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.
34. İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2018). *Susurluk Nehir Havzası Yönetim Planlarına Dönüştürülmesi için Teknik Yardım.* TR2011/0327.21-05-01-001. URL: https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/NEH%C4%B0R%20HAVZA%20Y%C3%96NET%C4%B0M%20PLANLARI%2028.12.2022/Susurluk%20Havzas%C4%B1%20NHYP%2028.12.2022/OUT_27_2.2.9_RBMP_FINAL_SU_TR_V00_R06.pdf, Son Erişim Tarihi: 23.11.2023.
35. Huang, Y. H. (1993). *Pavement analysis and design.* New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
36. Hoek, E. and Bray, J. (1977). *Rock slope engineering,* (First edition).London: IMM.
37. İnternet: TS 8853, (2014). *Yamaç ve şevlerin dengesi ve hesap metotları – Zeminde.* URL:<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055048065082077055103076076056084105053077119101097118067066066067122112088053098053116074078069069066055105102103117076088111076114112069047112109069110105072048104043079079119122107100086107122077066098079056073119085074100065104050100069103115084115067081085112070114050080068122084084122043048117073048071082074078080089085115074053079079084049097114110102098076116079049102047051103086078067048116121075047087121081061061>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024
38. Erol, A. O. ve Çekinmez, Z., (2014). *Geoteknik mühendisliğinde saha deneyleri.* Ankara: Yüksel Proje Yayınları, 14-01.
39. Terzaghi, K., Peck, B.R., and Mesri, G., (1996). *Soil mechanics in engineering practice.* New York: John Wiley & Sons, Inc., 152.
40. Das, B. M. (1993). *Advanced soil mechanics.* London: Mc-Graw Hill, 408.
41. Gibson, R. E. (1953, August). *Experimental determination of the true cohesion and true angle of internal friction in clays.* In 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, (1), Switzerland, 126-130.
42. Hoek, E., and Brown, E. T. (2018). The Hoek–Brown failure criterion and GSI–2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(3), 445-463.
43. İnternet: Rocscience Inc., (2007). *RocLab 1.031.* URL: <https://www.rocscience.com>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2024.

44. İnternet: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021. *Kaya kütleleri üzerindeki sığ temellerin taşıma gücü hesap cetveli kullanım kılavuzu*. URL: https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/c44844b080748f8_ek.pdf, Son Erişim Tarihi: 04.01.2024
45. İnternet: PEER Ground Motion Database. *Pacific Earthquake Engineering Research Center*. URL: <https://ngawest2.berkeley.edu/>, Son Erişim Tarihi: 04.11.2023.
46. İnternet: Seismosoft, (2024). *SeismoSignal v2024, Release-1, Build-2*. URL: <https://www.seismosoft.com>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2024





EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)



Gazili olmak ayrıcalıktır