



**T. C.**

**SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADENCİLİKTE BİLGİSAYAR DESTEKLİ ŞEV STABİLİTE  
ANALİZLERİ: ÖRNEK ÇALIŞMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İhsan ÇUBUKÇUOĞLU**

**(201092111020)**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK**

**SIVAS**

**Eylül 2019**

**İhsan ÇUBUKÇUOĞLU**'nun hazırladığı ve “**MADENCİLİKTE BİLGİSAYAR DESTEKLİ ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ: ÖRNEK ÇALIŞMA**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK** .....

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Önder UYSAL** .....

Dumlupınar Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Tuğba DOĞAN** .....

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

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

**Prof. Dr. Özlem Pelin CAN**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

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





Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© İhsan ÇUBUKÇUOĞLU

## ETİK

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

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

09.09.2019

İhsan ÇUBUKÇUOĞLU

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında değerli bilgisini ve yardımını esirgemeyen, tecrübeleriyle yol gösteren danışman hocam, Dr. Öğretim Üyesi Salih YÜKSEK'e ve Öğr. Gör. Yük. Müh. Zekeriya DURAN'a çok teşekkür ederim.

Jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Önder UYSAL ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuğba DOĞAN hocalarıma yaptıkları olumlu eleştiriler ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen; Aileme, Arş. Gör. Hazal Begüm Ünal'a ve "Zindan Dart Team" takımındaki arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

09.09.2019

## ÖZET

### MADENCİLİKTE BİLGİSAYAR DESTEKLİ ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ: ÖRNEK ÇALIŞMA

İhsan ÇUBUKÇUOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK

2019, 76+xviii sayfa

Açık ocak madenciliği işletmesinde en önemli çalışmaların başında basamak dizaynı gelmektedir. Madencilikte ön hazırlık kısmında doğru yapılacak planlamalar, ocağın uzun süreler zarfında problemlerle karşılaşmaması açısından büyük önem arz etmektedir. Gerekli veriler analiz edilmeden ve yeterli ön çalışmalar yapılmadan işletilen ocaklarda ileride karşılaşılan sorunların geri dönüşü olmayacak veya çok daha maliyetli olacaktır.

Bu tez çalışmasında bir kömür işletmesinde mevcut şev durumu ve yaşanan şev problemleri yerinde incelenmiş, mevcut durumun ve üretimi planlanan bölgenin basamak şev duraylılığı bilgisayar ortamında analiz edilmiştir. Ayrıca hâlihazırda labil durumda olan heyelan bölgeleri için topuğa yük koyarak emniyet faktöründeki iyileştirmeler de analiz edilmiştir. Açık kömür ocağından alınan altı farklı birimin index özellikleri ile birim hacim ağırlıkları, kohezyon ve içsel sürtünme açıları deneylerle belirlenmiştir. Arazi topografik ve sondaj log verileri kullanılarak NetCAD ve Surpac dizayn programlarıyla ocak sahasının yüzeyi ve işletme basamaklarının katı modelleri oluşturulmuştur. Deney verileri kullanılarak bir şev analizi programı yardımıyla, Fellenius, Bishop, Spencer ve GLE yöntemlerine göre basamakların ve kesitlerin emniyet faktörleri hesaplanmıştır. Mevcut heyelanlı bölgenin değişik yöntemlere göre yapılan şev analizlerinde emniyet faktörü 1.393 ila 1.523 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Heyelanlı bölgede topuğa dolgu yapıldığında hesaplanan emniyet faktörleri ise 1.909 - 2.127 değerine yükselmiştir. Ocak ilerleme yönünde mevcut imalat kesiti alınarak şev duraylılık analizleri yapılmış ve değişik yöntemlere göre emniyet faktörünün 1.687 ila 1.972 arasında değiştiği görülmüştür. Sondaj verilerinden oluşturulan jeolojik kesit kullanılarak değişik basamak boyutları için yapılan şev duraylılık analizlerine göre emniyet faktörü; basamak yüksekliği 8m, basamak genişliği 8m ve basamak şev açısı 60 derece alınarak yeryüne kadar oluşturulan şevler için emniyet faktörü 1.69 ila 1.818 olarak bulunmuştur. Ayrıca altı farklı birim için susuz ve tamamen suya doygun durumda birden başlayarak on basamağa kadar, G:10m, H:8m ve  $\alpha = 60^\circ$  için şev Stabilite analizleri yapılmış ve değişik yöntemlere göre emniyet faktörleri hesaplanmıştır. Proje için önerilen basamak boyutları ve genel şev açısının yeterli olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Şev stabilite, Emniyet faktörü, Kohezyon, İçsel sürtünme açısı, Basamak dizaynı

## ABSTRACT

### COMPUTER AIDED SLOPE STABILITY ANALYSIS IN MINING: CASE STUDY

İhsan ÇUBUKÇUOĞLU

Master of Science Thesis,

Department of Mining Engineering

Supervisor: Dr. Salih YÜKSEK

2019, 76+xviii pages

Step design is one of the most important studies in open pit mining. Accurate planning in the preliminary preparation part in mining is of great importance in order to prevent problems in the quarry over long periods of time. Without the necessary data analysis and adequate preliminary studies, the problems encountered in the furnaces operated will not be irreversible or will be much more costly. In this thesis, the current slope situation and the slope problems in a coal company are examined on the ground and the current slope stability of the planned area is analyzed in computer environment. In addition, improvements in the safety factor by placing a load on the heel for the already landslide landslides were also analyzed. The index properties, unit volume weights, cohesion and internal friction angles of six different units from open pit quarry were determined by experiments. By using terrain topographic and drilling log data, solid models of the surface of the quarry and operation heads were created with NetCAD and Surpac design programs. Safety factors of steps and sections were calculated according to Fellenius, Bishop, Spencer and GLE methods using a slope analysis program using experimental data. In the slope analysis of the present landslide area according to different methods, the safety factor was calculated to vary between 1.393 and 1.523. When the heel filling was done in landslide area, the safety factors calculated increased to 1.909 - 2.127. Slope stability analysis was made by taking the existing manufacturing section in the direction of the quarry progress and it was seen that the safety factor ranged between 1.687 and 1.972 according to different methods. Safety factor according to slope stability analysis for different step sizes using geological cross section generated from drilling data; step height 8m, step width 8m and step slope angle of 60 degrees to the ground slopes formed by the safety factor was found to be 1.69 to 1.818. In addition, slope stability analysis for G: 10m, H: 8m and  $\alpha = 60^\circ$  were carried out starting from one step up to ten benches in water-free and completely water-saturated state for six different units and safety factors were calculated according to various methods. It is understood that the proposed bench sizes and overall slope angle are sufficient for the project.

**Key words:** Slope stability, Factor of safety, Cohession, Internal friction angle, Step design



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER DİZİNİ .....	xvii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xviii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problemin Tarifi .....	1
1.2. Tez Konusu ve Kapsamı .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
2.1. Şev Terminolojisi .....	3
2.2. Şev Hareketleri .....	4
2.2.1. Düşme .....	6
2.2.2. Devrilme.....	7
2.2.3. Akma.....	7
2.2.4. Kayma.....	8
2.2.4.1. Dönel (Dairesel) kayma.....	8
2.2.4.2. Ötelenmeli (Düzlemsel) kayma .....	8
2.2.5. Yanal yayılma .....	9
2.2.6. Karmaşık hareketler.....	9
2.3. Şev Hareketlerine Sebep Olan Faktörler .....	10
2.4. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri .....	11
2.4.1. Fellenius yöntemi (İsveç dilim yöntemi).....	11
2.4.2. Bishop yöntemi .....	13
2.4.3. Janbu yöntemi .....	13
2.4.4. Morgenstren ve price yöntemi .....	14
2.4.5. Spencer Yöntemi .....	15
2.4.6. Sarma Yöntemi .....	16
<b>3. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>18</b>
3.1. Çalışma Sahası Hakkında Genel Bilgiler .....	18
3.2. Çalışma Sahası ve Civarının Jeolojisi .....	20
3.3. Sondaj Çalışmaları .....	23
3.4. Araziden Alınan Numuneler .....	24
3.5. Numunelere Uygulanan Deneyler .....	25
3.5.1. Doğal birim ağırlık deneyi .....	25
3.5.2. Su muhtevası deneyi .....	26
3.5.3. Likit limit deneyi .....	27

3.5.4. Plastik limit deneyi .....	29
3.5.5. Nokta yükleme deneyi .....	29
3.5.6. Üç eksenli basınç deneyi .....	30
3.5.7. Petrografik Analiz.....	35
3.5.8. Elek analizi.....	35
3.6. Bilgisayar Destekli Şev Stabilize Analizleri .....	39
3.6.1. Ocaktaki şev kaymasının olduğu mevcut durum değerlendirmesi .....	39
3.6.2. Ocaktaki ilerleme yönü değerlendirmesi .....	44
3.6.3. Basamak sayısı değişikliğinin emniyet katsayısına etkisi .....	49
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>51</b>
4.1. Laboratuvar Deneyi Bulguları .....	51
4.1.1. Kıvam Limit Tayini .....	51
4.1.2. Zemin sınıflandırması .....	52
4.2. Şev Stabilite Analizi Bulguları.....	54
4.2.1. Ocaktaki Şev Kaymasının Olduğu Mevcut Durum Bulguları .....	54
4.2.2. Ocaktaki İlerleme Yönü Bulguları .....	55
4.2.3. Basamak Sayısı Değişikliğinin Emniyet Katsayısına Etkisi Bulguları.....	56
4.3. Çalışma Sahası Açık Ocak Modellemesi .....	68
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>72</b>
5.1. Sonuçlar .....	72
5.2. Öneriler.....	73
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>74</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>76</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.1</b> Şev terminolojisi (Coduto, 2006) .....	3
<b>Şekil 2.2</b> Blong şev hareket tipleri (Blong, 1973) .....	4
<b>Şekil 2.3</b> Derinlik/Uzunluk oranına göre sınıflandırma (Skempton ve Hutchinson, 1953) .	5
<b>Şekil 2.4</b> Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001) .....	6
<b>Şekil 2.5</b> Doğada gözlenen devrilme türleri (Goodman ve Bray, 1976) .....	7
<b>Şekil 2.6</b> Akma türleri (Ulusay, 2001) .....	7
<b>Şekil 2.7</b> Dönel (Dairesel) kayma (Ulusay, 2001) .....	8
<b>Şekil 2.8</b> a) İleri derecede eklemli kaya kütlelerinde ve b) Ayrışmış kayalarda dairesel kayma (Ulusay, 2001). .....	8
<b>Şekil 2.9</b> a) Düzlemsel kayma b) Kama tipi kayma c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001) .....	9
<b>Şekil 2.10</b> Yanal yayılma (AFAD, 2015). .....	9
<b>Şekil 2.11</b> Karmaşık kayma (Bromhead, 1986) .....	10
<b>Şekil 2.12</b> Dilim üzerine etkiyen kuvvetler .....	12
<b>Şekil 2.13</b> Kapanmayan kuvvet poligon örneği (Krahn, 2004) .....	12
<b>Şekil 2.14</b> Dilim düzlemine etkiyen kuvvetler (Bishop, 1955) .....	13
<b>Şekil 2.15</b> Janbu düzeltme katsayısı, $f_0$ .....	14
<b>Şekil 2.16</b> Morgenstern-Price (1965) yöntemine göre dilimler arasındaki kuvvet fonksiyonu türleri .....	15
<b>Şekil 2.17</b> Spencer yönteminde bir dilim üzerine etkiyen bilinen ve bilinmeyen kuvvetler	16
<b>Şekil 2.18</b> Spencer yönteminde iki denge denklemini de sağlayan güvenlik sayısının farklı $\lambda$ değerleri kullanılarak hesaplanması (Krahn, 2004) .....	16
<b>Şekil 3.1</b> Çalışma sahası yerbulduru haritası .....	18
<b>Şekil 3.2</b> Çalışma sahası uydu görüntüsü .....	19
<b>Şekil 3.3</b> Çalışma sahası topografik harita vaziyet planı .....	19
<b>Şekil 3.4</b> Çalışma sahasına ait bir görünüm .....	19
<b>Şekil 3.5</b> Merzifon ilçesine ait aylara göre yağış ve sıcaklık grafikleri (Url-1) .....	20
<b>Şekil 3.6</b> Maden ocağı ruhsatı ve çevresini gösterir jeolojik harita (Sevin M., Uğuz M., 2013) .....	21
<b>Şekil 3.7</b> Bölgenin stratigrafik dikme kesiti .....	22

<b>Şekil 3.8</b> Sondaj noktalarını gösterir uydu görüntüsü.....	23
<b>Şekil 3.9</b> Numune noktalarını gösterir uydu görüntüsü .....	24
<b>Şekil 3.10</b> Laboratuvara getirilen numuneler.....	25
<b>Şekil 3.11</b> Parafinsiz ve parafinli numunelerin tartımı .....	25
<b>Şekil 3.12</b> Parafinli numune su dolu mezüre daldırılarak hacim tespiti.....	26
<b>Şekil 3.13</b> Numunelerin 105 C° ye ayarlanan etüve yerleştirilmesi.....	27
<b>Şekil 3.14</b> Casagrande deneyi .....	28
<b>Şekil 3.15</b> Üç eksenli basınç deney düzeneği ve deney sonrası numune örnekleri .....	31
<b>Şekil 3.16</b> Örneklere ait incekesit görünüşleri: a) K1 no'lu örnek b) K2 no'lu örnek c) Y no'lu örnek d) KÖM no'lu örnek.(Qz: kuvars, do: dolomit, cal: kalsit, lm: limonit, cly: kil, fs: fosil izleri .....	35
<b>Şekil 3.17</b> Standarta uygun elek takımı ve eleme sonrası malzeme boyutları (KÇ) .....	36
<b>Şekil 3.18</b> Şev bozulması yaşanan bölge .....	40
<b>Şekil 3.19</b> Şev bozulması yaşanan bölge Bishop yöntemi ile emniyet katsayısı .....	40
<b>Şekil 3.20</b> Şev bozulması yaşanan bölge için Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü.....	41
<b>Şekil 3.21</b> Şev bozulması yaşanan bölge Spencer yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü.....	41
<b>Şekil 3.22</b> Şev bozulması yaşanan bölge GLE yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü.....	42
<b>Şekil 3.23</b> Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli Bishop yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi) .....	42
<b>Şekil 3.24</b> Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli Janbu yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi) .....	43
<b>Şekil 3.25</b> Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli Spencer yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi).....	43
<b>Şekil 3.26</b> Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli GLE yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi) .....	44
<b>Şekil 3.27</b> Ocak ilerleme yönü.....	44
<b>Şekil 3.28</b> Ocak ilerleme yönü mevcut durum Bishop yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü .....	45
<b>Şekil 3.29</b> Ocak ilerleme yönü mevcut durum Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü.....	45

<b>Şekil 3.30</b> Ocak ilerleme yönü mevcut durum Spencer yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü .....	46
<b>Şekil 3.31</b> Ocak ilerleme yönü mevcut durum GLE yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü .....	46
<b>Şekil 3.32</b> Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 8 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi .....	47
<b>Şekil 3.33</b> Ocak ilerleme yönü 10 m genişlik, 8 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi .....	47
<b>Şekil 3.34</b> Ocak ilerleme yönü 10 m genişlik, 10 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi .....	48
<b>Şekil 3.35</b> Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 10 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi .....	48
<b>Şekil 3.36</b> Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 15 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi .....	48
<b>Şekil 3.37</b> Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 20 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi .....	49
<b>Şekil 3.38</b> Şev stabilite analizlerinde kullanılan basamak dizaynı örneği .....	50
<b>Şekil 3.39</b> K2 numunesine ait 3 ve 9 basamaklı şevlerde hesaplanan minimum kayma dairesi.....	50
<b>Şekil 3.40</b> K2 numunesine ait 8 basamaklı şevlerdeki maksimum su seviyesindeki hesaplanan minimum kayma dairesi.....	50
<b>Şekil 4.1</b> Heyelan bölgesine ait kesitin mevcut durumdaki emniyet katsayısı ile topuk dolgusu sonrasındaki emniyet katsayısı değişimi .....	55
<b>Şekil 4.2</b> İlerleme yönü farklı basamak tasarımlarında elde edilen emniyet katsayıları... 56	
<b>Şekil 4.3</b> Yeşil kil (Y) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	57
<b>Şekil 4.4</b> Yeşil kil (Y) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	58
<b>Şekil 4.5</b> Kırmızı kil 1 (K1) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	59
<b>Şekil 4.6</b> Kırmızı kil (K1) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	60
<b>Şekil 4.7</b> Kırmızı kil 2 (K2) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	61

<b>Şekil 4.8</b> Kırmızı kil 2 (K2) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	62
<b>Şekil 4.9</b> Gri Marn (HG) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	63
<b>Şekil 4.10</b> Gri Marn (HG) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	64
<b>Şekil 4.11</b> Sarı Marn (HS) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	65
<b>Şekil 4.12</b> Sarı Marn (HS) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	66
<b>Şekil 4.13</b> Kum Çakıl (KÇ) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	67
<b>Şekil 4.14</b> Kum Çakıl (KÇ) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği .....	68
<b>Şekil 4.15</b> Ocağın ZX ekseninde mevcut durumunu ve sondaj loglarının 3D görüntüsü .	69
<b>Şekil 4.16</b> Ocağın mevcut durumunun 3D görüntüsü - 1 .....	69
<b>Şekil 4.17</b> Ocağın mevcut durumunun 3D görüntüsü - 2 .....	70
<b>Şekil 4.18</b> Ocağın ZX düzleminde, oluşturulan basamaklardan sonraki durumunun 3D görüntüsü - 1 .....	70
<b>Şekil 4.19</b> Ocağın oluşturulan basamaklardan sonraki durumunun 3D görüntüsü - 1.....	71
<b>Şekil 4.20</b> Ocağın oluşturulan basamaklardan sonraki durumunun 3D görüntüsü – 2....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1</b> Şev göçmeleri için sınıflandırma (Varnes, 1978) .....	5
<b>Çizelge 2.2</b> Farklı hareket tiplerine göre D/L oranları (Skempton ve Hutchinson, 1953)...	6
<b>Çizelge 2.3</b> Sev stabilitesinde kullanılan bazı yöntemler (Ulusay, 1996).....	11
<b>Çizelge 3.1</b> Numune tanımlama .....	24
<b>Çizelge 3.2</b> Numunelerin doğal birim hacim ağırlık deney sonuçları .....	26
<b>Çizelge 3.3</b> Numunelerin Su Muhtevası Deney Sonuçları .....	27
<b>Çizelge 3.4</b> Numunelerin likit limit değerleri .....	28
<b>Çizelge 3.6</b> Numunelerin plastik limit değerleri .....	29
<b>Çizelge 3.7</b> Numunelerin nokta yükleme değerleri.....	30
<b>Çizelge 3.8</b> Y numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	32
<b>Çizelge 3.9</b> K1 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	32
<b>Çizelge 3.10</b> K2 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	33
<b>Çizelge 3.11</b> HS numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	33
<b>Çizelge 3.12</b> HG numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği.....	34
<b>Çizelge 3.13</b> KÇ numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	34
<b>Çizelge 3.14</b> Y numunesi elek analizi grafiği.....	36
<b>Çizelge 3.15</b> K1 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	37
<b>Çizelge 3.16</b> K2 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	37
<b>Çizelge 3.17</b> HS numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	38
<b>Çizelge 3.18</b> HG numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği.....	38
<b>Çizelge 3.19</b> KÇ numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği .....	39
<b>Çizelge 3.21</b> Analizleri yapılan basamak boyutları.....	46
<b>Çizelge 3.21</b> Ocak geometrisi parametre değerleri.....	49
<b>Çizelge 4.1</b> Plastisite indisi değerlerine göre plastisite derecesi (IAEG Komisyonu, 1981) .....	51
<b>Çizelge 4.2</b> Kıvamlılık indisine göre zeminlerin sınıflandırılması (IAEG, 1981) .....	51
<b>Çizelge 4.3</b> Numunelerin LL ve PL değerleri ile yapılan hesaplamalar.....	52
<b>Çizelge 4.4</b> Numunelerin kıvam limitlerine göre sınıflandırılması .....	52
<b>Çizelge 4.4</b> Numunelerin kıvam limitlerine göre sınıflandırılması .....	53

<b>Çizelge 4.5</b> Numunelerin kıvam limitlerine göre sınıflandırılması .....	53
<b>Çizelge 4.6</b> Numunelerin TS 1500 Standartına göre zemin sınıflandırması .....	54
<b>Çizelge 4.7</b> Heyelan bölgesine ait analiz sonuçları .....	54
<b>Çizelge 4.8</b> Ocak İlerleme yönü ait analiz sonuçları (G: Basamak genişliği, H: Basamak Yüksekliği, A: Şev Açısı) .....	55
<b>Çizelge 4.9</b> Yeşil kil (Y) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	57
<b>Çizelge 4.10</b> Yeşil kil (Y) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	58
<b>Çizelge 4.11</b> Kırmızı kil 1 (K1) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	59
<b>Çizelge 4.12</b> Kırmızı kil 1 (K1) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	60
<b>Çizelge 4.13</b> Kırmızı kil 2 (K2) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	61
<b>Çizelge 4.14</b> Kırmızı kil 2 (K2) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	61
<b>Çizelge 4.15</b> Gri Marn (HG) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	62
<b>Çizelge 4.16</b> Gri Marn (HG) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	63
<b>Çizelge 4.17</b> Sarı Marn (HS) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	64
<b>Çizelge 4.18</b> Sarı Marn (HS) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	65
<b>Çizelge 4.19</b> Kum Çakıl (KÇ) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	66
<b>Çizelge 4.20</b> Kum Çakıl (KÇ) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları .....	67



## SİMGELER DİZİNİ

<b>n</b>	: Porozite (%)
<b><math>\gamma</math></b>	: Birim hacim ağırlık ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
<b><math>\omega_n</math></b>	: Su muhtevası (%)
<b><math>\phi</math></b>	: İçsel sürtünme açısı (°)
<b>c</b>	: Kohezyon
<b><math>\theta</math></b>	: Dilimler arası kuvvet eğimi
<b>F</b>	: Emniyet katsayısı
<b>K</b>	: Sismik katsayısı
<b>N</b>	: Normal kuvvet
<b>X</b>	: Dilimler arası düşey kuvvet
<b>E</b>	: Dilimler arası yatay kuvvet
<b><math>S_v</math></b>	: Dilim sınırında mevcut kesme kuvveti
<b><math>\lambda</math></b>	: Bilinmeyen bir ölçekleme parametresi
<b><math>\beta</math></b>	: Genel şev açısı (°)
<b><math>\alpha</math></b>	: Basamak şev açısı (°)
<b>W</b>	: Dilim ağırlığı
<b>PI</b>	: Plastisite İndisi
<b><math>I_c</math></b>	: Kıvamlılık İndisi
<b>LL</b>	: Likit limit
<b>PL</b>	: Plastik limit
<b>G</b>	: Basamak Genişliği
<b>H</b>	: Basamak Yüksekliği
<b><math>I_s</math></b>	: Düzeltilmemiş numune yükleme dayanımı
<b>P</b>	: Numuneyi kırmak için uygulanan kuvvet
<b><math>D_e</math></b>	: Eşdeğer karot çapı
<b><math>I_{s50}</math></b>	: Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi

## KISALTMALAR DİZİNİ

- DSİ** : Devlet Su İşleri  
**İTÜ** : İstanbul Teknik Üniversitesi  
**MTA** : Maden Tetkik Arama  
**SCÜ** : Sivas Cumhuriyet Üniversitesi  
**YASS** : Yer Altı Su Seviyesi  
**GLE** : General Limit Equilibrium (Genelleştirilmiş Likit Denge)  
**AFAD** : Afet ve Acil Durum  
**DEM** : Digital Elevation Model



## 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar insanlığın ihtiyaçlarını karşılamak üzere birçok derin kazılar yapılmıştır. Günümüzde gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar ile daha fazla mühendislik kazılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Açık maden ocağı işletmeleri, yollar, barajlar, tüneller, bina kazıları gibi ihtiyaçlara yönelik birçok kazı çalışması yapılmaktadır. Yapılan mühendislik çalışmaları ile kazılarda oluşan şevler; yapıldığı yerin topografyası, kaya-zemin durumu, yeraltı suyu, yağış miktarı, depremler veya insan kaynaklı dış etkenlere bağlı olarak stabil halde kalması hedeflenmektedir. Baraj, yollar, köprüler gibi kalıcı yapılarda şevlerin stabilitesi ihtiyaç durumuna göre istinat duvarları, püskürtme beton, kaya saplamaları gibi mühendislik çalışmaları ile sağlanabilirken çok büyük alanlarda yapılan madencilik çalışmalarında aynı önlemlerin alınması ekonomik olmayacağından, sahadaki kaya-zemin yapısının doğru tespiti, yeraltı suyu, yağış miktarları gibi verilerin doğru analizi ile optimum basamak açısı, basamak yüksekliği ve basamak açısı belirlenerek sağlanabilmektedir. Bu tez kapsamında Amasya İli, Merzifon ilçesi hudutlarında bulunan açık kömür ocağında oluşan ve oluşturulacak şevlerin optimum seviyelerinin tespiti üzerine çalışılmıştır.

### 1.1. Problemin Tarifi

Günümüzde gelişen sanayii ve teknoloji ile birlikte artan ihtiyaçlar olmazsa olmaz olan madenler üretimlerinin miktarlarını da artırmıştır. Yenilenemeyen kaynaklardan olan yeraltı zenginliklerimizin bilim ve teknolojiden faydalanılarak üretilmesi zorunlu bir hal almaktadır. Yüze yakın maden cevherlerinin giderek azalması dolayısıyla daha derin kazılar ile cevhere ulaşılabilmeyi mecbur kılmaktadır. Yapılan büyük kazılarla şev stabilite probleminde beraberinde getirmektedir. Kaya-zemin yapısı, deprem, yeraltı suyu, yağışlar gibi doğal faktörlerin hesaba katılmadan yapılan kazılarda oluşan şevler ilerleyen zamanlarda şev bozulmalarına sebebiyet vererek can ve mal güvenliğini tehlikeye atabilecektir. Çalışma konusu olarak seçilen ocakta, hali hazırda şev ve heyelan problemleri yaşanmaktadır. Mevcut durum ile üretim yapılması planlanan bölgeler için emniyetli şev boyutları ve analizlerin yapılması gereklidir.

Bu çalışmada çalışma konusu olarak seçilen ocakta mevcut durum, yeni oluşturulacak basamaklar için proje boyutları durumu, değişik basamak boyutları için emniyet faktörleri ve risk durumunda olan kayma bölgeleri için topuğa yük konulmasındaki emniyet faktöründeki iyileştirmeler bilgisayar ortamında analiz edilecektir.

### 1.2. Tez Konusu ve Kapsamı

Bu tezin amacı, çalışma konusu olarak seçilen bir kömür ocağındaki birimlerin laboratuvarında fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyerek işletmenin mevcut durumdaki şevler ile işletilmesi planlanan bölgedeki basamakların şev analizlerini yaparak emniyetli çalışılabilecek boyutları araştırmaktır. Bunun için öncelikle saha ve konu hakkında literatür araştırması yapılmış kayma tipleri ve şev analiz yöntemleri tezin ikinci bölümünde

özetlenmiştir. Ocaktaki birimlerin jeolojisi, fiziksel ve mekanik özellikleri ve değişik seneryolar için Slide programı yardımıyla yapılan şev analizleri üçüncü bölümde detaylı verilmiştir. Deneylelerden ve şev analizlerinden elde edilen sonuçlar dördüncü bölümde tartışılmıştır. Mevcut ocak için yapılan şev analizleri sonuçlar bölümünde özetlenmiş ve sonraki çalışmalar ve ocak hakkında yapılması gerekenler öneriler bölümünde verilmiştir.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

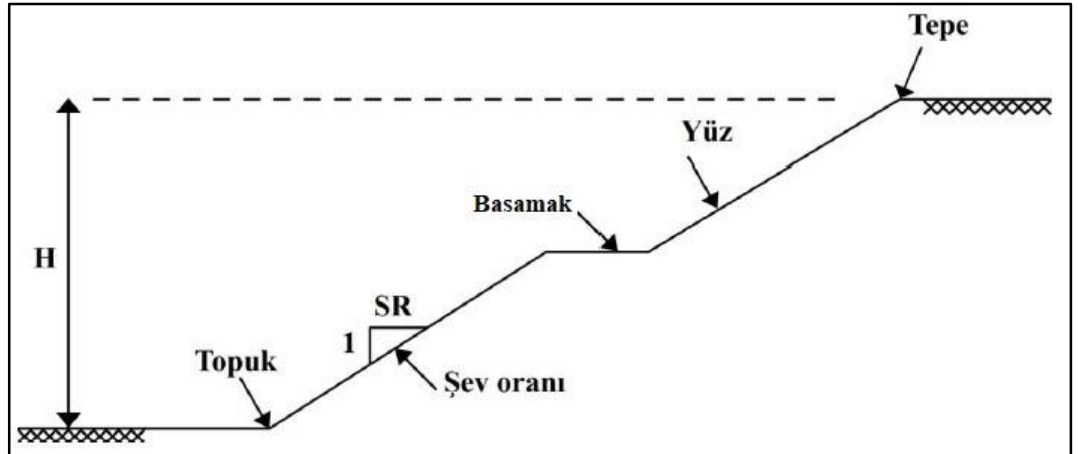
Bu bölümde, tezin konusu olan şevlerin tanımı, tarihçesi, heyelan tanımı, heyelana neden olan faktörler ve şev stabilitesi analiz yöntemleri hakkında bilgiler derlenmiştir.

### 2.1. Şev Terminolojisi

Geoteknik mühendisliğinde zemin/kaya yüzeylerindeki eğimli şekillere “şev” denilmektedir. Genelde mühendislik uygulamaları sonucunda oluşturulan şevler “kazı veya dolgu şevi” olarak adlandırılırken, doğa tarafından şekillendirilen şevler “doğal şev” olarak adlandırılır. Önalp ve Arel (2004) tarafından doğal yollar ile oluşmuş şevler için “yamaç” terimi kullanılmaktadır ve yamaç hareketleri için “heyelan”, şev hareketleri için ise “kayma”, “göçme”, veya “gelme” terimlerinin kullanıldığı belirtilmektedir (Tekin, 2011).

Coduto (2006), şevleri tanımlarken aşağıdaki bir kaç özel terimi kullanmıştır (Şekil 2.1);

- Şev oranı şevin dikliğini tanımlar ve daima yatay : düşey olarak ifade edilirler. Örnek olarak, 3 : 1 lik bir şev üç yataya bir düşeyi anlatır ve 1 : 3 lük bir şev ondan daha diktir.
- Şevin tepesi ve şevin topuğu şevin düz yüzeyi kestiği noktalarlardır.
- Şevin yüzeyi, şevin tepesi ve topuğu arasında kalan yüzeydir.
- Şev yüksekliği, şevin tepesi ile topuğu arasındaki kot farkıdır.
- Basamak (seki) yüzey drenajını sağlamak için yarma ve dolgu şevlerinde oluşturulan şev yüzeyinin ortasına denk gelen düzlük alanıdır.



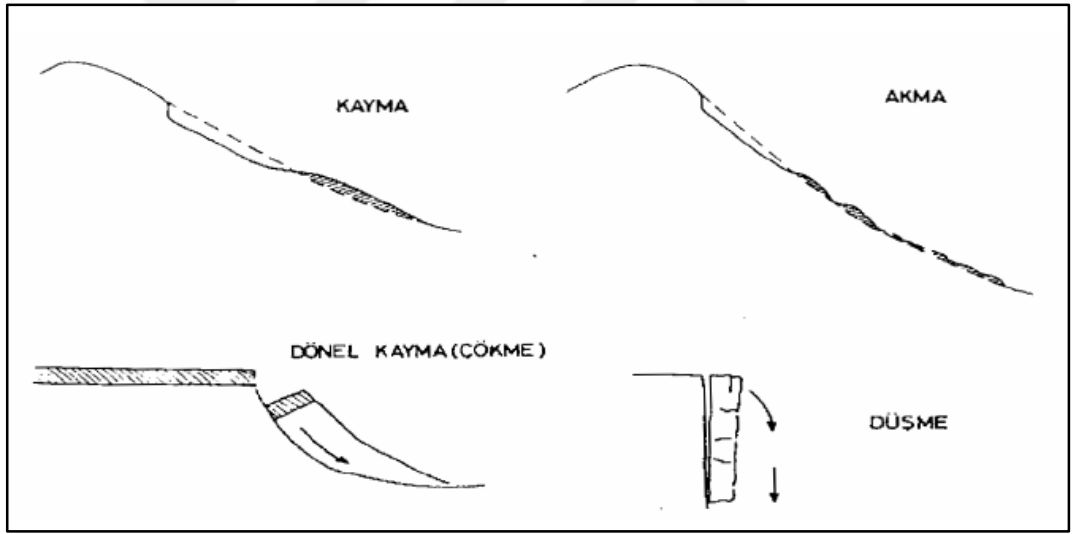
Şekil 2.1 Şev terminolojisi (Coduto, 2006)

## 2.2. Şev Hareketleri

Bugüne kadar şev hareketleri değişik ölçütler kullanılarak değişik şekillerde sınıflandırılmıştır. Bu konudaki çalışmalar bakıldığında Sharpe (1938), Terzaghi (1950), Skempton (1969), Baker (1958), Zaruba-Mencl (1969), Eckel (1958) ve Varnes (1978) tarafından yapılan sınıflandırmalar en çok kullanılanlardır. (akt. Erçin Öz 2007)

- Hareketin tipi, boyutu, nedenleri ve hızı
- Hareket eden kütledeki malzemelerin türü, dizisi ve yası
- Hareket eden kütle ile alttaki kütleler arasındaki bağlantı
- Zeminlerdeki su muhtevası
- Kayma mukavemeti parametreleri ( Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı )

Oldukça basit ve kullanışlı sınıflandırma Blong tarafından önerilmiştir (Blong, 1973). Buna göre şev hareketleri Şekil 2.2'de gösterildiği gibi kaymalar, dönele kaymalar ve çökmeler, akmalar, düşmeler olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Bu dört kategorili ayırımın basit olmasının yanı sıra birçok mühendislik uygulamaları için yeterli olduğu söylenebilir (Walker, 1987).



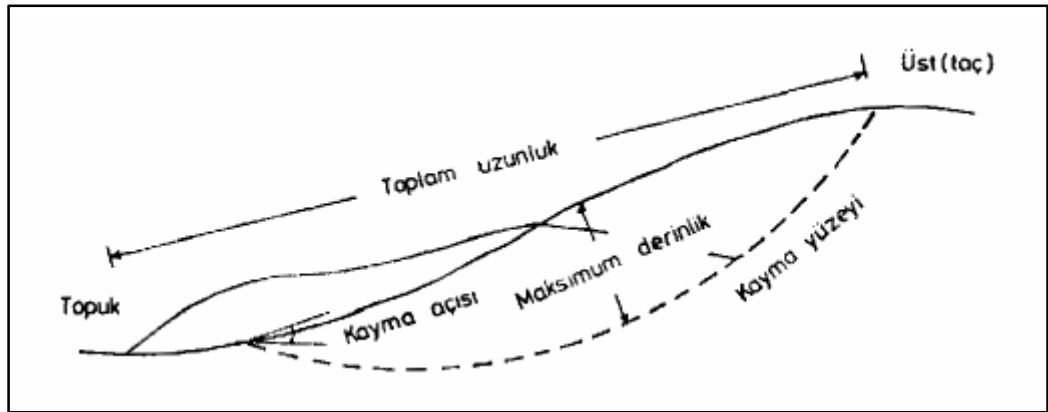
Şekil 2.2 Blong şev hareket tipleri (Blong, 1973)

Şev hareketleriyle ilgili birçok sınıflandırma bulunmakla birlikte en çok kullanılan Varnes (1978)'in yapmış olduğu sınıflandırmadır (Çizelge 2.1)

**Çizelge 2.1** Şev göçmeleri için sınıflandırma (Varnes, 1978)

HAREKET TÜRÜ		MALZEMENİN TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Daneli	İnce Daneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Molozda devrilme	Zeminde devrilme
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
KAYMA	Ötelenmeli	Kayada blok türü ötelenme	Zeminde ve molozda blok türü ötelenme	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada dönel kayma	Zeminde ve molozda dönel kayma	
YANAL YAYILMA		Kaya yayılması	Zemin veya moloz yayılması	
KARMAŞIK		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

Skempton (1953) tarafından yapılan tanımlamada ise oluşan kaymanın derinlik ve uzunluk oranına göre bir sınıflama yapılmıştır.



**Şekil 2.3** Derinlik/Uzunluk oranına göre sınıflandırma (Skempton ve Hutchinson, 1953)

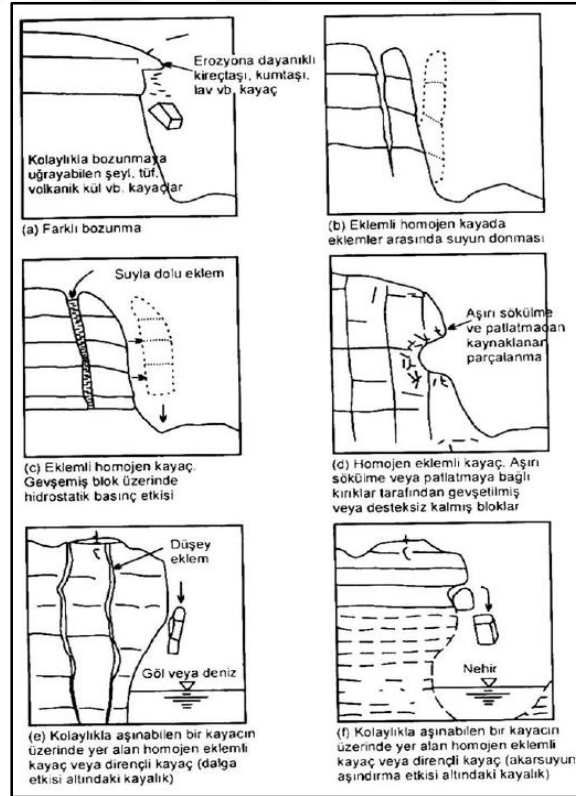
Şekil 2.3' de görüldüğü gibi D kaymanın maksimum derinliği ve L maksimum uzunluğu temsil etmektedir. D/L oranına göre sınıflandırma Çizelge 2.2' deki gibidir.

**Çizelge 2.2** Farklı hareket tiplerine göre D/L oranları (Skempton ve Hutchinson, 1953)

Hareket Tipi	D/L (%)
Kaymalar	5-10
Akmalar	0,5-3
Çökmeler	15-30

### 2.2.1. Düşme

Coduto (2006) düşmeyi bir yamaçtan hızla düşen, yuvarlanan ve savrulan kaya ve zemin parçalarının oluşturduğu yamaç yenilmesi olarak tanımlamıştır. Bu malzemeler cinsine göre kaya, moloz ve zemin düşmesi olarak 3 alt başlığa ayrılırlar. Jeolojik birimin cinsi, tabakalanma ve şistozite özellikleri, ayrışma, dayanım, süreksizlik özellikleri (çatlak ara uzaklıkları, çatlak açıklıkları, çatlak yüzey özellikleri, pürüzlülük, çatlak dolgu özellikleri ve çatlak yüzeylerindeki ayrışmalara bağlı olarak), bloklaşmış jeolojik yapıda yamaç molozu türündeki malzemede ve rezidüel veya taşınarak depolanmış zeminleşmiş birimlerde yeraltı suyu durumu ve yüksek topoğrafik eğim koşullarında, topuk oyulmaları, donma-çözülme etkilerine bağlı olarak hidrostatik basınç etkisiyle kendi ağırlığı ile direk düşme, kopma şeklinde eğimin düştüğü düzlemlerde hareketin sonlandığı kayma türleridir (Anaçali ve Şirin, 2015). Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçleri gösteren şema Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

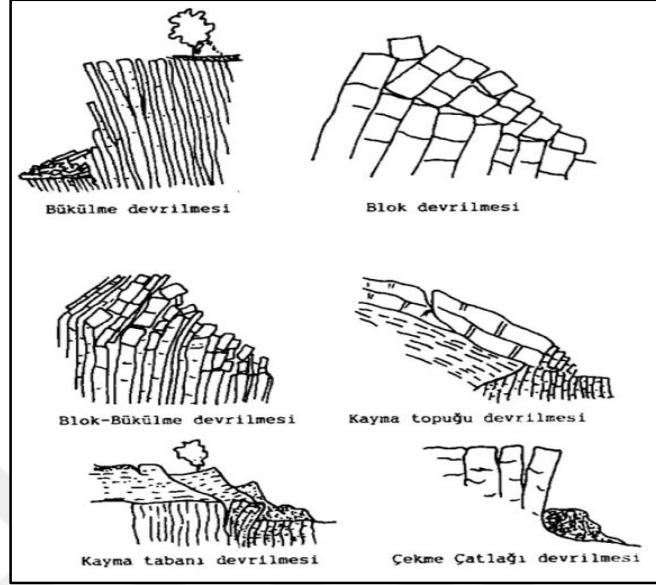


**Şekil 2.4** Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001)



### 2.2.2. Devrilme

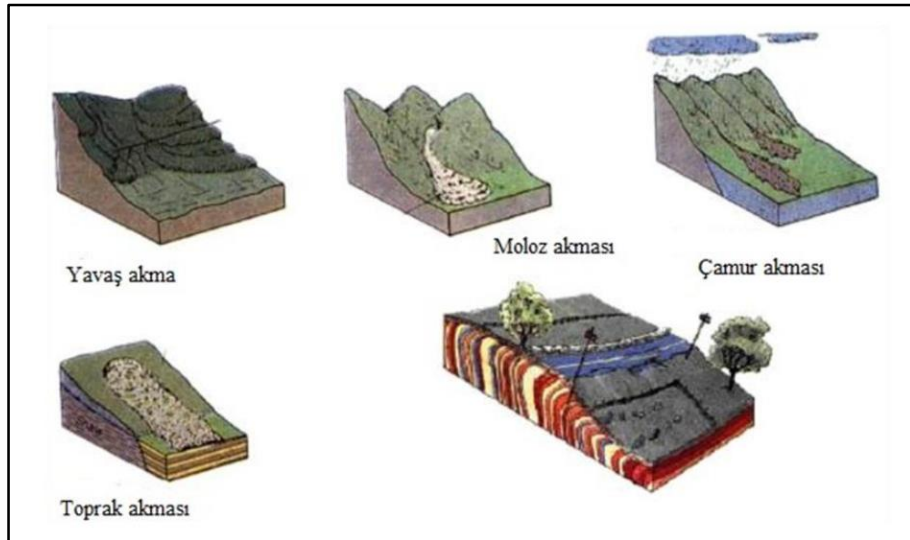
Süreklilik yüzeylerinin fazla olduğu kayalarındaki şevlerin bozularak yıkılmaları devrilme olarak adlandırılır. Bükülme devrilmesi, blok devrilmesi gibi türlerde meydana gelebilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Doğada gözlenen devrilme türleri (Goodman ve Bray, 1976)

### 2.2.3. Akma

Konsolide olmamış malzemelerin doygun ya da kuru halde şev boyunca sıvı halde gibi davranarak hareketi ile oluşan şev hareketlerine denir. Kum, Kil ve moloz bayutlarına kadar değişken malzemelerde bu hareketler görülebilir. Kum akması, çamur akması, moloz akması şeklinde adlandırılabilirler (Şekil 2.6).



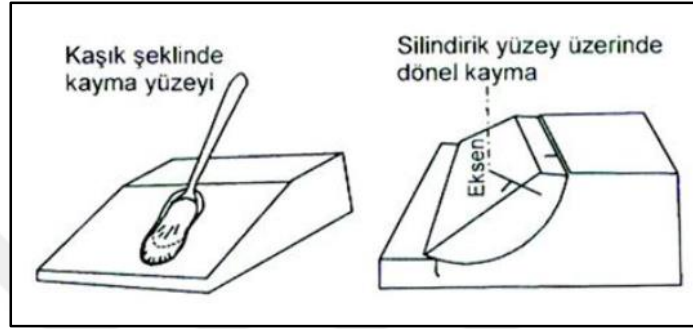
Şekil 2.6 Akma türleri (Ulusay, 2001)

#### 2.2.4. Kayma

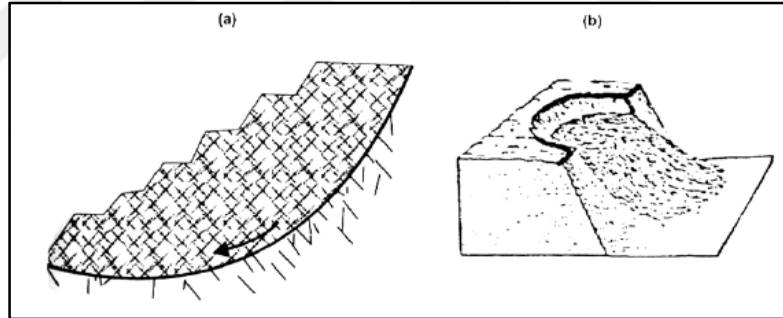
Ulusay (2001) şevdeki malzemenin belirli bir yüzey boyunca makaslama yenilmesinin etkisiyle dönele veya ötelenmeli hareket türü olarak tanımlamıştır. Şevlerdeki en yaygın duyarlılık türü dönele ve ötelenmeli kaymadır.

##### 2.2.4.1. Dönele (Dairesel) kayma

Bu tür kaymaların kayma yüzeyi kaşık (dairesel) şeklindedir. Kayan kütlelerin tepesi hareket sonrası geriye doğru yatmış vaziyette alır. Dairesel kayma; ileri derecede eklemli ve ayrılmış kayalarda görülebilir (Şekil 2.7 ve 2.8).



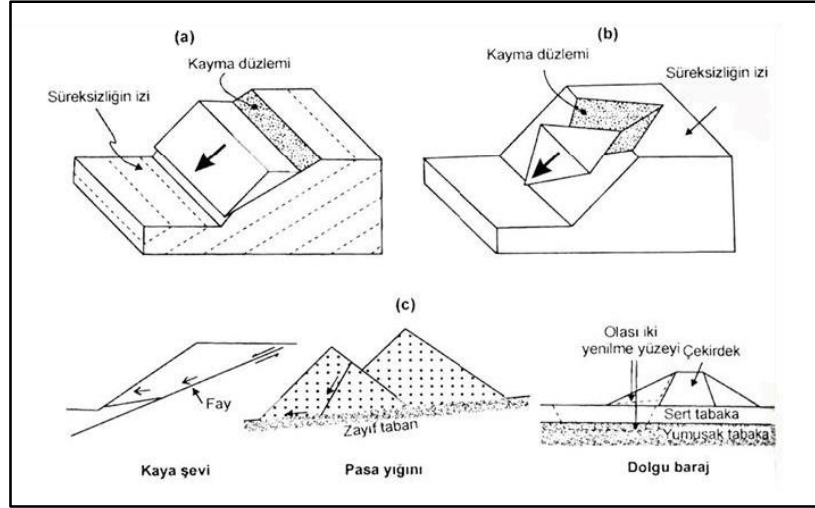
Şekil 2.7 Dönele (Dairesel) kayma (Ulusay, 2001)



Şekil 2.8 a) İleri derecede eklemli kaya kütlelerinde ve b) Ayrılmış kayalarda dairesel kayma (Ulusay, 2001).

##### 2.2.4.2. Ötelenmeli (Düzlemsel) kayma

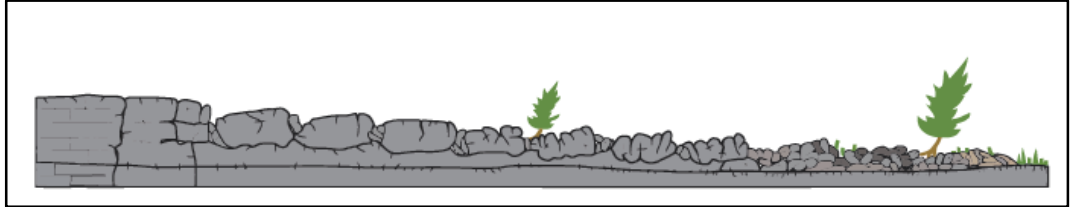
Bu tür kaymalarda kayan malzeme kayma düzlemine paralel olarak hareket eder. Dairesel kayma hareketi ile kıyaslandığında kayan kütle aşırı derecede deforme olmaz. Kayma yüzeyi tabakalanma, eklem, fay, makaslama zonu gibi süreksizlik yüzeyleri boyunca meydana gelir. Kayma düzleminin geometrik şekline göre kama türü veya çok yüzeyli kayma gibi çeşitlendirilebilir (Şekil 2.9).



**Şekil 2.9** a) Düzlemsel kayma b) Kama tipi kayma c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001)

### 2.2.5. Yanal yayılma

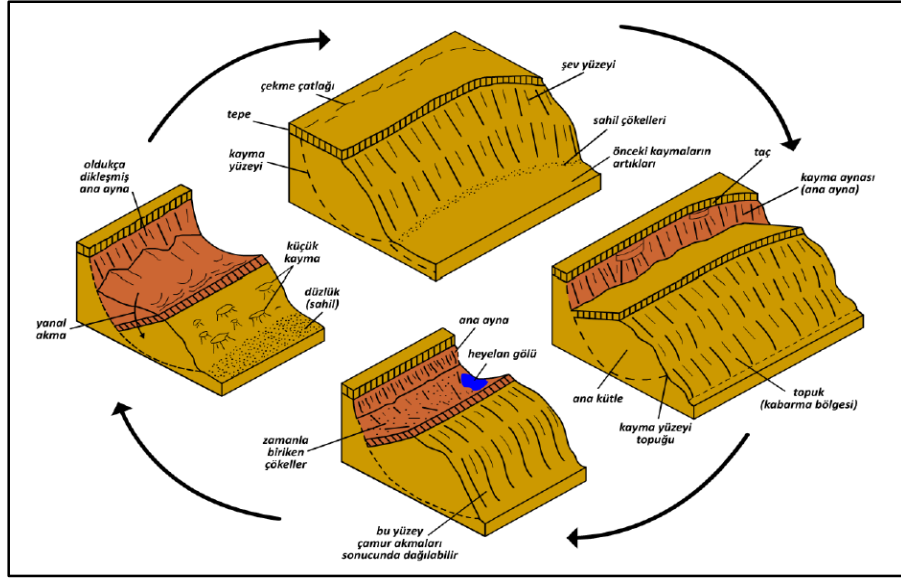
Kohezyonlu topraklar veya kaya kütlelerinin altında bulunan daha yumuşak bir zemin üzerinde genişlemesidir. Yenilme yüzeyi en büyük makaslama gerilmesinin geliştiği yüzey olmayıp, sıvılaşma veya yumuşak zeminlerin akması sonucunda gerçekleşebilir. (Şekil 2.10)



**Şekil 2.10** Yanal yayılma (AFAD, 2015).

### 2.2.6. Karmaşık hareketler

Birden fazla şev hareketinin aynı anda görülmesi şeklindedir. Devrilme türü olarak başlayan bir kaya düşmesi hareketi devamında kaya akmasına dönüşebilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Karmaşık kayma (Bromhead, 1986).

### 2.3. Şev Hareketlerine Sebep Olan Faktörler

Şev hareketlerine sebep olan faktörleri (Tunç, 2010) 5 ana başlık altında toplamıştır. Bu sebepler;

**Şev eğiminin değişimi:** Şev eğiminin kazı nedeni gibi etkenlerle değiştirilmesi sonucu oluşur.

**Şev üstündeki ağırlığın artması:** Şevin üzerine dolgu, döküm, bina yapıları vb. etkiler ile yükün artırılması sonucu oluşur.

**Zemindeki su içeriğinin artması:** Yer altı su tabakasının yükselmesi, yağış miktarının artması veya kar erimesi gibi sebepler şev zeminindeki su içeriğinin artmasına neden olacaktır. Zeminde artan su, kohezyonsuz zeminlerin sürtünme direncinin azalmasına, kohezyonlu zeminlerde şişme potansiyelinden ötürü ilave gerilmelerin artmasına ve efektif kohezyonun azalmasına ayrıca yer altı suyunun yaratacağı yatay toprak basıncından ötürü kaymaya çalışan kuvvetlerin artmasına ve kayma dirençlerinin azalmasına neden olacağından dolayı şevin stabilitesi bozulacaktır.

**Kayma mukavemetinin azalması:** Zeminin zamanla dış etkenlerden bozunması, minerolojik yapısının değişimi, çatlakların büyümesi, tektonik hareketler, kayma defomasyonlarının (sünme) artması vb. nedenlerden dolayı zeminin kayma mukavemeti azalacağından dolayı şevin stabilitesi bozulacaktır (Tunç, 2010).

**Dinamik etkiler:** Deprem, patlatma, vibrasyon, vb. dinamik etkilerin varlığı gevşek kum ve şiltlerde sıkışmaya, su tablası altındaki zeminlerde boşluk suyu basıncının artması ile anı göçmelere, zeminin sıvılaşmasına, vb. nedenlerinin oluşmasına sebep olacağı için şevin stabilitesinin bozulmasına sebep olacaktır (Tunç, 2010).

## 2.4. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri

Bir zemin kütlelerinin belirli bir yüzey boyunca kaymaya karşı olan emniyetine, o kütlelerin stabilitesi denir. Belirli bir yüzeydeki kayma gerilmeleri o yüzeyde mevcut kayma mukavemetini aştığı anda kayma hareketi oluşur. Şev stabilite analizlerinin amacı; şevlerinin kayma - göçme olmadan stabil bir vaziyette bulunmaları için şevlere verilebilecek en dik eğimlerin tespit edilmesidir.

Şevlerde stabilite analizi çalışmaları 18. yy'ın sonlarından itibaren başlamış (Coduto 2006) ve kuramsal çalışmaların ilerlemesiyle geliştirilmiştir. Coulomb zemin kütleleri içerisindeki kayma kayması dengesini inceleyerek oluşturduğu kayma yüzeyi kabulü ilerleyen dönemdeki çalışmaların temelini oluşturmuştur. 20. yy'ın başlarında yol, demiryolu, liman gibi yapıların inşasında büyük kaymalar olmuş ve bu kaymalara çözüm aranmaya başlamıştır. Heyelan sorununu incelemek ve bu konu ile ilgili çalışmalar yapmak amacıyla Amerika ve İsveç'te başta olmak üzere çeşitli kurumlar oluşturulmuş ve araştırmalar yapılmıştır. Fellenius ve Peterson tarafından kayma analizi ile ilgili yöntemler geliştirilmiştir (Bjerrum 1963, Petterson 1955). İsveç kayma dairesi yöntemi de bu çalışmaların sonucunda sunulmuştur (Coduto 2006). Janbu ve Bishop geliştirdikleri yöntemler ile önceki "Dilim Yöntem"lerinde ihmal edilen yanal kuvvetleri de hesaba katacak hesaplamalar yapmışlardır. Şev Stabilitesinde Kullanılan bazı yöntemler Çizelge 2.3'de verilmektedir.

**Çizelge 2.3** Şev stabilitesinde kullanılan bazı yöntemler (Ulusay, 1996)

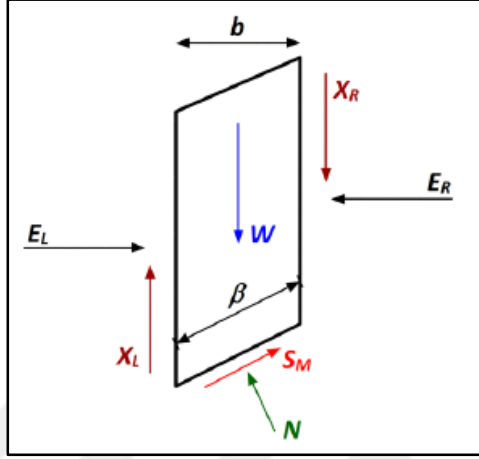
Metod	Kayma Yüzeyi Şekli	Denge koşulları	İçsel kuvvetlerle ilgili kabuller
İsveç Dilim Yöntemi (Fellenius)	Dairesel	Moment	Sonuçlar tabana paralel
Basitleştirilmiş Bishop	Dairesel	Moment	Yatay
Kesin Bishop	Dairesel	Moment ve kuvvet	Dağıtım
Spencer	Dairesel, dairesel olmayan	Moment ve kuvvet	Sabit eğim
Basitleştirilmiş Janbu	Dairesel, dairesel olmayan	Kuvvet	Yatay düzeltme faktörü
Kesin Janbu	Dairesel, dairesel olmayan	Moment ve kuvvet	Gerilme çizgisi tanımlama
Morgenstren ve Price	Dairesel, dairesel olmayan	Moment ve kuvvet	$X/E=\lambda.f(x)$

### 2.4.1. Fellenius yöntemi (İsveç dilim yöntemi)

İsveç dilim yöntemi kayma dairesinin küçük dilimlere ayrılarak hesaplamaların yapıldığı ilk dilim tekniğidir. Basit bir hesaplama yöntemi olduğundan el hesabı ile güvenlik katsayısı hesaplanabilir. Bu yaklaşımda dilimlerin arasında oluşan kuvvetler ihmal edilir ve hesaplamalara dahil edilmez (Şekil 2.12). Dilim ağırlığının tabana dik ve paralel oluşturduğu kuvvetler bileşkelere ayrılırlar. Tabana dik oluşan kuvvet normal kuvvet olarak adlandırılır. Paralel oluşan kuvvet ise şevin kaymasına sebep olan kuvvet olarak kabul edilir. Bu kuvvetlerin momentlerinin toplamı kayma yüzeyindeki güvenlik katsayısı hesaplanmasında kullanılır. Kayma yüzeyi boyunca oluşan kayma mukavemetinin mobilize olan kayma gerilmesine oranı güvenlik katsayısını [2.1] verecektir (Krahn, 2004).

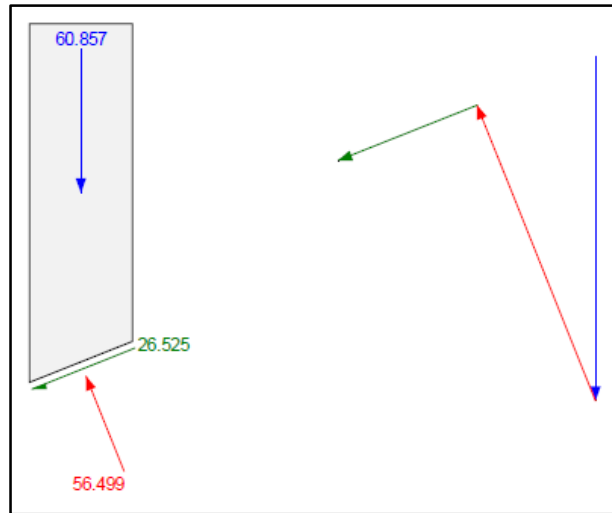
$$FS = \frac{\sum [c\beta + N \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha} = \frac{\sum S_{maksimum}}{\sum S_{mobilize}} \quad [2.1]$$

- c : kohezyon
- $\beta$  : dilim taban uzunluğu
- N : taban normal kuvvet =  $W \cos \alpha$
- $\Phi$  : içsel sürtünme açısı
- W : dilim ağırlığı
- $\alpha$  : dilim tabanının eğimi



**Şekil 2.12** Dilim üzerine etkiyen kuvvetler

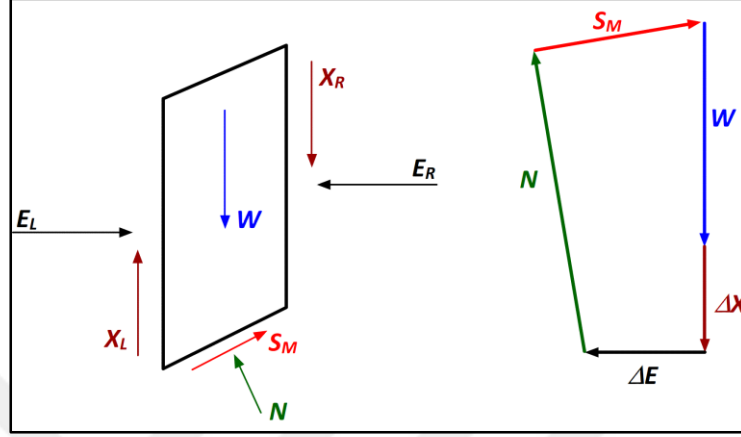
Bu yöntemde dilimler arası kuvvetler ihmal edilir ve buna bağlı olarak serbest cisim diyagramında kuvvet dengesi sağlanamaz ve vektörler arası denge sağlanamaz. Başka bir deyişle, dilimler arası kuvvetler ihmal edildiği için dilim tabanındaki kayma ve normal kuvvetleri dengeleyecek başka bir kuvvet olmadığından kuvvet poligonu, özellikle dilim tabanı yataylaştıkça kapanamaz (Şekil 2.13). Bu yöntem uygulama problemlerinde kullanılmamalıdır.



**Şekil 2.13** Kapanmayan kuvvet poligon örneği (Krahn, 2004)

### 2.4.2. Bishop yöntemi

Bishop (1955) geliştirdiği yöntem ile Fellenius (1927, 1936) yöntemlerinin eksikliklerini ortaya koyarak yeni bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Bishop Şekil 2.14'de gösterildiği gibi dilim tabanındaki normal kuvveti, dilim kuvvetlerini dikey yönde toplayarak bir denklem [2.2] elde etmiştir.



Şekil 2.14 Dilim düzlemine etkiyen kuvvetler (Bishop, 1955)

$$N' = \frac{W + \Delta X - \beta [u \cos \alpha + c' \sin \alpha / F]}{\cos \alpha + (\tan \phi' / F) \sin \alpha} \quad [2.2]$$

Kayma dairesinin merkezi boyunca alınan moment sonucunda Bishop tarafından önerilen güvenlik sayısı [2.3] bağıntısı ile hesaplanabilir (Bromhead, 1985).

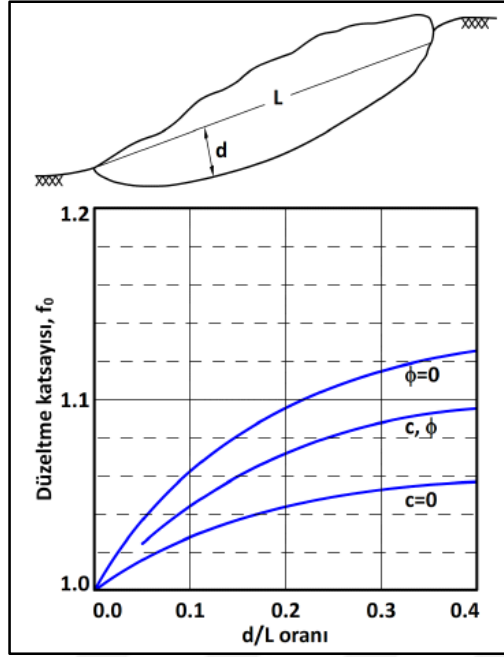
$$F = \frac{\sum \{c'b + (W - ub + \Delta X) \tan \phi'\} \frac{\sec \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi' / F}}{\sum W \sin \alpha} \quad [2.3]$$

### 2.4.3. Janbu yöntemi

Janbu (1956) Bishop'un yaptığı çalışmalardan sonra dairesel olmayan kaymaların analizi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Janbu'nun basitleştirilmiş yönteminin yatay kuvvet dengesini sağlaması, genel moment dengesi dışında Bishop'un basitleştirilmiş yöntemine benzer. Bishop yöntemin bir başka farkı ise herhangi bir yenilme yüzeyine uygulanabilir olmasıdır. Kayma yüzeyi bir seri kritik daire kabulü yerine bir kayma yüzeyi kabulüne dayandırılır. Janbu güvenlik sayısı ifadesi denklem [2.4]'de verilmiştir.

$$F = \frac{\sum \{c'\beta + (W - u\beta + \Delta X) \tan \phi'\} \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi' / F}}{\sum W \tan \alpha} \quad [2.4]$$

Janbu (1973) tarafından yapılan bir düzenlemede, şevin derinliği ve genişliğine bağlı olarak güvenlik katsayısının bir düzeltme faktörü ( $f_0$ ) ile çarpılmasıdır. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15 Janbu düzeltme katsayısı,  $f_0$

#### 2.4.4. Morgenstern ve Price yöntemi

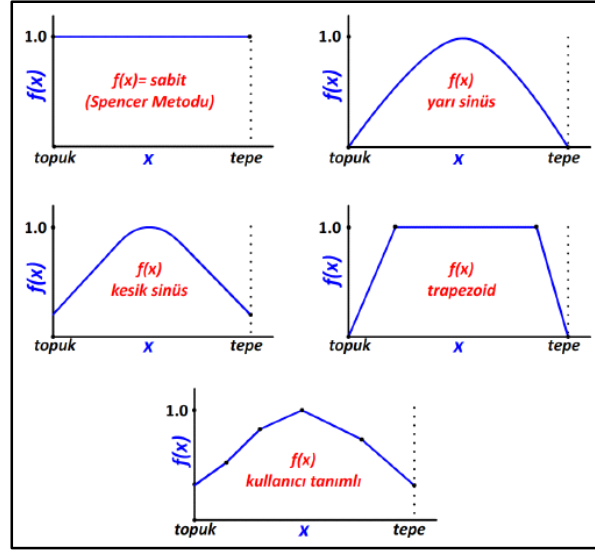
Morgenstern-Price (1965) dilimler arası normal kuvvet ve kayma kuvvetlerini farklı kuvvet fonksiyonları ile tanımlamıştır. Bu yöntemde tüm statik denge gereksinimleri sağlanmaktadır. Problem dilimler arası normal ve kesme kuvveti arasında bir ilişki olduğu varsayımıyla tanımlı hale getirilmiştir. Dilimler arasındaki kesme kuvvetlerinin normal kuvvetlerle ilişkisi [2.5]'de olduğu gibi varsayılır.

$$X = \lambda f(x)E \quad [2.5]$$

Burada,  $X$  ve  $E$  dilimler arasındaki düşey ve yatay kuvvetler;  $\lambda$  = bilinmeyenlerin bir parçası olarak çözülen, bilinmeyen bir ölçekleme faktörü ve  $f(x)$  = değerleri her dilim sınırında önceden tayin edilmiş olan bir varsayım fonksiyonudur. Morgenstern ve Price yönteminde dilim tabanında normal gerilmenin yeri doğrudan veya dolaylı olarak varsayılır. Morgenstern ve Price yönteminin orijinal formülünde gerilmeler,  $f(x)$ 'in dilim boyunca doğrusal değiştiği varsayımıyla her dilim boyunca entegre edilmişlerdir (Morgenstern ve Price, 1967). Bu yaklaşım, dilim tabanında normal kuvvetin yeri de dahil olmak üzere, normal gerilmelerin dağılımını dolaylı olarak sabitlemiştir. Morgenstern ve Price yönteminin son zamanlardaki uygulamalarında dilimler için özel formüller kullanılmakta ve normal kuvvetin yeri varsayım ile belirlenmektedir. Normal kuvvetin tipik olarak dilim tabanının orta noktasında veya dilim tabanında ağırlık merkezinin tam altında bir noktada etki ettiği varsayılır (Duncan J.M. 2005).

Morgenstern-Price (1965) dilimler arasındaki kuvvetler; sabit, sinüs, kesilmiş sinüs, trapezoid ve kullanıcı tanımlı fonksiyonlar olarak tanımlanabilir (Şekil 2.16)



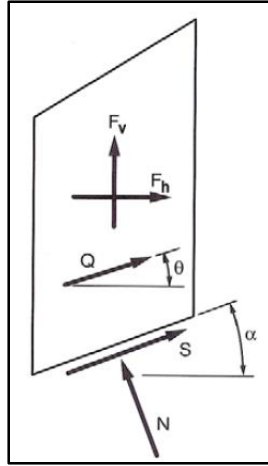


**Şekil 2.16** Morgenstern-Price (1965) yöntemine göre dilimler arasındaki kuvvet fonksiyonu türleri

#### 2.4.5. Spencer Yöntemi

Spencer (1967) yöntemi dilimlerarası kuvvetlerin paralel (yani, tüm dilimler-arası kuvvetlerin eğiminin aynı) olduğu varsayımına dayanır. Dilimler-arası kuvvetlerin spesifik eğimleri bilinmez ve denge denklemlerinin çözümü içinde bilinmeyenlerden biri olarak hesaplanır. Spencer yönteminde ayrıca normal kuvvetin ( $N$ ) her dilimin tabanının ortasında etki ettiği varsayılır (Şekil 2.17). Makul derecede çok sayıda dilim kullanılması şartıyla, bu varsayımın bilinmeyenlerin hesaplanmış değerleri üzerine etkisi önemsizdir; esasen Spencer yöntemindeki tüm hesaplamalar bilgisayar yoluyla yapılır ve yeterince fazla dilim sayısı kolaylıkla elde edilir.

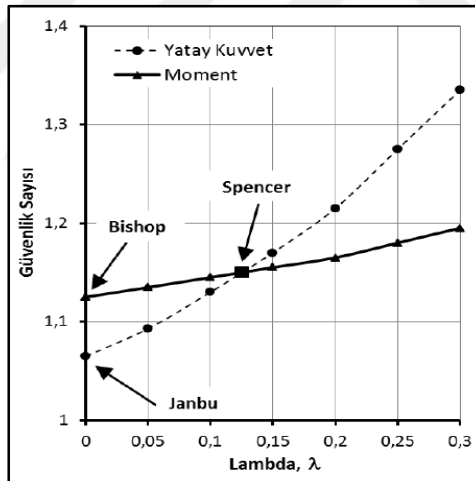
Spencer bu yöntemi başlangıçta dairesel kayma yüzeyi için sunmuş olsa da, dairesel olmayan kayma yüzeylerine kolaylıkla uygulanabilmektedir. Burada, dairesel olmayan kayma yüzeyleri varsayılmıştır. Spencer yönteminde önce iki denge denklemi çözülür. Denklemler, tüm dilimleri içeren zemin kütlelerinin tamamının genel kuvvet ve moment dengesini kapsar. İki denge denklemi, bilinmeyen emniyet katsayısı ( $F$ ) ve dilimler arası kuvvet eğimi ( $\theta$ ) için çözülür. Dilimlerarası kuvvetler paralel kabul edildiğinden, çözülmesi gerekli bilinmeyen dilimler arası kuvvet eğimi sayısı sadece birdir. (Duncan J.M. 2005)



**Şekil 2.17** Spencer yönteminde bir dilim üzerine etkiyen bilinen ve bilinmeyen kuvvetler

Özetle, Spencer (1967) tarafından önerilen yöntem:

- Dilimler arası normal ve dilimler arası kayma kuvvetlerini dikkate alır,
- Hem moment hem de yatay kuvvet dengesini hesaba katar,
- Dilimler arasındaki kuvvetlerin oranını ( $X/E$ ) sabit kabul eder.



**Şekil 2.18** Spencer yönteminde iki denge denklemini de sağlayan güvenlik sayısının farklı  $\lambda$  değerleri kullanılarak hesaplanması (Krahn, 2004)

#### 2.4.6. Sarma Yöntemi

Sismik katsayısı ( $k$ ) bilinmeyen ve emniyet katsayısını da bilinen olarak göz önüne almasından dolayı, Sarma (1973) yöntemi bu bölümde ele alınan diğer yöntemlerden farklıdır. Bir emniyet katsayısı değeri varsayılır ve bu emniyet katsayısını vermesi gereken sismik katsayısı bilinmeyen olarak çözülür. Emniyet katsayısı genellikle 1 kabul edilir ve buna göre hesaplanan sismik katsayısı kaymaya neden olmak için gerekli sismik katsayısını temsil eder. Sarma yönteminde dilimler arasındaki kesme kuvveti ile kesme dayanımı arasında [2.6]'daki gibi bir ilişki vardır.

$$X = \lambda f(x)S_v$$

[2.6]

Burada,  $S_v$  = dilim sınırında mevcut kesme kuvveti,  $\lambda$  = bilinmeyen bir ölçekleme parametresi ve  $f(x)$  = her düşey dilim sınırına önceden tayin edilen değerlerle birlikte varsayılan bir fonksiyondur. Kesme kuvveti ( $S_v$ ) dilim sınırı boyunca zeminin kesme dayanımı parametrelerine ve sürtünmeli malzemelerde dilimler arası normal (yatay) kuvvete ( $E$ ) bağlıdır. Efektif gerilme analizlerinde kesme kuvveti ayrıca dilim sınırındaki boşluk suyu basıncına bağlıdır.

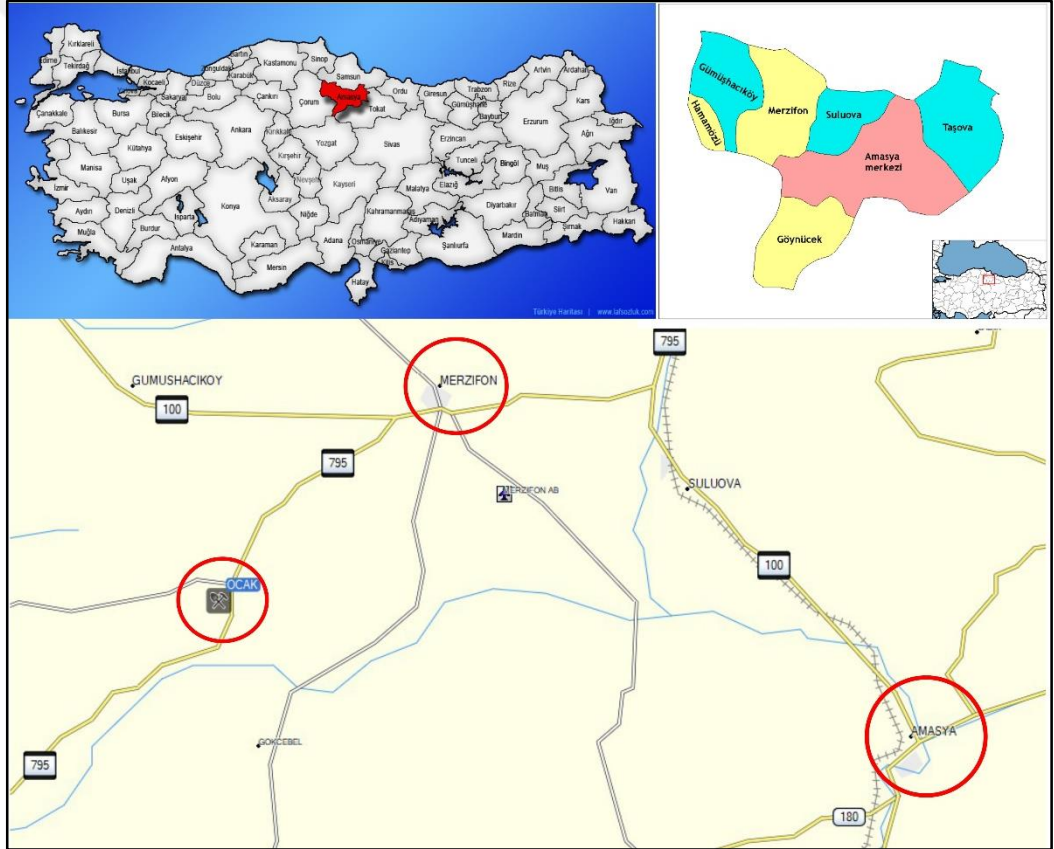
Sarma yöntemi sismik duraylılık değerlendirmeleri için geliştirilmiş olup, bu amaç için geliştirilmiş diğer yöntemlere göre bazı avantajlar sunar. Sarma yönteminde sismik katsayı ve diğer bilinmeyenler doğrudan hesaplanabilir; bilinmeyenleri hesaplamak için tekrarlamalı veya deneme yanılmalı bir işleme gerek yoktur. Sarma yöntemi emniyet katsayısı için tekrarlı bir şekilde değişik değerler varsayarak emniyet katsayısını ve sismik katsayıyı hesaplamada da kullanılabilir. Sismik katsayı için varsayılan değer, istenen emniyet katsayısındaki değer ile eşleşene kadar süreç tekrarlanır. Sismik yüklerin söz konusu olmadığı şevler için hedef sismik katsayı sıfırdır. Bununla birlikte, bir emniyet katsayısı hesaplamak için Sarma yönteminde deneme yanılma uygulamasına gerek vardır ve bu durumda diğer tam denge yöntemlerine göre bir üstünlüğü söz konusu değildir (Duncan J.M. 2005).

### 3. MATERYAL VE METOD

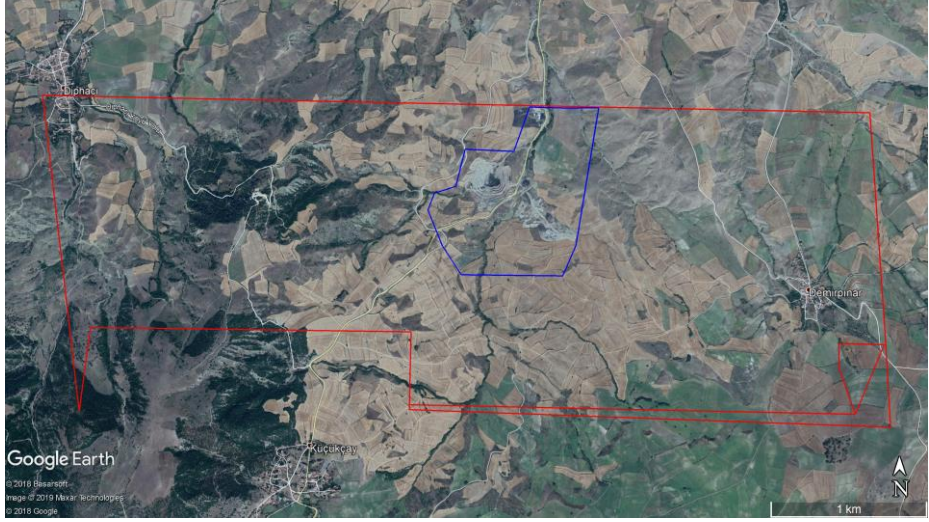
Bu bölümde materyal olarak kullanılacak olan, bölgeye ait jeolojik verilere, yapılan sondaj çalışmalarına ve arazide yapılan gözlemler ele alınmış farklı litolojilere ait numune örneklerinin kaya-zemin mekaniği deneylerine yer verilmiştir. Elde edilen deney sonuçları kullanılarak Slide programı yardımıyla analizleri yapılmıştır. Ayrıca saha ölçüm verileri sayısallaştırılarak NetCAD ve Surpac programları kullanılarak DEM ve basamak dizaynı 3D modeli verilmiştir.

#### 3.1. Çalışma Sahası Hakkında Genel Bilgiler

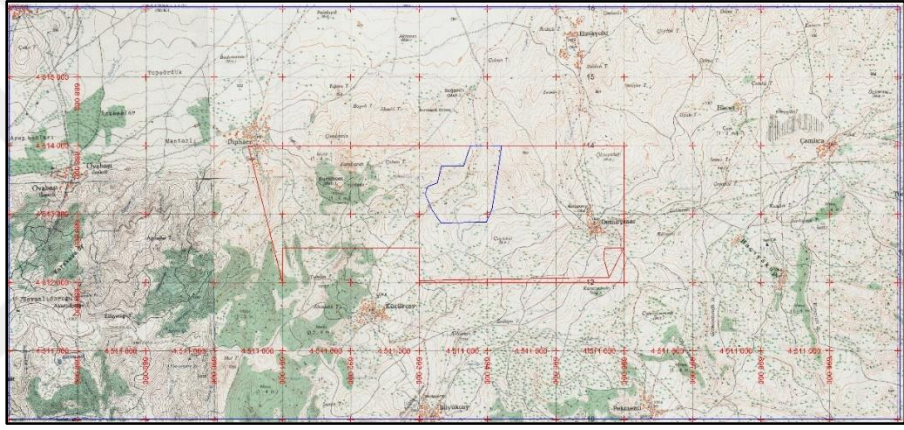
Çalışma sahası Amasya ili, Merzifon ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. Maden ocağı Merzifon ilçesine 21 km, Amasya iline ise 47,2 km mesafededir. Çalışma sahasının yerbulduru haritası, uydu görüntüsü ve saha ve civarının topografik haritası sırasıyla Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'de gösterilmiştir. İnceleme yapılan kömür sahasından bir görünüm ise Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma sahası yerbulduru haritası



**Şekil 3.2** Çalışma sahası uydu görüntüsü

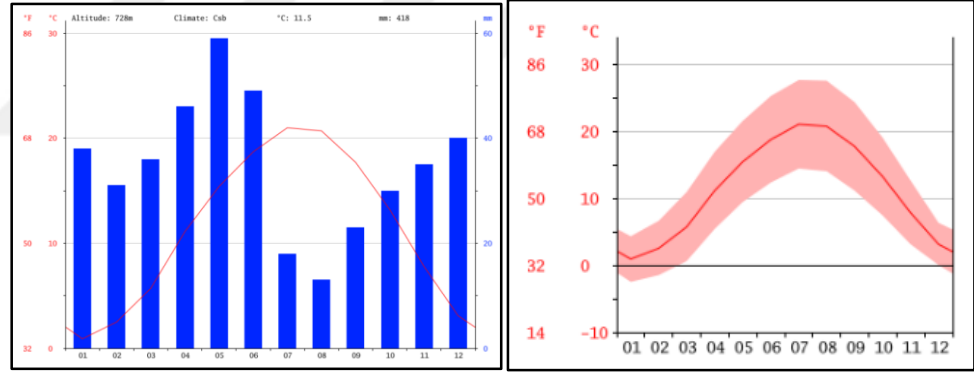


**Şekil 3.3** Çalışma sahası topografik harita vaziyet planı



**Şekil 3.4** Çalışma sahasına ait bir görünüm

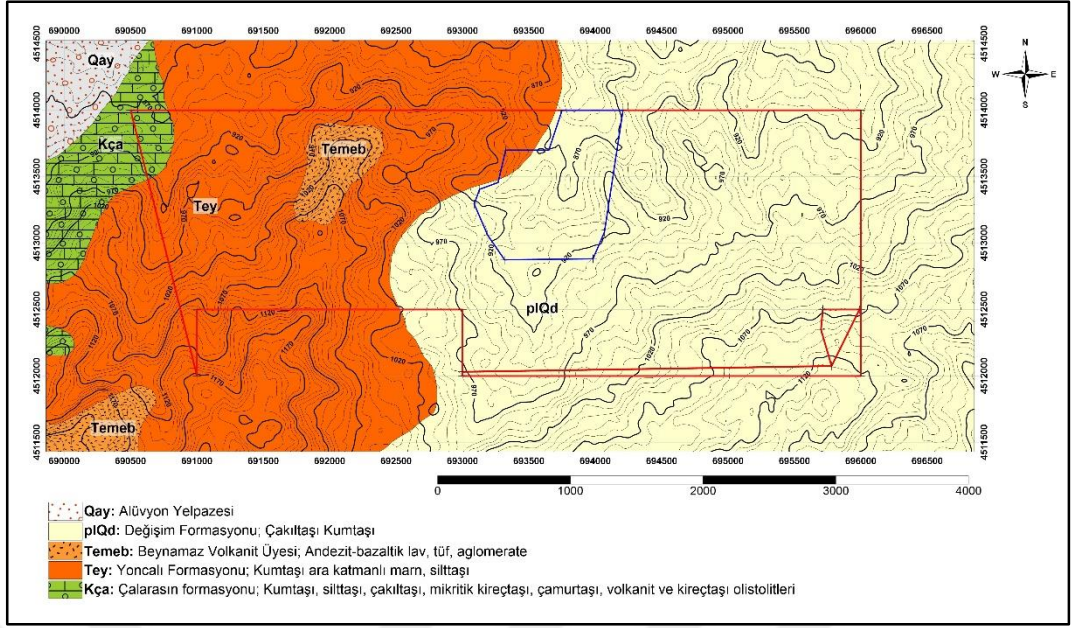
Amasya'da Karadeniz iklimi ile Kara iklimi arasında bir geçiş iklimi hüküm sürer. Yazları Kara İklimi kadar kurak, Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. Kışları ise Karadeniz iklimi kadar ılıman, Kara iklimi kadar sert değildir. Bu bölgede Karadeniz ardı iklimi etkili olmaktadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları yağışlıdır. İlkbahar en çok yağış alan mevsimdir. Merzifon, Suluova, Gümüşhacıköy ve Hamamözü ilçeleri Bölgenin genel iklim özelliklerini yansıtmaktadır. Merkez İlçe, Taşova ve Göynücek İlçeleri daha çok karasal iklim özelliği göstermektedir. İl Merkezinde 1937 Yılından bu yana yapılan Meteorolojik ölçümlerde yıllık ortalama yağış: 436,7 mm, Merzifon' da 436,9 mm, Gümüşhacıköy'de 458,3 mm, Taşova' da 400,0 mm, Göynücek' te 427,6 mm olarak ölçülmüştür. İl Merkezinde yıllık ortalama sıcaklık 13,6 C°, yıllık ortalama nispi nem % 61 olup en yüksek sıcaklık 30.07.2000 tarihinde 45,0 C°, en düşük sıcaklık 23.02.1985 tarihinde -20,4 C°, tespit edilmiştir. Temmuz ve Ağustos ayları en kurak aylar olup, ilkbahar en fazla yağış alan mevsimdir. Yıllık ortalama donlu gün sayısı 50 gündür. İl genelinde hakim rüzgar yönü Kuzeydoğudan esen poyraz rüzgarıdır. Ancak İl merkezinin topografik yapısı nedeniyle 1. derece hakim Rüzgar yönü Kuzeybatıdır. Ortalama rüzgar hızı 1,8 m/sn olup, yıllık ortalama kuvvetli rüzgarlı gün sayısı 65 gün, yıllık ortalama fırtınalı gün sayısı 12 gündür. En kuvvetli rüzgar 24.09.1996 tarihinde Kuzeybatıdan 36,0 m/sn olarak kayıtlara geçmiştir (Url-2). Merzifon ilçesine ait yıllık yağış ve sıcaklık grafiği Şekil 3.5'de görülmektedir.



**Şekil 3.5** Merzifon ilçesine ait aylara göre yağış ve sıcaklık grafikleri (Url-1)

### 3.2. Çalışma Sahası ve Civarının Jeolojisi

Çalışma sahası ve civarında araştırmacılar tarafında beş farklı formasyon tanımlanmıştır (Şekil 3.6). Bu formasyonlar ve içerdikleri birimler bu bölümde detaylı anlatılmıştır. Sondaj verilerden ve formasyon bilgilerine göre kömür damarları Yoncalı formasyonu adı verilen gevşek yapılı çakıltaşı, kumtaşı, kiltası marn ardalanmalarının arasında yer almaktadır. Stratigrafik olarak üstte bulunan birimlerde çakıltaşı-kumtaşı, tuf, kil birimlerinden oluşmaktadır.



**Şekil 3.6** Maden ocağı ruhsatı ve çevresini gösterir jeolojik harita (Sevin ve Uğuz 2013)

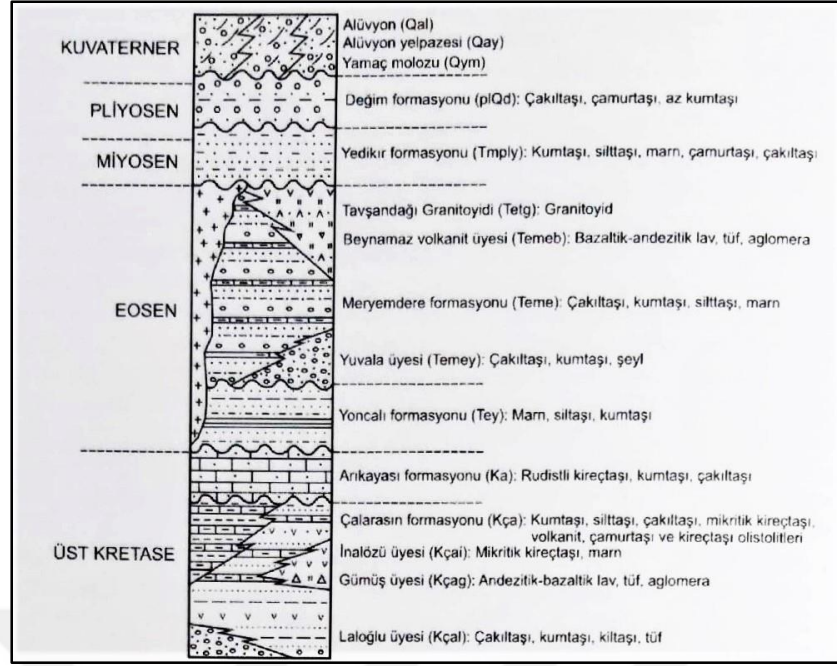
### Değişim Formasyonu (piQd)

Çakıltaşları ve çamurtaşlarından oluşan bu birim Hamamözü ilçesi (G34-a4, d1) civarı ile Merzifon ilçesi güneyi Sarıbuğday, Kamışlı, Kuyu köyleri (G34-c2) ve Küçükçay, Pekmezci, Demirpınar (G34-c1) civarında geniş alan kaplamaktadır (Sevin ve Uğuz, 2013).

Birim; bordo, kahverengi, sarımsı renkli çakıltaşı, çamurtaşı ve az miktarda da kumtaşlarından oluşmaktadır. Çakıltaşları; kalın tabakalı, kötü boylanmalı, matriks destekli, gevşek tutturulmuştur. Kumtaşları; ince-orta tabakalı, gevşek tutturulmuş, orta-kötü boylanmalı, kaba taneli, çoğunlukla kalın ve paralel laminalıdır (Sevin ve Uğuz, 2013). Bu formasyon altta kendinden yaşlı, üstten de Kuvaterner yaşlı çökellerle ilişkisi diskordanslı olup, kalınlığı yaklaşık 300 metre olup fosil bulgusu bulunmamaktadır. Ancak stratigrafik konumuna göre birimin yaşı Geç Pliyosen-Pleyistosen olarak kabul edilmiştir. (Karadenizli vd., 2004; Sevin ve Uğuz, 2013). Ayrıca birim, alüvyon yelpazesinde çökelmiştir (Sevin ve Uğuz, 2013).

### Yoncalı Formasyonu (Tey)

Yoncalı formasyonu Hamamözü ilçesi kuzeyi (G34-a1, a4) ve doğusu (G34-a3, a4) ile Mecitözü ilçesi dolayında (G34-d2, d3, c1, c2, c3, c4) çok geniş alan kaplamaktadır (Sevin ve Uğuz, 2013). Birim; kumtaşı ara katmanlı marn, silttaşı, ender olarak da çakıltaşlarından oluşmaktadır. Marn ve silttaşları; grimsi, yeşilimsi renkli, ince-orta katmanlı, yer yer paralel laminalı, midye kabuğu kırılmalı ve canlı eşeleme izlidir. Kumtaşları; sarımsı gri renkli, ince tabakalı, ince-orta taneli, sıkı çimentolu, derecelenmeli, paralel ve çapraz laminalıdır. Çakıltaşları, formasyonun üst düzeylerinde yer alır. Ancak yanal devamlılıkları yoktur. Tabanda fosilli olan birim, üstte doğru fosil yönünden fakirleşir (Sevin ve Uğuz, 2013).



Şekil 3.7 Bölgenin stratigrafik dikme kesiti

### Beynamaz Volkanit Üyesi (Temeb)

Meryemdere formasyonunun üst düzeylerinde gözlenen ve başlıca bazaltik, andezitik lav, tuf, aglomera ve volkano-tortul ara düzeylerden oluşan birim, adını Kargı ilçesinin 25 km kadar doğusunda yer alan Beynamaz Dağı'ndan almaktadır (Yılmaz ve Tüysüz, 1984). Merzifon dolayında yapılan çalışmada birimin aglomera ve tüflerini Peynirçayırı volkaniti, lavlarını ise Kuzuluk formasyonu adı ile incelemişlerdir (Genç vd., 1991). Ayrıca bu birime "Elmalı volkaniti" adını verilmiştir (Dirik, 1991).

Beynamaz volkanit üyesinin Saraycık (G34-a1)-Merzifon (G34-b2) arasında, Gümüşköy (G34-a3) güneyinde, Hamamözü (G34-a4) güneyi Kışladeresi, Bütet, Ahmediye (G34-d1) ve Düvenci Köseler, Karahisar (G34-d2) dolayında geniş bir yayılımı alanı bulunmaktadır. Beynamaz volkaniti; başlıca bazaltik-andezitik lav, aglomera ve tüflerden oluşur. Birimin baskın kaya türünü oluşturan aglomeralar tuf ara katkıları ile birlikte denizel tabakalar içerir ve kahverengi boz kırmızımsı siyah renkli, düzensiz yığılımlı, yarı yuvarlak-köşeli ve değişik boylardaki volkanik kaya parçalarından oluşur. Beynamaz volkanitleri içinde geniş yayılımı olan ve camsı bir hamur içinde düzensiz dağılmış çubuksu küçük plajiyoklaslar ile ojit ve opak minerallerden oluşan andezitler kahverengimsi gri renkli olup, az miktarda da bazalt lavı bulundurmaktadır (Sevin ve Uğuz, 2013). Ayrıca birimin yanıl karşılığı olan Elmalı volkanitlerinden yaklaşık 500 metre kalınlık ölçmüşlerdir (Sütçü vd., 1994).

### Çalarasın Formasyonu (Kça)

Başlıca kumtaşı, silttaşı, çakıltası, mikritik kireçtaşı, volkanit, çamurtaşı ve kireçtaşı olistolitlerinden oluşan birim, Saraycık (G34-a1) ve Gümüş (G34-a3) batısı ile Koçköy (G34-b4), Köseler, Ovabaşı (G34-d2) köyleri dolayında yayılımı göstermektedir. Temel



kayalar üzerinde bazen kırıntılılarla, bazen de pelajiklerle başlayan istifin egemen litolojisi silttaşı, şeyi ardalanmasından oluşur. Silttaşları; grimsi renkte ve ince katmanlıdır. Şeyller; gri, kahve, kırmızı renkli olup, laminalıdır. Kırmızı çamurtaşı düzeyleri istif içinde yaygınca bulunur. Türbiditik çakıltaşları ve kaba kumtaşları kalınlığı 30-40 cm., yanal devamlılığı az olan, içinde ripple mark, kaval yapısı, kazıma izleri vb. katman altı yapıların olduğu litolojilerdir. Mikritik kireçtaşları; kırmızı, krem, gri renkli, ince-orta tabakalı ve globotruncana içeriklidir. Volkanitler; gri, siyah renkli, kalın veya masif görümlü lav, tuf, aglomeradan oluşur ve andezitik-bazaltik karakterdedir. Birimin üst kesimi metamorfik, ofiyolitik ve karbonatlı kayalardan türemiş bloklar içeren olistostromal çökel özellikleri göstermektedir

Birim çalışma alanında ofiyolitik kayalar ve Triyas-Jura yaşlı kıtasal çökeller üzerinde açılmal uyumsuzlukla yer alırken, üstten Arıkayası formasyonu ile uyumsuzlukla üzerlenir.

Çalarasın formasyonunun karbonatlı seviyelerinden Yiğitbaş ve diğerleri (1990); Globotruncana bulloides Vogler, Globotruncanita stuarti (de Lapparent), Globotruncana falsostuarti Sigal, Globotruncana sp., Rugoglobgerina sp. fosillerini saptamış ve birime Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşı vermişlerdir (Sevin ve Uğuz, 2013).

### **Alüvyon Yelpazesi (Qay)**

Değişik büyüklükte akarsuların biriktirdiği tutturulmamış, kötü boylanmış çakıl, kum yığılmasından oluşur. Hamamözü doğusu, Eymir, Çitli köyleri (G34-a3) ile Diphacı köyü (G34-b4) dolayında yayılım göstermektedir (Sevin ve Uğuz, 2013).

### **3.3. Sondaj Çalışmaları**

Maden işletmesinde kömür cevherinin ve diğer litolojilerin belirlenmesi için farklı derinliklerde 23 adet sondaj yapılmıştır. Yapılan sondajların konumları Şekil 3.8'de uydu fotoğrafında gösterilmiştir.



**Şekil 3.8** Sondaj noktalarını gösterir uydu görüntüsü

### 3.4. Araziden Alınan Numuneler

Maden ocağı işletmesinde farklı bölgelerden 7 farklı numune çeşiti alınmıştır. Alınan numunelerin heyelan bölgesini ve ocağın yeni ilerleme yönündeki formasyonu temsil etmesine özen gösterilmiştir. Alınan numunelerin konumları Şekil 3.9'da, gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Numune noktalarını gösterir uydu görüntüsü

Yapılan arazi incelemelerinde zemin deneyleri için standartlara uygun şekilde alınan numuneler (Şekil 3.10) kodlanmış ve tanımlaması yapılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Numune tanımlama

Numune Kod	y	x	z	Numune Tanımlama
KÇ	693557	4513365	889	Heyelan olan bölgedeki Kum-Çakıl
HS	693536	4513357	886	Heyelan olan bölgedeki Sarı renkli killi malzeme-Sarı marn
HG	693519	4513357	884	Heyelan olan bölgedeki Gri renkli killi malzeme-Gri marn
K2	693629	4513659	868	Ocak ilerleme yönünü temsil eden Kırmızı-Sarı renkli killi malzeme
K1	693629	4513659	868	Ocak ilerleme yönünü temsil eden Kırmızı renkli killi malzeme
Y	693629	4513659	868	Ocak ilerleme yönünü temsil eden Yeşil renkli kumlu, killi malzeme
KÖM	693735	4513504	866	Üretilen Kömür



**Şekil 3.10** Laboratuvara getirilen numuneler

### 3.5. Numunelere Uygulanan Deneyler

Araziyi temsil edecek şekilde alınan 7 farklı numunelere Slide programında veri tabanı oluşturmak ve elde edilen sonuçları yorumlamak için 8 adet deney yapılmıştır.

#### 3.5.1. Doğal birim ağırlık deneyi

Zeminlerin doğal olarak buldukları ortamdaki birim hacim ağırlığını tespit etmek için yapılan bir deneydir (Akbulut, 2012). Numunelerden alınan örnekler doğal haliyle tartılır. Sonrasında numune içeriğindeki boşlukları doldurmak için parafin ile yüzeyi kaplanır ve parafinli ağırlığı tartılır (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11** Parafinsiz ve parafinli numunelerin tartımı

Parafin kaplı numune mezüre daldırılarak parafinli hacmi tespit edilir (Şekil 3.12). Parafinin yoğunluğu ve kütlesi bilindiğinden hacimde hesaplanarak numune hacminden çıkarılır ve numunenin hacmine ulaşılır. Kütlesi ve hacmi bulunan numunelerin doğal birim hacimleri hesaplanır. Hesaplama sonuçları Çizelge 3.2'te verilmiştir.



**Şekil 3.12** Parafinli numune su dolu mezüre daldırılarak hacim tespiti

**Çizelge 3.2** Numunelerin doğal birim hacim ağırlık deney sonuçları

	A	B	B-A	C	(B-A)/C	D	D-((B-A)/C)	A/D-((B-A)/C)	
	Numune Ağırlık (gr)	Numune + Parafin Ağırlık (gr)	Parafin ağırlık (gr)	Parafin Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Parafin Hacim (cm <sup>3</sup> )	Numune + Parafin Hacim (cm <sup>3</sup> )	Numune Hacim (m <sup>3</sup> )	Numune Birim Hacim (gr/cm <sup>3</sup> )	
Y	93.10	94.70	1.60	0.44	3.64	40.00	36.36	<b>2.56</b>	
K1	110.90	111.70	0.80	0.44	1.82	50.00	48.18	<b>2.30</b>	
K2	58.40	60.30	1.90	0.44	4.32	30.00	25.68	<b>2.27</b>	
HS	Malzemenin yapısı örselenmiş durumda olduğu için deney yapılamamıştır. Yerinde yoğunluk deneyi yapılmıştır.								<b>2.15</b>
HG	49.70	51.30	1.60	0.44	3.64	26.00	22.36	<b>2.22</b>	
KÇ	64.30	66.30	2.00	0.44	4.55	30.00	25.45	<b>2.53</b>	
KÖM	80.00	81.40	1.40	0.44	3.18	41.00	37.82	<b>2.12</b>	

### 3.5.2. Su muhtevası deneyi

Numunelerin doğal haldeki içeriği su miktarlarını tayin etmek amacıyla yapılan deneydir. Deneyin yapılışı: Su içeriği belirlenecek olan örnekler alınarak kaba konulur. Tüm örneği temsil edebilecek ortalama su içeriğini tespit etmek amacıyla örneğin farklı yerlerinden alınmalıdır. Alınan örnekler etüve koyulmadan önce tartılarak forma kaydedilir. 105 ± 5 C° lik etüve (Şekil 3.13) 24 saat kurutulan örnek tekrar tartılarak deney formuna kaydedilir. Su muhtevası sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Su içeriği % olarak hesabı [3.1] formülünde verilmiştir.

Yaş örnek numune kütlesi: M<sub>1</sub>

Kuru örnek numune kütlesi: M<sub>2</sub>

Su kütlesi: M<sub>3</sub> = M<sub>1</sub> - M<sub>2</sub>

$$\text{Su içeriği (\%)} = \frac{M_3}{M_2} \times 100 \quad [3.1]$$

**Çizelge 3.3** Numunelerin Su Muhtevası Deney Sonuçları

	Doğal Durum (gr)	Etüvden Sonraki Durum (gr)	Fark (gr)	Su Muhtevası (%)
Y	541.7	497.5	44.2	<b>8.88</b>
K1	422.6	372	50.6	<b>13.60</b>
K2	911.9	797.6	114.3	<b>14.33</b>
HS	300	245.9	54.1	<b>22.00</b>
HG	400	353.5	46.5	<b>13.15</b>
KÇ	44.5	40	4.5	<b>11.25</b>
KÖM	512.2	418	94.2	<b>22.54</b>



**Şekil 3.13** Numunelerin 105 C° ye ayarlanan etüve yerleştirilmesi

### 3.5.3. Likit limit deneyi

Zemine fazla su verildiğinde likit (sıvı) hale geçişte sahip olduğu su içeriğine likit limit denir. Likit limiti belirlemek için TS 1900-1 deney standartında Casagrande Yöntemi kullanılmıştır. Deneyin yapılışı: Likit limit kabı tabanı sertleştirilmiş kauçuk, üst potası ise bronz veya dış etkenlere dayanıklı özgül ağırlığı uygun bir alaşımdan yapılmıştır. Üst kabın sabit yükseklikten (1 cm) düştükten sonra geri sıçrama miktarı ayarlanmıştır. 40# elekten elenmiş olan 100-150 g havada kurutulmuş örnek alınır. Bir potada az su eklenip spatula ile karıştırılarak koyu bir çamur haline getirilir. Oluşan bu çamur kaba serilir. İçinde hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilir. Çamurun yüzeyi derinliği 1 cm olacak şekilde yatay olarak spatula ile düzeltilir. Oluk açma bıçağı dik tutularak çamur ortadan ikiye ayrılır. Kabı kumanda eden kol saniyede iki defa olacak şekilde saat yönü tersine çevrilir ve kabın düşmesi sağlanır. Düşüşler (vuruş) sayılır. İki çamur kütlesi arasındaki oluk 1.3 cm uzunlukta birleşinceye kadar kol çevrilir. Eğer vuruş sayısı >50 ise su içeriği çok az, örnek ise çok katıdır. Bu durumda biraz daha su eklenmeli ve deney tekrarlanmalıdır. Vuruş sayısı 30-50 arasında ise oluğun kapandığı yerden su içeriğini belirlemek için bir miktar örnek

alınır. Vuruş sayısı ikinci denemede 20-30 arasında olmalıdır. Üçüncü denemede ise vuruş sayısı 10-20 arasında olmalıdır. Eğer vuruş sayısı <10 ise su içeriği çok fazla, örnek çok likit olup, biraz daha örnek eklenmelidir. Su içeriği artırılarak/azaltılarak deney en az beş defa yapılmalıdır. Vuruş sayısı >50 ve <10 olan deneylerden elde edilen noktalar hesaba katılmaz. Denemeler sonucunda farklı su içeriğine sahip örnekler 105 C° de 24 saat kurutularak su içerikleri hesaplanır (Çizelge 3.4). Casagrande deney düzeneği ve hazırlanan numune örnekleri Şekil 3.14'deki gibidir.

**Çizelge 3.4** Numunelerin likit limit değerleri

	Likit Limit Değerleri
Y	Numune hamur haline getirelemediğinden LL yapılamadı
K1	37.20
K2	41.10
HS	41.80
HG	47.00
KÇ	Numune hamur haline getirelemediğinden LL yapılamadı



**Şekil 3.14** Casagrande deneyi

Farklı vuruş sayılarına karşılık su içeriği değerleri bulunur. Bu değerler; x eksenini logaritmik, y eksenini milimetrik olan koordinat sistemine işlenir. Vuruş sayıları x ekseninde, % su içeriği ise y ekseninde bulunarak noktaların yeri tespit edilir. Saptanan beş noktadan geçen ortalama bir doğru parçası çizilir. Buna, "Akış eğrisi" adı verilir. Y ekseninde 25 vuruş sayısından çıkılan dikmenin doğruyu kestiği noktaya karşılık gelen değer, o zeminin likit limit değeridir.

#### 3.5.4. Plastik limit deneyi

Zeminin düşük su içeriğinde plastik halden katı hale geçişi sırasındaki su içeriğine plastik limit denir. Deney TS 1900-1 standartlarında yapılmıştır.

Deneyin yapılışı: 40# elekten elenmiş örnekten 20 g alınır. Potanın içinde azar azar saf su ile karıştırılarak ele yapışmayacak kıvamda bir çamur elde edilir. Buharlaştırıcı cam levha üzerinde elle yuvarlatılarak iplik haline getirilir. Bu çamurun çapı 3.0 mm oluncaya kadar işleme devam edilir. Cam üzerinde yuvarlamada parmaklar bitişik halde yapılmalı, iplik uzadıkça ortadan bölünüp yarısı alınmalı ve kalanla işleme devam edilmelidir. İplikte ince kuruma çatlakları ve ufalanmalar oluşunca, deney tamamlanmış demektir. Daha sonra, en az iki defa yapılan denemelere ait örnekler etüvde kurutularak su içeriği hesaplanır. Deney sonuçları Çizelge 3.6' da verilmiştir.

**Çizelge 3.6** Numunelerin plastik limit değerleri

	<b>Plastik Limit Değerleri</b>
<b>Y</b>	Numune hamur haline getirelemediğinden LL yapılamadı
<b>K1</b>	23.70
<b>K2</b>	24.60
<b>HS</b>	24.70
<b>HG</b>	26.80
<b>KÇ</b>	Numune hamur haline getirelemediğinden LL yapılamadı

#### 3.5.5. Nokta yükleme deneyi

Bu deney, kayaların nokta yükleme dayanım indekslerinin tayinine ilişkin bir deneydir. Deney yöntemi olarak ISRM (1985)'ten yararlanılmıştır. Nokta yük deneyi, kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında kullanılan nokta yük dayanım indeksinin saptanması amacıyla yapılır. Nokta yük dayanım indeksi tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılır. Deney sonucu esas alınarak kayacın "Nokta yük dayanım indeksi" ve ayrıca "Dayanım anizotropi indeksi" de belirlenir. Deney numuneleri karot şeklinde (çapsal veya eksenel) kesilmiş bloklar halinde veya düzgün olmayan parçalar şeklinde olabilir.

Çapsal, eksensel ya da şekilsiz kütle cinsinden hangisi seçilmişse deney numunesi nokta yükleme aygıtına yerleştirilir ve aygıtın konik planetleri çap boyu doğrultusunda numuneye degecek şekilde kapatılır. Bu sırada planetin değme noktası ile numunenin serbest yüzü arasında L uzaklığının numunenin çapının (R) en az 0.5 katı kadar olmasına dikkat edilir. Numune üzerindeki yük devamlı yükseltilip numunenin 1 dakika içerisinde kırılması sağlanır ve kırılma anındaki yük aletin göstergesinden okunarak kaydedilir. Elde edilen değerler aşağıdaki bağıntılarda hesaplanarak dolaylı yoldan Tek Eksenli Basınç değerlerine ulaşılır. Numunelerin nokta yükleme dayanımları Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \text{ (Mpa)} \quad [3.2]$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \quad [3.3]$$

$$I_{s50} = F \times I_s \text{ (MPa)} \quad [3.4]$$

$$\text{Tek eksenli basınç dayanımı} = I_{s50} \times 22 \quad [3.5]$$

$I_s$ : Düzeltilmemiş numune yükleme dayanımı

P: Numuneyi kırmak için uygulanan kuvvet

$D_e$ : Eşdeğer karot çapı

F: Çap düzeltme katsayısı

$I_{s50}$ : Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi

**Çizelge 3.7** Numunelerin nokta yükleme değerleri

Numune No	$I_{s50}$ (Mpa)	TEBD
Y	0.24	5.38
K1	0.12	2.58
KÇ	0.19	4.17
KÖM	0.16	3.58

### 3.5.6. Üç eksenli basınç deneyi

Deney boşluk suyu basıncı ölçülmeden TS 1900-2 konolidasyonsuz-drenajsız (UU tipi) standartlarına göre yapılmıştır. Deney öncesi doymun olduğu kabul edilen numune, üç eksenli deney hücresinde çevre basıncına tabi tutulur. Numune hücreye yerleştirildikten sonra yanıl basınç ünitesi vanası kullanılarak çevre basıncı belirlenen değere getirilir. Ardından sabit bir düşey gerinme oranı kullanılarak oluşturulan düşey basınçla numunenin kırılması sağlanır. Numunenin özgün yapısının ve su içeriğinin değişmemesi için, doyurma ve konsolidasyon işlemleri uygulanmaz. Bu deney sırasında boşluk suyu basıncı ölçülmediği için sonuçlar sadece toplam stres üzerinden yorumlanabilir. Bu deneyler genelde aynı numuneden elde edilen üç farklı deney numunesi üzerinde farklı çevre basınçları kullanılarak yapılır. Deney düzeneği ve deneye tabii tutulan numune örnekleri Şekil 3.15'te gösterilmiştir.

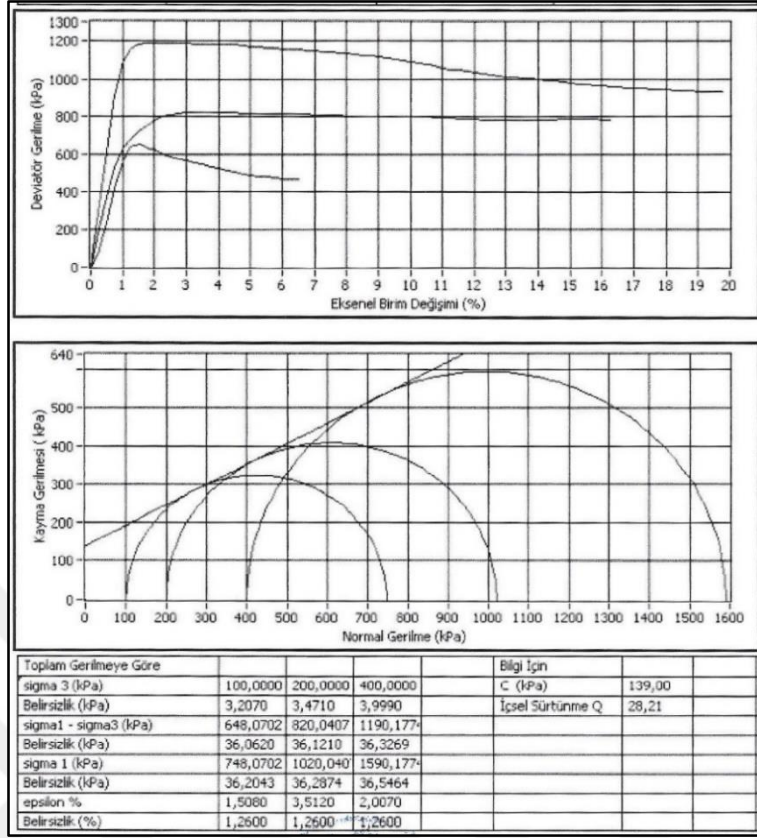




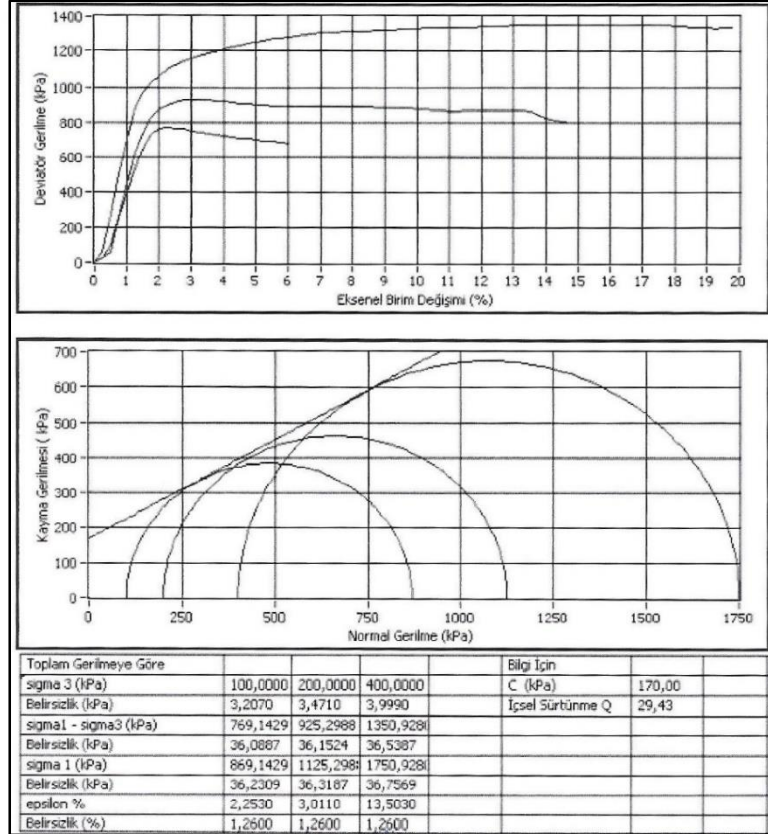
**Şekil 3.15** Üç eksenli basınç deney düzeneği ve deney sonrası numune örnekleri

Tüm numunelerin doymun olduğu varsayıldığı için kesme dayanımları tüm deneylerde birbirleriyle ilişkilidir. Deney sonuçları için gerinme miktarına tekabül eden düşey basınç eğrileri çizilir. Kırılma anı olarak kabul edilen net en büyük ana stres değerinde Mohr halkaları toplam stres olarak çizilir. Ortalama drenajsız kesme dayanımı kaydedilmeli ve Mohr dairelerine teğet geçen kırılma/göçme zarfı/doğrusu çizilerek, drenajsız kohezyon kesme noktası ( $c$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) bulunur. Numunelerin üç eksenli basınç deneyleri ve elde edilen sonuçlar ile grafikleri Çizelge 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13'te verilmiştir.

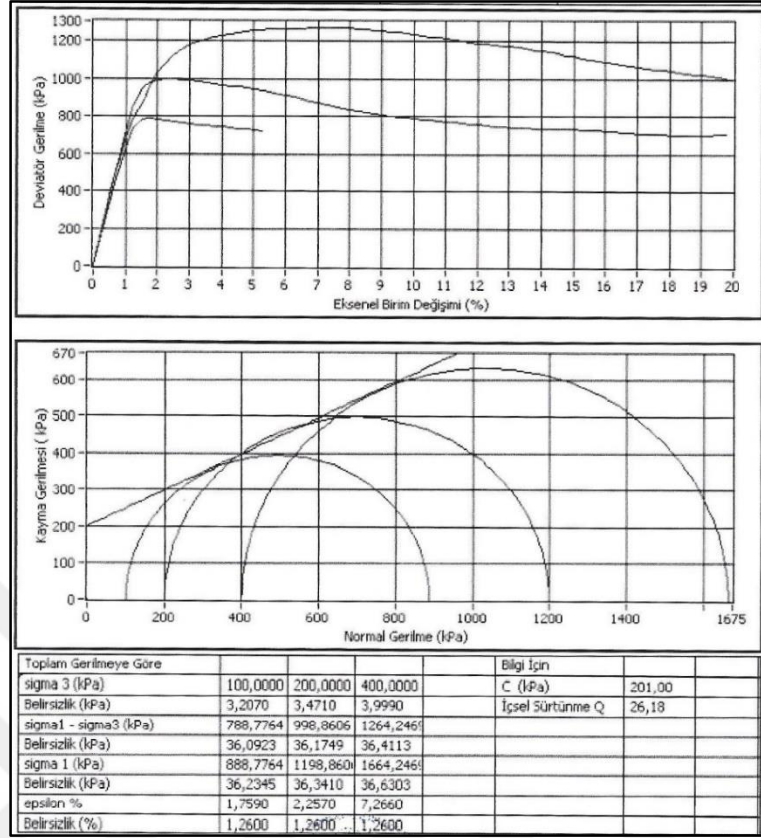
**Çizelge 3.8** Y numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



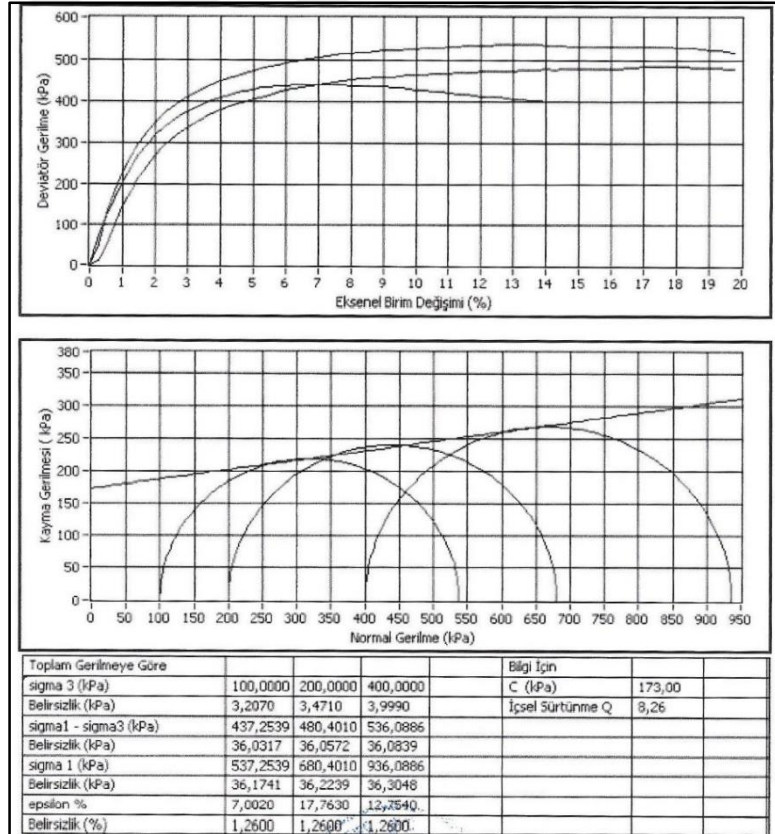
**Çizelge 3.9** K1 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



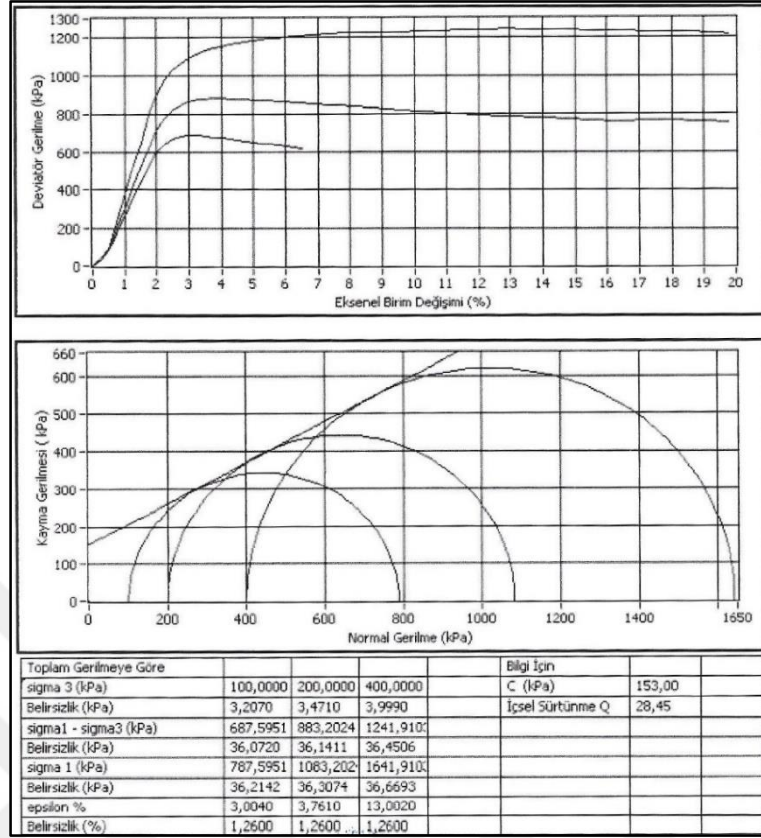
**Çizelge 3.10** K2 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



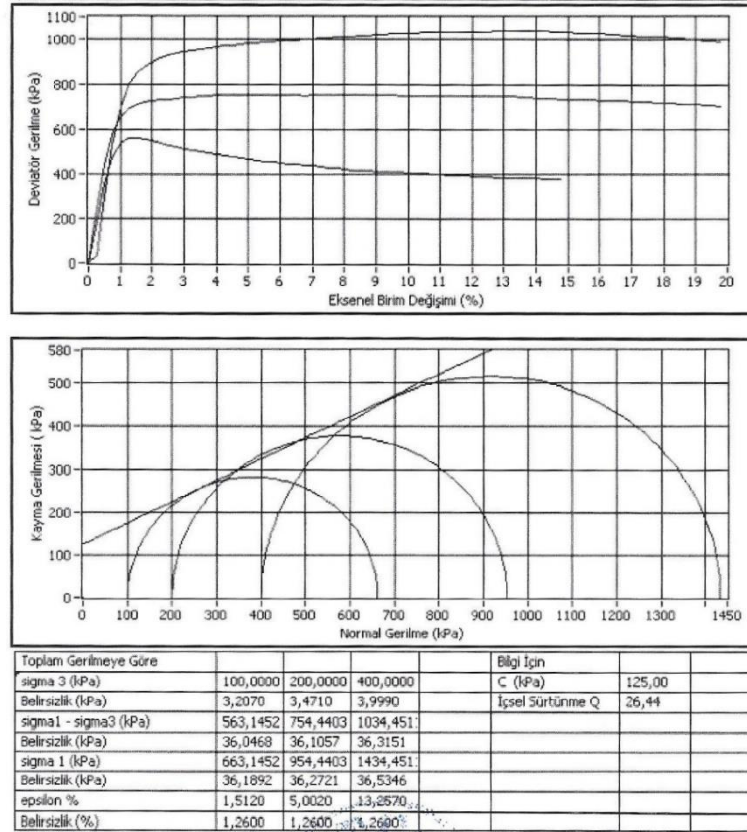
**Çizelge 3.11** HS numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



**Çizelge 3.12** HG numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği

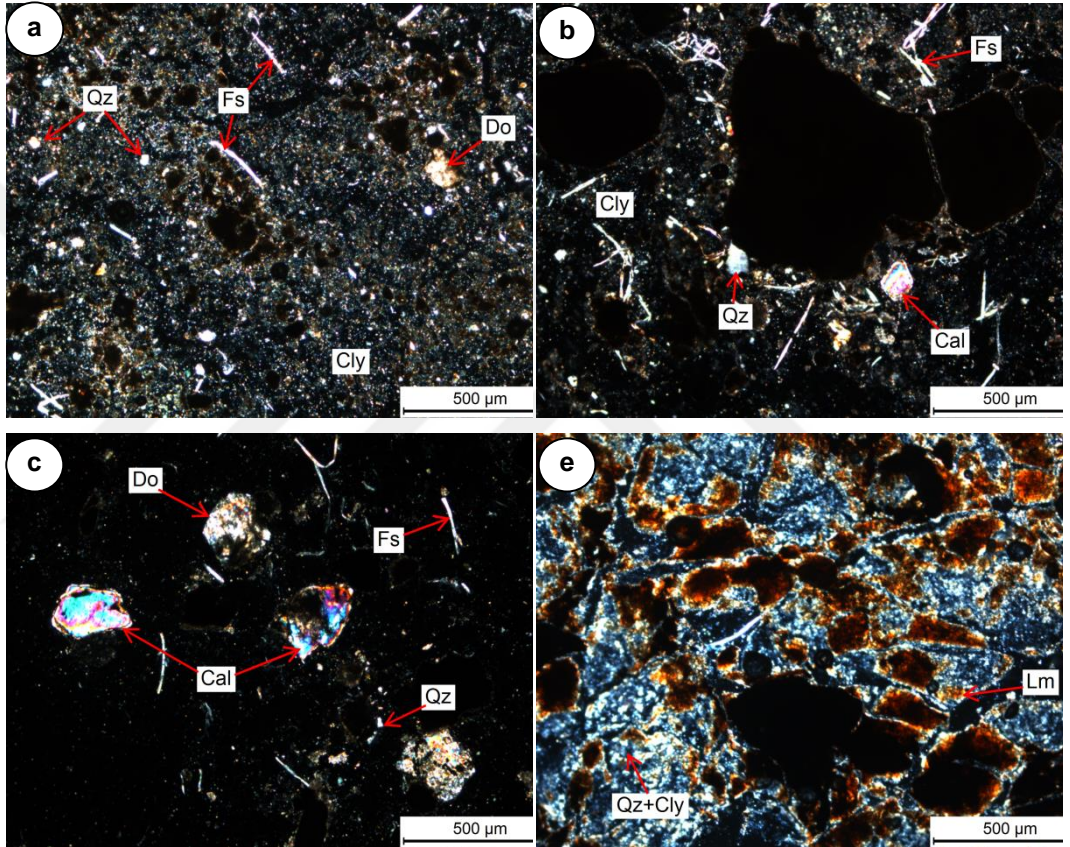


**Çizelge 3.13** KÇ numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



### 3.5.7. Petrografik Analiz

Leica Dm 2500p marka alttan aydınlatmalı mikroskop altında yapılan incelemelerde, kömürün organik yapısı içinde homojen ve kesin bir yapısı olmayan maseral oluşumlarının varlığı tespit edilmiştir. Bu oluşumlar, yapı ve şekil bakımından kömürleşmiş bitki artıklarıdır. Ayrıca, kesitlerde, kil oluşumları, dolomit, kalsit (karbonatlar), limonit (demir mineralleri), ve kuvars (silikat) mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 3.16). Diyajenez sırasında açığa çıkan karbondioksitli sular tarafından eritilen, kalkerli ve aragonitli canlı kavkılarının oluşturduğu boşlukların sedimentler ile yeniden doldurulması ile oluşurlar.



**Şekil 3.16** Örneklere ait incekesit görünüşleri: a) K1 no'lu örnek b) K2 no'lu örnek c) Y no'lu örnek d) KÖM no'lu örnek.(Qz: kuvars, do: dolomit, cal: kalsit, lm: limonit, cly: kil, fs: fosil izleri)

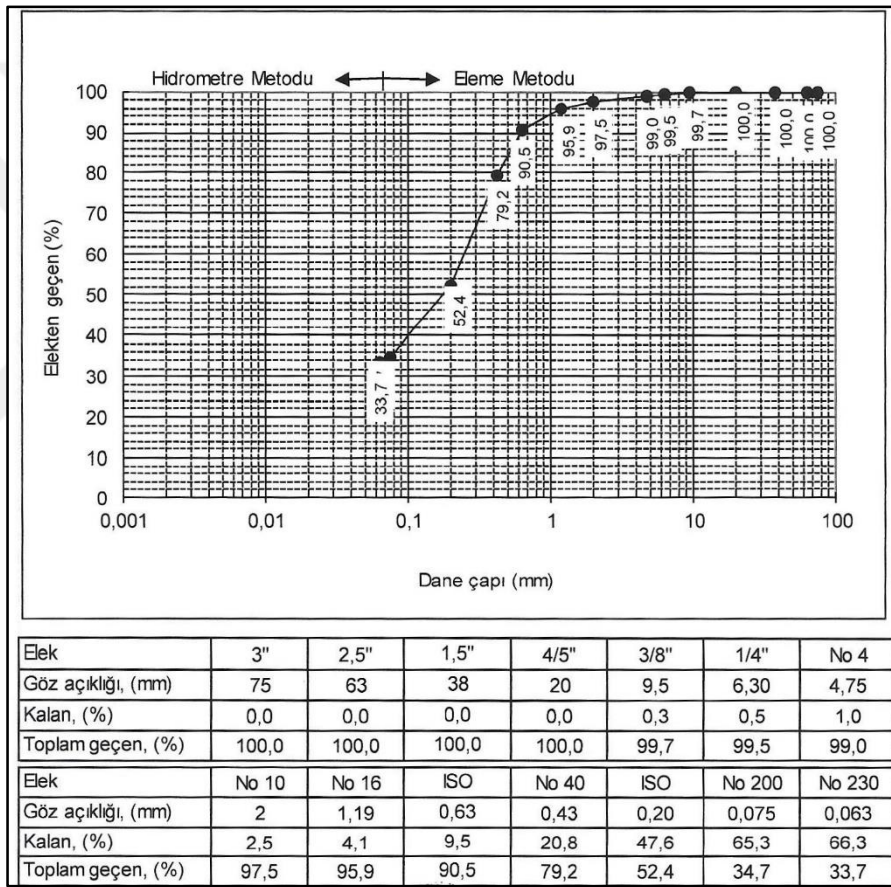
### 3.5.8. Elek analizi

Tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi (yıkamalı eleme) deneyi TS EN 17892-4 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Yıkamalı eleme ile elek altı ve elek üstü malzeme miktarları belirlenerek grafiğe işlenmiştir. Elek düzeneği ve KÇ numunesinin eleme sonucu tane boyutları Şekil 3.17'de, numunelerin elek analizi sonuç değerleri ile tane boyu grafikleri Çizelge 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19'da verilmiştir.



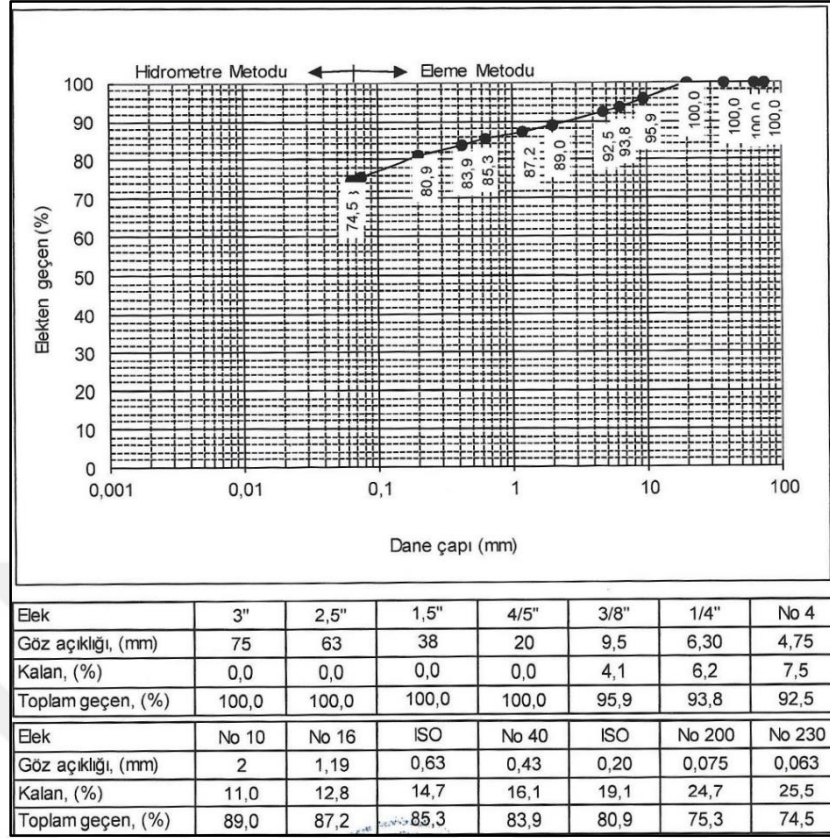
Şekil 3.17 Standarta uygun elek takımı ve eleme sonrası malzeme boyutları (KÇ)

Çizelge 3.14 Y numunesi elek analizi grafiği

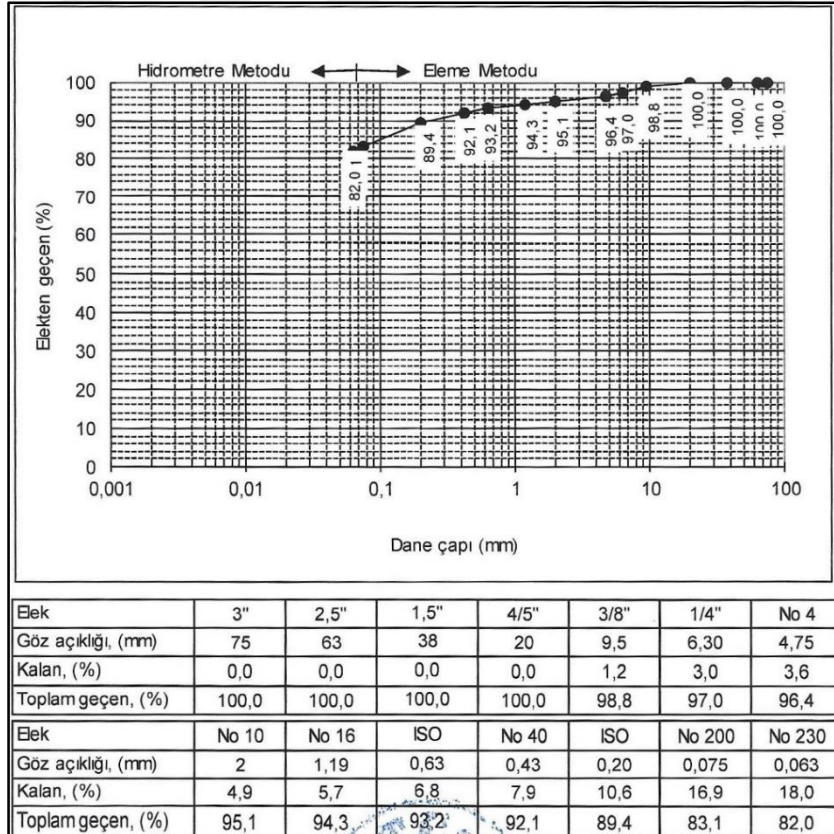


Elek	3"	2,5"	1,5"	4/5"	3/8"	1/4"	No 4
Göz açıklığı, (mm)	75	63	38	20	9,5	6,30	4,75
Kalan, (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	1,0
Toplam geçen, (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7	99,5	99,0
Elek	No 10	No 16	ISO	No 40	ISO	No 200	No 230
Göz açıklığı, (mm)	2	1,19	0,63	0,43	0,20	0,075	0,063
Kalan, (%)	2,5	4,1	9,5	20,8	47,6	65,3	66,3
Toplam geçen, (%)	97,5	95,9	90,5	79,2	52,4	34,7	33,7

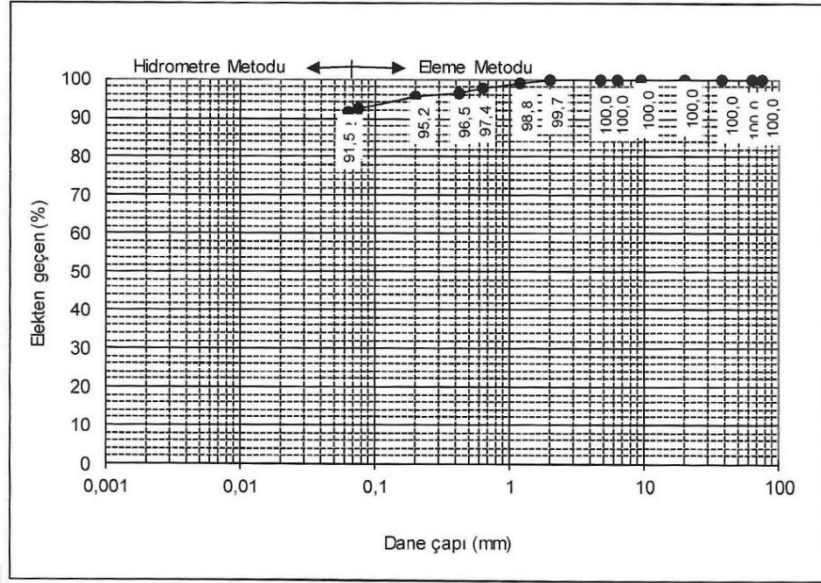
**Çizelge 3.15** K1 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



**Çizelge 3.16** K2 numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği

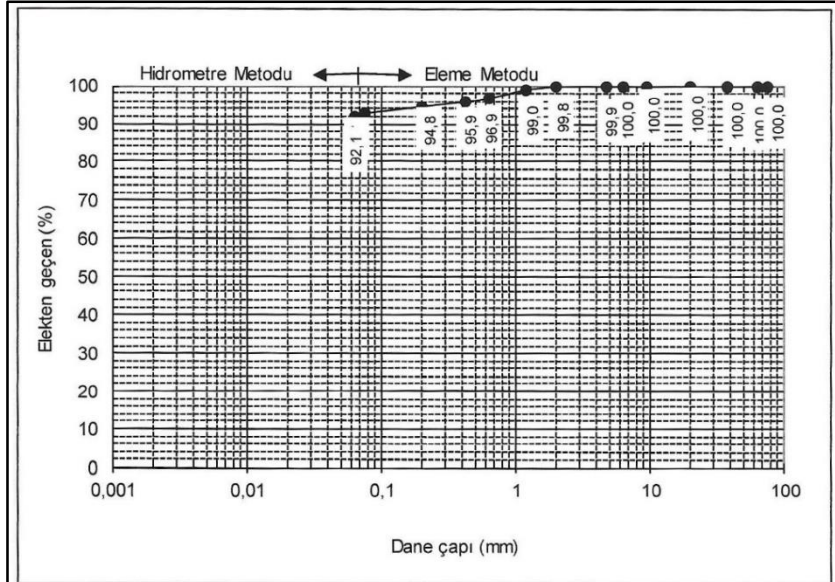


**Çizelge 3.17** HS numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



Elek	3"	2,5"	1,5"	4/5"	3/8"	1/4"	No 4
Göz açıklığı, (mm)	75	63	38	20	9,5	6,30	4,75
Kalan, (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toplam geçen, (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Elek	No 10	No 16	ISO	No 40	ISO	No 200	No 230
Göz açıklığı, (mm)	2	1,19	0,63	0,43	0,20	0,075	0,063
Kalan, (%)	0,3	1,2	2,6	3,5	4,8	7,8	8,5
Toplam geçen, (%)	99,7	98,8	97,4	96,5	95,2	92,2	91,5

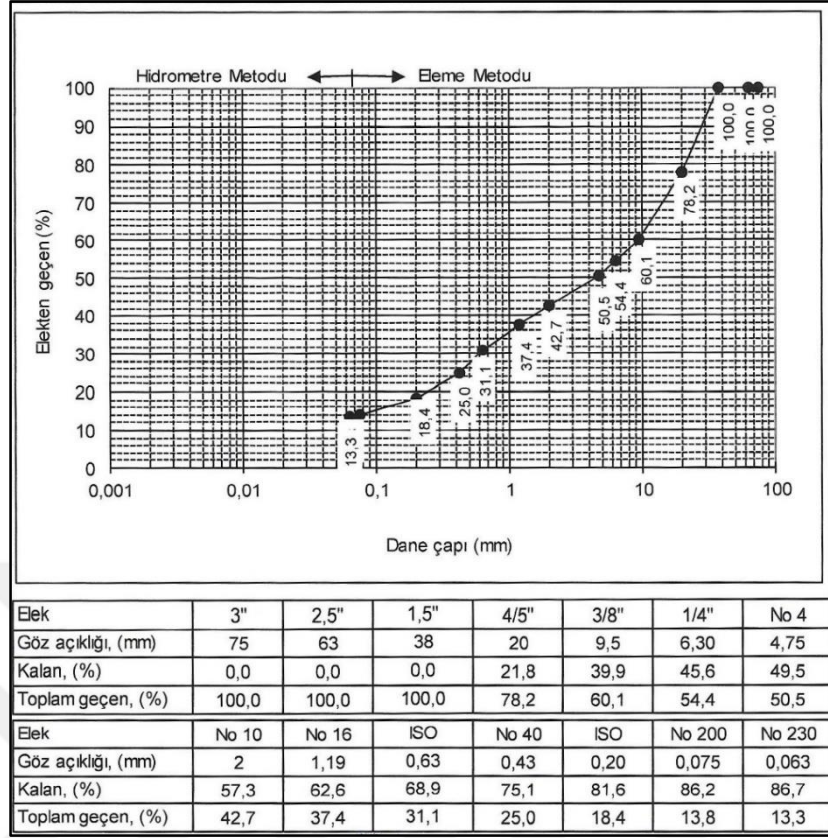
**Çizelge 3.18** HG numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



Elek	3"	2,5"	1,5"	4/5"	3/8"	1/4"	No 4
Göz açıklığı, (mm)	75	63	38	20	9,5	6,30	4,75
Kalan, (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Toplam geçen, (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9
Elek	No 10	No 16	ISO	No 40	ISO	No 200	No 230
Göz açıklığı, (mm)	2	1,19	0,63	0,43	0,20	0,075	0,063
Kalan, (%)	0,2	1,0	3,1	4,1	5,2	7,3	7,9
Toplam geçen, (%)	99,8	99,0	96,9	95,9	94,8	92,7	92,1



**Çizelge 3.19** KÇ numunesi üç eksenli basınç dayanım grafiği



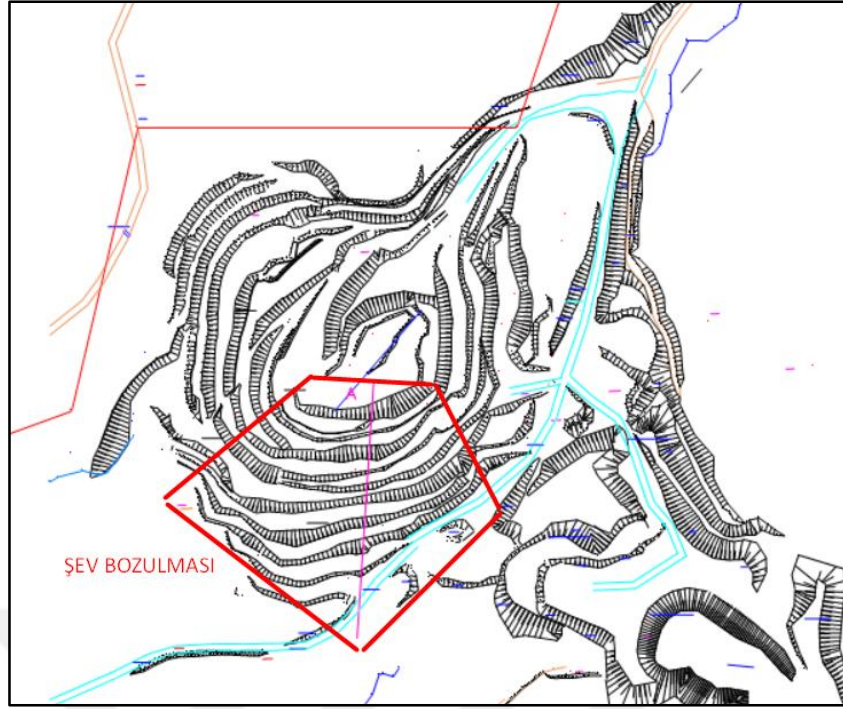
### 3.6. Bilgisayar Destekli Şev Stabilite Analizleri

Slide v6.0 yazılımı Rocscience firmasının şev stabilite analizi hesaplaması için hazırladığı kapsamlı bir paket programdır. YASS, sismik etkiler, ilave yükler, stres çatlakları gibi birçok parametreyi hesaba katarak farklı şev stabilite analiz yöntemlerini kullanarak hesaplamalar yapmaktadır. Şevlerdeki bozulma riskini güvenlik faktörü katsayısı ile objektif bir ölçümünü sağlayarak güvenli basamak tasarımları oluşturmaya yardımcı olmaktadır.

Ocaktan alınan numunelerden elde edilen veriler Slide programında analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde şev bozulmalarındaki sebepler ve optimum basamak dizaynının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmalar 3 ana başlık altında yapılmıştır. İlki ocakta yaşanan şev bozulmaları mevcut durumu ile analiz edilmiş sebepleri irdelenmiş ve önlem olarak alınacak tespitler önerilmiştir. İkinci başlıkta ocağın ilerleme yönünde karşılaşılabilecek muhtemel durumlara göre optimum basamak dizaynı önerilmiştir. Üçüncü aşamada ise farklı litolojilerin farklı basamak tasarımlarına verdiği duraylılık tepkileri ölçülmüş ve birbiriyle kıyaslanarak incelenmiştir.

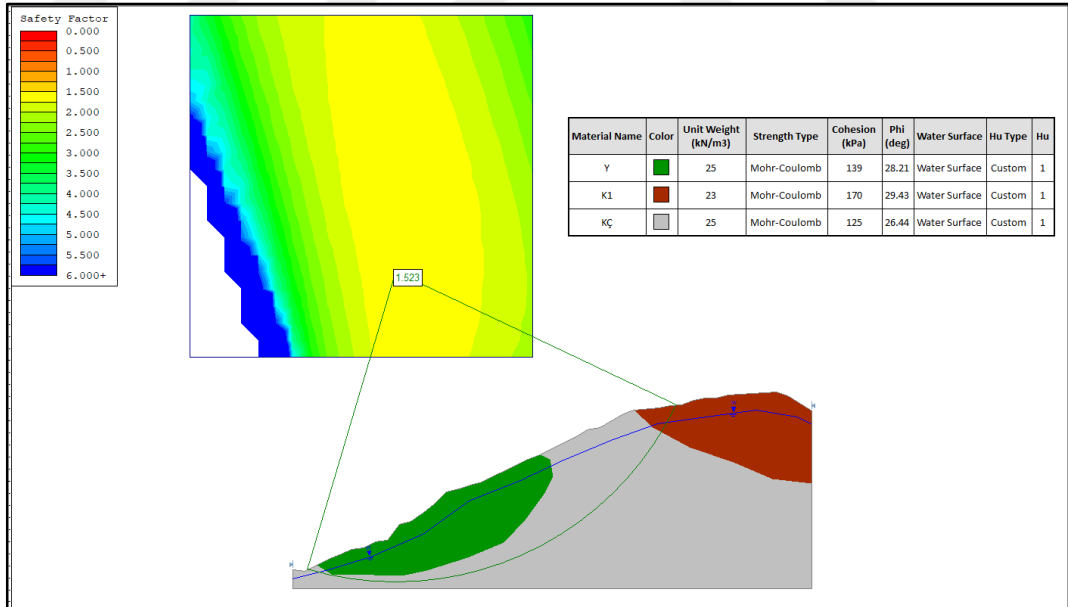
#### 3.6.1. Ocaktaki şev kaymasının olduğu mevcut durum değerlendirmesi

Ocakta şekil 3.18'de gösterilen bölgede şev bozulmaları yaşanmakta olup bu bölge için mevcut durum için Slide programında şev stabilite analizi yapılmıştır. Kesitin litolojisi yapılan sondajlar ve arazideki formasyonun gözlemlenmesi ile oluşturulmuştur.

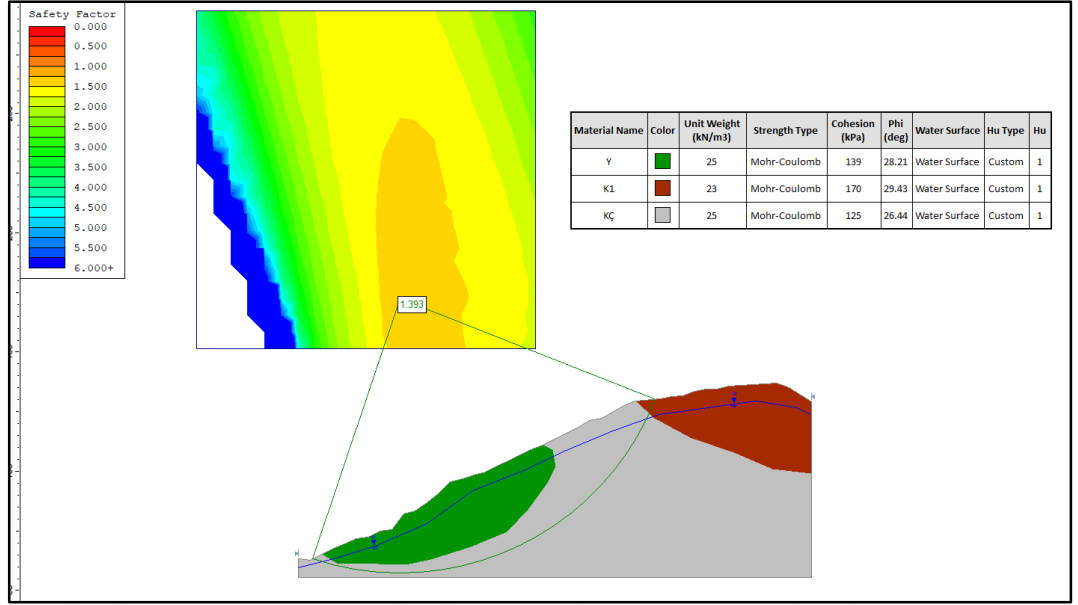


**Şekil 3.18** Şev bozulması yaşanan bölge

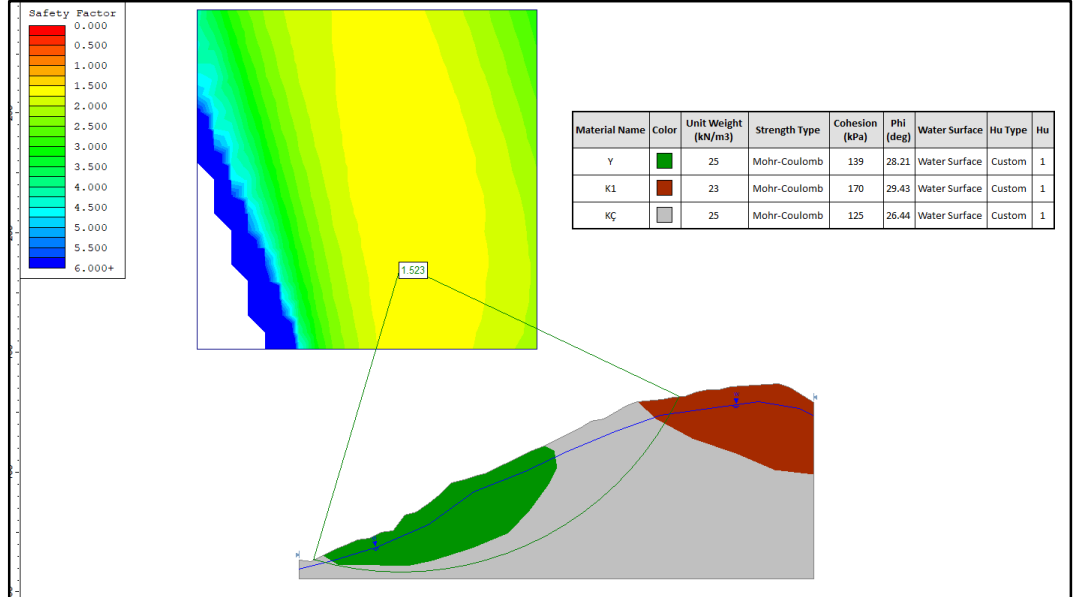
Slide programında temsili kesit Şekil 3.19, 3.20, 3.21, 3.22'de gösterildiği gibi Bishop, Janbu, Spencer ve GLE yöntemlerinde analiz edilerek emniyet katsayıları bulunmuştur.



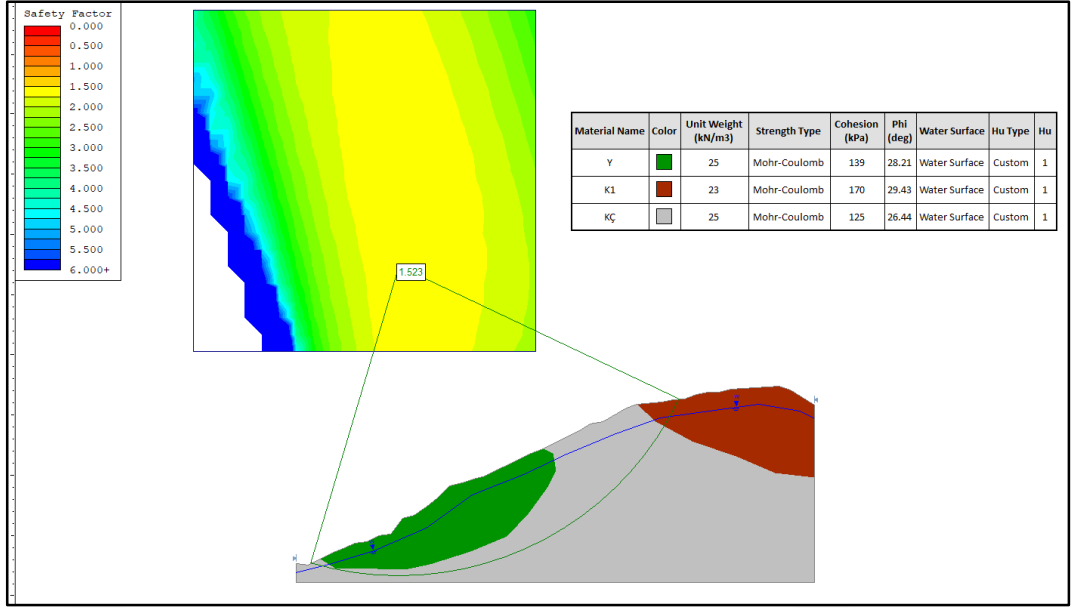
**Şekil 3.19** Şev bozulması yaşanan bölge Bishop yöntemi ile emniyet katsayısı



**Şekil 3.20** Şev bozulması yaşanan bölge için Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü

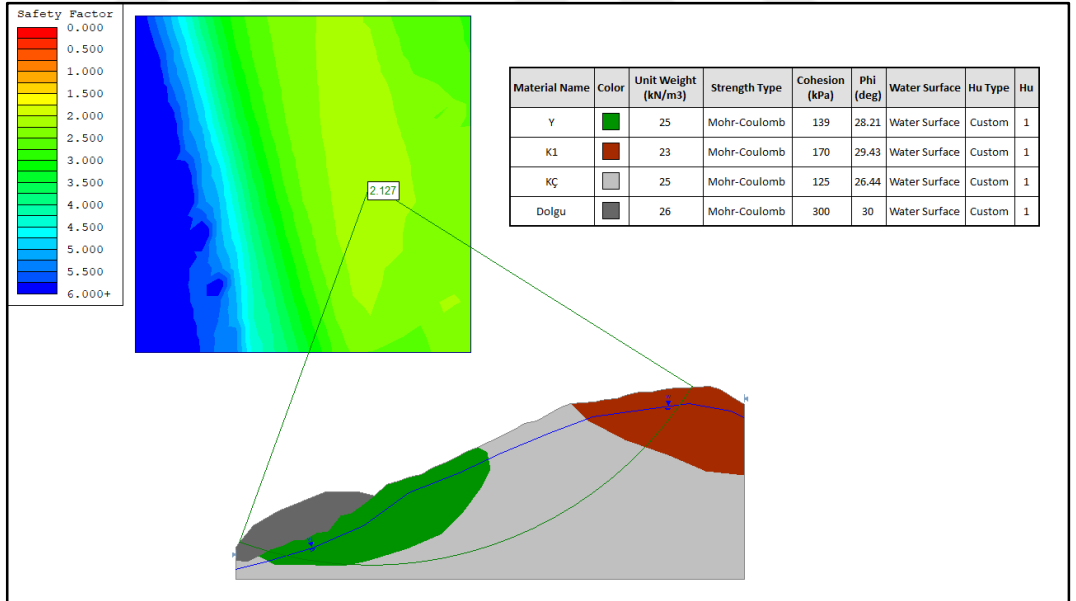


**Şekil 3.21** Şev bozulması yaşanan bölge Spencer yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü

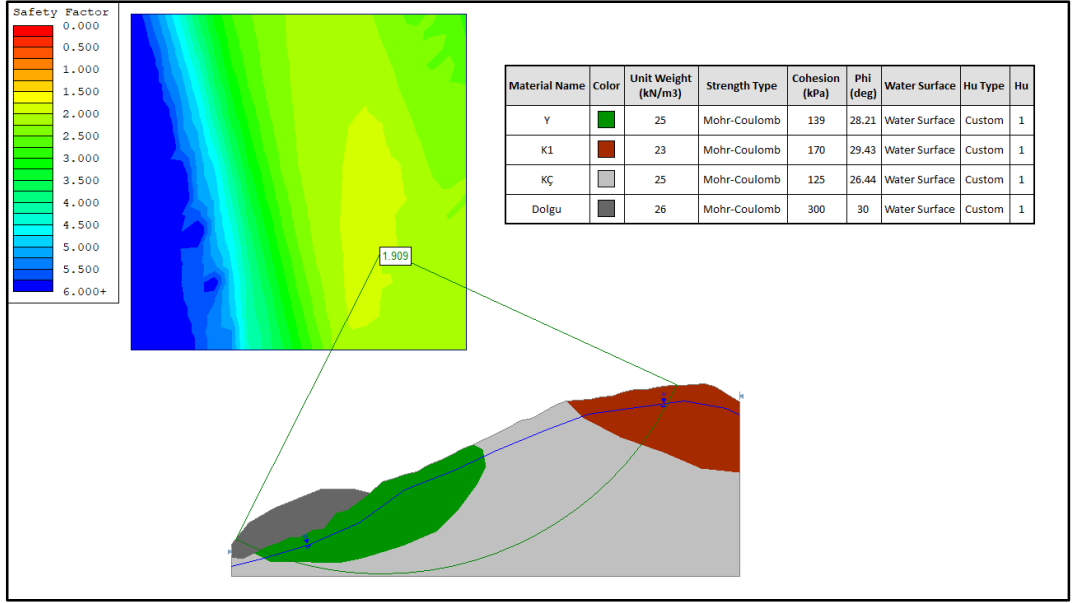


**Şekil 3.22** Şev bozulması yaşanan bölge GLE yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü

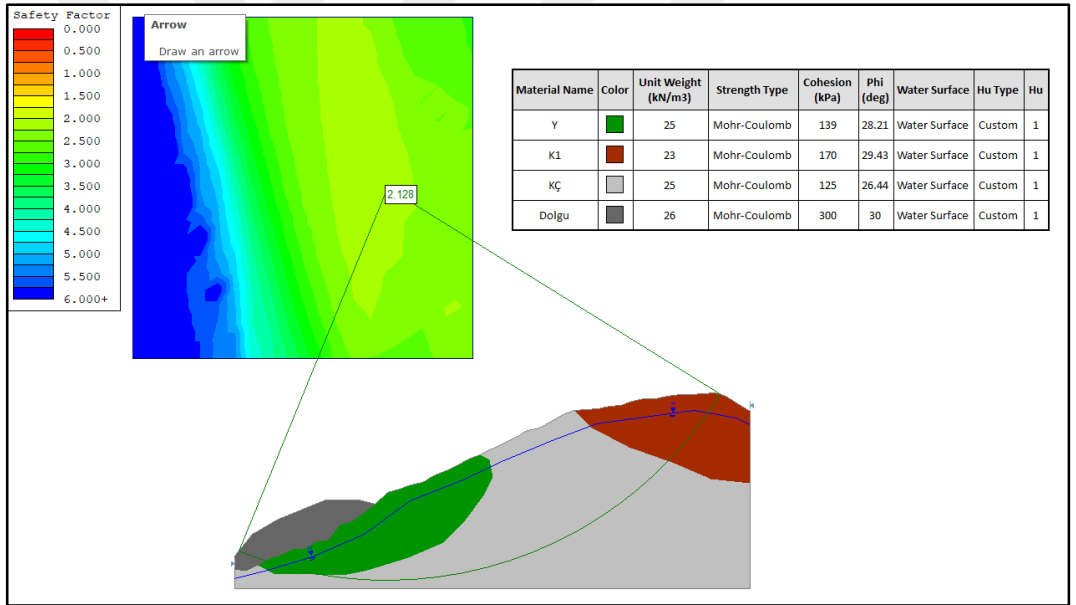
Şev bozulmaları meydana gelen bölgede Slide programında yapılan analizlerde düşük emniyet katsayılarını yükseltmek için şevin topuk bölgesine dolgu malzemesi ilave edilerek tekrar analiz edilmiştir (Şekil 3.23, 3.24, 3.25, 3.26).



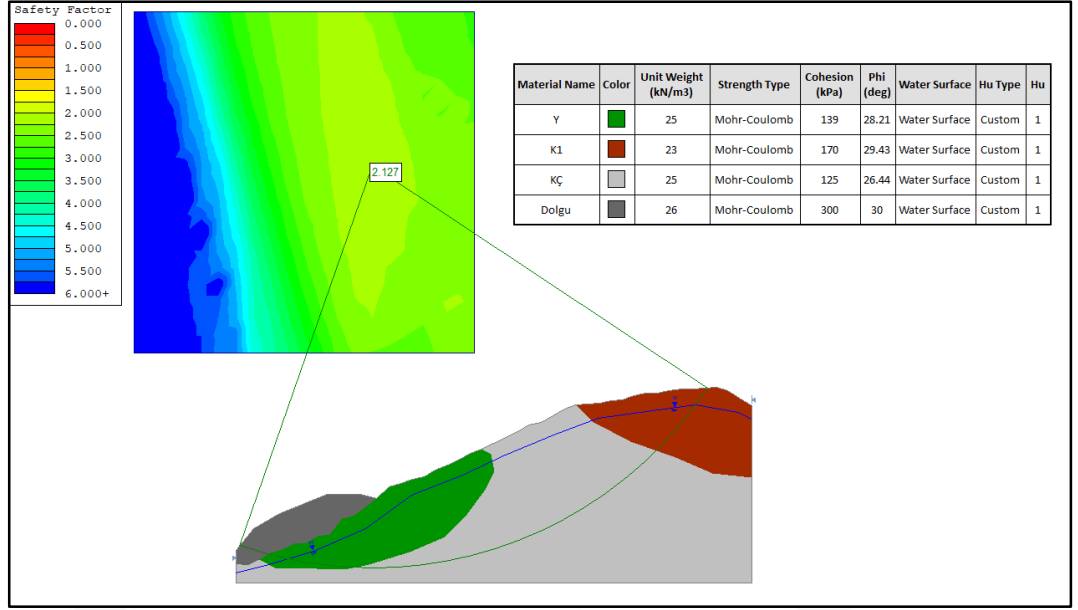
**Şekil 3.23** Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli Bishop yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi)



**Şekil 3.24** Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli Janbu yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi)



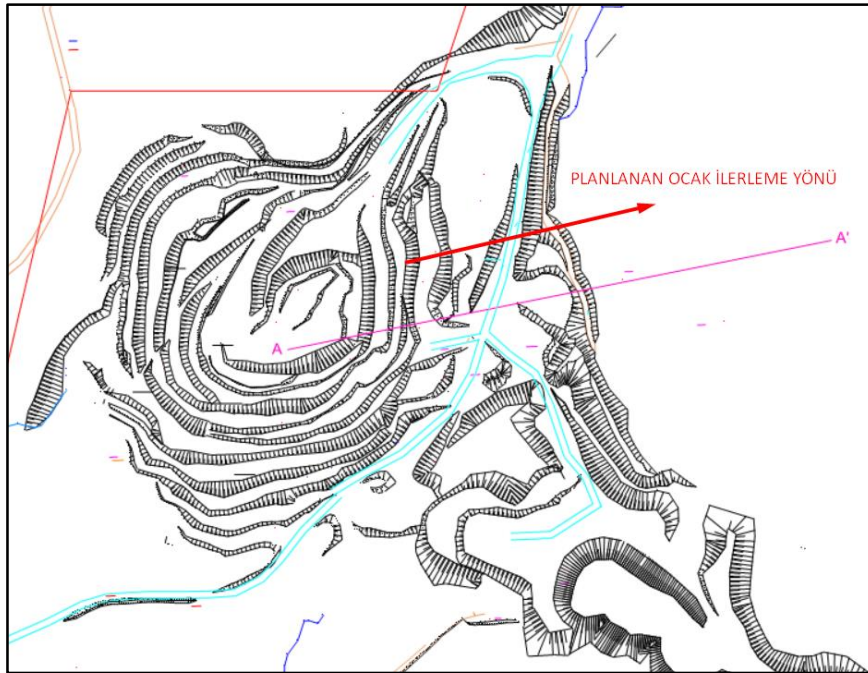
**Şekil 3.25** Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli Spencer yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi)



**Şekil 3.26** Şev bozulması yaşanan bölge topuk destekli GLE yöntemi ile minimum kayma dairesi (koyu gri bölge topuk malzemesi)

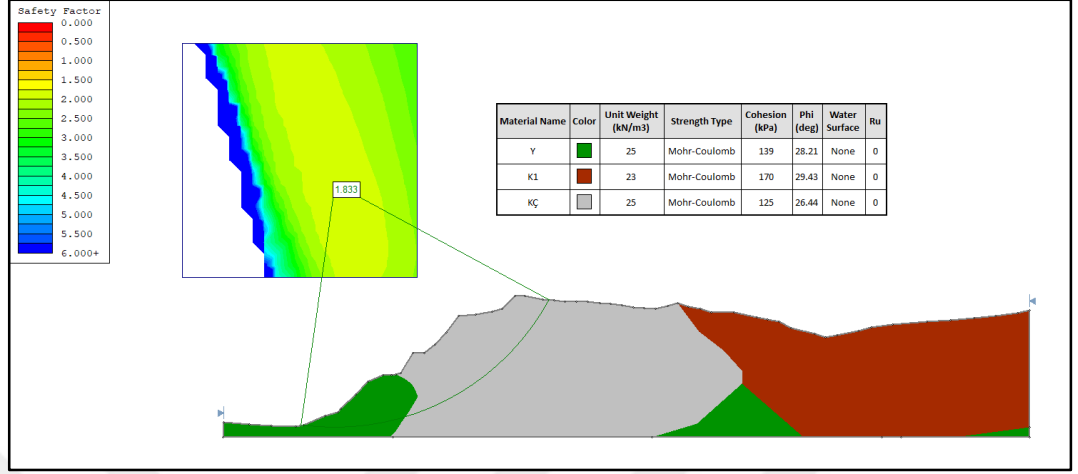
### 3.6.2. Ocaktaki ilerleme yönü değerlendirmesi

Açık ocaktaki şev kaymaları ve kömür yöneliminin yönü göz önüne alınarak ocağın ilerleme yönü Şekil 3.27'deki gibi belirlenmiştir. Bu yönde alınan kesite, sondaj verileri ile litolojiler işlenmiş ve şevlerdeki emniyet katsayısı hesaplanmıştır. 6 farklı basamak boyutu üzerinde şev analizi yapılmış ve emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Analizleri yapılan basamak boyutları Çizelge 3.20'deki gibidir.

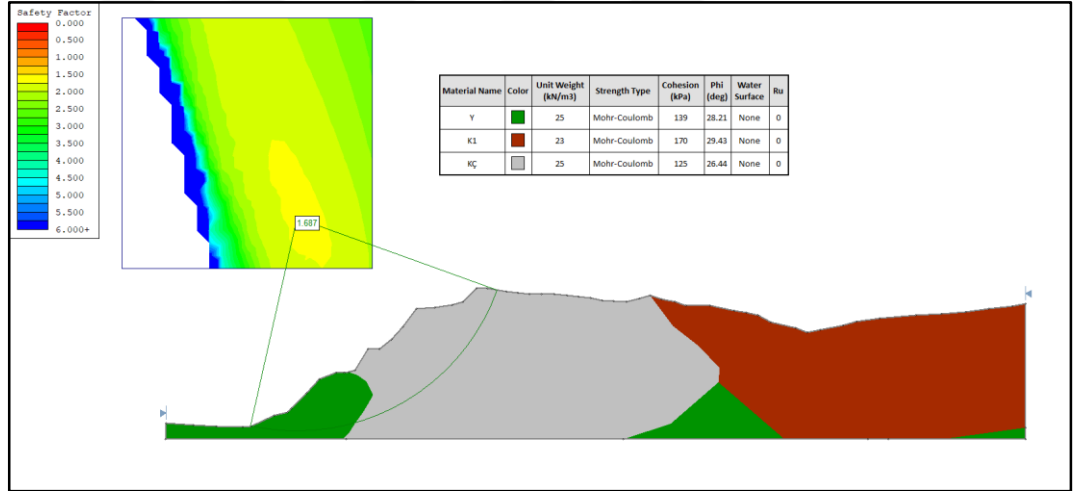


**Şekil 3.27** Ocak ilerleme yönü

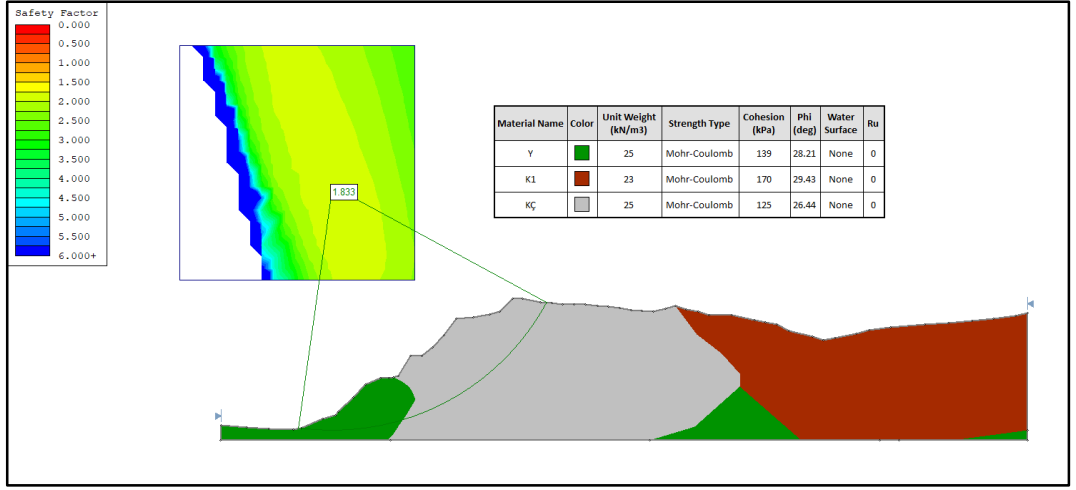
İlerleme yönündeki mevcut durum Slide programı ile analiz edilmiş ve şekil 3.28, 3.29, 3.30, 3.31'de analiz sonucu gösterilmiştir.



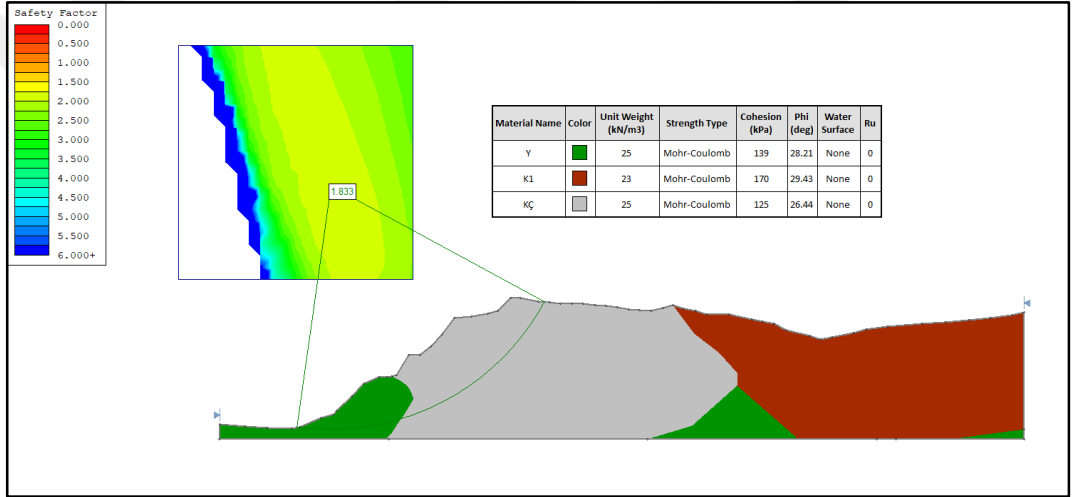
**Şekil 3.28** Ocak ilerleme yönü mevcut durum Bishop yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü



**Şekil 3.29** Ocak ilerleme yönü mevcut durum Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi kesit görünümü



**Şekil 3.30** Ocak ilerleme yönü mevcut durum Spencer yöntemi ile oluşturulan minimum kayma daresi kesit görünümü



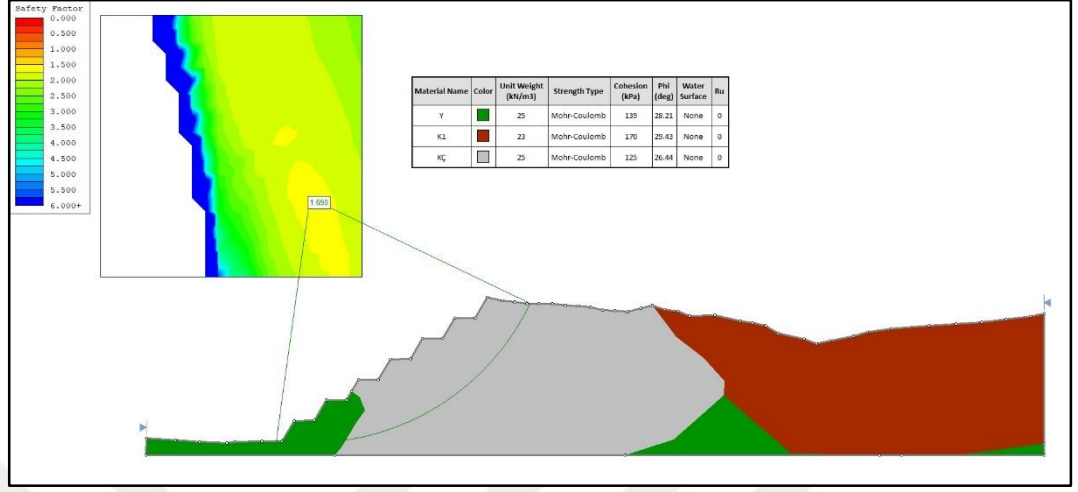
**Şekil 3.31** Ocak ilerleme yönü mevcut durum GLE yöntemi ile oluşturulan minimum kayma daresi kesit görünümü

**Çizelge 3.21** Analizleri yapılan basamak boyutları

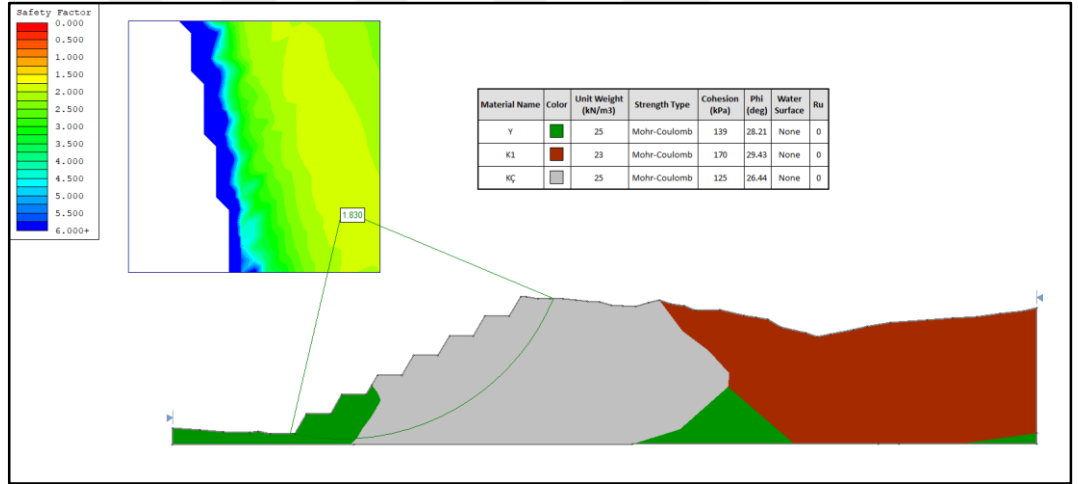
Şev stabilite analizi yapılan farklı basamak boyutları
G:8m H:8m Ş.A:60 <sup>0</sup>
G:10m H:8m Ş.A:60 <sup>0</sup>
G:10m H:10m Ş.A:60 <sup>0</sup>
G:8m H:10m Ş.A.:60 <sup>0</sup>
G:8m H:15m Ş.A.:60 <sup>0</sup>
G:8m H:20m Ş.A.:60 <sup>0</sup>
(G: Basamak genişliği, H: Basamak yüksekliği A: Basamak şev açısı)



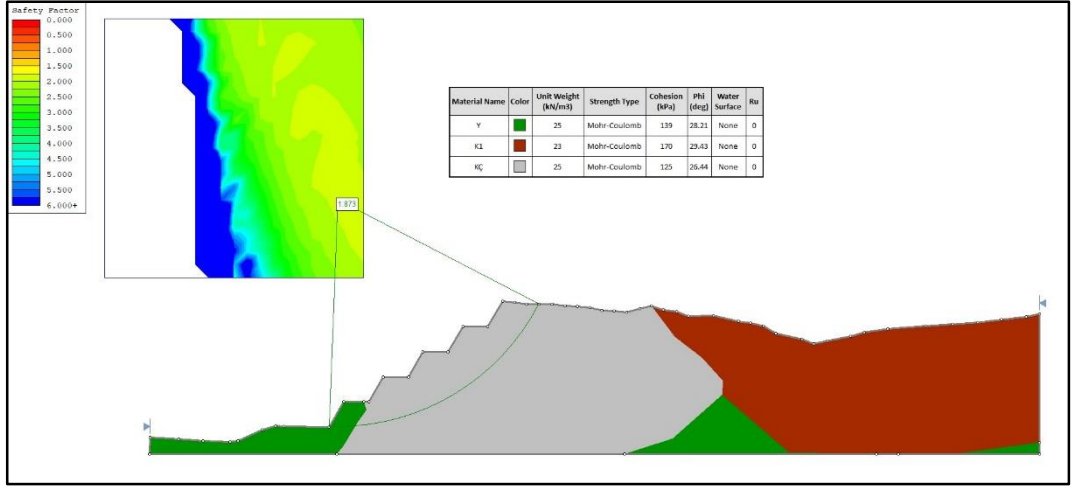
Ocak ilerleme yönündeki kesite Çizelge 3.20'de gösterilen basamak boyları için yapılan analizler dairesel kayma düzlemleri ve emniyet katsayıları bulunmuştur (Şekil 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36, 3.37).



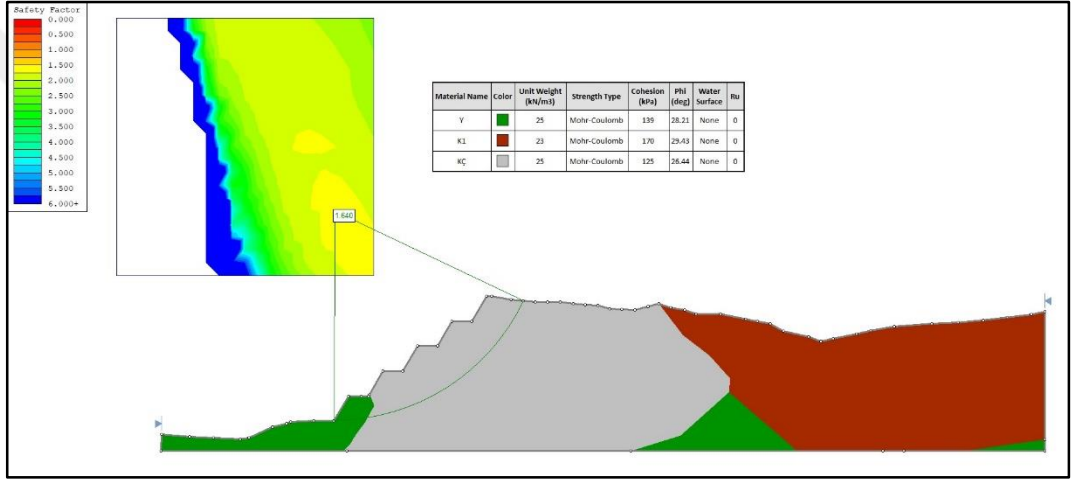
**Şekil 3.32** Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 8 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi



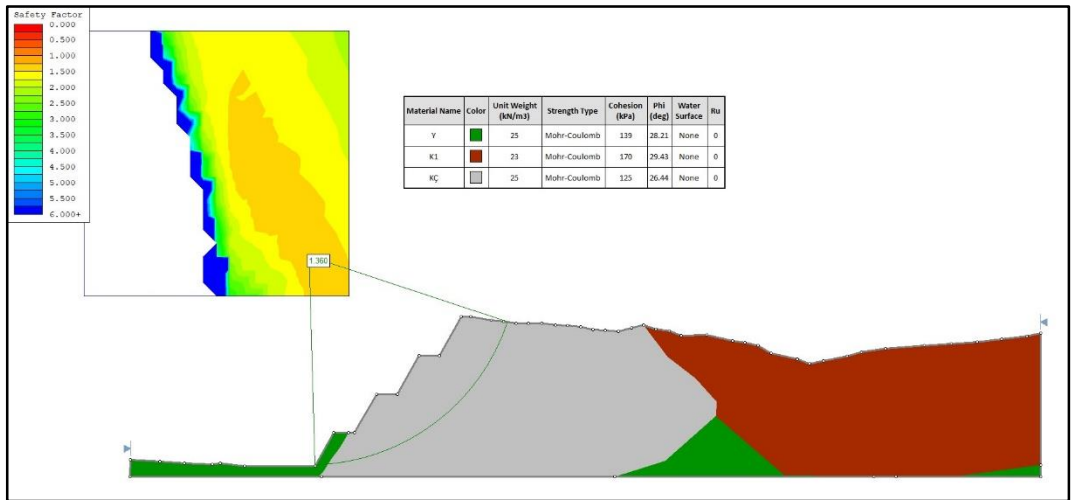
**Şekil 3.33** Ocak ilerleme yönü 10 m genişlik, 8 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi



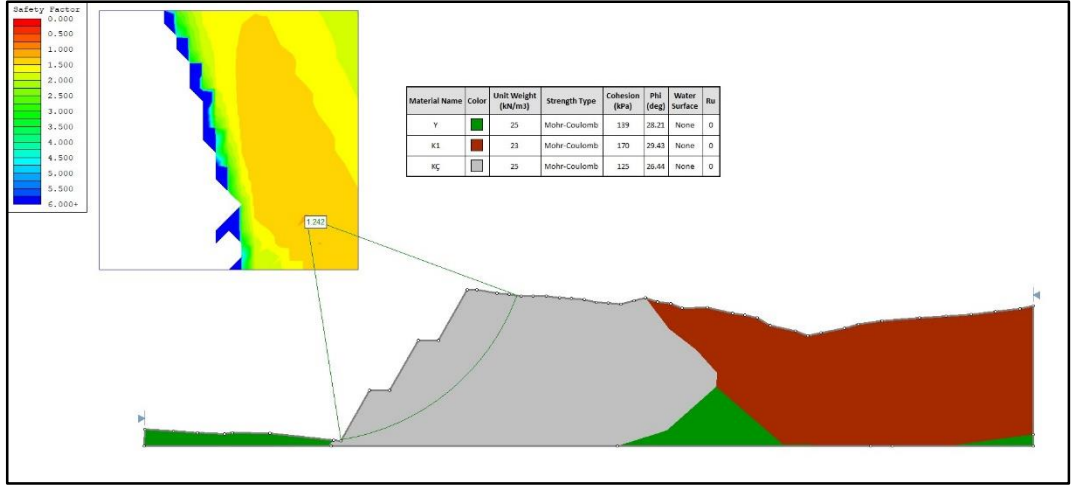
**Şekil 3.34** Ocak ilerleme yönü 10 m genişlik, 10 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi



**Şekil 3.35** Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 10 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi



**Şekil 3.36** Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 15 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma dairesi



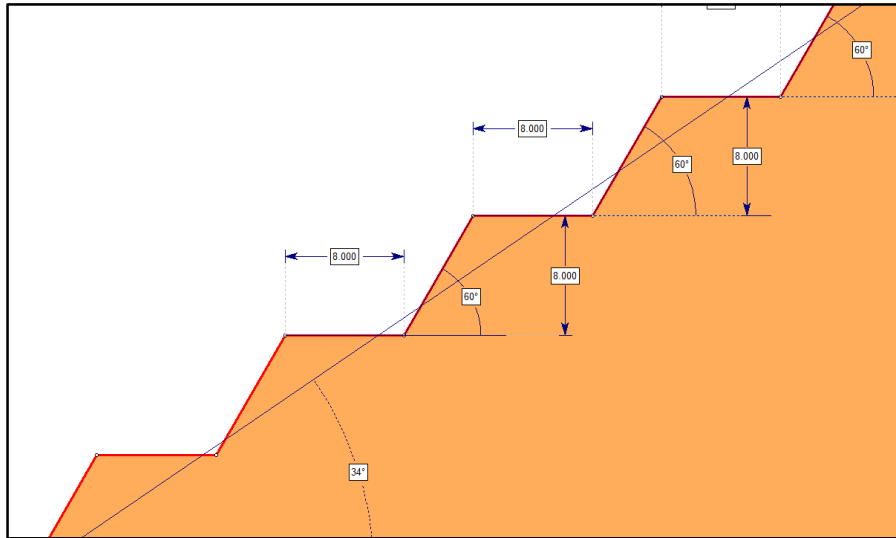
**Şekil 3.37** Ocak ilerleme yönü 8 m genişlik, 20 m yükseklik, 60° genel şev açısı olan basamak tasarımında Janbu yöntemi ile oluşturulan minimum kayma daresi

### 3.6.3. Basamak sayısı değişikliğinin emniyet katsayısına etkisi

Önceki analizlerde çalışma sahasında mevcut durumu yansıtan kesitler üzerinde basamak tasarımları denenmiş ve emniyet katsayıları elde edilmiştir. Bu bölümde ise her formasyona tek tek basamak sayıları artırılmış her seferinde emniyet katsayısı hesaplatılmıştır. Bu denemelerde basamak sayısı ile emniyet katsayısı değişimi gözlemlenmiştir. Kesitlerde her basamak için geçerli olan parametreler Çizelge 3.20' deki gibidir.

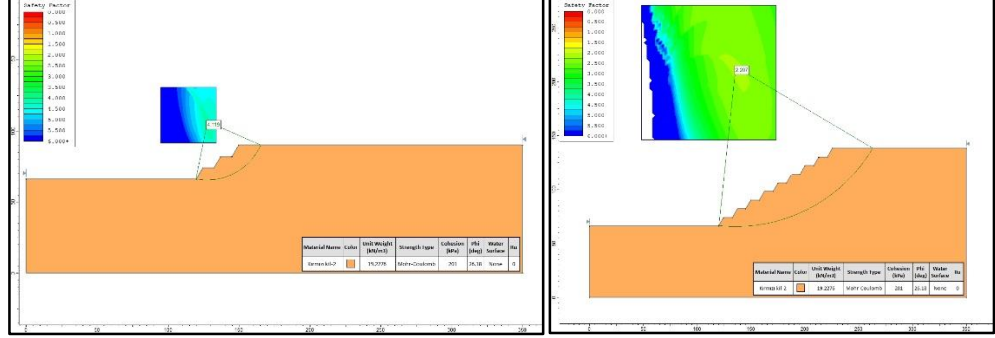
**Çizelge 3.21** Ocak geometrisi parametre değerleri

Basamak genişliği	8 m
Basamak yüksekliği	8 m
Basamak şev açısı	60 °



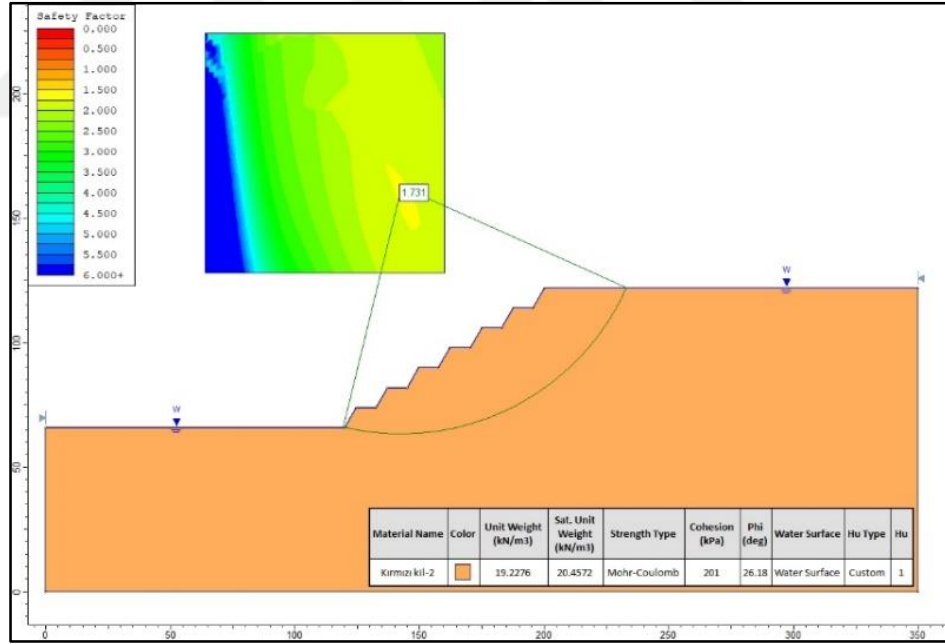
### Şekil 3.38 Şev stabilite analizlerinde kullanılan basamak dizaynı örneği

Basamak genişliği ve yüksekliği 8 metre, basamak şev açısı  $60^{\circ}$  sabit olacak şekilde basamak sayıları arttıkça oluşan şevlerdeki durumu gözlemek için her litolojiye 1 ile 10 basamak sayıları için tek tek analiz yapılmıştır (Şekil 3.39).



Şekil 3.39 K2 numunesine ait 3 ve 9 basamaklı şevlerde hesaplanan minimum kayma dairesi

Yapılan denemelerde bölgenin belli zamanlarında şiddetli yağışlar alıyor olması dolayısı ile yeraltı su seviyelerinin maksimum seviyelere çıktığı malzemenin suya doymuş olduğu senaryo düşünülerek aynı kesitler suya doymuş halde tekrar analiz yapılmıştır (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 K2 numunesine ait 8 basamaklı şevlerdeki maksimum su seviyesindeki hesaplanan minimum kayma dairesi

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Laboratuvar Deneyi Bulguları

Bu bölümde yapılan deneylerden elde edilen bilgi ve bulgular ortaya koyulmuştur.

#### 4.1.1. Kıvam Limit Tayini

Kıvam limitleri esas olarak ince taneli zeminlerin değişik su içeriklerindeki dayanımlarının bir göstergesi olmaktadır. Zeminin doğal su içeriğinin kıvam limitleriyle karşılaştırılması bize o zeminin mukavemeti hakkında bir fikir vermektedir.

Plastisite İndisi (PI): Zeminin plastik davranış gösterdiği andaki su içeriği değeridir. Rakamsal olarak [4.1] 'deki gibi ifade edilmektedir.

$$PI = LL - PL \quad [4.1]$$

**Çizelge 4.1** Plastisite indisi değerlerine göre plastisite derecesi (IAEG Komisyonu, 1981)

Tanımlama	Plastisite İndisi (%)
Düşük Plastisiteli	< 1
Orta Plastisiteli	1 - 7
Yüksek Plastisiteli	7 - 17
Çok Yüksek Plastisiteli	17 - 35
Aşırı Yüksek Plastisiteli	> 35

Kıvamlılık indisi; zeminlerin sınıflandırılması, fiziksel özellikleri ve mukavemetleri hakkında ön bilgiler vermektedir. Genel olarak zeminin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta, su geçirgenliği azalmaktadır. Kıvam indisine göre zeminlerin sınıflandırılması Çizelge 4.2'te verilmiştir. Kıvamlılık indisi [4.2]' bağıntısı ile hesaplanır.

**Çizelge 4.2** Kıvamlılık indisine göre zeminlerin sınıflandırılması (IAEG, 1981)

Tanımlama	Plastisite İndisi (I <sub>c</sub> )
Çok Yumuşak	< 0,05
Yumuşak	0,05 - 0,25
Sıkı	0,25 - 0,75
Katı	0,75 - 1,00
Çok Katı	> 1

$$I_c = \frac{LL - W_n}{PI} \quad [4.2]$$

**Çizelge 4.3** Numunelerin LL ve PL değerleri ile yapılan hesaplamalar

	LL	PL	W <sub>n</sub>	PI	I <sub>c</sub>
<b>K1</b>	37.20	23.70	13.60	13.50	1.75
<b>K2</b>	41.10	24.60	14.33	16.50	1.62
<b>HS</b>	41.80	24.70	13.15	17.10	1.68
<b>HG</b>	47.00	26.80	22.00	20.20	1.24

Likit limit ve plastik limit deneyleri yapılabilen numunelerin Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'deki sınıflamalara göre tanımlamaları yapılmış ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4** Numunelerin kıvam limitlerine göre sınıflandırılması

	Plastisite Sınıflaması	Kıvamlılık Sınıflaması
<b>K1</b>	Orta Plastik	Çok Katı
<b>K2</b>	Orta Plastik	Çok Katı
<b>HS</b>	Yüksek Plastik	Çok Katı
<b>HG</b>	Yüksek Plastik	Çok Katı

#### 4.1.2. Zemin sınıflandırması

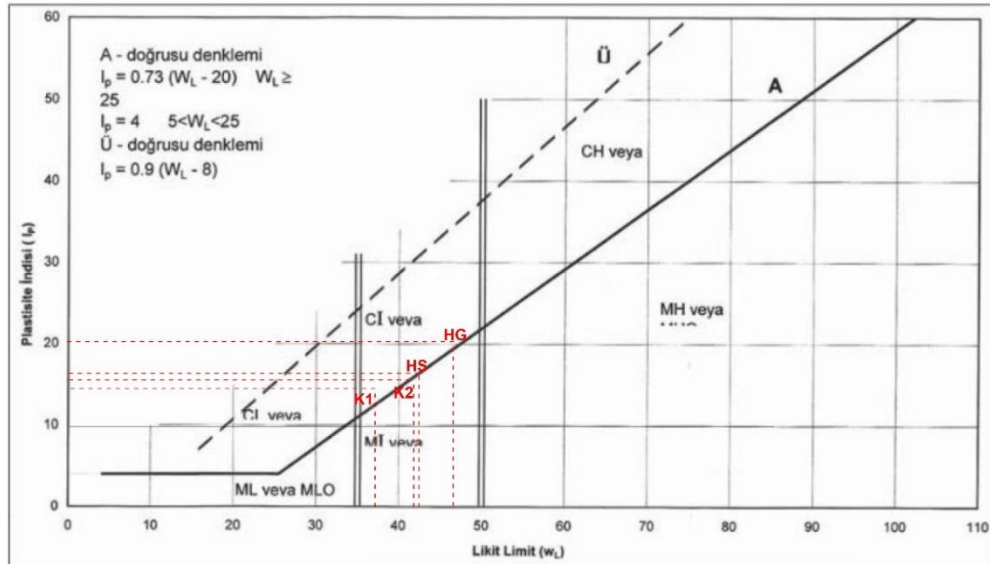
TS1500 Zemin Sınıflandırma Standartına göre likit limit ve plastik limit deneyleri yapılan numuneler için Çizelge 4.5'de ve Çizelge 4.6'daki abaklardan yararlanarak uygun sınıflamalar bulunmuştur.

**Çizelge 4.4** Numunelerin kıvam limitlerine göre sınıflandırılması

				SINIFI	
				SİMGE	GRUP ADI <sup>B</sup>
IRI DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm 75 µm'den büyük)	ÇAKILLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası  <b>ASTM #10=2mm</b>	Temiz Çakıllar (% 5'ten az ince içeriyor)	$C_u \geq 4$ ve $1 \leq C_c \leq 3$	GW	Düzdün dane dağılımlı çakıl <sup>C</sup>
			$C_u < 4$ ve/veya $1 > C_c > 3$	GP	Üniform çakıl <sup>C</sup>
		Kirli Çakıllar (İncesi % 5'ten fazla) <sup>A</sup>	İnceleri ML, MI veya MH	GM	Siltli çakıl <sup>C</sup>
			İnceleri CL, CI veya CH	GC	Killi çakıl <sup>C</sup>
KUMLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası  <b>ASTM #200=0,075mm</b>	KUMLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası	Temiz Kumlar (% 5'ten az incesi var)	$C_u \geq 6$ ve $1 \leq C_c \leq 3$	SW	Düzdün dane dağılımlı kum <sup>D</sup>
			$C_u < 6$ ve/veya $1 > C_c > 3$	SP	Üniform kum <sup>D</sup>
		Kirli Kumlar (İncesi % 5'ten fazla) <sup>A</sup>	İnceleri plastisite kartında ML, MI veya MH	SM	Siltli kum <sup>D</sup>
			İnceleri plastisite kartında CL, CI veya CH	SC	Killi kum <sup>D</sup>
İNCE DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm'den küçük)	SİLTLER VE KİLLER (Likit limiti 35'ten düşük)	Anorganik	$I_p \geq 4$ ve A-doğrusunun üstünde	CL <sup>E</sup>	Düşük plastisiteli kil
			$I_p < 4$ ve A-doğrusu altında	ML <sup>F</sup>	Düşük plastisiteli silt
		Anorganik	$I_p$ A-doğrusunun üstünde veya üzerinde	CI <sup>E</sup>	Orta plastisiteli kil
			$I_p$ A-doğrusu altında	MI <sup>F</sup>	Orta plastisiteli silt
SİLTLER VE KİLLER (Likit limiti 50 veya yüksek)	Anorganik	$I_p$ A-doğrusunun üstünde veya üzerinde	CH <sup>F</sup>	Yüksek plastisiteli (yağlı) kil	
		$I_p$ A-doğrusu altında	MH <sup>F</sup>	Yüksek plastisiteli (elastik) silt	
ORGANİK ZEMİN	Koyu renkli, Kokulu, Aşırı organik malzeme içeriyor			PT	Turba

K1, K2, HG ve HS numuneleri likit limit ve plastik limit deneyleri yapılabilmıştır. Bu numunelerin elek analizi sonuçlarında 0.075 mm elek altı miktarları %50'den fazla olduğundan "İnce Daneli Zeminler" kategorisindedir. Likit limit değerleri de 35-50 aralığında olduğundan Siltler ve Killler kategorisi okunmaktadır. Abakta sonraki kısma karar vermek için Plastisite indisi ile Likit limit değerleri Çizelge 4.5'te yerine koyulduğunda noktalar A doğrusu üzerinde ya da altında olmasına göre sınıflandırma abaktan okunmuştur. Elde edilen verilere göre numunelere ait sınıflandırma Çizelge 4.6'daki gibidir.

**Çizelge 4.5** Numunelerin kıvam limitlerine göre sınıflandırılması



**Çizelge 4.6** Numunelerin TS 1500 Standartına göre zemin sınıflandırması

	<b>Zemin Sınıfı</b>
<b>K1</b>	Cl Orta Plastisiteli Kil
<b>K2</b>	Ml Orta Plastisiteli Silt
<b>HS</b>	Cl Orta Plastisiteli Kil
<b>HG</b>	Cl Orta Plastisiteli Kil

#### **4.2. Şev Stabilite Analizi Bulguları**

Çalışma sahasına ait formasyonların ve kesitlerin kullanıldığı 3 farklı şev stabilite analizi çalışmasında elde edilen bulgular bu bölümde verilmiştir.

##### **4.2.1. Ocaktaki Şev Kaymasının Olduğu Mevcut Durum Bulguları**

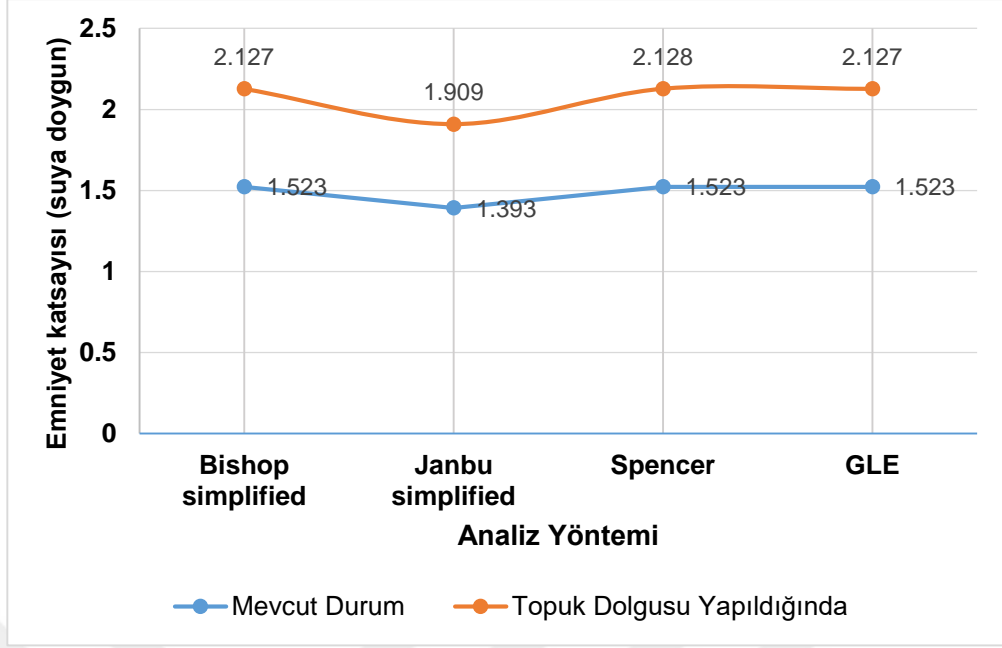
Çalışma sahasında şev kaymalarının olduğu bölgeden alınan kesit üzerine işlenen formasyonlar üzerine Slide programı ile yapılan şev stabilite analiz sonuçları Çizelge 4.7'teki gibi sonuçlanmıştır.

**Çizelge 4.7** Heyelan bölgesine ait analiz sonuçları

Durum / Yöntem	Emniyet Katsayısı (Suya Doymun)			
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	GLE
Mevcut Durum	1.523	1.393	1.523	1.523
Dolgu Yapıldığında	2.127	1.909	2.128	2.127

Mevcut durumda çıkan düşük emniyet katsayılarını iyileştirmek için topuk bölgesine dolgu yapılarak tekrar analiz edilmiştir. Şevin topuk bölgesine Slide analiz kesitinde (Şekil 3.23, 3.24) gösterildiği şekilde yapılacak dolgu, emniyet katsayılarında Bishop simplified yönteminde %39.66, Janbu simplified yönteminde %37.04, Spencer yönteminde %39.72 ve GLE yönteminde %39.66 artış göstermiştir. (Şekil 3.39).





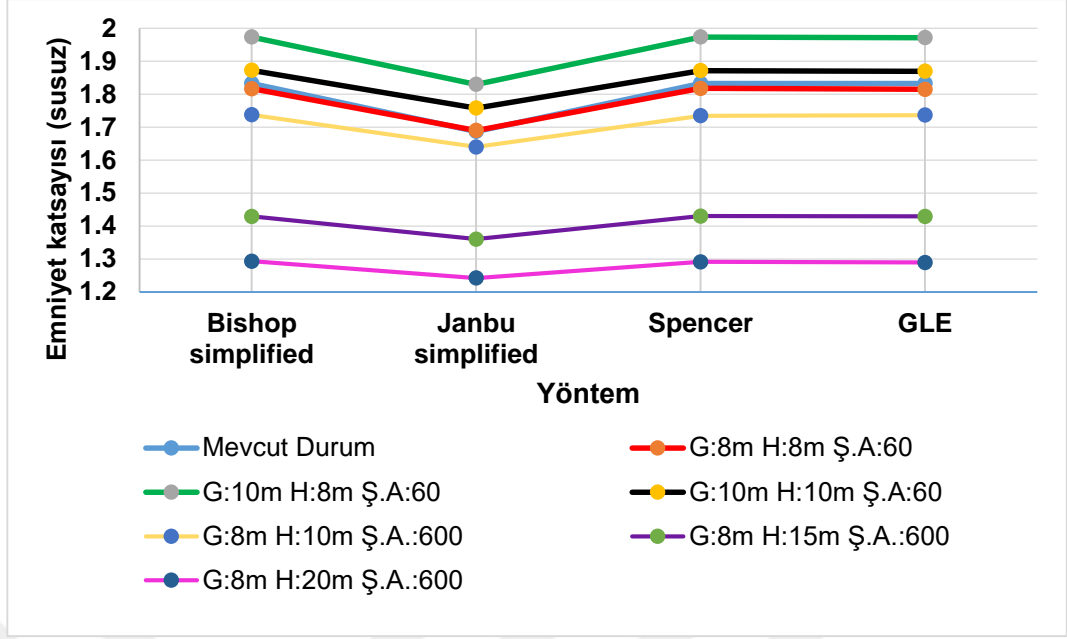
**Şekil 4.1** Heyelan bölgesine ait kesitin mevcut durumdaki emniyet katsayısı ile topuk dolgusu sonrasındaki emniyet katsayısı değişimi

#### 4.2.2. Ocaktaki İlerleme Yönü Bulguları

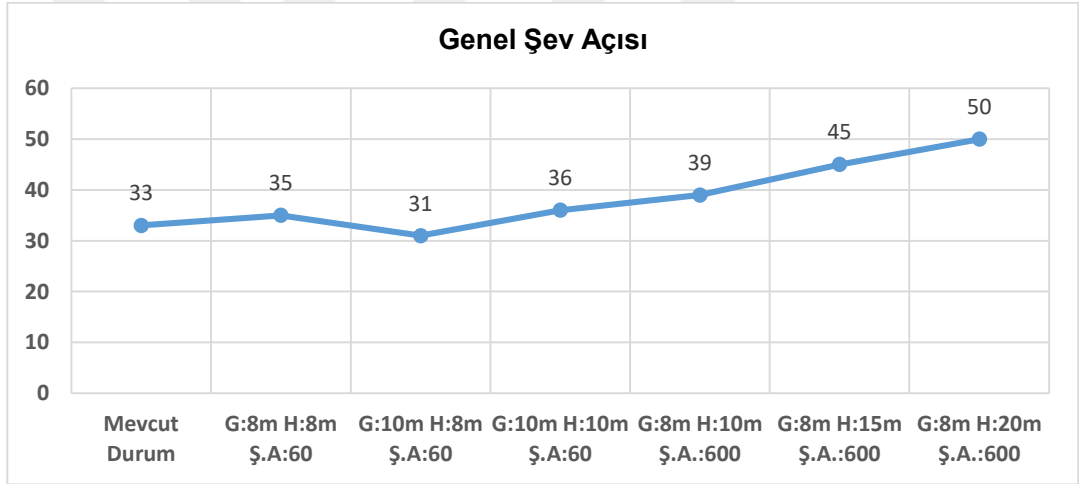
Çalışma sahasında kömür cevherinin yönelimine doğru olan ocak ilerleme yönü için yapılan şev stabilite analizinde 6 farklı basamak tasarımına yer verilmiş (Çizelge 4.8) ve analiz sonucunda emniyet katsayıları grafikte karşılaştırılmıştır (Şekil 4.2).

**Çizelge 4.8** Ocak İlerleme yönü ait analiz sonuçları (G: Basamak genişliği, H: Basamak Yüksekliği, A: Şev Açısı)

	Emniyet Katsayısı				
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	GLE	Genel Şev Açısı
Mevcut Durum	1.833	1.687	1.833	1.833	33°
G:8m H:8m Ş.A:60°	1.817	1.690	1.818	1.815	35°
G:10m H:8m Ş.A:60°	1.974	1.830	1.974	1.972	39°
G:10m H:10m Ş.A:60°	1.873	1.758	1.872	1.870	45°
G:8m H:10m Ş.A.:60°	1.738	1.640	1.735	1.737	50°
G:8m H:15m Ş.A.:60°	1.429	1.360	1.430	1.429	31°
G:8m H:20m Ş.A.:60°	1.293	1.242	1.291	1.289	36°



Şekil 4.2 İlerleme yönü farklı basamak tasarımlarında elde edilen emniyet katsayıları



Şekil 4.3 İlerleme yönü basamak tasarımlarının genel şev açıları

Şev stabilite analizlerinde 10 metre basamak genişliği, 8 metre basamak yüksekliği ve 60° şev açısı parametreleri çalışmaya en uygun değerler olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.39). Seçilen basamak tasarımı uygulandığında şevin doğal durumuna göre analizler kıyaslandığında emniyet katsayısındaki artış Bishop simplifield yönteminde %7.69, Janbu simplifield yönteminde %8.48, Spencer yönteminde %7.69 ve GLE yönteminde ise %7.58 lik bir artış görülmektedir.

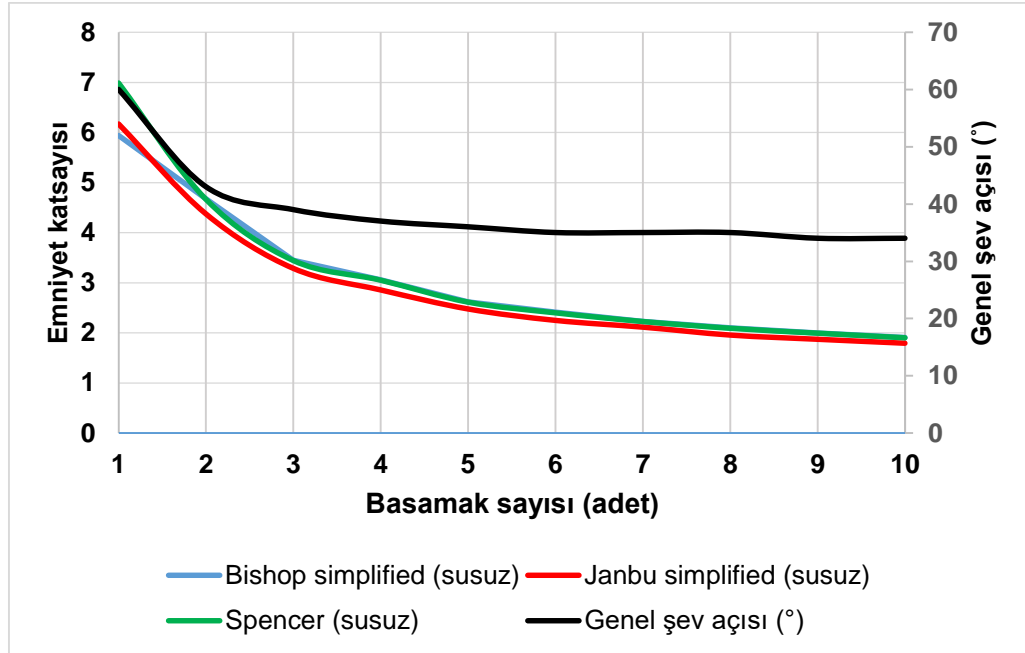
#### 4.2.3. Basamak Sayısı Değişikliğinin Emniyet Katsayısına Etkisi Bulguları

Numune tanımlamaları yapılmış olan Y, K1, K2, HG ve HS isimli numunelerin birim hacim ağırlık, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri kullanılarak Slide programında her bir numune malzemesinin basamak sayıları arttıkça emniyet katsayılarındaki değişimini ortaya koymak için analizler yapılmıştır. Ayrıca bölgenin yüksek yağış aldığı ve malzemelerin suya

doygun hale geldiği durumları da senaryo etmek amacıyla aynı denemeler suya doygun halde de tekrarlanmıştır. Analizler sonucunda elde edilen değerler ayrı ayrı tablolar haline getirilmiş (Çizelge 4.9 – 4.20) ve grafiksel (Şekil 4.4 – 4.15) olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4.9** Yeşil kil (Y) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları

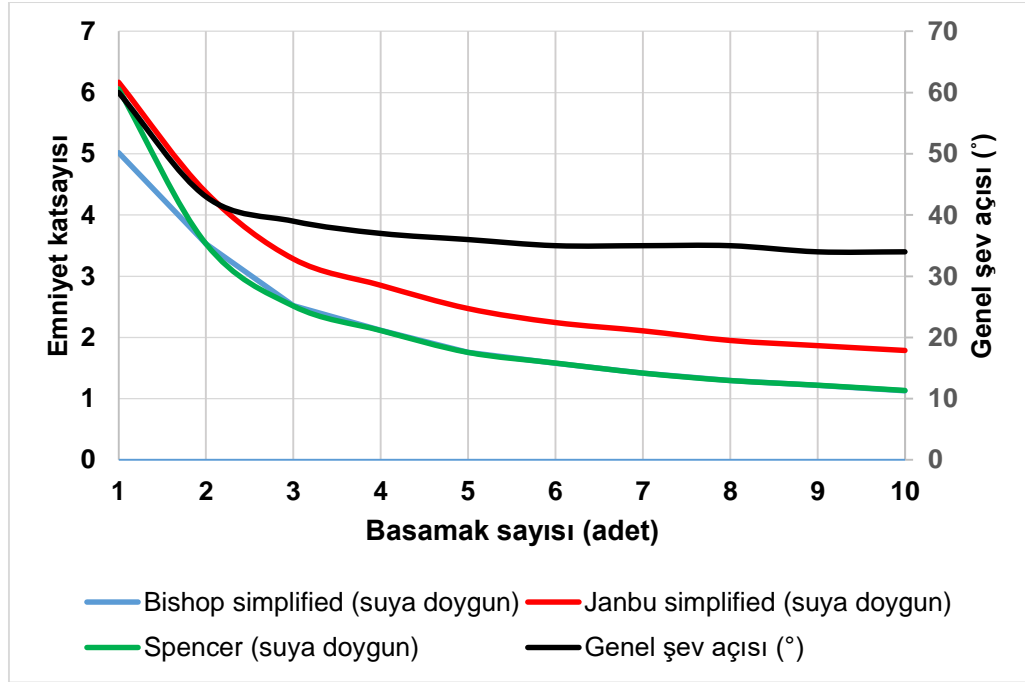
Basamak adedi	Emniyet katsayısı (Susuz)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	5.939	6.169	6.990	60
2	4.672	4.372	4.667	43
3	3.448	3.285	3.446	39
4	3.055	2.854	3.052	37
5	2.619	2.474	2.615	36
6	2.410	2.246	2.401	35
7	2.229	2.111	2.228	35
8	2.099	1.953	2.093	35
9	1.998	1.869	1.995	34
10	1.908	1.790	1.903	34



**Şekil 4.4** Yeşil kil (Y) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

**Çizelge 4.10** Yeşil kil (Y) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları

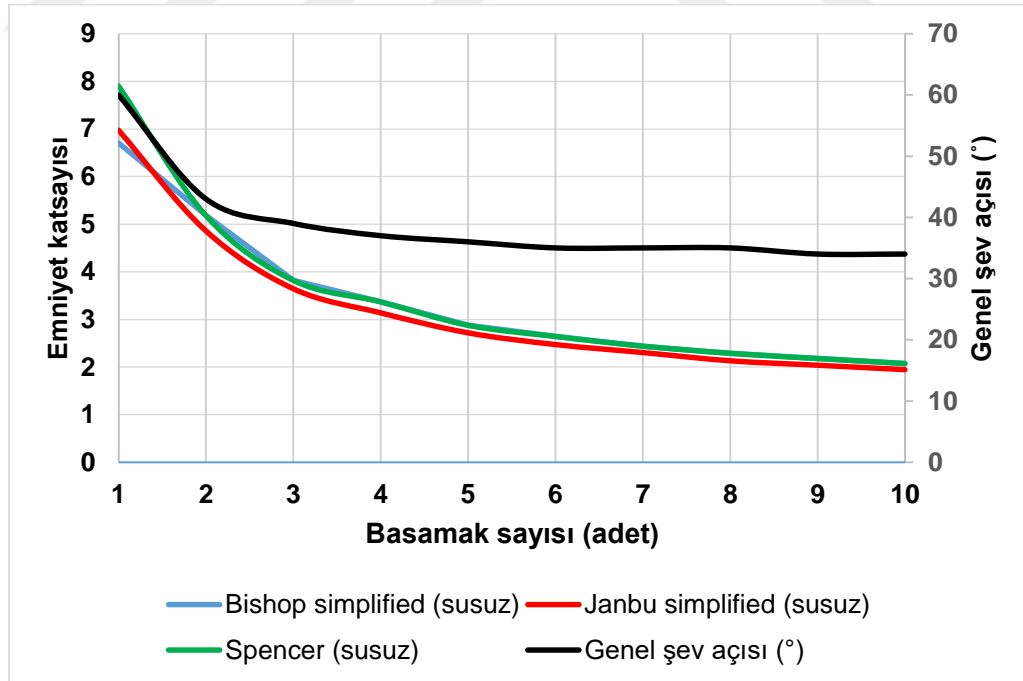
Basamak adedi	Emniyet katsayısı (Suya doymun)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	5.020	5.278	6.061	60
2	3.530	3.308	3.531	43
3	2.518	2.390	2.514	39
4	2.116	1.926	2.114	37
5	1.757	1.616	1.756	36
6	1.581	1.432	1.582	35
7	1.414	1.287	1.418	35
8	1.294	1.161	1.296	35
9	1.216	1.082	1.220	34
10	1.131	1.024	1.134	34



**Şekil 4.5** Yeşil kil (Y) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

**Çizelge 4.11** Kırmızı kil 1 (K1) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları

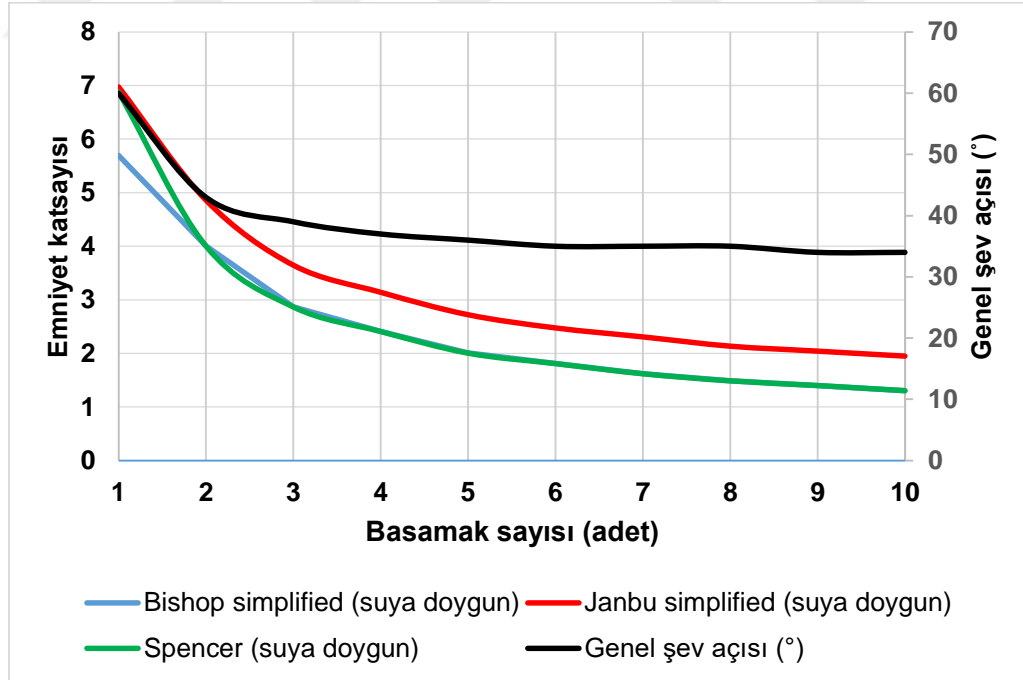
Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Susuz)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	6.702	6.976	7.903	60
2	5.183	4.861	5.180	43
3	3.822	3.647	3.819	39
4	3.370	3.140	3.367	37
5	2.880	2.721	2.875	36
6	2.647	2.475	2.641	35
7	2.439	2.307	2.438	35
8	2.291	2.134	2.287	35
9	2.180	2.041	2.178	34
10	2.077	1.948	2.072	34



**Şekil 4.6** Kırmızı kil 1 (K1) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

**Çizelge 4.12** Kırmızı kil 1 (K1) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları

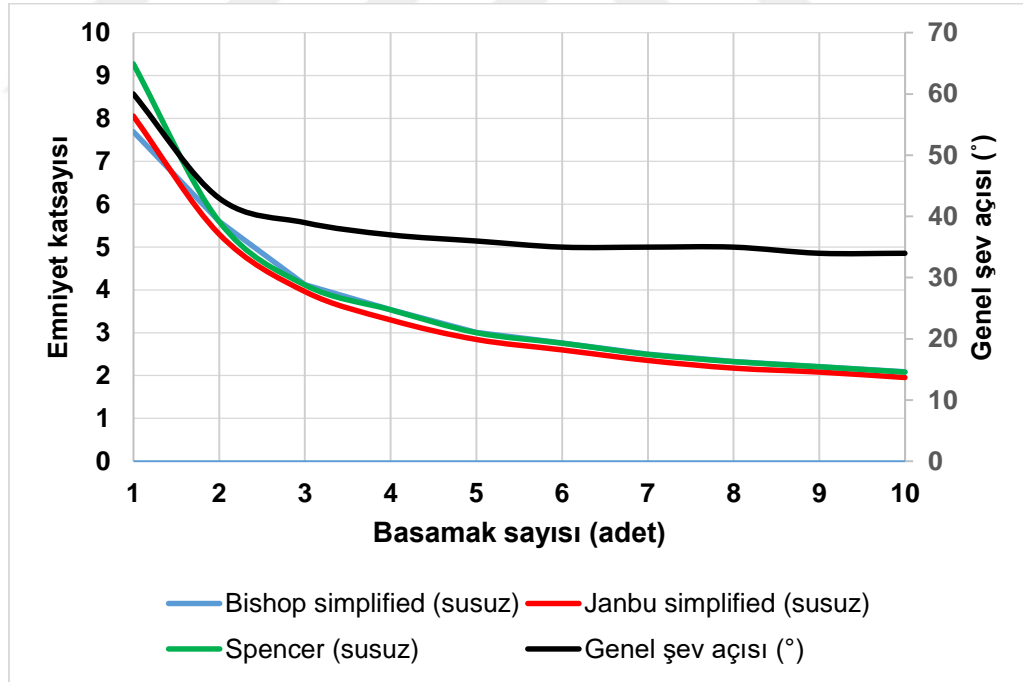
Basamak adedi	Emniyet katsayısı (Suya doymun)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	5.693	5.984	6.877	60
2	4.003	3.762	4.004	43
3	2.868	2.729	2.867	39
4	2.411	2.204	2.409	37
5	2.008	1.857	2.005	36
6	1.813	1.653	1.810	35
7	1.621	1.484	1.621	35
8	1.487	1.343	1.488	35
9	1.399	1.256	1.401	34
10	1.304	1.186	1.305	34



**Şekil 4.7** Kırmızı kil (K1) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

**Çizelge 4.13** Kırmızı kil 2 (K2) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan emniyet katsayıları

Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Susuz)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	7.691	8.058	9.277	60
2	5.602	5.305	5.600	43
3	4.119	3.964	4.117	39
4	3.541	3.301	3.536	37
5	3.008	2.845	3.003	36
6	2.761	2.601	2.757	35
7	2.502	2.355	2.495	35
8	2.331	2.176	2.326	35
9	2.207	2.084	2.206	34
10	2.086	1.957	2.083	34

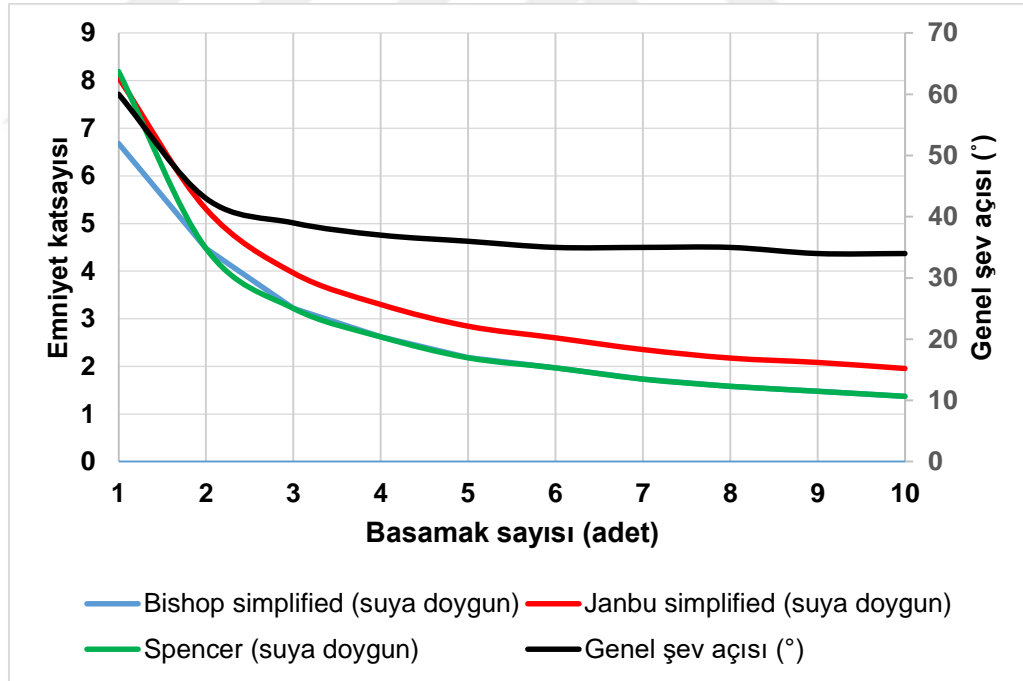


**Şekil 4.8** Kırmızı kil 2 (K2) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

**Çizelge 4.14** Kırmızı kil 2 (K2) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile

hesaplanan emniyet katsayıları

Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Suya doygun)			Genel Şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	6.679	7.054	8.193	60
2	4.476	4.264	4.477	43
3	3.216	3.086	3.216	39
4	2.618	2.433	2.618	37
5	2.185	2.043	2.179	36
6	1.969	1.795	1.967	35
7	1.731	1.593	1.730	35
8	1.582	1.443	1.581	35
9	1.476	1.349	1.476	34
10	1.368	1.246	1.369	34



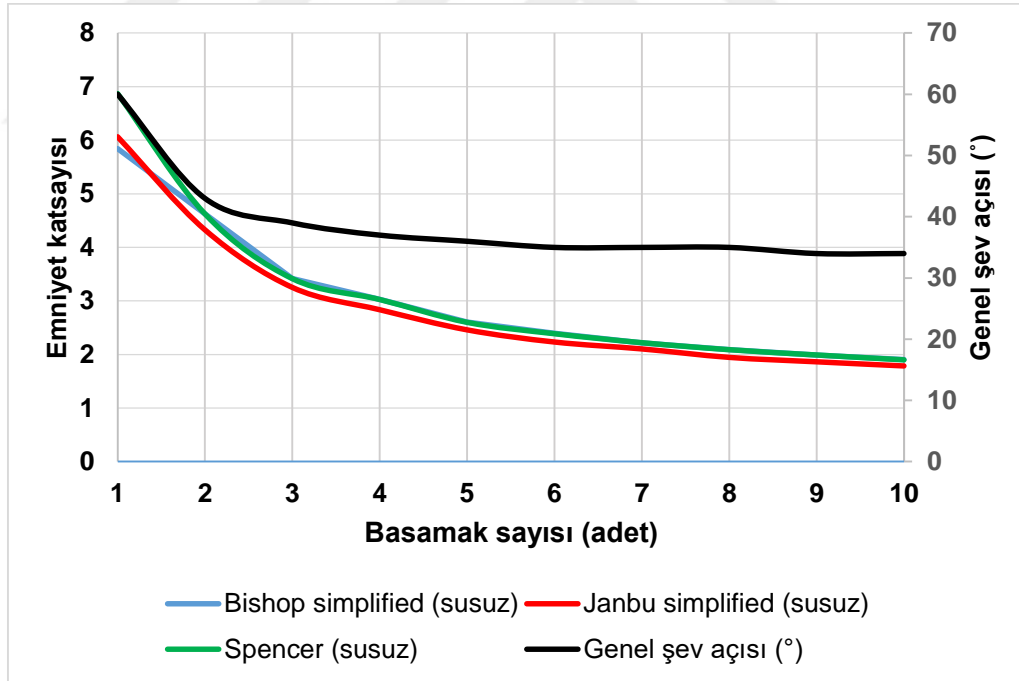
Şekil 4.9 Kırmızı kil 2 (K2) için suya doygun ortamda Şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

Çizelge 4.15 Gri Marn (HG) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan



emniyet katsayıları

Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Susuz)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	5.844	6.066	6.871	60
2	4.627	4.327	4.623	43
3	3.416	3.252	3.414	39
4	3.031	2.835	3.024	37
5	2.602	2.459	2.598	36
6	2.394	2.232	2.385	35
7	2.219	2.103	2.218	35
8	2.091	1.945	2.087	35
9	1.990	1.862	1.988	34
10	1.903	1.785	1.897	34

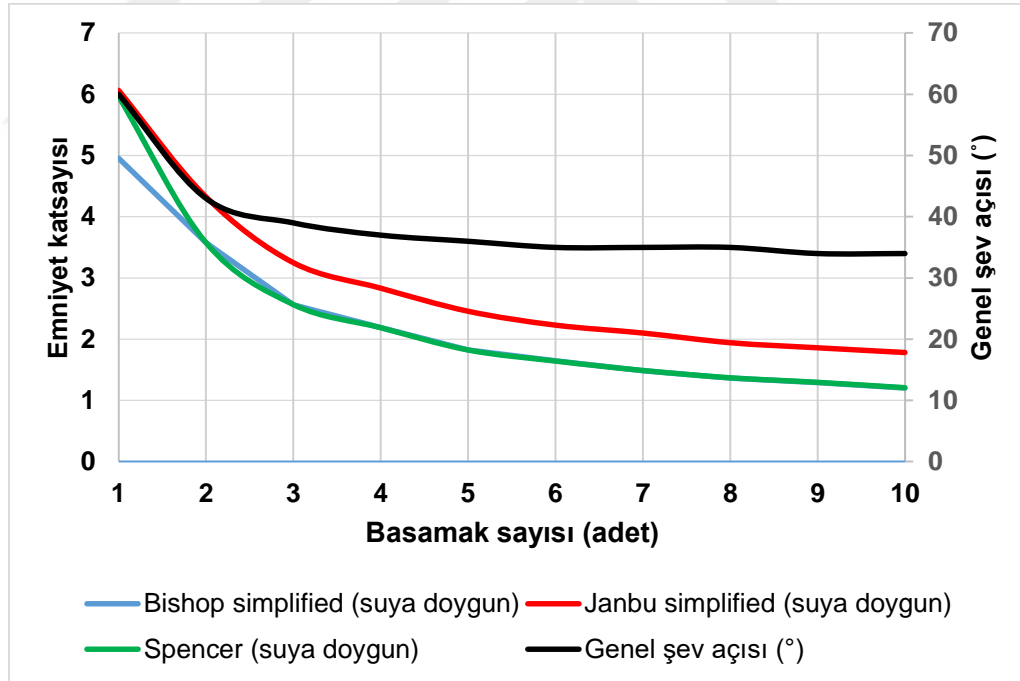


Şekil 4.10 Gri Marn (HG) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

Çizelge 4.16 Gri Marn (HG) için suya doygun ortamda dairesel kayma analizi ile

hesaplanan emniyet katsayıları

Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Suya doygun)			Genel Şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	4.957	5.197	5.962	60
2	3.575	3.342	3.575	43
3	2.564	2.427	2.564	39
4	2.188	1.992	2.185	37
5	1.825	1.682	1.822	36
6	1.644	1.494	1.641	35
7	1.487	1.362	1.488	35
8	1.365	1.234	1.368	35
9	1.291	1.154	1.294	34
10	1.204	1.100	1.206	34

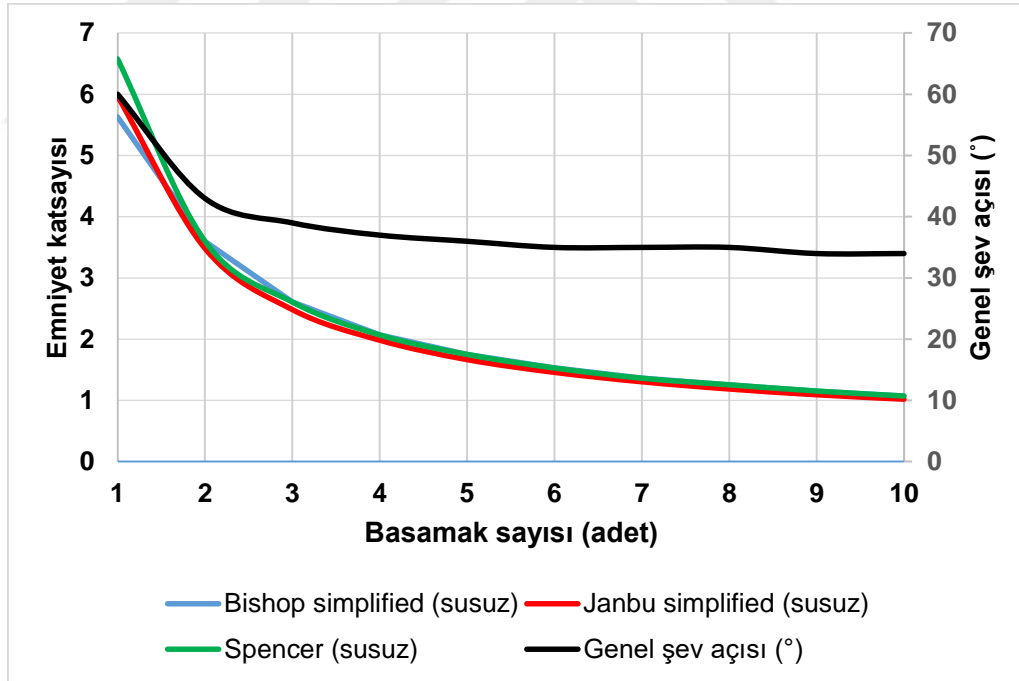


Şekil 4.11 Gri Marn (HG) iÇin suya doygun ortamda Şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

Çizelge 4.17 Sarı Marn (HS) iÇin susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan

emniyet katsayıları

Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Susuz)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	5.628	5.969	6.577	60
2	3.598	3.481	3.598	43
3	2.606	2.481	2.605	39
4	2.071	1.981	2.067	37
5	1.752	1.664	1.749	36
6	1.531	1.456	1.527	35
7	1.363	1.302	1.360	35
8	1.257	1.184	1.252	35
9	1.151	1.090	1.151	34
10	1.072	1.017	1.069	34

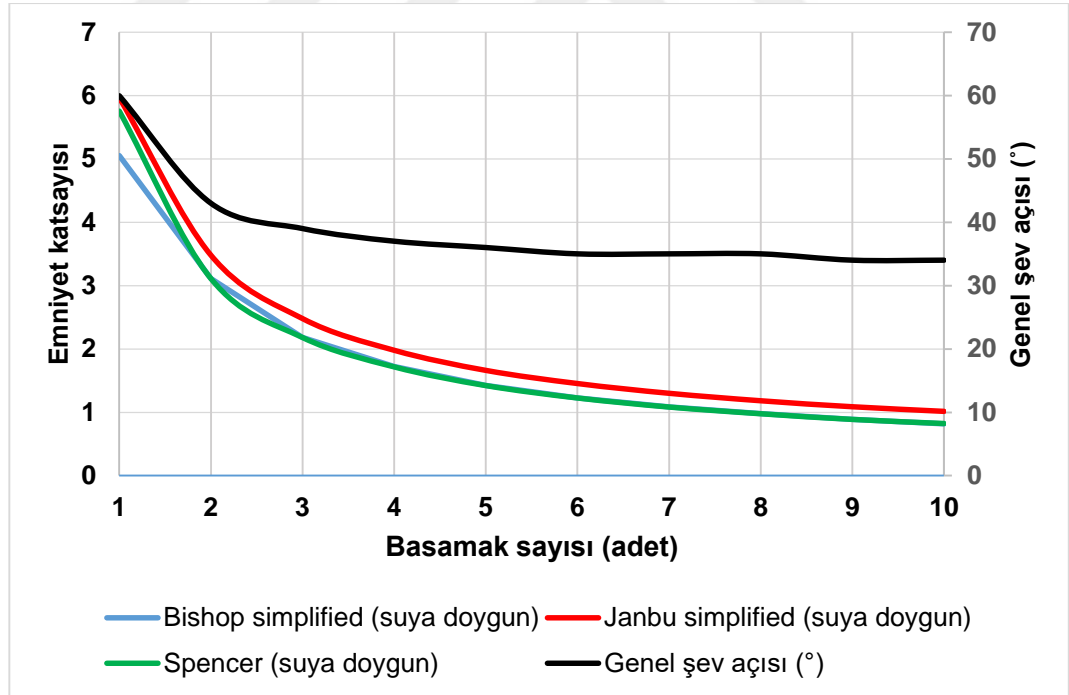


Şekil 4.12 Sarı Marn (HS) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

Çizelge 4.18 Sarı Marn (HS) için suya doygun ortamda dairesel kayma analizi ile

hesaplanan emniyet katsayıları

Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Suya doymun)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	5.053	5.375	5.755	60
2	3.111	2.967	3.110	43
3	2.183	2.087	2.180	39
4	1.721	1.626	1.716	37
5	1.424	1.352	1.421	36
6	1.228	1.161	1.225	35
7	1.084	1.023	1.082	35
8	0.979	0.920	0.976	35
9	0.890	0.837	0.887	34
10	0.821	0.772	0.822	34

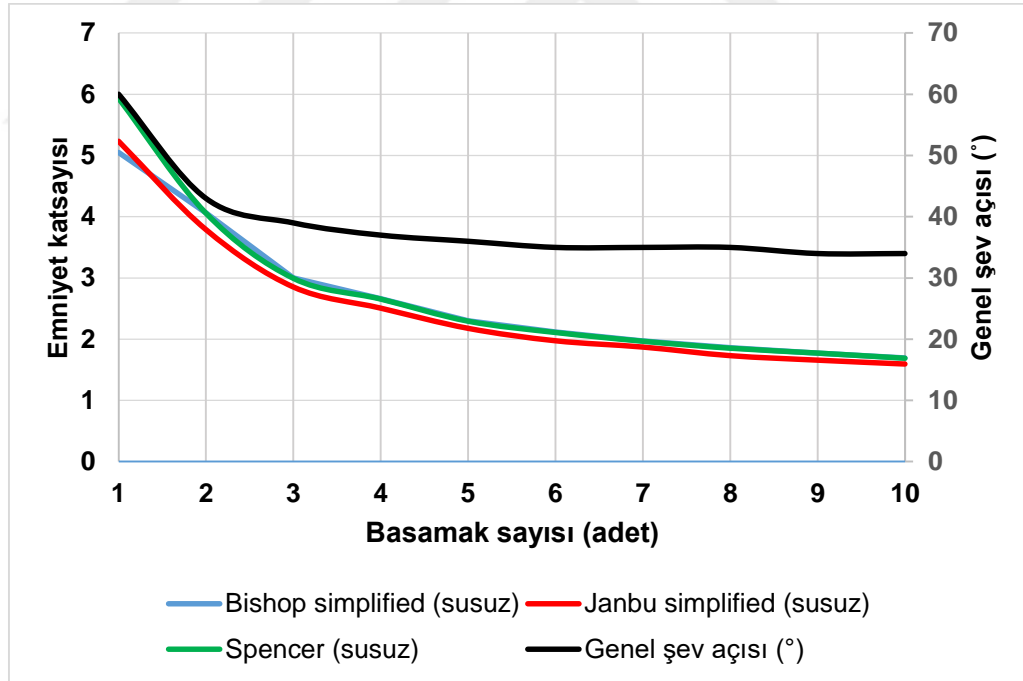


Şekil 4.13 Sarı Marn (HS) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

Çizelge 4.19 Kum Çakıl (KÇ) için susuz ortamda dairesel kayma analizi ile hesaplanan

emniyet katsayıları

Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Susuz)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	5.051	5.233	5.933	60
2	4.061	3.789	4.058	43
3	3.002	2.852	2.996	39
4	2.660	2.506	2.657	37
5	2.301	2.176	2.296	36
6	2.118	1.973	2.112	35
7	1.970	1.870	1.969	35
8	1.859	1.730	1.855	35
9	1.770	1.656	1.776	34
10	1.695	1.593	1.691	34

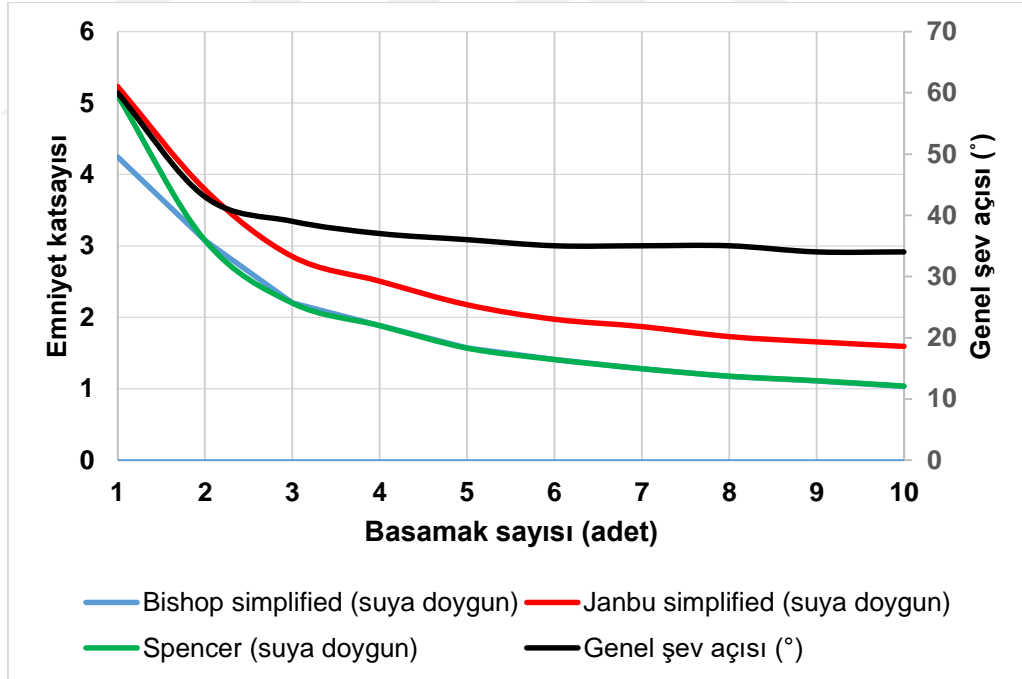


Şekil 4.14 Kum Çakıl (KÇ) için susuz ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

Çizelge 4.20 Kum Çakıl (KÇ) için suya doymun ortamda dairesel kayma analizi ile

hesaplanan emniyet katsayıları

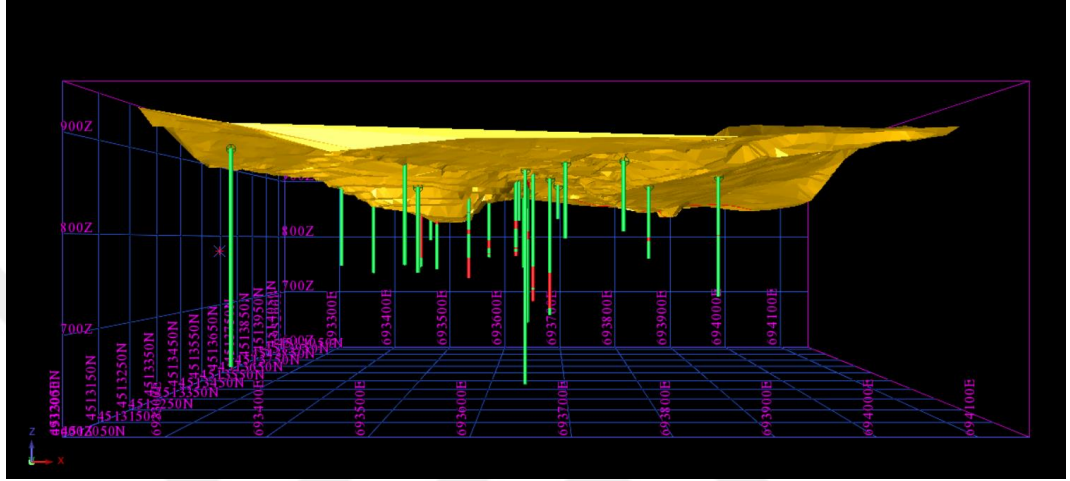
Basamak Adedi	Emniyet katsayısı (Suya doymun)			Genel şev açısı (°)
	Bishop simplified	Janbu simplified	Spencer	
1	4.244	4.446	5.106	60
2	3.078	2.870	3.076	43
3	2.202	2.077	2.199	39
4	1.886	1.711	1.883	37
5	1.569	1.440	1.568	36
6	1.412	1.275	1.408	35
7	1.278	1.168	1.280	35
8	1.172	1.057	1.176	35
9	1.109	0.986	1.112	34
10	1.034	0.944	1.037	34



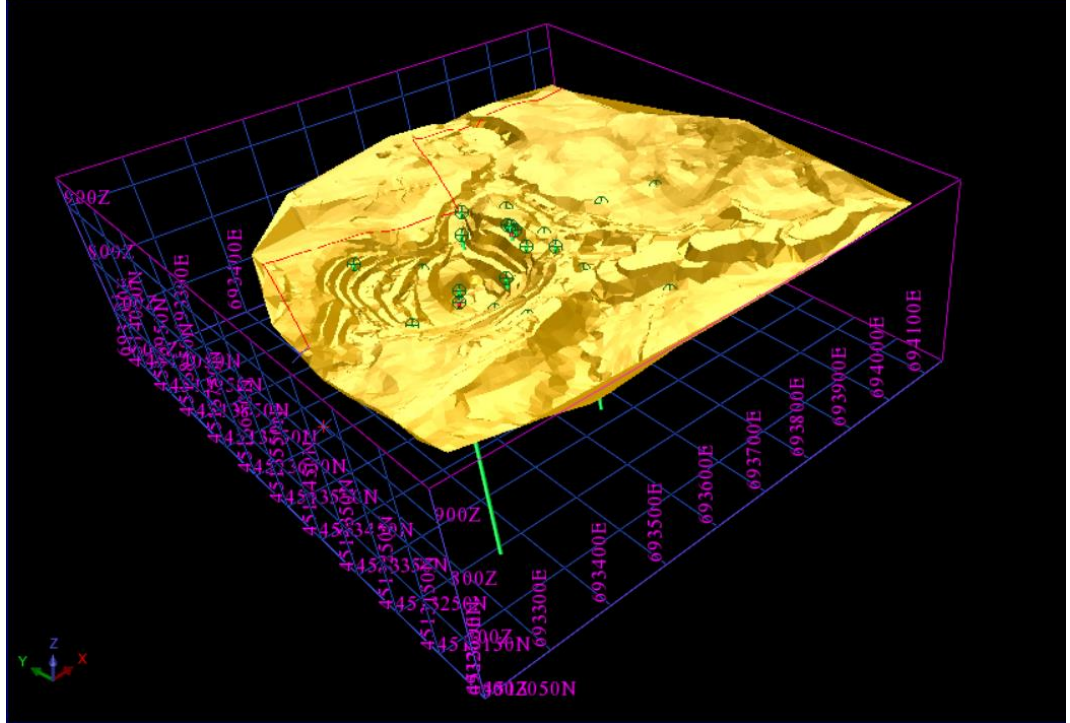
Şekil 4.15 Kum Çakıl (KÇ) için suya doymun ortamda şev stabilite analizi basamak-emniyet katsayısı grafiği

#### 4.3. Çalışma Sahası Açık Ocak Modellemesi

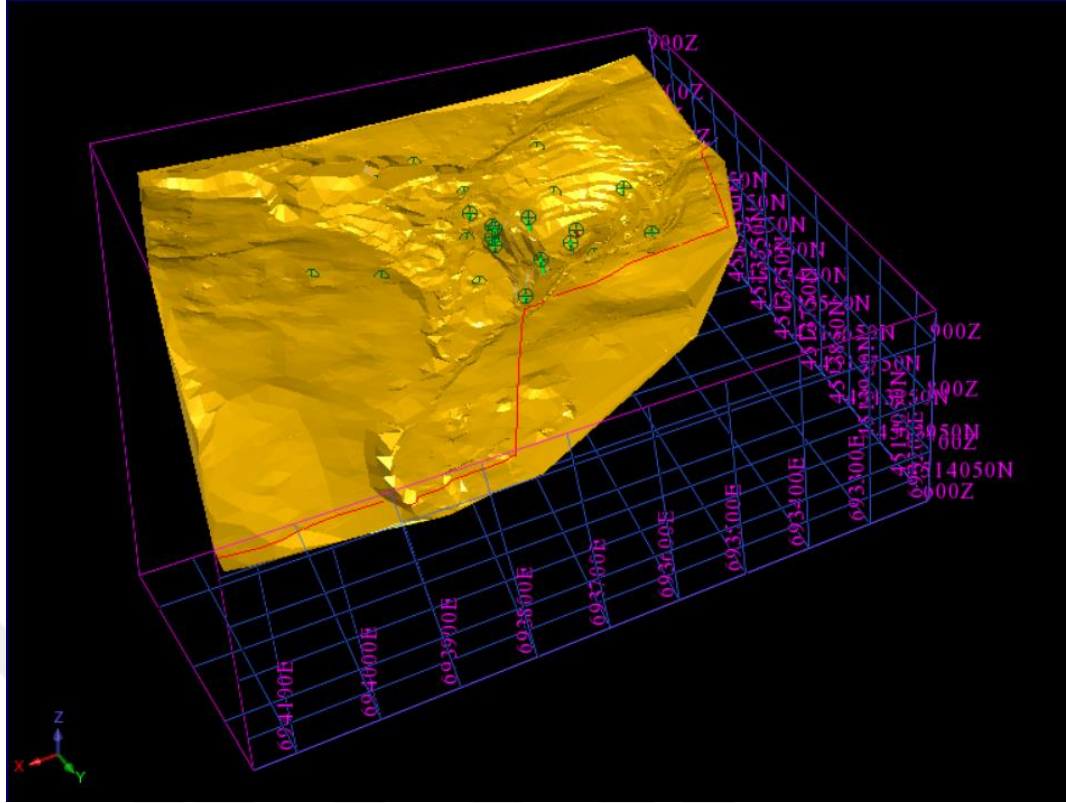
Çalışma sahasının mevcut durumu Surpac programında 3D modellenmiş ve sondaj logları oluşturulmuştur (Şekil 4.16 – 4.18) Ocak ilerleme yönünde yapılan şev stabilite analizleri sonucunda 10 metre basamak genişliği, 8 metre basamak yüksekliği ve 60° basamak şev açısı kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Bu parametreler kullanılarak Surpac programında, çalışma sahasının ilerleme yönü olarak belirlenen bölgeye basamaklar yerleştirilerek 3D ocak dizaynı oluşturulmuştur (Şekil 4.19 – 4.21)



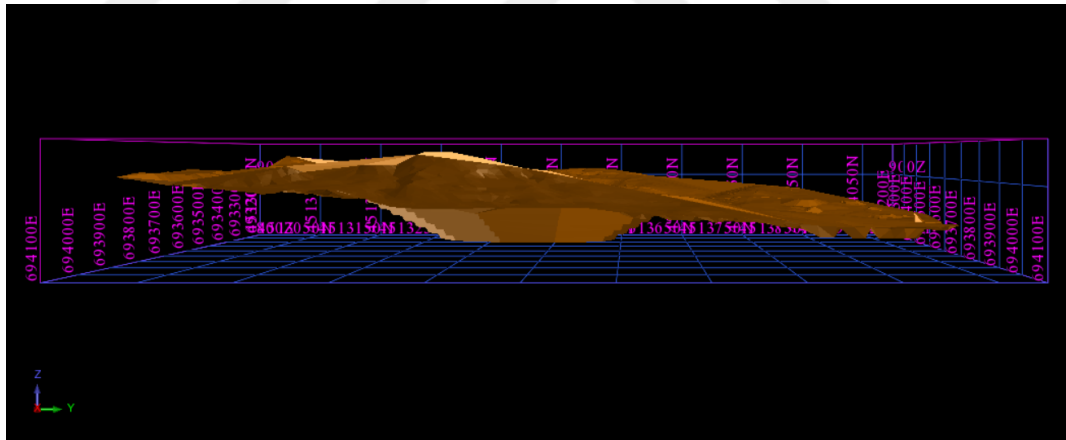
Şekil 4.16 Ocağın ZX ekseninde mevcut durumunu ve sondaj loglarının 3D görüntüsü



Şekil 4.17 Ocağın mevcut durumunun 3D görüntüsü – 1

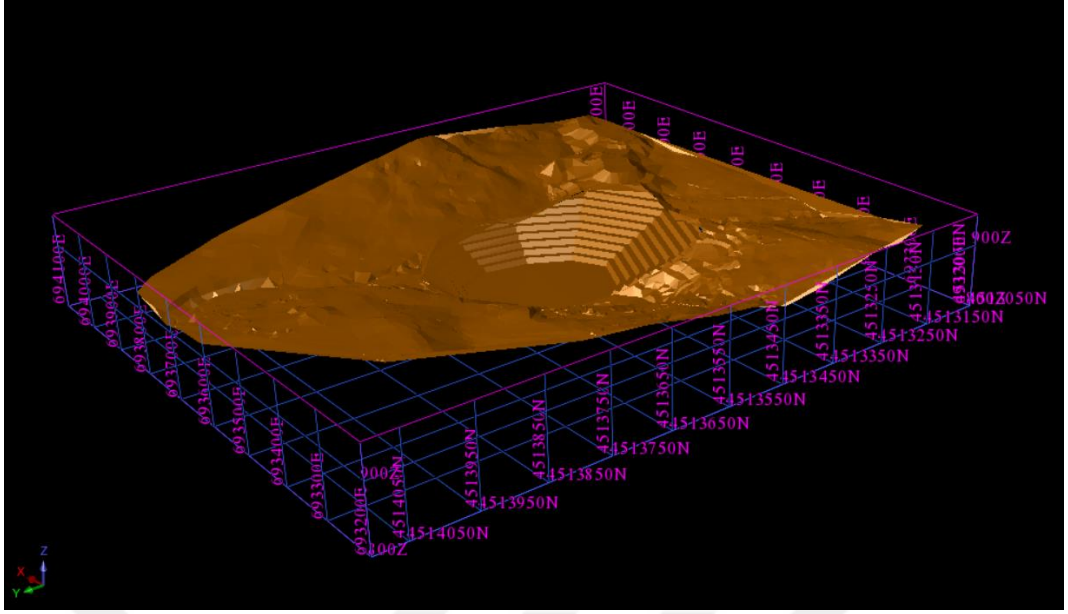


Şekil 4.18 Ocağın mevcut durumunun 3D görüntüsü - 2

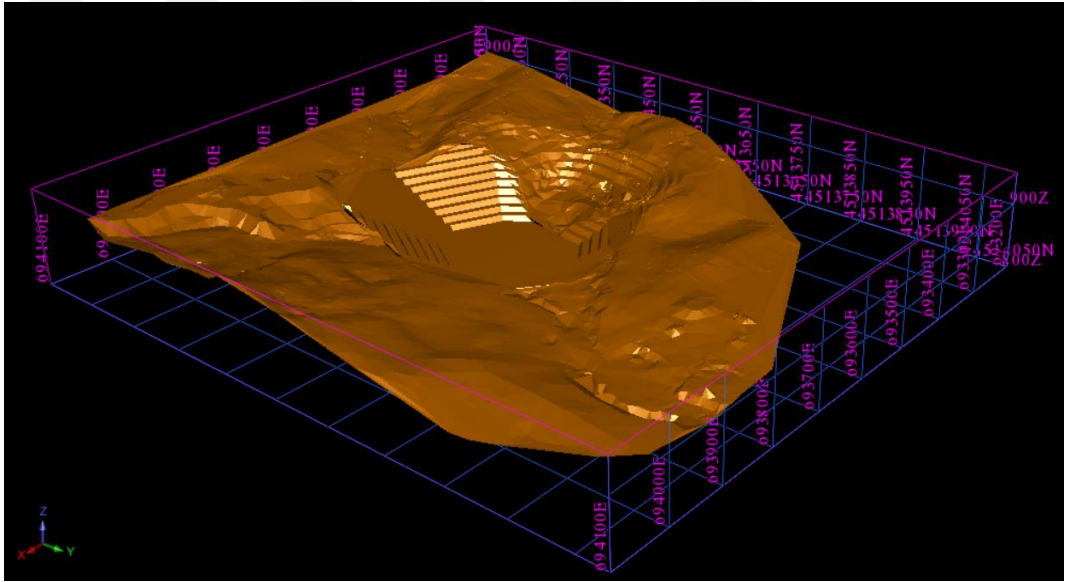


Şekil 4.19 Ocağın ZX düzleminde, oluşturulan basamaklardan sonraki durumunun 3D görüntüsü - 1





Şekil 4.20 Ocağın oluşturulan basamaklardan sonraki durumunun 3D görüntüsü - 1



Şekil 4.21 Ocağın oluşturulan basamaklardan sonraki durumunun 3D görüntüsü - 2

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında bir kömür sahası açık ocağındaki şevlerin mevcut durumda ve değişik seneryolar için şev stabilite analizleri yapılmıştır. Saha incelemelerinde ocak içerisinde değişik bölgelerde heyelanlar görülmüştür. Sahadan alınan numunelerin indeks özellikleri ile mekanik özellikleri deneylerle tespit edilmiş ve tablo ve şekiller halinde tez içerisinde sunulmuştur. Deney verileri kullanılarak yapılan şev duraylılık analizlerinden aşağıdaki sonuçlar orta çıkarılmıştır:

- a) Arazide yapılan gözlemlerde şev duraylılık riskinin olduğu ocak yakınındaki yollarda heyelanın taç bölgesinde çatlaklar geliştiği görülmüştür. Yeni bir heyelan oluşmaması için topuktan yük alınmamalıdır.
- b) Heyelan bölgesi için yapılan analizlerde şev emniyet faktörünün 1.393 ila 1.523 arasında değiştiği sınır değer 1.5 olması durumunda heyelanlı bölgenin labil ve heran duraysızlaşacağı anlaşılmıştır. Heyelanlı bölgede topuğa dolgu yapıldığında hesaplanan emniyet faktörleri ise 1.909 - 2.127 değerine yükselmiştir.
- c) Ocak ilerleme yönünde alınan imalat kesiti ve proje basamak boyutları (G:10m, H:8m ve basamak şev açısı 60 derece) için yapılan şev analizlerinde emniyet faktörünün 1.687 ila 1.972 arasında değiştiği ve sınır değer üzerinde duraylı olduğu hesaplanmıştır.
- d) Proje basamak boyutları kullanılarak 6 farklı birim için 1 den 10. basamağa kadar değişik yöntemlerle kuru ve suya doymun şartlarda şev duraylılık ve hassasiyet analizleri yapılmış ve grafikler halinde tez içerisinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm yöntemlerde ve tüm birimler için ilk basamaklarda emniyet faktörü ve genel şev açısı yüksek olurken basamak sayısı arttıkça emniyet faktörü ve genel şev açısı da azalmıştır. Sarı marn (HS) birimi için yapılan şev analizleri sonucunda suya doymun durumda 8. basamaktan sonra emniyet faktörü 1 in altına düştüğü, (KÇ) biriminde suya doymun halde 9. basamaktan sonra 1 in altına düştüğü yani duraysız hale geleceği tahmin edilmiştir.
- e) İlerleme yönünde alınan kesit için farklı basamak boyutlarına göre kuru ve doymun durumlar için şev duraylılık analizleri yapılmıştır. Basamak genişliği 8m ve 10m basamak yüksekliği 8m, 10m, 15m ve 20m için emniyet faktörleri hesaplanmıştır. Buna göre basamak yüksekliği arttıkça emniyet faktörü dümü 20m yükseklik için

bu oran en düşük Spencer metoduna göre 1.291 bulunmuştur. Bu değer  $F_s$ : 1.5 sınır değerinin altında olduğu için duraysızlık sınırına yakındır. Suya doymun durumda ise emniyet faktörü 20m basamak yüksekliği durumu için Janbu yöntemine göre  $F_s$ : 0.803 hesaplanmıştır. Bu sonuca göre şevler duraysız durumda olduğu tahmin edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

Maden işletmesinin her safhasında farklı koşullar için şev stabilite analizleri yapılması önerilir. Maden ocaklarında kalıcı ve geçici şevler için farklı senaryolara göre şev duraylılık ve duyarlılık analizleri yapılmalıdır. şev stabilite analizlerinde üç boyutlu araştırmaların yapılması önerilir.

Çalışma sahasındaki litolojik bilgilerin ve jeoteknik parametrelerin belirlenebilmesi için daha fazla sayıda sondaj yapılması önerilir.

Yağışlı mevsimlerde yüzey yağışlarının ocağa girişini engellemek için basamak çevrelerinde ve ocak çevresinde drenaj ağı oluşturmak basamaklarda suyun etkisi ile meydana gelebilecek kaymaları engelleyici bir önlem olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

**AFAD**, (2015). Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan – Kaya Düşmesi Temel Kılavuzu, Ankara

**Akbulut İ.**, (2012). Şev Duyarlılığı, *MTA Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi No: 42*, Ankara

**Anaçali İ., Şirin A.**, (2015) Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara,.

**Blong, R ., J.**, (1973). A Numerical Classification of Selected Landslides of the Debris Slide- Avalanche –Flow Type Engineering Geology, 7, 99-114,.

**Bromhead, E. N.**, (1986). The Stability of Slope. *Surrey University press, A.B.D*

**Dirik, K.** (1991). Vezirköprü (Samsun-Türkiye) bölgesinin tektono-stratigrafisi. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 147s, Ankara.*

**Duncan, J.M., Wirght, S.G.**, (2005). Zemin Şevlerinin Duraylılığı, *Gazi Kitabevi, Ankara.*

**Genç Ş., Kurt Z., Küçümen Ö., Cevher F., Saraç G., Acar Ş., Bilgi C., Şenay M. ve Poyraz N.**, (1991). Merzifon (Amasya) dolayının jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9529, Ankara.*

**IAEG (International Association of Engineering Geology)** (1981). Commission of Engineering Mapping, Rock and Soil Description on and Classification for Engineering Geological Mapping, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology.*, 24, 235-274

**Krahn, J.**, (2004). Stability modelling with SLOPE/W, *printed in Canada.*

**Önce G.** (2005) Kaya Mekaniği Deneyleri, *Dumlupınar Üniversitesi Yayın no: 18, Kütahya*

**Sevin M., Uğuz M. F.**, (2013). Çorum – G34 Türkiye Jeoloji Haritaları No:184 Ankara

**Skempton, A.**, (1953). W., Soil Mechanics in Relation to Geology, *Proc. Yorkshire Geological Society 29(1)*, 33-62

**Sütçü Y.F., Barkurt M.Y., Bilginer E., Kurt Z. ve Pehlivan Ş.** (1994). Boyabat-Vezirköprü arasının jeolojisi *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9884, Ankara*

**Tekin, A., (2011).** Sonlu Elemanlar Ve Limit Denge Yöntemleri İle Şev Stabilitesi Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 48111.*

**Tunç A., (2010).** Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, *Nobel Yayıncılık, Ankara*

**Tüysüz O., Yılmaz Y., Yiğitbaş E. ve Serdar H.S. (1990).** Orta Pontidlerde Üst Jura-Alt Kretase stratigrafisi ve anlamı. Türkiye Petrol Jeologları Derneği, *TMMOB Petrol Mühendisleri Odası, 340-350s., Ankara.*

**Uğuz M.F., Sevin M. ve Duru M. (2002).** 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Sinop paftası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, Turkey.*

**Ulusay, R., (1996)** Stability of Soil Slopes in Engineering Practice (*Course Notes*)

**Ulusay, R., (2001).** Assesment of slope deformations and redesign studies at Himmetoğlu open pit *Proc. EUROCK, Helsinki, 1-873*

**Walker, B., Feel, R.,(1987).** Soil Slope Instability and Stabilisation *Proc. University of New South Wales, Sydney.*

Url-1 : <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/amasya/merzifon-15863/>

Url-2 : <https://amasya.ktb.gov.tr/TR-59460/iklim.html>



## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel bilgiler**

Adı Soyadı	İhsan ÇUBUKÇUOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi	Ankara, 1987
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Akdeniz Cad. Hedef Sok. Pınar Apt. 17/5 Yücepete Mah. Çankara/ANKARA
E-posta Adresi	ihsanbjk@hotmail.com
Telefon	0 541 903 08 10

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

Lise	Anıttepe Lisesi, 2001-2004
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2005-2009
Yüksek Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 2010-...

### **İş Tecrübesi**

Kuvars Mühendislik	Maden Mühendisi, 2010-2013
Diamond Madencilik	Maden Mühendisi, 2013-2016
Sistem Elektromekanik A.Ş.	Maden Mühendisi, 2016-...

### **Kongreler ve Bildiriler**

### **Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler**

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI  
C SINIFI İŞ GÜVENLİĞİ UZMANLIĞI  
MİGEM YTK BELGESİ (5.1.A)  
LPG SORUMLU MÜDÜRLÜK BELGESİ  
ÇED 5B YETERLİLİĞİ