

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERKEDİLMİŞ ÇUBUKLU-BEYKOZ-İSTANBUL TAŞOCAKLARININ  
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE STABİLİTE AMAÇLI REHABİLİTASYON  
ARAŞTIRMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Zeynep Duygu Öz**

**Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği**

**Programı : Uygulamalı Jeoloji**

**01/2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERKEDİLMİŞ ÇUBUKLU-BEYKOZ-İSTANBUL TAŞOCAKLARININ  
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE STABİLİTE AMAÇLI REHABİLİTASYON  
ARAŞTIRMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Zeynep Duygu Öz  
505071315**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010  
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mahir VARDAR (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL (İTÜ)  
Prof. Dr. Mete İNCECİK (İTÜ)**

**01/2011**



*Aileme ve tüm sevdiklerime,*



## ÖNSÖZ

Terkedilen taşocağı, mermer ocağı ve açık işletme sahaları ne yazık ki, bu güne değin ülkemizde bir kaya yapısı olarak düşünülmediğinden, çirkinleştirici ve tehlikeli görünümleriyle giderek yaygınlaşmaktadırlar. Bu nedenle, kalıcı şevlerinin ayrıca projelendirilmesinde büyük yarar vardır.

Bu çalışmadaki uygulamaların önemli bir kısmı terk edilen taşocaklarının güvenli şekilde geri kazanımında kendi alanındaki ilkleri oluşturmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, işlevsel ve güvenli çözümlerin yanı sıra, estetik ve doğal görünümü koruma veya çirkinleştirmeme gibi kavramların da projede ele alınması kaçınılmaz olmaktadır.

Patlatma teknikleri ile işletilen taşocağı, uygulama sonrasında stabil olmayan şev yüzeyleri ve estetik açıdan güzel olmayan bir görünüm bırakmıştır. Bu gibi yerlerin iyileştirilmesi, güvenli hale getirilmesi ve estetik açıdan zenginleştirilmesi gerekmektedir. Çubuklu villaları ve dolayında bulunan eski üretim şevlerinin rehabilitasyonuna ilişkin bu çalışma, Türkiye de, yerleşim alanları içerisinde yapılan ilk uygulama olmaktadır. Çalışma alanının dar ve şev eğimlerinin yüksek olması, uygulama sürecinde güçlükler yaratmış ve şev yüzeyinde çalışan işçilerin güvenlik önlemlerinin en üst seviyede tutulmasını gerektirmiştir.

Aralık 2010

Zeynep Duygu Öz.  
(Jeoloji Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ .....                                                                                               | v         |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                         | vii       |
| KISALTMALAR .....                                                                                         | xi        |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                                                     | xiii      |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                                       | xv        |
| ÖZET .....                                                                                                | xix       |
| SUMMARY .....                                                                                             | xxi       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                                     | <b>1</b>  |
| 1.1 Tezin Amacı .....                                                                                     | 1         |
| 1.2 Literatür Özeti .....                                                                                 | 2         |
| <b>2. PROJE UYGULAMA ALANININ TANITIMI .....</b>                                                          | <b>5</b>  |
| 2.1 Coğrafi Konum ve Morfoloji .....                                                                      | 5         |
| 2.2 Jeolojik Durum .....                                                                                  | 7         |
| 2.2.1 Dolayoba formasyonu .....                                                                           | 7         |
| 2.2.2 Kartal formasyonu .....                                                                             | 7         |
| 2.2.3 Yamaç molozu .....                                                                                  | 9         |
| 2.2.4 Dolgu: .....                                                                                        | 9         |
| 2.2.4.1 Dolgu 1 .....                                                                                     | 9         |
| 2.2.4.2 Dolgu 2 .....                                                                                     | 9         |
| 2.2.5 Yeraltı suları .....                                                                                | 9         |
| 2.3 Çalışma Alanının Uygulama Öncesi Genel Durumu .....                                                   | 9         |
| 2.4 Başlıca Yapım Öğeleri ve Önlemleri .....                                                              | 11        |
| 2.5 Çalışma Metodu .....                                                                                  | 14        |
| <b>3. SÜREKSİZLİK ANALİZLERİ VE RİSK HARİTALARININ HAZIRLANMASI .....</b>                                 | <b>17</b> |
| 3.1 Stereografik İzdüşüm Yöntemi .....                                                                    | 17        |
| 3.1.1 Kaya şevlerinde kayma türü bozulmalar .....                                                         | 18        |
| 3.1.2 Geometrik yöntem ile blok kayması olasılık analizi .....                                            | 20        |
| 3.1.3 Geometrik yöntem ile kama kayması olasılık analizi .....                                            | 20        |
| 3.1.4 Duraysızlık türlerinin gelişebileceği değerlerin stereografik izdüşüm yöntemiyle hesaplanması ..... | 24        |
| 3.2 Süreksizliklerin Analizi .....                                                                        | 26        |
| 3.3 Risk Haritalarının Hazırlanması .....                                                                 | 31        |
| 3.3.1 1. Kısımda yapılan analizler .....                                                                  | 32        |
| 3.3.2 2. Kısımda yapılan analizler .....                                                                  | 35        |
| 3.3.3 3. Kısımda yapılan analizler .....                                                                  | 37        |
| <b>4. ÇALIŞMA BÖLGELERİ ve BAŞLICA UYGULAMALAR .....</b>                                                  | <b>41</b> |
| 4.1 Asansör Bölgesinde (5. Bölge) Yapılan Özel Uygulamalar .....                                          | 41        |
| 4.1.1 Balkon kirişleri .....                                                                              | 42        |

|           |                                                                                                                |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.2     | Balkon donatılarının yerleştirilmesi.....                                                                      | 43        |
| 4.1.3     | Elek teli, çelik hasır ve rabis tel uygulaması.....                                                            | 44        |
| 4.1.4     | Kaya çivileri-saplamaları (Bulonlar) .....                                                                     | 44        |
| 4.1.5     | Yüzey temizleme ve kavlak düşürme .....                                                                        | 47        |
| 4.1.6     | Çelik hasır uygulaması.....                                                                                    | 47        |
| 4.1.7     | Kaya destek bulonları .....                                                                                    | 48        |
| 4.1.7.1   | Destekleme ve sağlamlaştırma .....                                                                             | 49        |
| 4.1.7.2   | Kaya şevlerinde biçim-boyut kriterleri .....                                                                   | 50        |
| 4.1.7.3   | Kuvvetler dengesi .....                                                                                        | 52        |
| 4.1.8     | Püskürtme beton uygulaması .....                                                                               | 53        |
| 4.1.8.1   | Püskürtme beton uygulamasında kuru ve ıslak yöntem .....                                                       | 54        |
| 4.1.8.2   | Kuru sistemin yarar ve sakıncaları .....                                                                       | 54        |
| 4.1.9     | Yüzey koruma ve yeşillendirme çalışmaları .....                                                                | 55        |
| 4.1.10    | Tel kafes uygulaması .....                                                                                     | 57        |
| 4.1.11    | Destek kolonu ve giriş uygulaması .....                                                                        | 59        |
| 4.1.11.1  | Destek kolonları ve kuşaklama girişleri .....                                                                  | 60        |
| 4.1.11.2  | Kolon ve girişlerin oluşturduğu birleşik kaya yapısı .....                                                     | 61        |
| 4.1.11.3  | Boru desteği ve sonlama işlemleri .....                                                                        | 62        |
| 4.1.12    | Drenaj çalışmaları ve suyun uzaklaştırılması.....                                                              | 64        |
| 4.2       | 2. Bölgede Yapılan Uygulamalar.....                                                                            | 65        |
| 4.3       | 3. Bölgede Yapılan Uygulamalar.....                                                                            | 68        |
| 4.4       | 6. Bölgede Yapılan Uygulamalar.....                                                                            | 73        |
| 4.5       | 7. Bölgede Yapılan Uygulamalar.....                                                                            | 75        |
| <b>5.</b> | <b>DONATILI KAYA UYGULAMALARI VE KAYA SINIFLAMASI .....</b>                                                    | <b>77</b> |
| 5.1       | Donatılı Kaya Uygulamaları .....                                                                               | 77        |
| 5.1.1     | Bilimsel altyapı ve tek ya da çok parçalı ortamların davranışı .....                                           | 77        |
| 5.1.2     | Sistem büyüklüğünün denetlenmesi .....                                                                         | 80        |
| 5.1.3     | Gerilme dağılımları .....                                                                                      | 80        |
| 5.1.4     | Dayanım parametrelerinin denetimi.....                                                                         | 81        |
| 5.1.5     | Kaya sınıflaması.....                                                                                          | 83        |
| 5.1.5.1   | 3. Bölge - 1.Kısım .....                                                                                       | 84        |
| 5.1.5.2   | 2. Bölge .....                                                                                                 | 86        |
| 5.1.5.3   | 7 Bölge .....                                                                                                  | 87        |
| 5.1.5.4   | 4-5. Bölge .....                                                                                               | 88        |
| 5.1.5.5   | 1. Bölge .....                                                                                                 | 89        |
| 5.1.6     | Kayanın fiziksel özellikleri .....                                                                             | 90        |
| <b>6.</b> | <b>KAYA ŞEVLERİNDE KAPLAMA-DESTEKLEME ve SAĞLAMLAŞTIRMA YAPILARININ TÜRLERİ.....</b>                           | <b>93</b> |
| 6.1       | Donatılı Kaya Yapımında Çivi Ve Ankrajların Görevi .....                                                       | 94        |
| 6.2       | Kaya Şevlerinde Ankrajlı Perde Uygulaması .....                                                                | 96        |
| <b>7.</b> | <b>KAYA ŞEVLERİNİN HESAPLANMASINDA BAŞLICA YÖNTEMLER..</b>                                                     | <b>99</b> |
| 7.1       | Kaya Şevlerinin Duraylılık Analizi .....                                                                       | 99        |
| 7.2       | Kancalı Saplamaların Çekme ve Kesme Dirençleri ve $\phi$ 26 mm SN Nervürlü Çelik İçin Dayanım Analizleri ..... | 101       |
| 7.3       | 3 Nokta Kuralı .....                                                                                           | 104       |
| 7.4       | İmalat Bölgelerindeki Uygulamalar İçin Yapılan Hesaplar .....                                                  | 104       |
| 7.4.1     | 4-5. Bölgelerde bulunan riskler ve hesapları .....                                                             | 104       |
| 7.4.1.1   | 5-1.Blok .....                                                                                                 | 106       |
| 7.4.1.2   | 5-2.Blok .....                                                                                                 | 108       |
| 7.4.1.3   | 5-3.Blok .....                                                                                                 | 110       |

|           |                                              |            |
|-----------|----------------------------------------------|------------|
| 7.4.1.4   | 5-4.Blok                                     | 112        |
| 7.4.1.5   | 5-5.Blok                                     | 114        |
| 7.4.1.6   | 5-6.Blok                                     | 116        |
| 7.4.2     | 3. Bölgede bulunan riskler ve hesapları..... | 118        |
| 7.4.2.1   | 3-1. Blok                                    | 119        |
| 7.4.2.2   | 3-2 Blok                                     | 120        |
| 7.4.2.3   | 3-3.Blok                                     | 122        |
| 7.4.2.4   | 3-4.Blok                                     | 124        |
| 7.4.3     | 2.Bölgede bulunan riskler ve hesapları.....  | 126        |
| 7.4.3.1   | 2-1.Blok                                     | 127        |
| 7.4.3.2   | 2-2.Blok                                     | 129        |
| 7.4.4     | 6. Bölgede bulunan riskler ve hesapları..... | 130        |
| 7.4.5     | 7. Bölgede bulunan riskler ve hesapları..... | 132        |
| 7.4.6     | 1. Bölgede bulunan riskler ve hesapları..... | 133        |
| <b>8.</b> | <b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>               | <b>135</b> |
|           | <b>KAYNAKLAR .....</b>                       | <b>137</b> |
|           | <b>EKLER .....</b>                           | <b>139</b> |



## KISALTMALAR

|                                  |                                                 |
|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>M</b>                         | : Metre                                         |
| <b>cm</b>                        | : Santimetre                                    |
| <b>mm</b>                        | : Milimetre                                     |
| <b>PB</b>                        | : Püskürtme Beton                               |
| <b>I</b>                         | : Uzunluk                                       |
| <b>c<sub>s</sub></b>             | : Teknik Kohezyon                               |
| <b><math>\Delta\sigma</math></b> | : Normal Gerilme                                |
| <b><math>\varepsilon</math></b>  | : Birim Yerdeğiştirme                           |
| <b>c</b>                         | : Kohezyon                                      |
| <b><math>\phi</math></b>         | : İçsel Sürtünme Açısı                          |
| <b><math>\tau</math></b>         | : Kayma Gerilmesi                               |
| <b>A</b>                         | : Kayan bloğun taban alanı                      |
| <b>N</b>                         | : Blok ağırlığından kaynaklanan normal kuvvet   |
| <b>GS</b>                        | : Güvenlik Sayısı                               |
| <b>R</b>                         | : Dengeyi Sağlayacak Olan Kuvvetlerin Bileşkesi |
| <b>E</b>                         | : Elastik Modul                                 |
| <b>n</b>                         | : Poisson Oranı                                 |
| <b>J</b>                         | : Atalet Momenti                                |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1: İnceleme alanının yer aldığı 1/ 1000 ölçekli paftaların dökümü..... | 6   |
| Çizelge 3.1: Duraysızlık türlerinin gelişebileceği eğim ve eğim yönleri .....    | 31  |
| Çizelge 5.1: Deney numunelerinin ağırlık ve hacim değerleri .....                | 90  |
| Çizelge 5.2: Kayaçların fiziksel özellikleri .....                               | 91  |
| Çizelge 7.1: 5-1.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 107 |
| Çizelge 7.2: 5-2.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 109 |
| Çizelge 7.3: 5-3.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 111 |
| Çizelge 7.4: 5-4.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 113 |
| Çizelge 7.5: 5-5.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 115 |
| Çizelge 7.6: 5-6. Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....             | 117 |
| Çizelge 7.7: 3-2.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 121 |
| Çizelge 7.8: 3-3.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 123 |
| Çizelge 7.9: 3-4.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....              | 125 |
| Çizelge 7.10: 2-1.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....             | 128 |
| Çizelge 7.11: 2-2.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....             | 130 |
| Çizelge 7.12: 1-1.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler.....             | 134 |
| Çizelge İ.1: 1.Bölge bilgileri.....                                              | 150 |
| Çizelge İ.2: 2.Bölge bilgileri.....                                              | 151 |
| Çizelge İ.3: 3.Bölge bilgileri.....                                              | 152 |
| Çizelge İ.4: 4-5.Bölge bilgileri.....                                            | 153 |
| Çizelge İ.5: 6.Bölge bilgileri.....                                              | 154 |
| Çizelge İ.6: 7.Bölge bilgileri.....                                              | 154 |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Çalışma alanı yerbulduru haritası .....                                                                            | 5  |
| Şekil 2.2: Çalışma alanının üç boyutlu modellemesi .....                                                                      | 6  |
| Şekil 2.3: Jeoloji haritası .....                                                                                             | 8  |
| Şekil 2.4: Asansör merdiven kovanını ve girişini dolduran heyelan malzemesi.....                                              | 10 |
| Şekil 2.5: Asansör bölgesinde desteksiz kaya şevinde oluşan kaya kayması .....                                                | 11 |
| Şekil 3.1: Bir düzlemin stereografik izdüşüm yönteminde kullanılan başlıca<br>bileşenlerinin alt yarı küredeki görünümü ..... | 18 |
| Şekil 3.2: Devrilme tipi duraysızlık ve stereografik izdüşümde gösterilişi.....                                               | 19 |
| Şekil 3.3: Blok kaymasının oluşum mekanizması .....                                                                           | 19 |
| Şekil 3.4: Kama kaymasının oluşum mekanizması .....                                                                           | 20 |
| Şekil 3.5: Blok kayması ve kaymaya neden olan geometrik koşulların stereonetteki<br>görünümü.....                             | 20 |
| Şekil 3.6: Kama kayması ve kaymaya neden olan geometrik koşulların stereonetteki<br>görünümü.....                             | 21 |
| Şekil 3.7: $\alpha > \beta > \phi$ ise olasılık (geometrik) koşulu .....                                                      | 22 |
| Şekil 3.8: Duraysızlıkların oluşabilmesi için gerekli olan geometrik koşullar.....                                            | 24 |
| Şekil 3.9: 1 ve 3 nolu süreksizliklerin kama kayması oluşturan eğim ve bakı<br>değerleri .....                                | 26 |
| Şekil 3.10: 1 ve 3 nolu süreksizliklerin kama kayması oluşturan eğim ve bakı<br>değerleri.....                                | 26 |
| Şekil 3.11: 4-5. bölgenin mühendislik jeolojisi krokisi .....                                                                 | 27 |
| Şekil 3.12: 3-2. bölgenin mühendislik jeolojisi krokisi .....                                                                 | 28 |
| Şekil 3.13: 3-1. bölgenin mühendislik jeolojisi krokisi .....                                                                 | 28 |
| Şekil 3.14: Süreksizliklerin yoğunlaştığı noktalar .....                                                                      | 29 |
| Şekil 3.15: Süreksizlik verilerine ait gül diyagramı .....                                                                    | 29 |
| Şekil 3.16: Arazide ölçülen süreksizliklerin kutup noktaları.....                                                             | 30 |
| Şekil 3.17: Analiz kolaylığı açısından ayrılan çalışma alanları.....                                                          | 32 |
| Şekil 3.18: 1.kısım yükseklik haritası.....                                                                                   | 32 |
| Şekil 3.19: 1 kısım eğim haritası .....                                                                                       | 33 |
| Şekil 3.20: 1.kısım bakı haritası .....                                                                                       | 33 |
| Şekil 3.21: 1 Kısımda düzlemsel kaymanın oluşabileceği alanlar .....                                                          | 34 |
| Şekil 3.22: 1.Kısımda kama kaymasının oluşabileceği alanlar .....                                                             | 34 |
| Şekil 3.23: 1Kısımda devrilme türü duraysızlığın gelişebileceği alanlar .....                                                 | 35 |
| Şekil 3.24: 2. Kısım yükseklik haritası .....                                                                                 | 35 |
| Şekil 3.25: 2. Kısım eğim haritası .....                                                                                      | 35 |
| Şekil 3.26: 2. Kısım bakı haritası.....                                                                                       | 36 |
| Şekil 3.27: 2. Kısım kama kaymasının oluşabileceği alanlar .....                                                              | 37 |
| Şekil 3.28: 3. Kısım yükseklik haritası .....                                                                                 | 37 |
| Şekil 3.29: 3. Kısım eğim haritası .....                                                                                      | 37 |
| Şekil 3.30: 3. Kısım bakı haritası.....                                                                                       | 38 |
| Şekil 3.31: 3.Kısım düzlemsel kaymanın oluşabileceği alanlar .....                                                            | 38 |
| Şekil 3.32: 3. Kısım devrilme tipi duraysızlığın gelişebileceği alanlar .....                                                 | 39 |

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.33: 3.Kısım kama kaymasının gelişebileceği alanlar .....                                                                                          | 39 |
| Şekil 3.34: Çalışma alanında oluşabilecek deformasyonlara ait karar haritası.....                                                                         | 40 |
| Şekil 4.1: Şev yüzeyinin bölgelendirilmesi .....                                                                                                          | 41 |
| Şekil 4.2: Asansör temelinin arkasında kalan 30 m yüksekliğindeki dik aynanın<br>kaymadan önceki ve kaydıktan sonraki görünümü .....                      | 42 |
| Şekil 4.3: Kiriş imalatı yan kesiti.(Vardar, 2010).....                                                                                                   | 43 |
| Şekil 4.4: Kaya civatalarının platform için yerleştirilme aşaması ve bitmiş hali .....                                                                    | 44 |
| Şekil 4.5: Maviye boyanan 75cm Ø26 nervürlü bulon.....                                                                                                    | 45 |
| Şekil 4.6: Bulonların yerleştirilmesi sonrasında renklere bağlı konumları .....                                                                           | 46 |
| Şekil 4.7: Harcın karıştırılması .....                                                                                                                    | 46 |
| Şekil 4.8: Örnek kaya yapısının desteklenme aşamaları.....                                                                                                | 49 |
| Şekil 4.9: Destekleme ve sağlamlaştırmaya örnek bir uygulama .....                                                                                        | 52 |
| Şekil 4.10: Bir kaya civatası ile ana kayaya bağlanan bloğa etkiyen kuvvetler .....                                                                       | 52 |
| Şekil 4.11: Asansör arkası püskürtme beton uygulaması .....                                                                                               | 54 |
| Şekil 4.12: Yüzeysel kayma-akmaya karşı bitkilendirme çalışmaları(Prof. Dr. Florin<br>Florineth).....                                                     | 56 |
| Şekil 4.13: Toprak akması sebebiyle şev yüzeyinde oluşan çizgiler .....                                                                                   | 56 |
| Şekil 4.14: Tomruklar ve arkalarına yerleştirilen tahta kazıklar .....                                                                                    | 57 |
| Şekil 4.15: Püskürtme betonun sadece işlem yapılan bölgelere uygulanması.....                                                                             | 58 |
| Şekil 4.16: Tel kafes uygulaması .....                                                                                                                    | 58 |
| Şekil 4.17: Kolon ve kuşakların (kirişlerin) öngörülen yerleştirilme şekli.....                                                                           | 60 |
| Şekil 4.18: İmal edilen kafes donatılar (Kolonlar ve kirişler) .....                                                                                      | 61 |
| Şekil 4.19: Arazi geometrisine uygun, merdiven şeklindeki destek kolonları. ....                                                                          | 62 |
| Şekil 4.20: Dış kalıpların hazırlanması ve sökülmesi.....                                                                                                 | 62 |
| Şekil 4.21: Destek borusu, çanakı yapı ve uygulamaların bitmiş durumu .....                                                                               | 63 |
| Şekil 4.22: Toprak örtüsünün hemen altındaki tutucu balkon yapısı .....                                                                                   | 63 |
| Şekil 4.23: Kaya şevlerinde suyun etkisiyle (C, $\phi$ )’nin değişimi .....                                                                               | 64 |
| Şekil 4.24: Yeraltı suyunun uzaklaştırılması .....                                                                                                        | 65 |
| Şekil 4.25: 2. Bölgenin uygulama öncesi görünümü .....                                                                                                    | 65 |
| Şekil 4.26: Kaya civataları ile desteklenen kaya bloğu .....                                                                                              | 66 |
| Şekil 4.27: Taş düşmelerini engellemek için yapılan uygulama .....                                                                                        | 67 |
| Şekil 4.28: Askıdaki blok üzerinde yapılan tel kafes uygulaması .....                                                                                     | 68 |
| Şekil 4.29: Bölge şev yüzeylerinin genel görünümü .....                                                                                                   | 69 |
| Şekil 4.30: Püskürtme beton yapılmadan ve yapıldıktan sonraki görünüm .....                                                                               | 70 |
| Şekil 4.31: Uygulamanın bitmiş hali .....                                                                                                                 | 70 |
| Şekil 4.32: Tel kafes uygulamasının bitmiş hali.....                                                                                                      | 71 |
| Şekil 4.33: Taş düşmelerini engellemek için yapılan uygulama .....                                                                                        | 71 |
| Şekil 4.34: Püskürtme beton uygulaması sonrasındaki şev görünümü.....                                                                                     | 72 |
| Şekil 4.35: Son uygulama olan tel kafeslerin şev yüzeyindeki görünümü .....                                                                               | 73 |
| Şekil 4.36: Şev yüzeyinin uygulama öncesi ve uygulama sonrası genel görünümü .                                                                            | 74 |
| Şekil 4.37: Kavlak düşürme uygulamasından bir görünüm.....                                                                                                | 74 |
| Şekil 4.38: Uygulama öncesi şev yüzeyinin görünümü.....                                                                                                   | 75 |
| Şekil 4.39: Uygulamalar sonrasında şev yüzeyinin görünümü.....                                                                                            | 76 |
| Şekil 5.1: Psödoplastikleşmeye bağlı direnç düşüm eğrisi .....                                                                                            | 77 |
| Şekil 5.2: Kaya mekaniğinde aynı ortamın “sistem büyüklüğü”ne bağlı olarak farklı<br>şekilde davranmasının, post- failure davranışı ile açıklanması. .... | 78 |
| Şekil 5.3: Çatlaklanmaya bağlı, içsel sürtünme açısındaki değişim .....                                                                                   | 78 |
| Şekil 5.4: Psödoplastikleşme eğrisi (Karakteristik).....                                                                                                  | 79 |
| Şekil 5.5: Monolit ve polilit arasındaki temel fark .....                                                                                                 | 79 |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.6: Sistem büyüklüğü ve özür sayısının artışı.....                                                      | 80  |
| Şekil 5.7: Kazı öncesi .....                                                                                   | 80  |
| Şekil 5.8: Kazı sırası.....                                                                                    | 81  |
| Şekil 5.9: Donatılı kaya imalatı sonrası.....                                                                  | 81  |
| Şekil 5.10: Kazı öncesi .....                                                                                  | 81  |
| Şekil 5.11: Kazı sırası .....                                                                                  | 82  |
| Şekil 5.12: Donatılı kaya imalatı sonrası.....                                                                 | 82  |
| Şekil 5.13: Ayrılma derecesi ve çatlak sıklığına bağlı olarak oluşturulan kaya sınıflaması (Müller, 1963)..... | 83  |
| Şekil 5.14: 3. Bölgedeki ortalama çatlak sıklığı.....                                                          | 84  |
| Şekil 5.15: 3. Bölge, ayrılma derecesi hesabı.....                                                             | 84  |
| Şekil 5.16: 3. Bölge, 2. kısım ortalama çatlak sıklığı.....                                                    | 85  |
| Şekil 5.17: 2. Bölge, ortalama çatlak sıklığı.....                                                             | 86  |
| Şekil 5.18: 2. Bölge, ayrılma derecesi hesabı.....                                                             | 86  |
| Şekil 5.19: 7. Bölge çatlak sıklığı ve ayrılma derecesi tayini.....                                            | 87  |
| Şekil 5.20: 4-5. Bölge, çatlak sıklığı ve ayrılma derecesi tayini .....                                        | 88  |
| Şekil 5.21: 1. Bölge, çatlak sıklığı ve ayrılma derecesi tayini.....                                           | 89  |
| Şekil 6.1: Donatılı kaya imalatında ankrajların fonksiyonları.....                                             | 95  |
| Şekil 6.2: Sistem ankrajlamada görev ve işlevleri farklı olan ankrajlar .....                                  | 96  |
| Şekil 7.1: Düzlemsel kaymada kuvvetler poligonu .....                                                          | 99  |
| Şekil 7.2: Kireçtaşlarında çatlaklanma ve zaman etkisi sonucunda beklenen basınç dirençleri.....               | 100 |
| Şekil 7.3: Beklenen olası mekanik parametreler .....                                                           | 100 |
| Şekil 7.4:Kancalı saplamaların kesme ve eğilmeye göre tahkiki(Vardar,2010) ....                                | 102 |
| Şekil 7.5: Önlem alınmasını gerektiren riskli kaya bloklarının yerleri .....                                   | 104 |
| Şekil 7.6: Önlem alınmasını gerektiren riskli kaya bloklarının yerleri .....                                   | 105 |
| Şekil 7.7: 1 No'lu blok geometrisi ve işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü .....                              | 106 |
| Şekil 7.8: 1 No'lu blok için hesap modeli .....                                                                | 106 |
| Şekil 7.9: 2 No'lu bloğun geometrisi ile işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü... ..                           | 108 |
| Şekil 7.10: No'lu blok için hesap modeli .....                                                                 | 108 |
| Şekil 7.11:3 No'lu bloğun geometrisi ile işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü. ....                           | 110 |
| Şekil 7.12:3 No'lu blok için hesap modeli .....                                                                | 110 |
| Şekil 7.13: 4 No'lu bloğun geometrisi ile işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü. ....                          | 112 |
| Şekil 7.14: 4 No'lu blok için hesap modeli .....                                                               | 112 |
| Şekil 7.15: 5 No'lu bloğun geometrisi ile işlem sırasındaki görünüşü.....                                      | 114 |
| Şekil 7.16: 5 No'lu blok için hesap modeli .....                                                               | 114 |
| Şekil 7.17: 6 No'lu bloğun önceki hali, geometrisi ve sonraki görünüşü .....                                   | 116 |
| Şekil 7.18: 6 No'lu blok için hesap modeli .....                                                               | 116 |
| Şekil 7.19: 3. Bölgede belirlenen riskli bloklar .....                                                         | 118 |
| Şekil 7.20: 3. Bölgede belirlenen riskli bloklar .....                                                         | 118 |
| Şekil 7.21: 1 No'lu bloğun geometrisi ve önceki görünümü.....                                                  | 119 |
| Şekil 7.22: 2 No'lu bloğun geometrisi ve uygulama sonrası görünümü .....                                       | 120 |
| Şekil 7.23: 2 No'lu blok için hesap modeli .....                                                               | 120 |
| Şekil 7.24: 3 No'lu bloğun geometrisi ve önceki görünümü.....                                                  | 122 |
| Şekil 7.25: 3 No'lu blok için hesap modeli .....                                                               | 122 |
| Şekil 7.26: 4 No'lu bloğun geometrisi ve saplama uygulaması .....                                              | 124 |
| Şekil 7.27: 4 No'lu blok için hesap modeli .....                                                               | 124 |
| Şekil 7.28: 2.Bölgedeki sakıncalı kaya blokları .....                                                          | 126 |
| Şekil 7.29: Bloklu alanın geometrisi ve saplamalarla uygulanan kaya dikişi .....                               | 127 |

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 7.30:</b> 1 No'lu bloklu alan için hesap modeli.....                                                                                              | 127 |
| <b>Şekil 7.31:</b> 2 No'lu bloğun geometrisi ve uygulama öncesindeki durumu.....                                                                           | 129 |
| <b>Şekil 7.32:</b> 2 No'lu blok için hesap modeli .....                                                                                                    | 129 |
| <b>Şekil 7.33:</b> Serbest bloğun uygulama öncesindeki durumu .....                                                                                        | 131 |
| <b>Şekil 7.34:</b> Blok için öngörülen çalışmalar, ve uygulama sonrası durumu(sağ) .....                                                                   | 131 |
| <b>Şekil 7.35:</b> 7.Bölgedeki kritik bloklar ve tabaka kaymalarına bağlı gelişerek ilerleyen (prograsif) sökülmeleri durdurmak için alınan önlemler ..... | 132 |
| <b>Şekil 7.36:</b> Rockfall programı ile belirlenen sıçrama davranışı.....                                                                                 | 133 |
| <b>Şekil 7.37:</b> Birinci bölgedeki askıda duran blok.....                                                                                                | 133 |
| <b>Şekil A.1:</b> Proje Alanı Panoramik görüntüsü.....                                                                                                     | 140 |
| <b>Şekil A.2:</b> Çalışma Alanı Bölgelemesi (Anahtar Resim).....                                                                                           | 141 |
| <b>Şekil B.1 :</b> Asansör Bölgesi (5. ve 4.bölge) Eskizleri.....                                                                                          | 142 |
| <b>Şekil B.1: (Devamı)</b> Asansör Bölgesi (5. ve 4.bölge) Eskizleri(VARDAR, 2010)..                                                                       | 143 |
| <b>Şekil B.2:</b> 2.Bölge Eskizleri.(VARDAR, 2010).....                                                                                                    | 144 |
| <b>Şekil B.3:</b> 3.Bölge Eskizleri (VARDAR, 2010).....                                                                                                    | 145 |
| <b>Şekil B.4:</b> 6.Bölge Eskizleri (VARDAR, 2010).....                                                                                                    | 145 |
| <b>Şekil C.1:</b> Balkon donatı uygulamalarının baştan sona imalat aşaması.....                                                                            | 146 |
| <b>Şekil D.1:</b> Kavlak düşürme uygulamalarına birkaç örnek.....                                                                                          | 147 |
| <b>Şekil E.1:</b> Çelik Hasır Uygulaması esnasında, şev yüzeyindeki çalışmalar.....                                                                        | 147 |
| <b>Şekil F.1:</b> Püskürtme beton uygulaması ve elyaf kullanımına ait örnek resimler...                                                                    | 148 |
| <b>Şekil G.1:</b> Kolon ve kirişlerin yapım aşamasından bazı örnek resimler.....                                                                           | 148 |
| <b>Şekil H .1:</b> Kolon uygulamasında kolonun oturacağı yerden, beton dökümüne kadar geçirmiş olduğu safhalar.....                                        | 149 |
| <b>Şekil I.1:</b> İri kaya bloğunun, uygulama olarak geçirdiği safhalar.....                                                                               | 149 |
| <b>Şekil İ.1:</b> Şev Denetimi (Şevlerin mühendislik açıdan değerlendirilmesi ve bu kapsamda alınan kesitler).....                                         | 150 |
| <b>Şekil İ.2:</b> 1.Bölge kesiti.....                                                                                                                      | 150 |
| <b>Şekil İ.3:</b> 2. Bölge kesiti.....                                                                                                                     | 151 |
| <b>Şekil İ.4:</b> 3. Bölge kesiti.....                                                                                                                     | 151 |
| <b>Şekil İ.5:</b> 4-5.Bölge kesiti.....                                                                                                                    | 152 |
| <b>Şekil İ.6:</b> 6. Bölge kesiti.....                                                                                                                     | 153 |
| <b>Şekil İ.7:</b> 7. Bölge kesiti.....                                                                                                                     | 154 |

## **TERKEDİLMİŞ ÇUBUKLU-BEYKOZ-İSTANBUL TAŞOCAKLARININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE STABİLİTE AMAÇLI REHABİLİTASYON ARAŞTIRMASI**

### **ÖZET**

Çubuklu villaları projesi kapsamındaki arazi içinde ve Çubuklu deresi vadisinin kuzey yamacında terk edilmiş taşocakları bulunmaktadır. Eski üretim aynalarının bulunduğu alan, yerleşime açılmış ve şev yüzeyleri hiçbir rehabilitasyon işlemi geçirmeden villalar projelendirilmiştir. Terk edilmiş taşocaklarının eski üretim aynalarında kaya düşmesi, tabaka-blok-kama kayması türündeki duraysızlıklar zaman içinde artış göstermiş ve sonuç olarak, asansör kulesi arkasında büyük kama kaymasının gelişip yapılan imalatlara ve konutlara zarar vermesiyle, şevlerin insanların yaşam alanı içerisinde büyük tehdit oluşturacağı anlaşılmıştır.

Çalışma alanında Kartal ve Dolayoba formasyonları yer almaktadır. Rehabilitasyonu yapılacak olan şevler Silüriyen yaşlı dolayoba kireçtaşları içinde oluşturulmuştur. Bu çalışmada, söz konusu kaya şevlerinin stabilitesi ve ıslahına ilişkin uygulamalar vardır. Uygulamalara, kaya şevlerinin kinematik açıdan değerlendirilmesi ve risk haritalarının hazırlanması ile başlanmıştır. Bunun sonucunda ise, farklı duraysızlık türlerinin gelişebileceği şev yönelimleri belirlenmiştir.

Şev yüzeyleri, uygulama kolaylığı açısından 7 (yedi) bölgeye ayrılmıştır. Asansör kulesinin arkasında bulunan şev olmak üzere askıda kalan kaya blokları risk oluşturmaktadır. Özellikle asansör bölgesinde şev yüzeyindeki toprak akmasını engellemek ve çekme gerilmeleri alabilen bir hale getirmek için 75-200cm  $\phi$ 26 bulonlar kullanılmış, çelik hasır ve püskürtme beton uygulanmıştır. Risk oluşturan bu blokların geometrileri belirlenmiş ve statik açıdan denge durumu analiz edilerek, güvenlik sayısı 3 ve üzeri olacak şekilde gerekli işlemler uygulanmıştır. Yapılan işlemlerde olabildiğince çevreyle uyumlu ve estetik açıdan zengin yöntemler tercih edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, asansör bölgesinde, şevin yüzeyini görsel açıdan güzelleştirmek için tomruklar uygulanmış ve şev yüzeyi yeşillendirilmiştir.



## **ENGINEERING GEOLOGY AND REHABILITATION RESEARCH FOR STABILITY OF THE ABANDONED QUARRIES IN ÇUBUKLU-BEYKOZ-İSTANBUL**

### **SUMMARY**

In this study, there are some old grooves applications of rock slopes and their improvement in Çubuklu Valley. In this applications, it was aimed to kinematical assesment on rock slopes the at the Çubuklu Valley site.

In the abandoned old grooves' slope surface in the northside of the Çubuklu Valley, there are some unstable conditions such as rock fall, layer- block- wedge slide.

First of all, especially the slope on the back of the lift tower which is create a threat by sliding and the hanging blocks expose a risk in the site.

The slopes at the Çubuklu site was evaluated using kinematic analysis and possible slope orientations for different types instability were determined.

To work easily we divide the slope surface in to seven. Especially in the fiftg section to avoid the deformation above the slope surface, we use 75-200cm  $\phi$ 26 rock bolt, wire mash and as a result the shotcrete. By the way the blocks and their geometry are also determine which compose of risk. The block's equilibrium is also analysed and to make the value at least three we applied some technical support above the slope surface. In all works in the site we try to make the applications environmentally compatible. For this purpose we put tree stumps over the slope surface that which the movement still exist. After this application we make the slope surface of the green.



## **1. GİRİŞ**

Yerüstü kaya yapıları sonucunda; şevler, yarmalar, yamaç nişleri veya çukurlar oluşturulmaktadır. Kaya yüzeyleri ya geçici ya da sürekli olarak hiçbir önlem alınmaksızın çıplak bırakılabildiği gibi çeşitli yöntem ve önceliklerle iyileştirilebilir ve ortam estetik açıdan zenginleştirilebilir.

Çubuklu vadisi eski taşocakları kaya şevlerinin stabilitesi ve ıslahına ilişkin bu tür uygulamalarda, tüm kayalık alanın doğal yapısının ve görünümünün olabildiğince korunması, büyük ve ağır destek yapılarının oluşturulmaması, geniş kapsamlı ve uzun ankraj uygulamalarından, geniş alanlara yayılan püskürtme beton uygulamasından olabildiğince kaçınılması, önerilen çözümler ile iş ve işlemlerin uygulanma ve denetlenmesinin rahat ve kolay olması, işlerin hızlı ve güvenli şekilde yapılabilmesi, bu işlerin mevcut çalışmaları aksatmaması, güvenlik riski oluşturmaması ve gerekli harcamaların makul ölçülerde kalması esas alınarak uygulamalar yürütülmüştür.

Proje alanı, çalışma kolaylığı açısından yedi bölgeye ayrılmıştır. Her bölgede kaya şevi içinde çekme gerilmeleri oluşturabilmek için kaya civataları uygulanmıştır. Ardından çelik hasır ve püskürtme beton ile şev yüzeyi bir bütün haline getirilmiştir. Böylece, olası deplasmanlar tüm yüzey tarafından sönümlendirilmiştir. Uygulama öncesi, bölgede risk oluşturan askıdaki kaya blokları belirlenmiş, güvenlik sayısı 3 ve üzeri olacak şekilde bulonlama yapılmıştır. Çalışma alanındaki süreksizlikler pusula ile ölçülerek, üç süreksizlik takımı belirlenmiştir. Bu çalışmaların sonucunda, düzlemsel-kama ve devrilme tipi duraysızlıkların oluşma potansiyelleri irdelenerek haritaları üretilmiştir.

### **1.1 Tezin Amacı**

Beykoz Çubuklu vadisinin kuzey kesiminde terk edilen taşocağı üretim şevleri mevcuttur. Söz konusu şevlerin mühendislik açıdan incelenip, olası tehlikelerin ortadan kaldırılması ve şevlerin rehabilitasyonu projenin asıl amacıdır.

Şev stabilite ve ıslah çalışmaları, teknik olarak sahanın doğal bir görünüm almasını sağlamakla beraber kaymalar ve kaya düşmelerini önlemek amaçlıdır. Hedef bu şevleri güvenli duruma getirilirken doğal yapıya zarar vermemek ve peyzaja olumsuz etkiler yapmamaktır.

## **1.2 Literatür Özeti**

a) Kapıkaya (Malatya) Baraj Yerindeki Kaya Şevlerinin Kinematik Açıdan Değerlendirilmesi. Zülfü GÜROCAK, Selçuk ALEMDAĞ, Fırat Üniversitesi

Malatya ilinin yaklaşık 25 km doğusunda, Mamikan çayı üzerinde, sulama amaçlı olarak inşa edilmekte olan Kapıkaya baraj yerinde meydana gelebilecek süreksizlik denetimli duraysızlık modellerini belirleyebilmek amacıyla yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmada, Kapıkaya baraj yerindeki şevlerinin kinematik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, baraj yerinin jeoloji haritası yapılmış, kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Süreksizlik yönelimleri stereografik projeksiyon tekniğiyle değerlendirilmiş ve üç adet ana eklem seti belirlenmiştir. Kapıkaya baraj yerindeki kaya şevleri kinematik analizler ile incelenmiş ve farklı duraysızlık türlerinin gelişebileceği olası şev yönelimleri belirlenmiştir.

b) Ankara Kalesi ve Civarındaki Kaya Şevleri İçin Potansiyel Duraysızlık Haritası.

Murat ERCANOĞLU, Hüsnü AKSOY, Hacettepe Üniversitesi

Ankaranın Altındağ ilçesi sınırları içinde yer alan Ankara Kalesi ve civarındaki kaya şevlerinde yoğun bir yerleşim gelişmiştir. Bölgede düşey soğuma çatlaklarının geliştiği andezitler dik topoğrafik yükseltileri oluşturmaktadırlar.

Bu çalışmanın amacı, bölgedeki olası şev duraysızlıklarının kinematik analizlerle belirlenmesi ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yardımıyla bölgenin potansiyel duraysızlık haritasının hazırlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, doğal kaya şevleriyle ilgili gözlem ve ölçümlerin yanı sıra, süreksizlik hat etütleri ve örnekleme çalışmaları yapılmış ve üç adet egemen süreksizlik seti belirlenmiştir. Düzlemsel kayma, kama ve devrilme türü duraysızlıklar değerlendirilerek, inceleme alanı için potansiyel duraysızlık haritası oluşturulmuştur.

c) Kaya Kütlesi İçindeki Süreksizlik Dağılımlarının Ortaya Konulmasında Yeni Bir Yaklaşım. A. Turanboy, Selçuk Üniversitesi.

Bu araştırma çalışmasında, kaya kütlesini oluşturan doğal blokların ve üretim sonrası elde edilen ürünlerin dağılımı arasındaki ilişkiler yeni bir yaklaşımla ele alınmıştır. Özellikle taş ve mermer ocaklarında nihai blokların dağılımlarını gösteren grafiksel sunumlar üzerinde yorumlarda bulunulmuştur.

d) Kama Türü Yenilmelerin Olasılıklı Risk Haritasının Hazırlanmasına Bir Örnek. Candan GÖKÇEOĞLU, Murat ERCANOĞLU, Hama SÖNMEZ.

Ankara ve civarında yüzeylenen eklemli andezit içerisinde gelişebilecek olası kama türü yenilmelerin analizi, hem klasik kinematik analiz hem de olasılıklı kinematik analiz yöntemleriyle araştırılmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak risk haritaları üretilmiştir.

e) Zonguldak-Armutçuk Arasındaki Bölgenin Kütle Hareketleri Oluşma Riski Açısından İncelenmesi. Hülya KESKİN ÇİTİROĞLU, ZKÜ.

Bu çalışmada, Zonguldak-Armutçuk arasında yer alan yaklaşık 155 km<sup>2</sup>'lik bir bölgenin kütle hareketleri oluşma riski açısından incelenmesi amaçlanmıştır. Kütle hareketlerinin oluşumuna neden olan doğal ve yapay etmenler irdelenerek inceleme alanı Eyüboğlu (1999)'na göre farklı özellik ve koşullar gösteren beş alana ayrılmıştır.

f) Kaya Şevlerinde Devrilme Türündeki Bozulmaların Mekanîği ve Deneysel İrdelenmesi. Dr.Caner ZANBAK.

Makalede, son on yıl öncesine kadar üzerinde yeterince çalışılmış bir bozulma türü olan "Devrilme" uygulamalarında gözlenen bazı örnekler verilmiştir. Çalışmada, şev içinde oluş mekanizmaları, sayısal analizleri için yapılan yaklaşımlar ve devrilmeye etkileyen çeşitli yapısal parametrelerin incelendiği model çalışmalardan söz edilmektedir.

g) Kaya Şevlerinin Stabilitesi Ve Stereografik İzdüşüm Yöntemi İle Stabilité Analizi. Caner ZANBAK.

Bu makalede açık işletmelerde ve yüksekliği fazla kazılarda, önemli problemlerden olan, kaya şevlerinin stabilitesi konusunu içeren kavramlar kısaca özetlenmektedir. Bu kavramlardan hareketle, kaya şevlerinde çok görülen kaya kamalarının

stereografik izdüşüm yöntemi ile stabilite analizinin esasları bir örnek üzerinde açıklanmaktadır.

h) Süreksizlik Kontur Diyagramlarının İstatistiksel Yorumu. Dr.Caner. ZANBAK.

Kaya ortamlar içindeki mühendislik yapılarının stabilitelerinin kaya kütlesi içindeki süreksizlik yüzeyleri tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Bu tür ortamlardan stabilite analizi için süreksizlik yüzeylerinin konumları ve süreksizlik yüzeylerinin mekanik özelliklerine ilişkin veriler toplanmaktadır. Bu yazıda, araziden elde edilen çok sayıdaki süreksizlik konumları ölçmelerinden, çeşitli ihtimallerle, stabilite analizinde kullanılabilecek yüzeylerin saptanması için bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem, bir bölgedeki hakim süreksizlik takımlarının saptanması amacı için kullanılan kontur diyagramlarının istatistik olarak yorumlanması ve çeşitli ihtimalli süreksizlik düzlemlerinin saptanması işlemidir.

f) Madencilikte Şev Duraylılığı Analizi Yaklaşımları. A. ÖZGENOĞLU, ODTÜ.

Bu çalışmada, kaya şevleri için yapılan duraylılık analizlerine ilişkin genel bilgi verilmiş, bu bilgilerden hareketle açık kömür ocaklarında yapılacak duraylılık çalışmalarının ilk yaklaşımlar tartışılmıştır. Şev duraylılığına ilişkin çalışmalar ayrıştırmamış kaya kütlesi ve zemin ortamlar için yoğunluk kazanmıştır. Kömür içeren formasyonlar, davranış özellikleri açısından bu iki ortam arasında yer alırlar ve çoğunlukla daha karmaşık bir yenilme mekanizması gösterirler.

## 2. PROJE UYGULAMA ALANININ TANITIMI

Çalışma alanı, Beykoz-Paşabahçe-Çubuklu mevkiindedir. Kuzeyinde Şile-TEM bağlantı yolu, güneyinde Dedeoğlu deresinin yer aldığı arazinin büyük çoğunluğu, kuzeyden güneye doğru eğimli yamaçlardan oluşmaktadır.

Alanı 214 856 m<sup>2</sup> olan arazinin güneyinde taşocağı işletilmesi nedeniyle dik şevler oluşmuştur.



Şekil 2.1: Çalışma alanı yerbulduru haritası

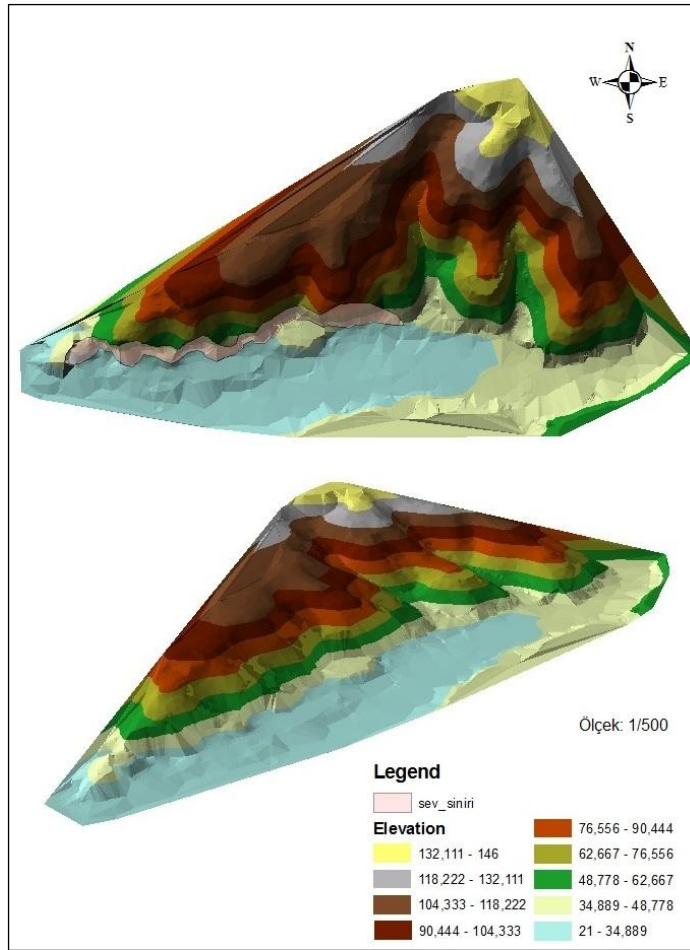
### 2.1 Coğrafi Konum ve Morfoloji

Çalışma alanı, 23 parsel, 6 adet paftaya dağılmış olup, İstanbul-Beykoz-Çubuklu mevkiinde yer alır. Çizelge 2.1’de inceleme alanının yer aldığı 1/1000 ölçekli paftaların dökümü verilmektedir.

**Çizelge 2.1:** İnceleme alanının yer aldığı 1/ 1000 ölçekli paftaların dökümü

| Sıra No | Pafta No                 |
|---------|--------------------------|
| 1       | İstanbul F22d – 13d – 4a |
| 2       | İstanbul F22d – 13d – 4b |
| 3       | İstanbul F22d – 13d – 4c |
| 4       | İstanbul F22d – 13d – 4d |
| 5       | İstanbul F22d – 13d – 3a |
| 6       | İstanbul F22d – 13d – 3d |

Çalışma alanı kuzeyden güneye doğru eğimli bir yamaç üzerinde yer almaktadır. En yüksek kot 144 m. ile arazinin kuzeydoğusunda, en alçak kot 23.00 m. ile güneybatısındadır. Bölgenin üç boyutlu modellemesi yapılmış ve Şekil 2.2’de çalışılan şev sınırları gösterilmiştir. Çalışma alanının genel panoramik görünümü ise EK A.1 de verilmiştir.



**Şekil 2.2:** Çalışma alanının üç boyutlu modellemesi

## **2.2 Jeolojik Durum**

İnceleme alanında, Dolayoba formasyonu Kartal formasyonu, , yamaç molozu ve güncel dolgular yüzeylemektedir

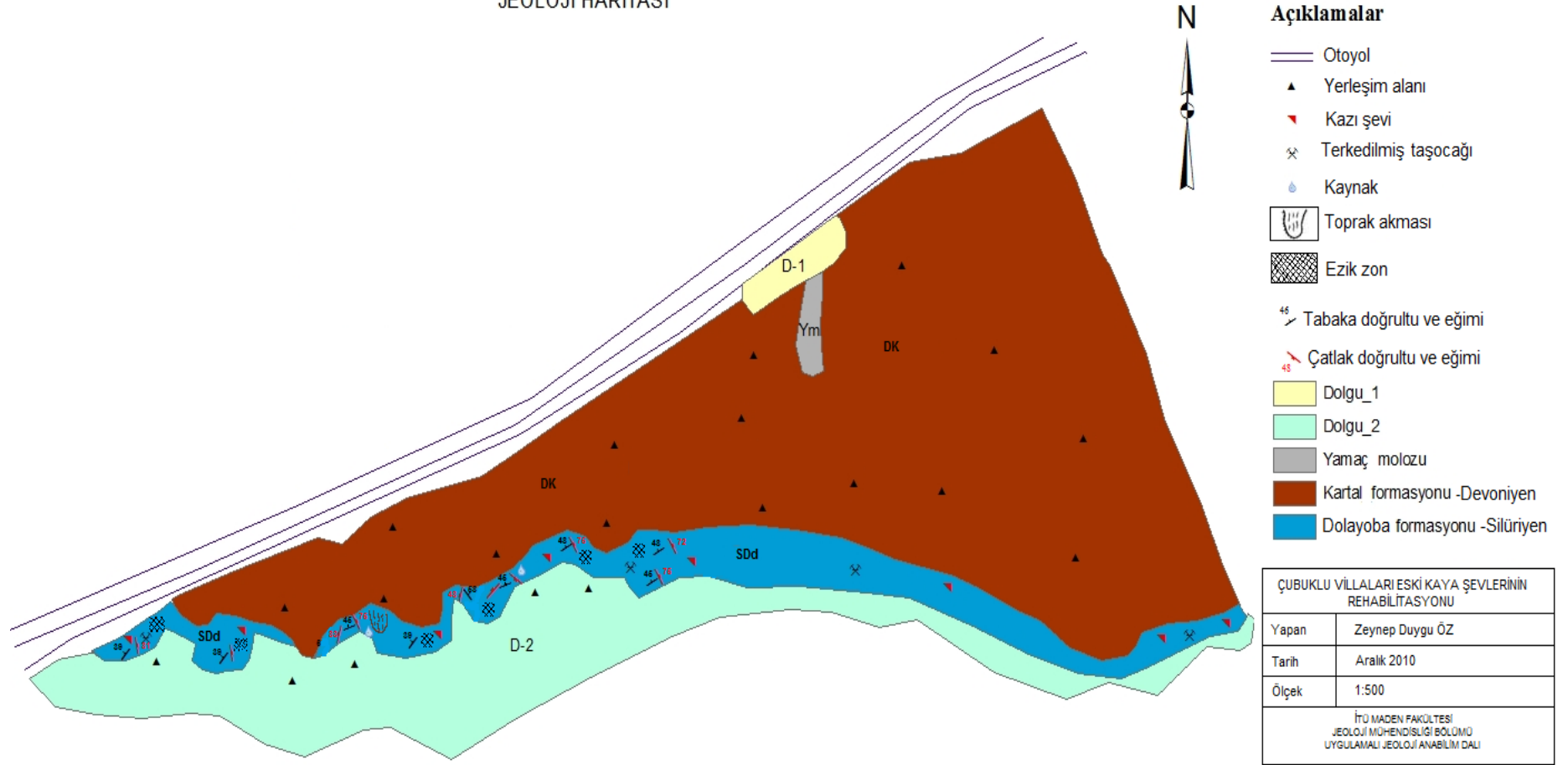
### **2.2.1 Dolayoba formasyonu**

Çalışma alanında, en yaşlı birim Silüriyen yaşlı Dolayoba formasyonudur (Şekil 2.3). Dolayoba formasyonu, alttaki Ordovisyan-Silüriyen yaşlı silisli şeyl ve grovaklardan oluşan Gözdağı formasyonuna yanal ve düşey geçişlidir. Mavi-gri ve pembe renkli kireçtaşlarından oluşur. Kalınlığı yaklaşık 150 m'dir. Alt seviyelerinde karbonatlı şeyllerle başlar, üste doğru karbonat yüzdesi artarak sert ve oldukça temiz kireçtaşlarına dönüşür. İnce ve kalın tabakalara sahiptir. Tabakalanmalar bazı yerlerde düzgün ve bazı yerlerde belirsizdir. Formasyon, özellikle üst seviyelerde yer yer dolomitleşmiştir. İleri derecede rekristalize olan kireçtaşları seyrek olarak sparit damarları ile kesilmiştir. Üst kesimlere doğru yumrulu bantlı kireçtaşlarına dönüşür. Bu seviyelerde fosilli kireçtaşı özelliği gösteren seviyeler, inceleme alanının güneyindeki terk edilmiş taşocaklarında görülür.

### **2.2.2 Kartal formasyonu**

Çalışma alanının kuzeyinde ve doğusunda gözlenir (Şekil 2.3). Kahverengi kumtaşı-şeyl, grovak ve kireçtaşlarından oluşur. Kartal formasyonu içerisindeki grovaklar yeşilimsi, sarı, kahverenkli yer yer kalın sparit damarları ile kesilmiş, ince kireçtaşı tabakalarıyla ara katkılıdır. Eklem takımları çok iyi gelişmiş olup, yer yer kil dolguludur. Eklem yüzeyleri yüzey sularının etkisiyle boyanmıştır. Tane boyu alttan üste doğru hafif bir küçülme gösterir ve yer yer şeyllere geçilir. Şeyl seviyeleri ince-orta katmanlıdır. Ayrıca şeyl ve grovaklarda irili ufaklı kıvrımlanmalar görülür. Alt seviyede izlenen kireçtaşları küçük mercekler halinde ve ince katmanlıdır. Orta seviyeler ise tamamen kristalize olmuş koyu gri-siyah renklerde ve ince yumrulu kireçtaşlarından oluşur.

# JEOLOJİ HARİTASI



Şekil 2.3: Jeoloji haritası

### **2.2.3 Yamaç molozu**

Çalışma alanının kuzeyinde, küçük bir alanda görülen yamaç molozu kaya parçalı kilden oluşur(Şekil2.3). Kalınlığı 2.00-5.00 m arasındadır.

### **2.2.4 Dolgu:**

Arazinin kuzeyinde ve güneyinde olmak üzere 2 bölgede gözlenmiştir.

#### **2.2.4.1 Dolgu 1**

Arazinin kuzeyinde görülür. TEM bağlantı yolunun yapım aşamasında açığa çıkan hafriyatın dökülmesiyle oluşmuştur. Değişik tür ve boyutlarda bileşenlerden oluşan dolgu 1'in kalınlığı 0.00-7.00 m. arasındadır

#### **2.2.4.2 Dolgu 2**

Arazinin güneyinde, taşocaklarının işletilmesi aşamasında oluşan dolgu2'de. heterojen olup. kalınlığı 0.00-7.00 m arasındadır.

### **2.2.5 Yeraltıları**

Çalışma alanındaki birimler, kırıklı-çatlaklı olmaları nedeniyle yağışlı aylarda yüzeysel sular barındırabilir. Ayrıca arazinin güneybatısındaki dolgu alanında Çubuklu deresine yakın olması nedeniyle yeraltısuyu içerebilir.

## **2.3 Çalışma Alanının Uygulama Öncesi Genel Durumu**

Çubuklu Dedeoğlu deresinin kuzey yamacını oluşturan arazi gezilerek kaya düşmesi, tabaka-blok-kama kayması türündeki mevcut ve olası duraysızlıklar yerinde gözlenmiş, incelenmiştir. Sonuçta başta asansör kulesinin arkasında bulunan ve kulenin temel kazısı çalışmaları sırasında kayarak tehdit oluşturan şev olmak üzere askıda kalan kaya blokları büyük risk oluşturmaktadır. Arazi çalışmalarındaki ilk izlenimler özetlenecek olursa,

- Birkaç yer dışında genelde düşme olasılığının bulunmadığı anlaşılmıştır.
- Altı oyularak devrilecek konuma getirilmiş bir tek örnek karşılaşılmıştır. Tabaka çatlaklarının kuru olması ve yapışma direncinin yüksek olması nedeniyle tabaka çatlakları üzerinde kayma olasılığının bulunduğu yerler gözlenmemiştir.

- Arazide az da olsa blok kayması ile hemen hemen her yerde değişik boyutlarda kama kayması türünde duraysızlıkların oluşabileceği görülmüştür.
- Kayanın mukavemetinin yüksek, çatlaklarının az ve şevlerin çok büyük yükler (gerilmeler) oluşturmayacak kadar alçak olmaları nedeniyle basamaklı kırılma ve kaymalara bağlı kaya heyelanlarının oluşamayacağı saptanmıştır. Ancak ezilme ve toprak dolgulu kesimlerde yerel sökülme ve buna bağlı duraysızlıkların olması beklenmektedir.
- Kayarak ya da koparak düşen parçaların sıçramadan ve eğim aşağı hız kazanıp yuvarlanmadan enerjilerinin yutulması, risklerin minimize edilmesi açısından en başta gelen mühendislik yaklaşımıdır. Bu bakımdan şev önlerindeki düzlükler, yumuşak-esnek dolgular, tutucu ağlar, iri kaya engelleri ve başta ağaçlar olmak üzere, çalılık ve her türlü bitki örtüsü yararlanılması gereken önlemler içinde düşünülmüştür.



**Şekil 2.4:**Asansör merdiven kovasını ve girişini dolduran heyelan malzemesi

- Çubuklu deresi kuzey yamacındaki eski taşocaklarının üretim aynalarının hiçbir önlem alınmaksızın terk edilmiş durumda olduğu, zamanla atmosferik koşulların etkisiyle kopma, devrilme, kayma, sökülme ve dökülme türü bozunmaların meydana geldiği aynalar önünde biriken pasalar, döküntüler ve gelişen bitki örtüsü ile oluşan topuk desteği etkisi ile pek çok yerde kısmi stabilitenin sağlanmış bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 2.4).

Ancak proje gereği yapılan kazı ve yol düzenleme çalışmaları ile bazı kesimlerde bu topukların kesilmesinin, bazılarında ise yol ve bina yaklaşımları ile eski taşocağı aynalarına yanaşılması olmasının büyük risk oluşturduğu vurgulanmıştır.

Ayrıca;

- Bu yerlerden en önemlisinin asansör kulesi temelini arkasında kalan 30 m yüksekliğindeki dik ayna olduğu,
- Burada temel kazısı için yapılan genişletme kazıları sırasında iki kırık yüzeyi arasında kalan ezilme kamasının yerinden koparak kaymış olduğu ve malzemenin bir bölümünün de asılı kalarak çok tehlikeli bir durum oluşturduğu,
- Buradaki ezik zon ve çatlaklardan suyun gelmesinin riski daha da arttırdığı, dolayısıyla önlem alınmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Asansör bölgesi için önerilen önlemler yeterince ve zamanında alınmadığı için askıdaki kayalar ve şev yüzeyindeki yerleşik toprak örtüsü yağışlar sonrasında heyelan etmiştir. Bunun sonucunda asansör arkasındaki betonarme duvar ve yapılan imalatın bir kısmı tahrip olmuştur (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5:**Asansör bölgesinde desteksiz bırakılan kaya şevinde oluşan kaya kaymaları

## 2.4 Başlıca Yapım Öğeleri ve Önlemleri

**İyileştirme öğeleri ve önlemleri:** Mekanik davranışı yetersiz olan birimlerin dayanım parametrelerini ve dirençlerini (içsel sürtünme açısı, kohezyon, elastik modüller, çekme ve basınç direnci) arttırarak onları mühendislik çalışmalarına daha uygun ve daha iyi (nitelikli) hale getirmektir (enjeksiyon, jet grout, drenaj, kompaksiyon, konsolidasyon).

**Sağlamlaştırma öğeleri ve önlemleri:** Gerilme durumunu olumlu yönde değiştirmek ve geliştirmek amacıyla (genelde iyileştirmeye birlikte) önlem (ankraj, püskürtme beton, çelik hasır vbg.) almaktır.

**Destekleme öğeleri ve önlemleri:** Bunlar, hareketi engelleyici yapısal önlemler almak, tutucu kuvvet uygulamaktır (İstinat duvarı, destek kolonu- kirişi, kaya dikişi, kaya askısı, topuk destek dolgusu).

**Dengeleme-düzenleme öğeleri ve önlemleri:** Olası hareketleri ve riskleri giderme amacıyla arazi geometrisini ve/veya malzeme yayılımını denetlemektir. Şev biçimlendirme-uygun kazı (şev ve yamaçların eğimini değiştirmek), yük kaldırmak, topuğu yüklemek ve basamaklandırmak (palye ve berme) bu amaçla yapılacak çalışmalar kapsamındadır.

**Koruma:** Mevcut ya da oluşturulan ortam niteliklerinin ve koşulların değişmemesi için olumsuz etkilere karşı önlem almaktır. Yüzey drenajı, yüzey kaplaması (püskürtme beton), yüzey ağları, tel örgü, geogrit örtü ve bitkilendirme koruma önlemlerdendir.

**Güvenlik arttırıcı önlemler:** Teknik ve psikolojik amaçla zorunlu olmadığı halde ek önlemler almaktır. Kavlak düşürme, gergiler, tel çitler, yutucu-soğurucu hendekler ve sıçrama perdeleri güvenlik arttırıcı önlemler arasındadır.

**Uyumlandırma:** Başta doğaya uygunluk olmak üzere, tarihsel ve kentsel doku ve mimariye uygun tasarımlar yapmaktır. Şev yüzeylerini kullanan ve tarihi-kentsel dokuyu bozmayan, zenginleştiren mimari tasarımlar oluşturmak ve peyzaj gibi .uyumlandırma örnekleri uygulanabilir.

Fakat her şeyden önce kalıcı kaya şevlerinde uygun ve güvenli şev geometrisini veren korumalı kazı ve patlatmanın yapılmış olması ve oluşan kavlakların basınçlı su kullanımı dahil gerekli araçlar kullanılarak düşürülerek yüzeydeki serbest parçalardan temizlenmiş olması esastır.

Stabilite sorunlarının bulunması halinde aşağıdaki önlemler alınabilir,

**Betonarme perde:** Topuk destek dolgusunu tutmak ve olası taş-kaya düşmelerine karşı korunma amacıyla yol boyunca ve asansör kulesi temeli çevresinde oluşturulmuştur.

**Taş duvar:** Yüksekliği daha az olan tutucu ve koruyucu yapılar olarak düşünülmüştür. Aynı zamanda estetik ve peyzaj amaçlıdır.

**Topuk dolgusu:** Şev yüksekliğini azaltmak ve topuğa ağırlık koyarak stabiliteyi sağlamanın yanı sıra peyzaj ve ağaçlandırma amacına uygundur.

**Püskürtme beton:** Yüzeysel gevşemeleri önlemek ve küçük parçaların dökülmesini önlemek için kullanılmıştır. Ayrıca çelik hasır ile birlikte çekme ve kesmeye karşı dayanımlı ince bir yüzey kaplaması oluşturmaktadır. Blonların da kullanılması durumunda bir kaya sağlamlaştırma sisteminin kurulmasını sağlamaktadır.

**Çelik hasır:** Kaya parçalarını tutan bir ağ görevi yapmakta, PB ile birlikte bir donatılı kaplamanın imaline yardımcı olmaktadır. Burada Q188'in kullanılması uygun olacaktır.

**Kaya saplama (blon, ankraj):** Donatılı kaya imali için kullanılan 26 mm çapında ve 1.5-3 m uzunluğundaki öngermesiz nervürlü çelik çubuklardır. Kaya saplama (bulonları) ortamın normal ve kesme gerilmelerine karşı direncini arttırmaları ve çekme gerilmelerini almasını sağlarlar. Bunun mekanik anlamı içsel parametrelerin artırılması ve kayanın sistem büyüklüğü içindeki parçalarının (birim kaya elemanlarının) biri birine bağlanarak az parçalı-ya da monolitik ortama dönüştürülmesidir.

**Destek kolonu-kirişi:** Bu proje için geliştirilen 2 adet 6 m uzunluğundaki I 120' lik profillerin 22 veya 26 mm lik nervürlü çelik çubuklar ile birbirine bağlanmasıyla elde edilen merdiven şeklindeki destektir. Merdiven araziye yaslanmakta, orada önce blonlanarak sabitleştirilmekte ve daha sonra PB ile kaplanmaktadır.

**Tutucu kafes ve tel çitler:** Dökülen taş blokları tutabilmek üzere riskli kesimlerin önüne veya altına yerleştirilen genelde hafif yapılardır. Taş düşmelerinin oluşabileceği bölgelerde, tehlikeyi önlemek ve oluşan enerjiyi sönmölemek için kullanılır. Kafes teller halatlarla askıda tutularak sabitlenir ve aynı zamanda bulon plakaları ile yüzeye tutturularak yüzey şeklinin alması sağlanır.

**Kaya-blok, bitki-ağaç engelleri:** Taş düşmelerine karşı tutucu önlemler arasında olup peyzaj çalışmaları için kaçınılmazdırlar.

**Gergi halatı ve kaya askısı:** Riskli blokların ya da kaya kamalarının sağlam olan kayaya bağlanması için kullanılmaktadırlar. Uygulaması özel uzmanlık istemektedir.

**Yapıştırma ve tıkama dolgusu (Plombaj):** Serbestleşmiş blokları bir diğerine bağlamak üzere yapıştırıcı harç ile boşlukların doldurulmasıdır.

**Kafa hendeği:** Yüzey sularının riskli kesimlerden kontrollü olarak toplanarak uzaklaştırılması için şev üstünde yapılan genelde trapez kesitli beton kaplamalı drenaj hendekleridir.

**Drenaj (drenaj delikleri):** Duvar gerisine, dolgu altına yerleştirilen delikli boru ve hortumlardır.

**Çimento-kimyasal içitimi (enjeksiyonu):** Daha düşük basınçlarda uygulanan çimento-kimyasal içitimidir (Bu projede önerilmemiş ve uygulanmamıştır).

## 2.5 Çalışma Metodu

Çubuklu villaları eski üretim şevlerinin rehabilitasyonuna ilişkin bu çalışma, Türkiye’de, yerleşim alanları içerisinde yapılan ilk uygulama olmaktadır. Bu uygulamaların önemli bir kısmı terk edilen taşocaklarının güvenli şekilde geri kazanımı ile ilgilidir. Bu açıdan bakıldığında; işlevsel ve güvenli çözümlerin yanı sıra, estetik ve doğal görünümü koruma gibi kavramların ön planda tutulduğu bir çalışma yürütülmüştür.

Kaya şevlerinin ıslahına yönelik yapılan uygulamalar için çalışma metodu ve öncelikleri belirlenmiştir. Bu uygulamaların aşağıdaki temel ilkelere uygun olmasına çalışılmıştır.

Tüm kayalık alanın doğal yapısının ve görünümünün olabildiğince korunması, büyük ve ağır destek yapılarının oluşturulmaması, geniş kapsamlı ve uzun ankraj uygulamalarından kaçınılması, geniş alanlara yayılan püskürtme beton uygulamasından olabildiğince kaçınılması, önerilen çözümler ile iş ve işlemlerin uygulanma ve denetlenmesinin rahat ve kolay olması, işlerin hızlı ve güvenli şekilde yapılabilmesi, bu işlerin mevcut çalışmaları aksatmaması, güvenlik riski oluşturmaması ve gerekli harcamaların (maliyetin) makul ölçülerde kalmasıdır.

Şev aynaların ayrıntılı ve ölçekli resimleri çekilmiş, süreksizliklerin analizi yapılmış, bunların üzerinde risk oluşturacak yerler belirlenmiş ve bunlar sınıflandırılarak yapılması gereken işler ve alınması gereken önlemler teker teker tanımlanmıştır. Bu işler için açıklamalı çizimler verilmiş (eskizler) ve uygulamalar sırasında gerekli uyarılar ve yönlendirici talimatlarla nitelikli imalatın yapılması sağlanmıştır.

Proje alanı, çalışma kolaylığı açısından yedi bölgeye ayrılmıştır. Uygulamaya ilk olarak 5. bölgeden (Asansör arkası) başlanması uygun görülmüştür. Bunun nedeni, 5.

bölgenin diğer bölgelere göre daha riskli olması ve burada daha zaman alıcı, ayrıntılı ve yoğun uygulamalara ihtiyaç duyulmasıdır. Uygulamalara 4. Bölge ile devam edilmiştir. Ardından sırasıyla 3 ve 2. bölgelere ve oradan da 6. ve 7. bölgelere geçilmiştir. Yol genişliğinin azlığı, kullanılan vinç ve diğer ekipmanların yolu tıkaması ve araç trafiğinin engellemesi nedeniyle son olarak 1. bölgede çalışılmıştır. Şevlerin bölgelendirilmiş görünümü EK A.2’ de yer almaktadır.

Çalışma alanında, öncelikli olarak yapılan ölçümlerde, üç ana süreksizlik takımı belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarından hareketle, düzlemsel-kama ve devrilme tipi duraysızlıkların oluşma potansiyelleri irdelenerek haritaları oluşturulmuştur. Haritalardaki risk dağılımları ve arazi durumu göz önünde bulundurularak, her bir bölgede yapılacak olan uygulamalar belirlenmiştir. Uygulama öncesi, bölgede risk oluşturan askıdaki kaya blokları tespit edilmiş, geometrileri belirlenmiş ve güvenlik sayısı 3 ve üzeri olacak şekilde bulonlama yapılmıştır. Asansör bölgesinde, kaya şevi içinde çekme gerilmeleri oluşturabilmek için kaya civataları uygulanmıştır. Ardından çelik hasır ve püskürtme beton ile şev yüzeyi bir bütün haline getirilmiştir. Böylelikle, olası deplasmanlar tüm yüzey tarafından sönmümlendirilecektir. Diğer bölgelerde ise kaya saplamaları ve kaya dikişleri ile serbest kaya elemanları desteklenmiştir. Ardından çatlak aralıklarını doldurmak için püskürtme beton uygulanmıştır. Son uygulama olarak dökülebilecek taş parçalarını engellemek için tel kafesle şev yüzeyinin örtülmesi planlanmıştır.



### 3. SÜREKSİZLİK ANALİZLERİ VE RİSK HARİTALARININ HAZIRLANMASI

#### 3.1 Stereografik İzdüşüm Yöntemi

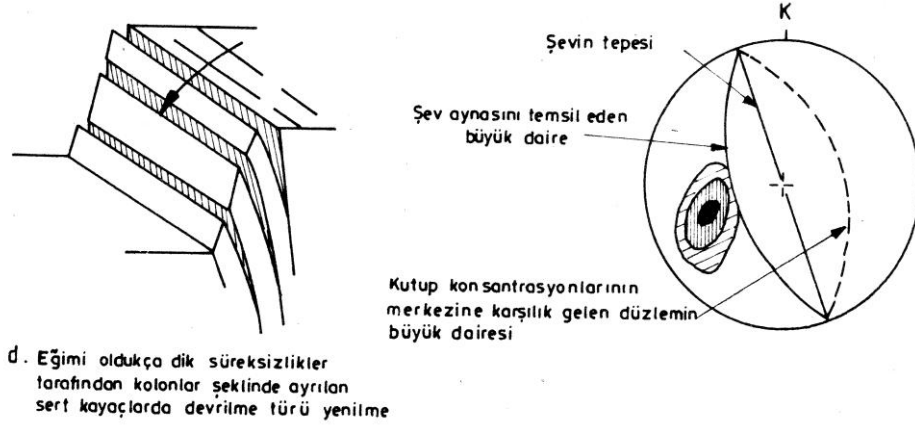
Kazı şevlerindeki serbestleşmiş değişik boyutlardaki parçaların konumları en uygun şekilde küresel projeksiyonlar kullanılarak gösterilmekte ve bunlardan yararlanılarak blok ve kama kayması türündeki duraysızlıklar parçanın gerçek boyutundan bağımsız olarak irdelenebilmektedir.

Stereografik izdüşüm yöntemi olarak tanınan bu projeksiyondaki esas, bir referans küresi içinde doğrusal veya düzlemsel yapıların birbiriyle ilişkilendirilmiş konumlarının oluşturdukları arakesitler yardımıyla analizidir. Çatlaklar, kırıklar, faylar, bindirmeler, tabakalar, dokanaklar, fissürler ve hatta foliasyon gibi tüm süreksizlik yüzeyleri alt yarı kürenin merkezinden geçen düzlemlerle gösterilirler. Alt yarı kürenin üstünü kaplayan daire yatay düzlem olup üstünde kuzey-güney, doğu- batı doğrultuları bulunur. Merkezden geçen herhangi bir eğimli yüzeyin bu yatay düzlemlerle kesişmesi sonucundaki arakesit doğrusu “doğrultu” olarak adlandırılır ve kuzeyle yaptığı açı ile tanımlanır. Bu düzlemin alt yarı küre ile kesişmesi sonucunda ise bir yarım çember (büyük daire) oluşur. Bu çemberin izi yatay düzleme taşındığında doğrultuyu saran bir yay parçası gözükür. Yay, eğim arttıkça çember görünümünden giderek bir doğru parçasına dönüşür (Şekil 3.1).

Her düzlem, iki farklı vektörel büyüklük ile de gösterilebilir. Bunlar düzlemsel yüzeyin normali ve eğim yönü vektörüdür. Normalin alt yarı küreyi deldiği nokta, o düzlemin kutup noktası (P) ve eğim vektörünün deldiği nokta da eğim noktası olur. Tanım gereği bu iki noktanın yatay düzlemdeki izlerini birleştiren doğru yarım kürenin merkezinden geçer ve doğrultuya dik olur. Lambert projeksiyonu veya Schmidt diyagramı olarak adlandırılan eş alan projeksiyonunda herhangi bir düzlemi tanımlamak için o düzlemin kutbunu, eğim noktasını ya da büyük dairesini bilmek yeterlidir. Çünkü birisi bilindi mi diğerleri kolayca çizilebilir, belirlenebilir.

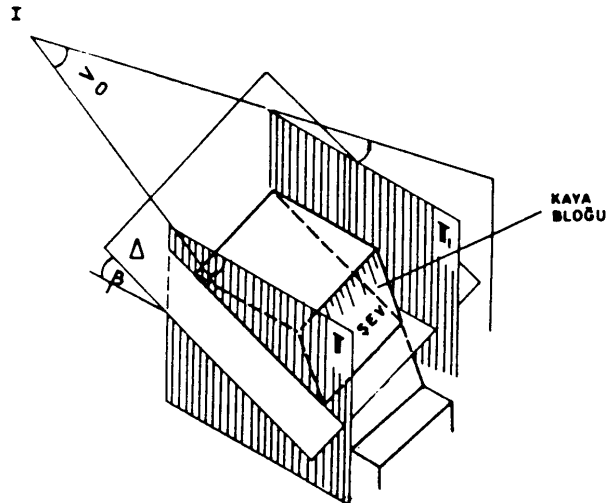


Düzlemsel kayma hareketi, şev dışına eğimli tek bir süreksizlik düzlemi boyunca gerçekleştiğinde blok, birbirleriyle kesişen süreksizlik düzlemlerinin arakesit doğrusu boyunca gerçekleştiğinde ise kama tipi kayma hareketleri söz konusu olmaktadır.



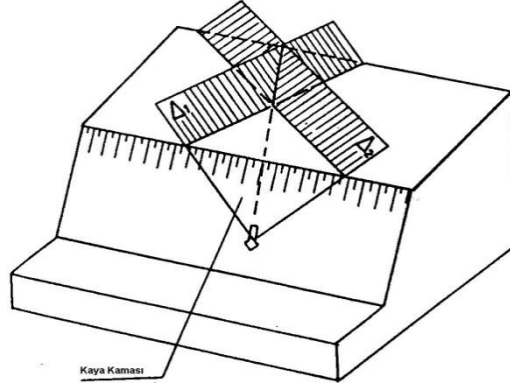
**Şekil 3.2:** Devrilme tipi duraysızlık ve stereografik izdüşümde gösterilişi

Rijit olduğu ve bir eğik süreksizlik düzlemi üzerinde hareket edeceği varsayılan bir kaya bloğunun birbirine paralel olan veya şev dışına doğru açılan iki düşey süreksizlik düzlemi ile kesilerek ana kayadan koparılmış olduğu durumlarda, iki boyutlu (düzlemsel) analizler kullanılabilmektedir. Bu şekilde genelde üstte doğal topoğrafik yüzey ve cephede kazı yüzeyi (şev yüzeyi) ile sınırlanan bu kaya cisimlerine kaya blokları adı verilmektedir (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3:** Blok kaymasının oluşum mekanizması

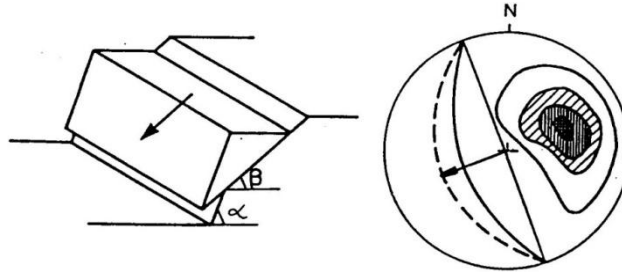
Benzer şekilde, birbirleriyle şev yüzeyi içinde, şev dışına eğimli bir arakesit verecek şekilde kesişen düzlemler arasındaki rijit ve tek parça olarak hareket eden kaya cisimleri de kaya kamaları olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4:** Kama kaymasının oluşum mekanizması

### 3.1.2 Geometrik yöntem ile blok kayması olasılık analizi

$\alpha > \beta$  ise olasılık (geometrik) koşul sağlanmıştır. Bloğun kayma olasılığı vardır.



**Şekil 3.5:** Kaymaya neden olan geometrik koşulların stereonetteki görünümü

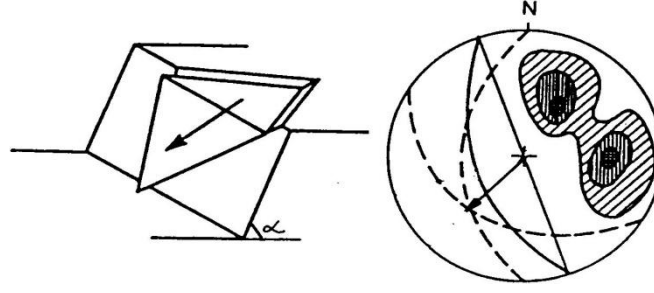
Bir kaya şevinde, şev dışına doğru eğimli olan büyük bir süreksizlik düzlemi üzerinde bulunan bir kaya bloğunun kayma olasılığının olması için süreksizlik düzleminin eğim açısı ( $\beta$ ) nın, şevin eğim açısı ( $\alpha$ ) dan daha küçük olması yani,

$\alpha > \beta$  koşulunun sağlanması gereklidir (Şekil 3.5).

Bu geometrik ilişki stereonet üzerine taşındığında, süreksizlik düzlemi eğim vektörünün, şev büyük dairesinin dışına çıktığı görülür. Buna “Geometrik Koşul” veya “Olasılık Koşulu” adı verilir. Eğer bu koşul sağlanmış ise kuvvetler dengesi (Fellenius Koşulu) irdelenir.

### 3.1.3 Geometrik yöntem ile kama kayması olasılık analizi

$\alpha > \beta_e$  ise olasılık (geometrik) koşul sağlanmıştır. Kamanın kayma olasılığı vardır.



**Şekil 3.6:** Kaymaya neden olan geometrik koşulların stereonetteki görünümü

Bir kaya şevinde, birbirleriyle şev dışına eğimli bir arakesit doğrusu verecek şekilde kesişen iki süreksizlik düzlemi arasında kalan bir kaya kamasının kayma olasılığının bulunabilmesi için süreksizlik düzlemlerinin arakesit doğrultusu boyunca uzanan eğim vektörünün eğimi ( $\beta_e$ ) nin, şev aynasının kayma yönünde ölçülen eğimi ( $\alpha$ ) dan daha küçük olması yani,

$\alpha > \beta_e$  koşulunun (geometrik koşul) sağlanmış olması gerekmektedir (Şekil 3.6).

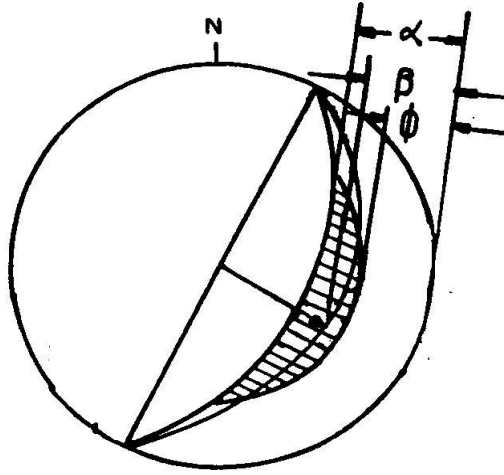
Kayma olasılığına neden olan bu düzlemlerin birbirleriyle ve şev aynasıyla olan geometrik ilişkileri stereonet üzerine taşınıldığında, kesişen süreksizlik düzlemlerinin arakesit doğrultusu boyunca uzanan eğim vektörünün, şev büyük dairesinin dışına çıktığı görülür. Eğer bu koşul sağlanmış ise kuvvetler dengesi (Fellenius Koşulu) araştırılır.

Kaya şevleri duraylılığında etkili olan, süreksizlik düzlemlerinin içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) da stereonet üzerinde gösterilebilmektedir. Stereonet üzerinde, şev düzlemi büyük dairesi ile içsel sürtünme açısı dairesinin arasında sınırlanan alan süreksizliklerin neden olduğu kaya kaymaları için duraylık açısından tehlikeli bölgeyi oluşturmaktadır.

Bir kaya bloğunun, şev dışına doğru eğimli bir süreksizlik üzerinde kayma olasılığının bulunması için, süreksizliğin eğim açısı ( $\beta_{sür}$ ) nın, şevin eğim açısı ( $\beta_{şev}$ ) dan daha küçük ancak üzerinde kaymanın gerçekleştiği süreksizliğin içsel sürtünme açısı ( $\phi_{sür}$ ) dan büyük olması,  $\beta_{şev} > \beta_{sür} > \phi_{sür}$  koşulu gerekmektedir.

Bu durumda, süreksizlik düzlemi eğim vektörü, şev büyük dairesi ile içsel sürtünme açısı dairesi arasında sınırlanan taralı alan içinde yer alacaktır. Taralı alan, kayma yönünden tehlikeli bölgeyi oluşturmaktadır. Bloğun kayma olasılığının bulunabilmesi için süreksizlik düzlemi eğim vektörünün taralı alan içinde bulunması gerekmektedir. Diğer bir değişle,

$\beta_{\text{sev}} > \beta_{\text{sür}} > \phi_{\text{sür}}$  ise kayma olasılığı (geometrik koşul) sağlanmıştır. Bu durumda bloğun kayma olasılığı vardır (Şekil 3.7).



**Şekil 3.7:**  $\alpha > \beta > \phi$  ise olasılık (geometrik) koşulu

Limit denge yöntemi olarak da bilinen analitik yolla blok ve kamaların duraylık analizi yapılabilmekte ve kayma sırasında momentlerin oluşmadığı ve kaymanın Coulomb (1773) yenilme kriterine uygun olarak gerçekleştiği varsayılmaktadır.

Bir kaya şevinde, şev dışına doğru eğimli büyük bir süreksizlik düzlemi üzerinde bulunan bir kaya bloğuna etkiyen kuvvetlerin denge denklemleri yazılarak, kaydırıcı ve tutucu kuvvetler saptanmaktadır.

Böylece Coulomb yenilme kriterine uygun olarak;

$$S = cA + N \tan \phi \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilen tutucu sürtünme kuvveti (S),

$$G_s = \frac{cA + N \tan \phi}{\sum K} \quad (3.2)$$

oranı ile tanımlanan Fellenius güvenlik sayısını (GS) verecek şekilde, harekete geçirici toplam kuvvetlere ( $\sum K$ ) karşılaştırılmaktadır.

$GS=1$  yani  $S=\sum K$  olması durumunda limit denge hali söz konusu olmakta,  $GS<1$  olması durumunda kayma hareketi gerçekleşmektedir. Sistemin duraylı ve güvenli olabilmesi için  $GS>1$  koşulu sağlanmış olmalıdır.

Yukarıdaki bağıntılarda;

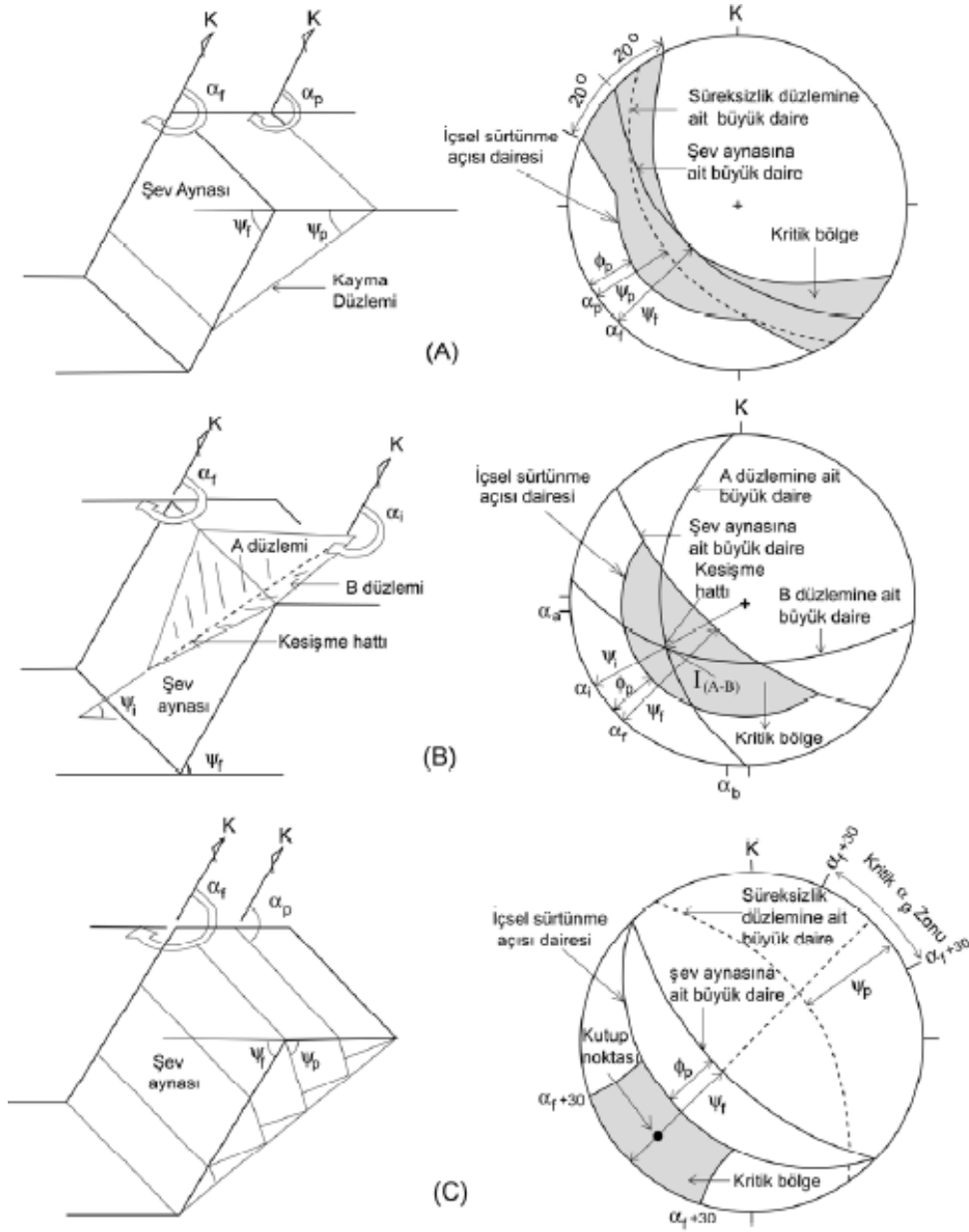
$c$  ve  $\phi$ : Kayma yüzeyini oluşturan süreksizlik düzleminin mekanik parametreleri ( $c$ =kohezyon ve  $\phi$ =içsel sürtünme açısı).

A: Kayan bloğun taban alanı.

N: Blok ağırlığından kaynaklanan normal kuvvettir.

Kesişen iki süreksizlik düzlemi arasında kalan kaya kamalarının duraylık analizlerinde ise, blok kaymalarındakine benzer şekilde iki düzlemsel yüzey üzerindeki kaymanın analizi yapılmaktadır. Basitleştirilmiş varsayımlarda her iki süreksizliğe ait mekanik parametrelerin ( $c$  ve  $\phi$ ) aynı olduğu düşünülmektedir. Kaya şevlerinde duraylık analizleri, stereografik izdüşüm yöntemiyle 3-boyutlu olarak incelenebilmektedir.

Bu yolla şev duraylığında etkili olan kayaların içerdiği süreksizlik düzlemleri küresel projeksiyonlarda gösterilebilmekte, birbirinden farklı doğrultulu ve eğimlerdeki düzlemlerinin birbirleriyle ve şev düzlemi ile olan geometrik ilişkileri ortaya konulabilmekte ve böylece ayrıntılı analizlerinin yapılması gereken kritik şevler belirlenebilmektedir.



**Şekil 3.8:** Duraysızlıkların oluşabilmesi için gerekli olan geometrik koşullar

### 3.1.4 Duraysızlık türlerinin gelişebileceği değerlerin stereografik izdüşüm yöntemiyle hesaplanması

Düzlemsel kayma, kaya şevlerinde bir süreksizlik düzlemine bağlı olarak gelişen bir yenilme türüdür. Düzlemsel kaymanın oluşabilmesi için birçok geometrik koşulun bir araya gelmesi gerekmektedir (Şekil 3.8).

Bu koşullar,

şevin eğim açısının ( $\beta_{şev}$ ) süreksizliğin eğim açısından büyük, süreksizliğin eğim açısının ( $\beta_{sür}$ ) da süreksizliğin içsel sürtünme açısından ( $\phi_{sür}$ ) büyük olması,

$$(\beta_{\text{şev}}) > (\beta_{\text{sür}}) > (\phi_{\text{sür}})$$

Şevin eğim yönü açısı ile süreksizliğin eğim yönü açısı arasındaki farkın genelde  $+20^\circ$ ,  $-20^\circ$  den büyük olmaması,

Kayan kütlelerin iki tarafında yenilmeye karşı çok az direnç gösteren yan yüzeylerin bulunmasıdır. Kama türü duraysızlık, kesişen iki süreksizlik düzleminin oluşturduğu kamanın, bu kesişme doğrusu boyunca kayması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Ancak kaya kütlelerinde kesişen süreksizliklerin varlığı her zaman kama türü duraysızlığa neden olmaz. Duraysızlığın oluşabilmesi için süreksizliklerin kesişme noktasının stereografik izdüşümde içsel sürtünme açısı dairesi ile şev düzlemine ait büyük daire arasında kalan kritik bölgeye düşmesi gerekmektedir (Şekil 3.9-10).

Kesişme noktasının kritik bölgeye düşmesi, kama türü duraysızlık için gerekli olan kesişme noktasının dalım açısının  $(\delta_{\text{kes}})$ şevin eğim açısından  $(\beta_{\text{şev}})$  küçük olması koşulunu da sağlamış olacaktır.

$$(\beta_{\text{şev}}) > (\delta_{\text{kes}})$$

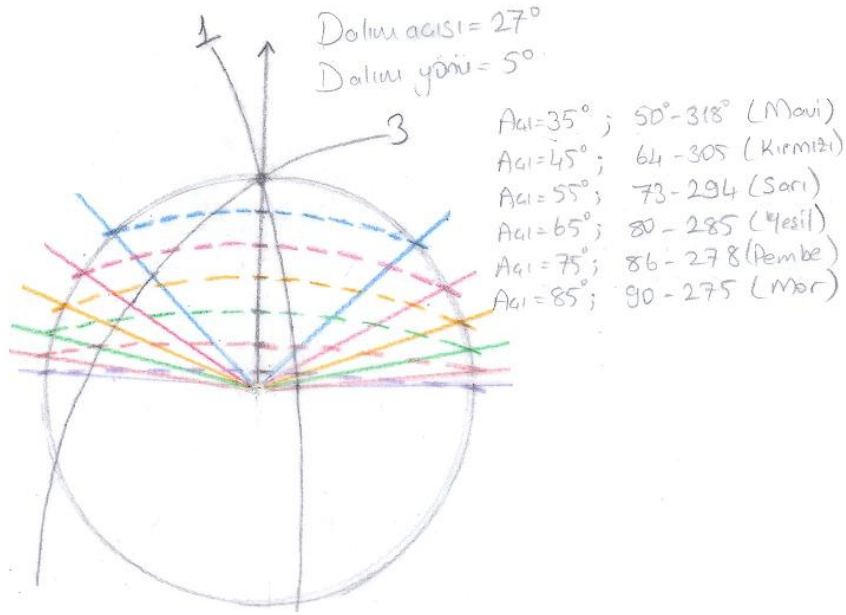
Devrilme türü duraysızlık, şev eğim yönünün tersi yönde eğimli ve yüksek devamlılığa sahip süreksizlikler boyunca oluşabilmektedir

Devrilme türü duraysızlığın oluşabilmesi için;

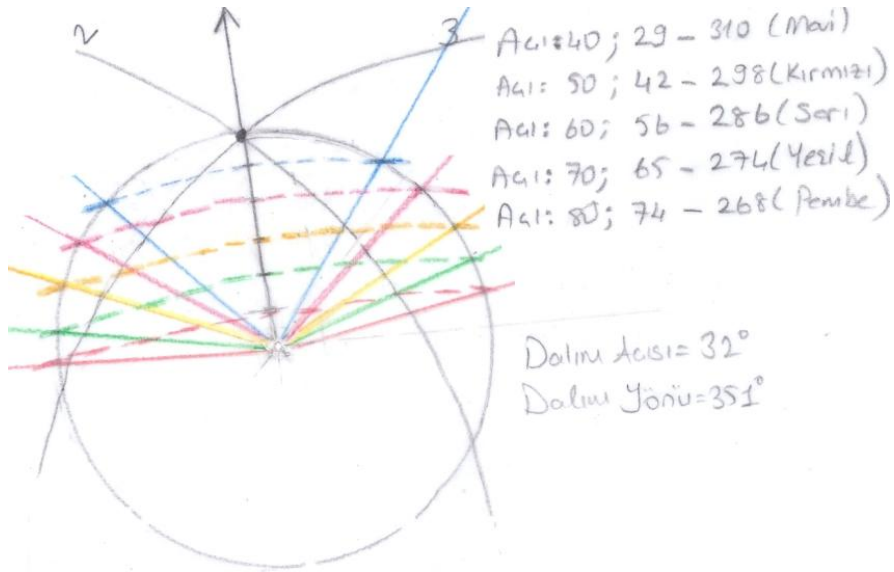
$$a) (90 - \beta_{\text{sür}}) + (\phi_{\text{sür}}) < (\beta_{\text{şev}}) \quad (3.3)$$

$$b) \alpha_{\text{sür}} = (\alpha_{\text{şev}} + 180) + 30^\circ \quad (3.4)$$

Koşullarının sağlanması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, süreksizliğin eğim yönünün  $(\alpha_{\text{sür}})$  şevin eğim yönüne  $(\alpha_{\text{şev}})$  zıt yönde olması gerektiğidir.



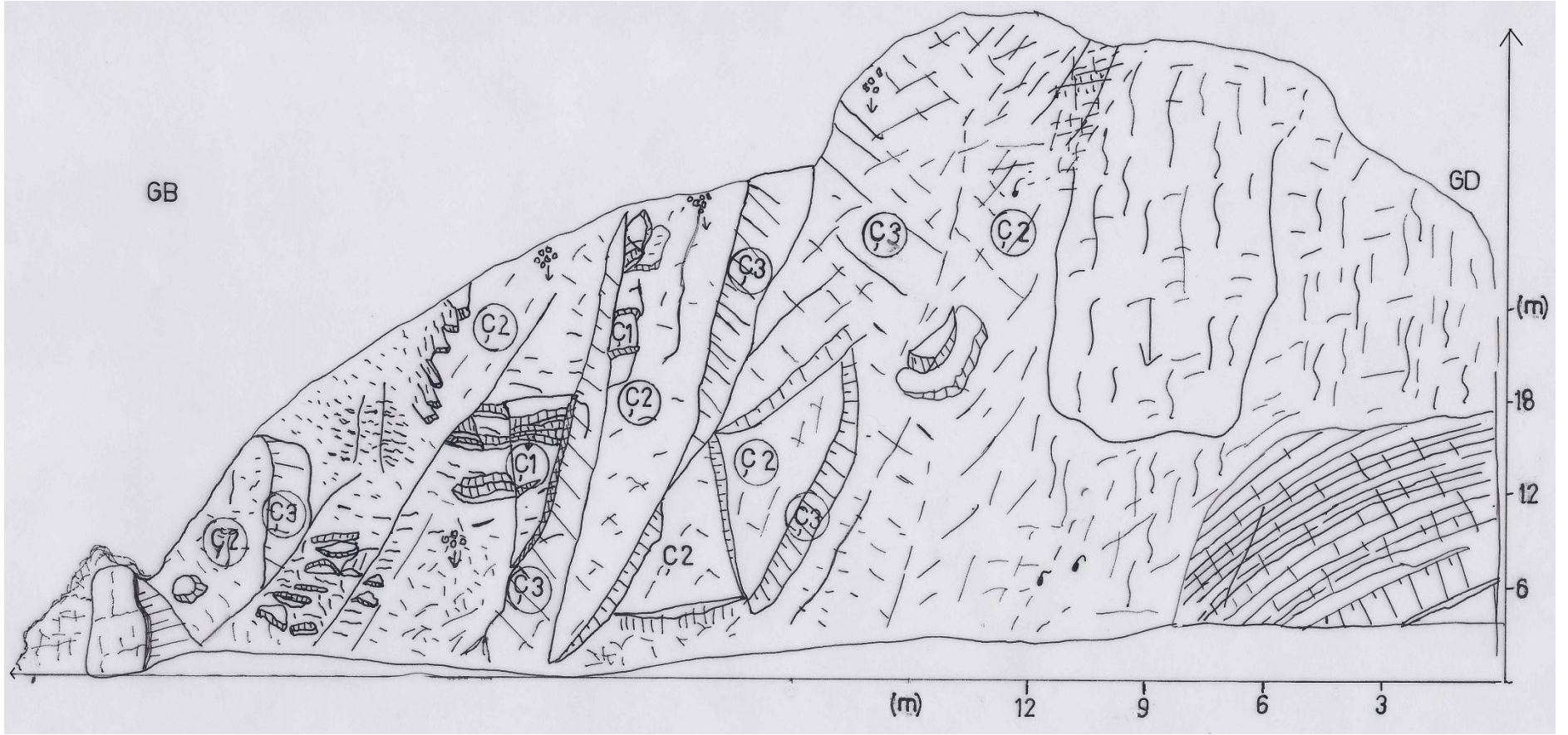
**Şekil 3.9:** 1 ve 3 nolu süreksizliklerin kama kayması oluşturan değerleri



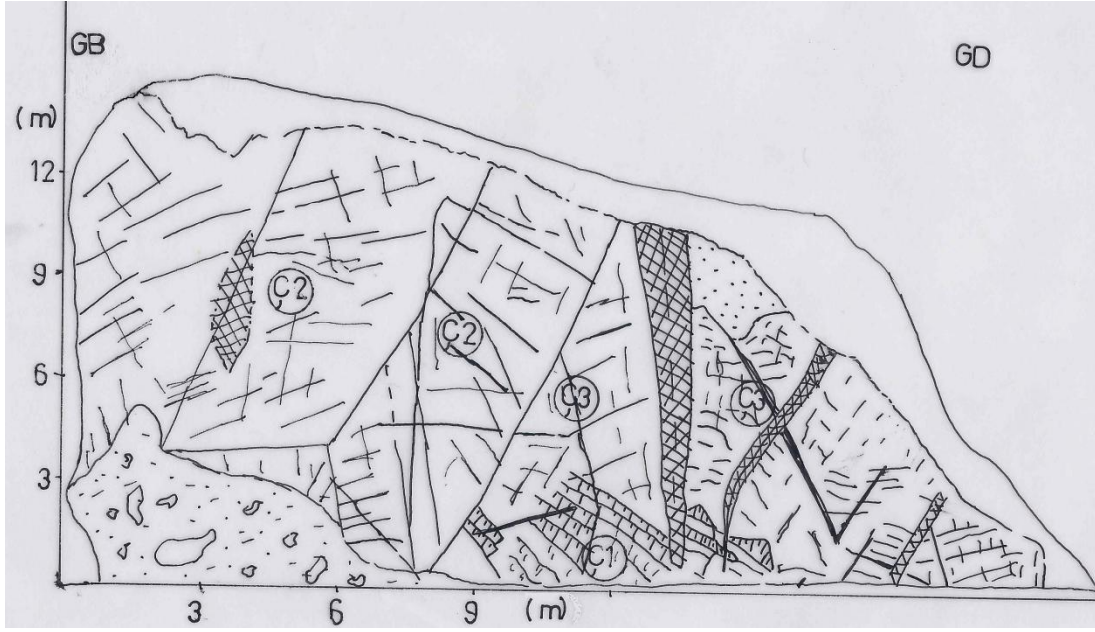
**Şekil 3.10:** 1 ve 3 nolu süreksizliklerin kama kayması oluşturan değerleri

### 3.2 Süreksizliklerin Analizi

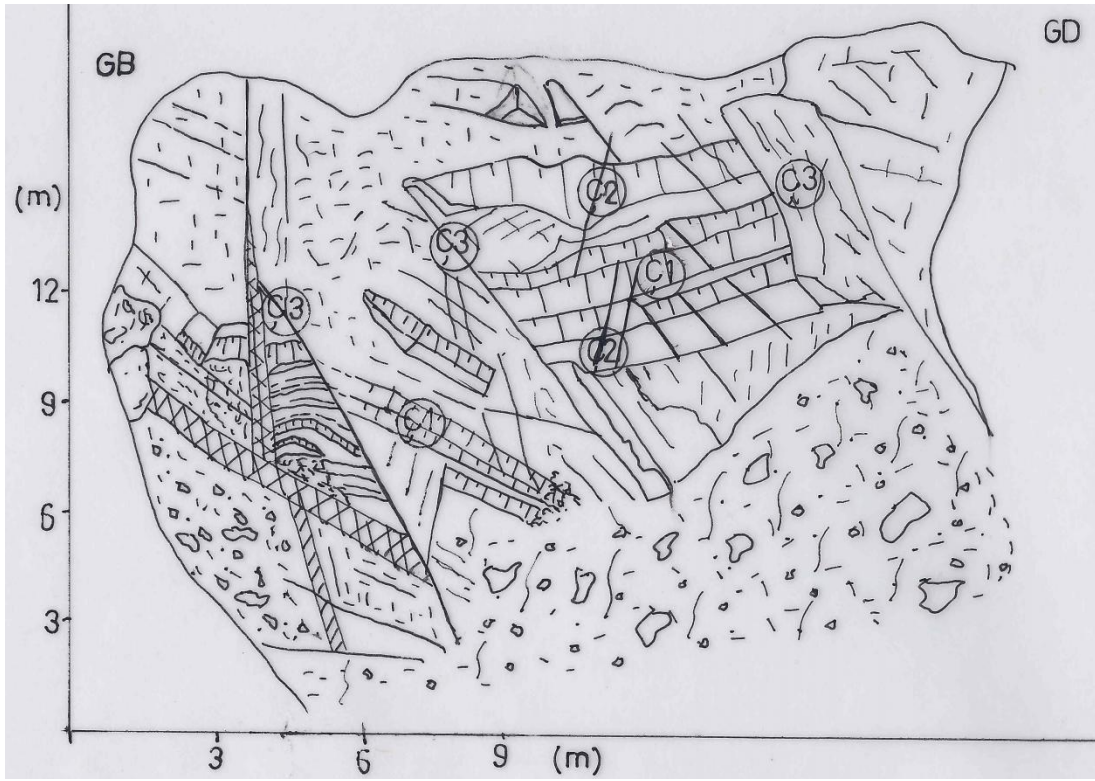
Üretim şevlerinin sahip olduğu süreksizlikler, pusula yardımıyla ölçülüp her bölge için ölçülen değerler ayrı ayrı not edilmiş ve Dips programı yardımıyla, süreksizlik takımları elde edilmiştir. Süreksizlik verilerinin şev yüzeyindeki konumlarını daha detaylı irdeleyebilmek için şev yüzeylerinin mühendislik jeolojisi krokileri yapılmıştır (Şekil3.11-12-13).



Şekil 3.11: 4-5. bölgenin mühendislik jeolojisi krokisi



Şekil 3.12: 3-2. bölgenin mühendislik jeolojisi krokisi



Şekil 3.13: 3-1. bölgenin mühendislik jeolojisi krokisi

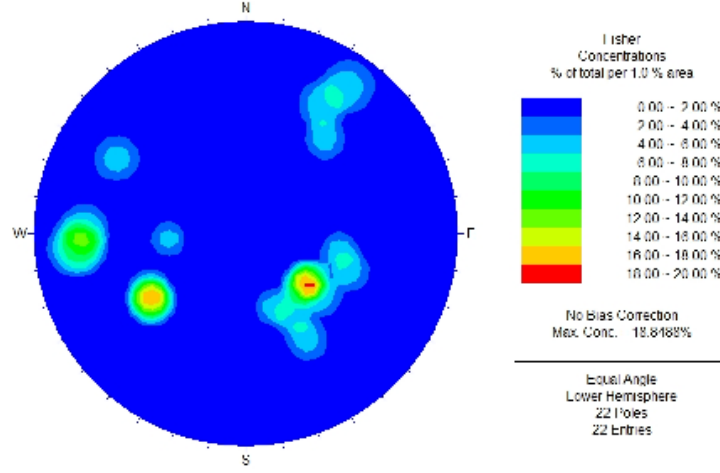
Ölçümlerde, 3 süreksizlik takımı belirlenmiştir (Şekil 3.14).

Bunlar,

1 nolu süreksizlik = 76/85

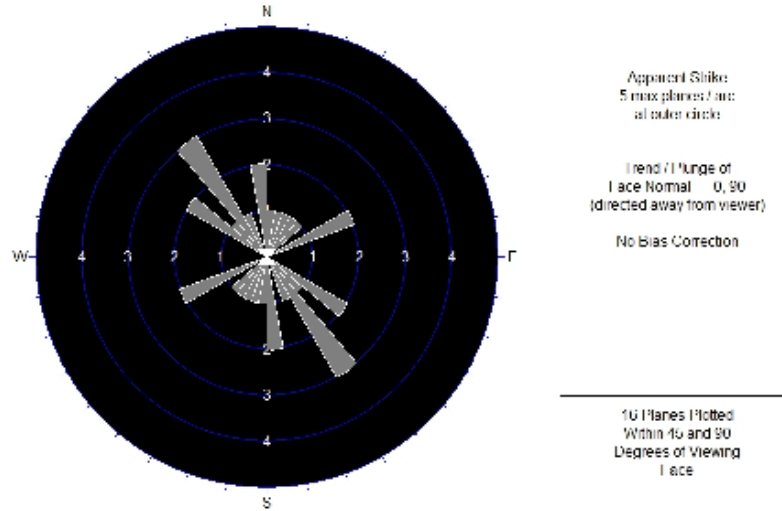
2 nolu süreksizlik = 57/54

3 nolu süreksizlik = 43/308 konumundadırlar.

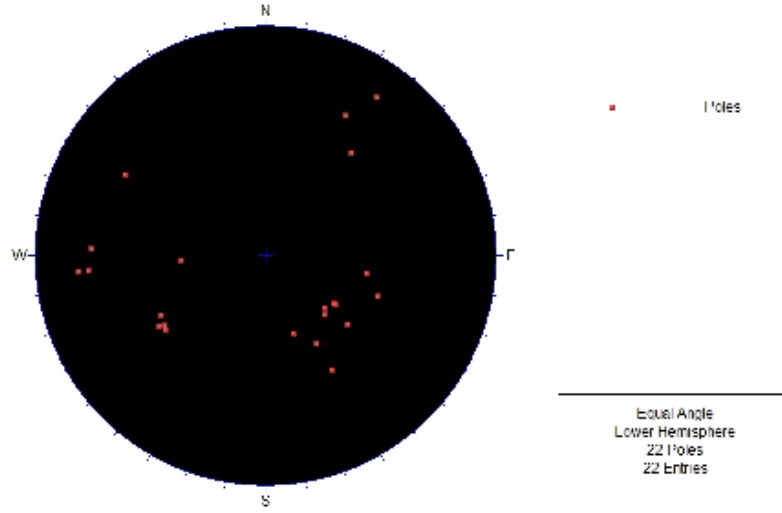


Şekil 3.14: Süreksizliklerin yoğunlaştığı noktalar

Gül diyagramına göre, K 30-40 B, K 0-10 B, K 50-60 B ve K60-70D doğrultu aralıklarında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Süreksizlik verilerine ait gül diyagramı



**Şekil 3.16:** Arazide ölçülen süreksizliklerin kutup noktaları

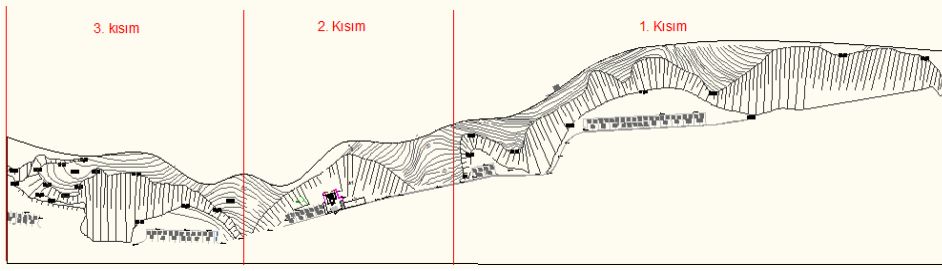
Bu süreksizlik verileri kullanılarak duraysızlık türlerinin gerçekleşebilmesi için gerekli olan şev eğimi ve eğim yönü hesaplanmış ve bulunan değerler Çizelge 3.1’de belirtilmiştir. Bu değerler, şevlerde ki farklı duraysızlık türlerinin oluşabilmesi için gerekli olan eğim ve yönlerini gösterecek şekilde derlenmiştir.

**Çizelge 3.1:** Duraysızlık türlerinin gelişebileceği eğim ve eğim yönleri

| DÜZLEMSEL KAYMA            |                              |                                           |                                                                            |                                                          |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Eklem Seti No              | Eklem Yönelimi               | Duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimi |                                                                            |                                                          |
|                            |                              | Eğim (°)                                  | Eğim Yönü                                                                  |                                                          |
| 1                          | 76/85                        | >76                                       | 65-105                                                                     |                                                          |
| 2                          | 57/54                        | >57                                       | 34-74                                                                      |                                                          |
| 3                          | 43/308                       | >43                                       | 288-328                                                                    |                                                          |
| KAMA TÜRÜ DURAYSIZLIK      |                              |                                           |                                                                            |                                                          |
| Kesişme hattı              | Kesişme hattının dalım açısı | Kesişme hattının dalım yönü               | Duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimi                                  |                                                          |
|                            |                              |                                           | Eğim (°)                                                                   | Eğim Yönü                                                |
| I(1-2)                     | -                            | -                                         | -                                                                          | -                                                        |
| I(1-3)                     | 27                           | 5                                         | (35)30-40<br>(45)40-50<br>(55)50-60<br>(65)60-70<br>(75)70-80<br>(85)80-90 | 50-318<br>64-305<br>73-294<br>80-285<br>86-278<br>90-275 |
| I(2-3)                     | 32                           | 351                                       | (40) 35-45<br>(50)45-55<br>(60)55-65<br>(70)65-75<br>(80)75-85             | 29-310<br>42-298<br>56-286<br>65-274<br>74-268           |
| DEVİRİLME TÜRÜ DURAYSIZLIK |                              |                                           |                                                                            |                                                          |
| Eklem Seti No              | Eklem Yönelimi               | Duraysızlığın gelişebileceği şev yönelimi |                                                                            |                                                          |
|                            |                              | Eğim                                      | Eğim Yönü                                                                  |                                                          |
| 1                          | 76/85                        | >51                                       | 295-235                                                                    |                                                          |
| 2                          | 57/54                        | >70                                       | 264-204                                                                    |                                                          |
| 3                          | 43/308                       | >84                                       | 158-98                                                                     |                                                          |

### 3.3 Risk Haritalarının Hazırlanması

Eski taşocağının çıplak kaya yüzeyleri çalışma ve değerlendirme kolaylığı sağlamak üzere 3 kısma ayrılarak incelenmiştir (Şekil 3.17).

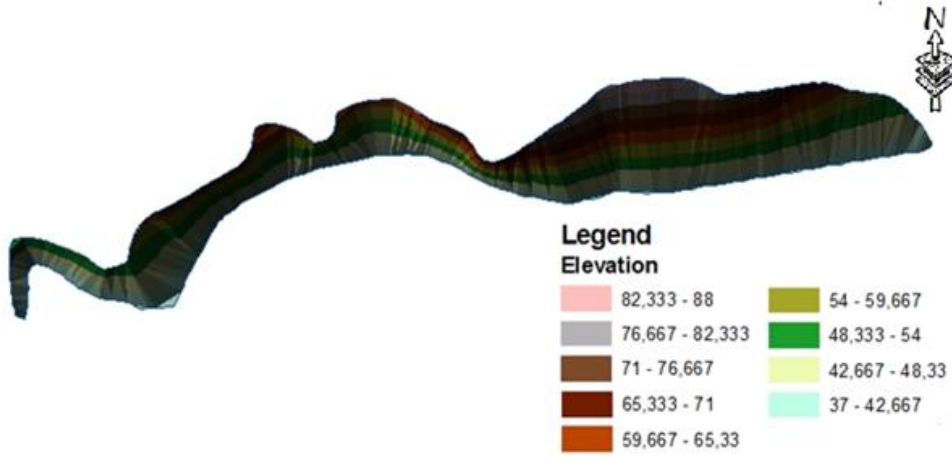


**Şekil 3.17:** Analiz kolaylığı açısından ayrılan çalışma alanları

### 3.3.1 1. Kısımda yapılan analizler

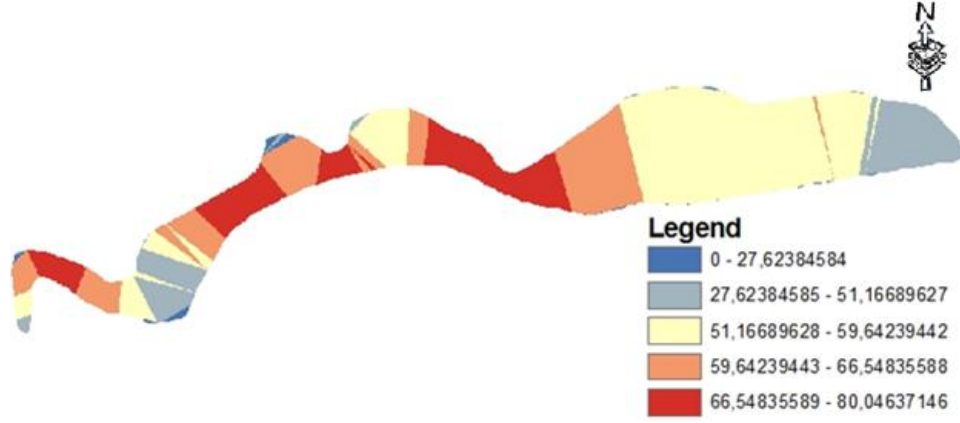
Şevler hakkında gerekli analizlerin yapılabilmesi için o şeve ait yüzeyin mühendislik açıdan sayısallaştırılması gerekmektedir. Sayısallaştırma işlemleri kapsamında, o şeve ait eğim, bakı, yükseklik ve kontur haritaları yer almaktadır.

a)1.kısım yükseklik haritası: Şev yüksekliği en fazla 82m kotuna çıkmaktadır. Çalışılan alanlar arasında en yüksek kot 1.kısımda yer almaktadır (Şekil 3.18).



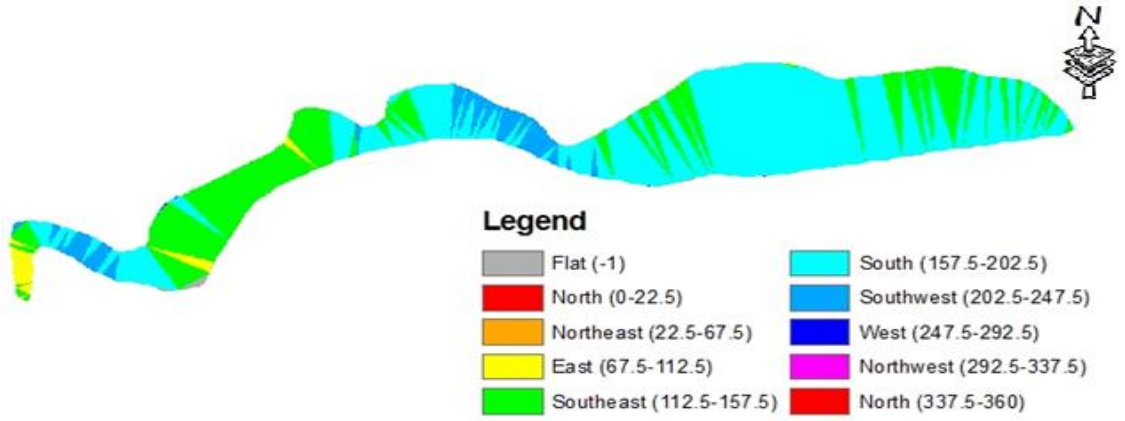
**Şekil 3.18:** 1.kısım yükseklik haritası

b)1. kısım eğim haritası: Şev eğimi, şev yüzeyinin yatay düzlemle yaptığı açıdır. Şekilden de anlaşıldığı gibi uygulama yapılan bölgelerde şev eğimi 66° ve üzerindedir (Şekil 3.19).



**Şekil 3.19:** 1 kısım eğim haritası

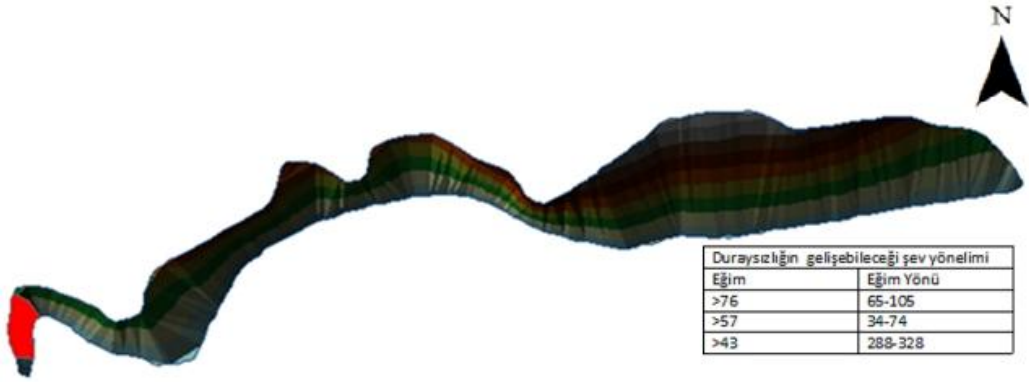
c)1. kısım bakı haritası: Bakı, şevin eğim yönünün kuzeyle yaptığı açıdır. Şekilden de anlaşıldığı gibi, şevlerdeki bakı değerleri büyük çoğunlukla güney ve güneydoğuya yönelimlidir (Şekil 3.20).



**Şekil 3.20:** 1.kısım bakı haritası

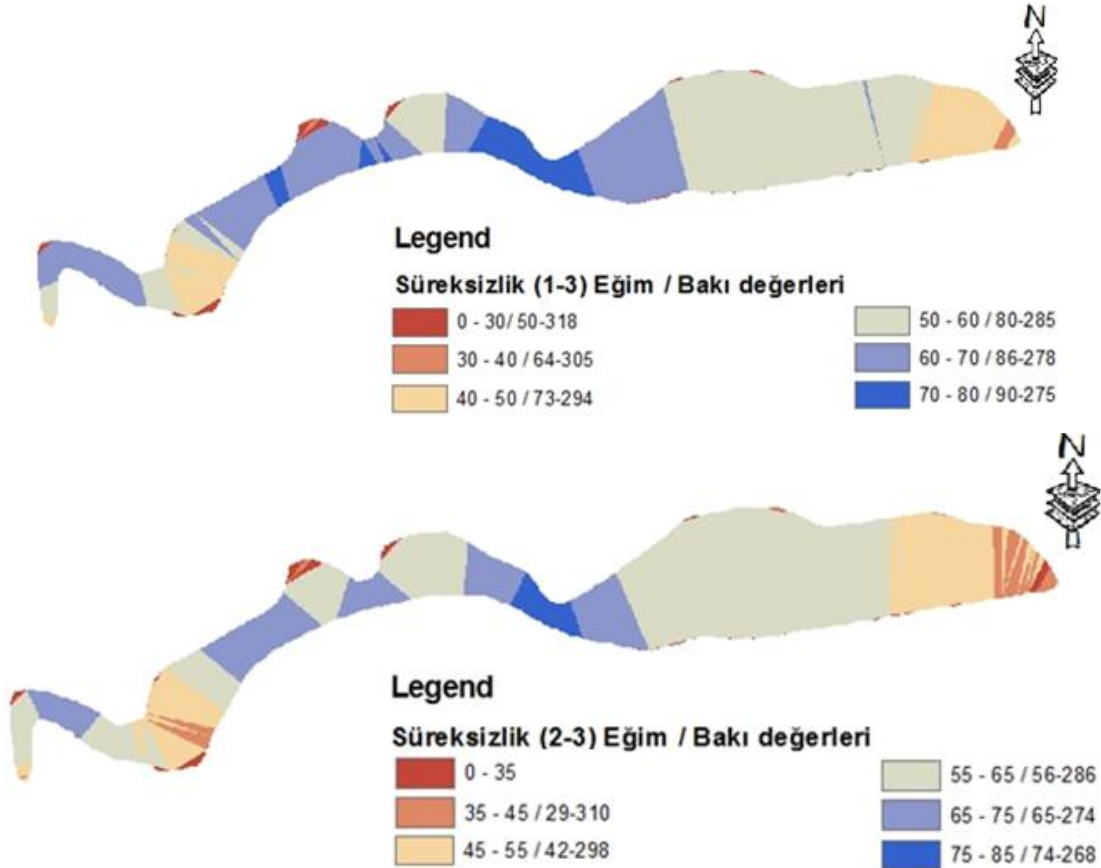
Bu sonuçlarla, analiz kolaylığı açısından 3 kısma ayırdığımız şevlerden, 1. kısımda oluşabilecek düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların gelişebileceği alanların analizleri yapılmıştır. Analizlerde şev yüzeyinde duraysızlığın oluşabileceği alanlar farklı renklerle gösterilmiştir.

d)Bölgede hakim olan üç süreksizlik takımının, düzlemsel kaymaya neden olabileceği alan şekilde kırmızı alandır. Burdan çıkarılan sonuç bölgedeki süreksizliklerin konumu, düzlemsel kaymanın oluşabilmesi için uygun değildir (Şekil 3.21).



**Şekil 3.21:** 1 Kısımda düzlemsel kaymanın oluşabileceği alanlar

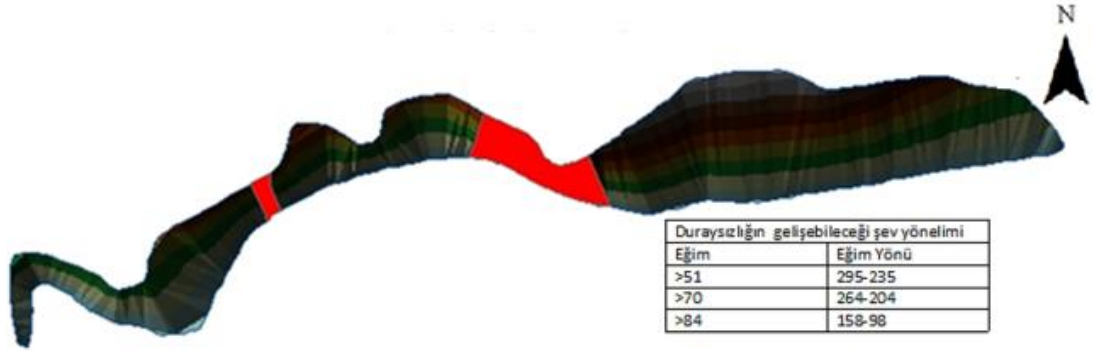
e)1-3 ve 2-3 no’lu süreksizliklerin, kama kayması oluşturabileceği alanlar yapılan analiz sonucunda belirlenmiştir. Sonuç olarak anlaşıyor ki, bütün şev yüzeyinde kama kayması oluşabilme olasılığı yüksektir. Arazideki gözlemlerimiz de, bu sonucu doğrulamaktadır. Çünkü, arazide gördüğümüz süreksizliklerin konumları, birbirleriyle 80-83° ‘lik bir açıyla kama oluşturacak şekilde kesismektedirler (Şekil 3.22).



**Şekil 3.22:** 1.Kısımda kama kaymasının oluşabileceği alanlar

f)Bölgede hakim olan üç süreksizlik takımının, devrilme türü duraysızlığa sebep olabileceği alanlar kırmızı renkle gösterilen alanlardır. Sonuç olarak anlayabiliyoruz

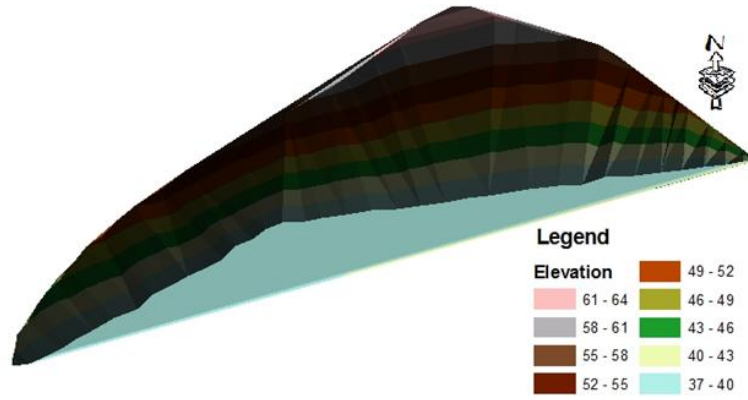
ki, 2. Bölge olarak ayırdığımız şev yüzeyinde devrilme türü duraysızlığın oluşma olasılığı vardır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23: 1Kısımda devrilme türü duraysızlığın gelişebileceği alanlar

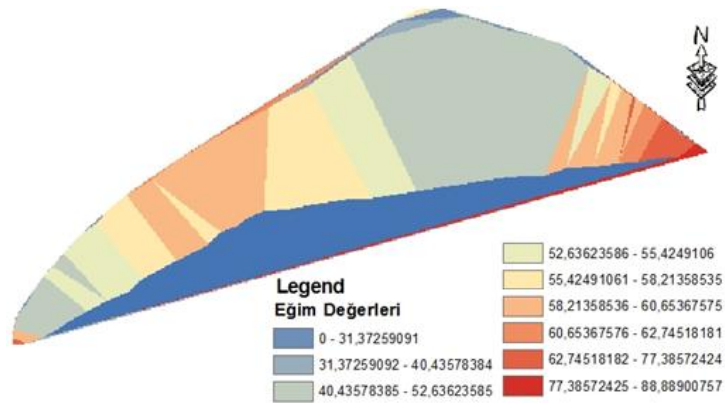
### 3.3.2 2. Kısımda yapılan analizler

a) Yükseklik haritası: Şev yüksekliği bu kısımda 65 m'dir (Şekil 3.24).



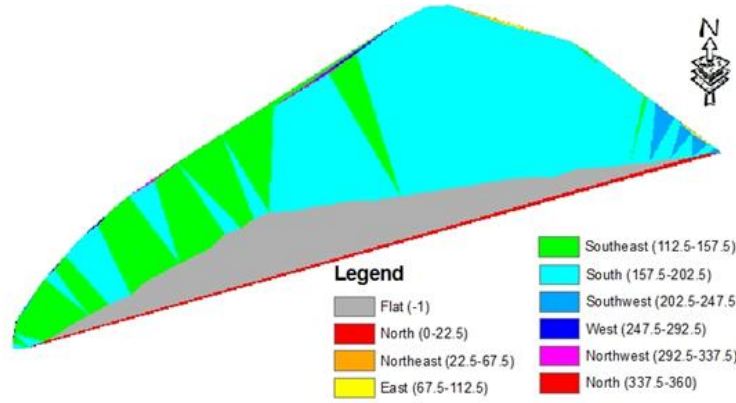
Şekil 3.24: 2. Kısım yükseklik haritası

b) Eğim haritası: Şekil 3.25 de görüldüğü gibi şev yüzeyi ağırlıklı olarak 55°-60° arasındadır.



Şekil 3.25: 2. Kısım eğim haritası

c) Bakı haritası: Bakı değerleri, 1. kısımda da olduğu gibi tümüyle güney ve güneybatıya eğilimlidir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: 2. Kısım bakı haritası

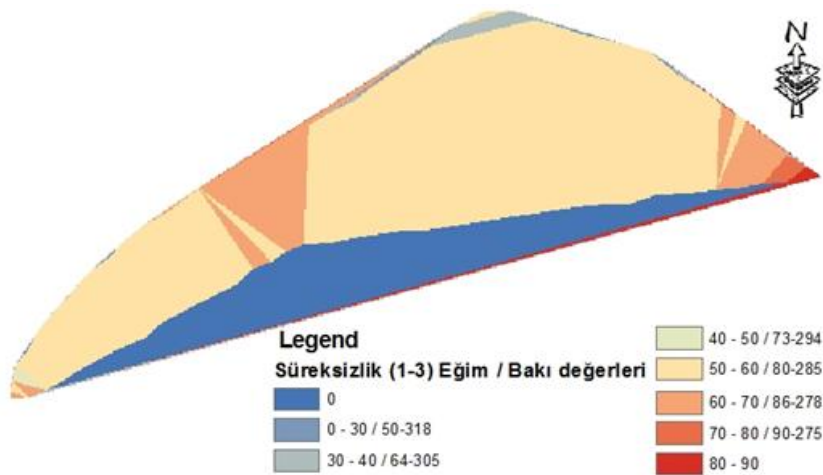
d) Düzlemsel kayma analizi

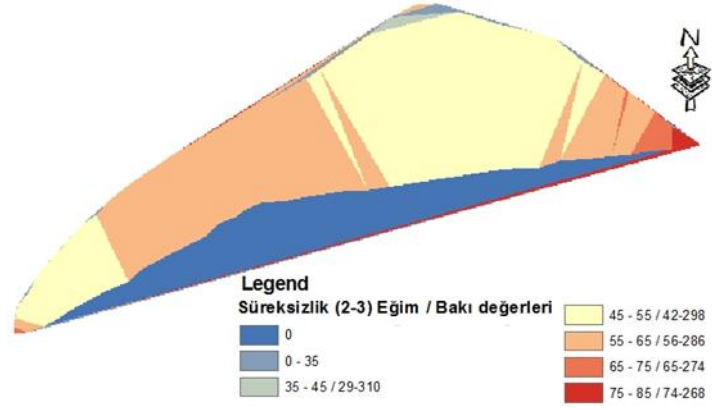
Analizi yapılan şev yüzeyindeki süreksizlikler düzlemsel kaymanın oluşabileceği konumda değildir.

e) Devrilme analizi

Analizi yapılan şev yüzeyinde, devrilme tipi duraysızlık oluşabilmesi için gerekli koşullar mevcut değildir. 1. kısımda devrilme türü duraysızlık oluşmayacaktır.

f) 1-3 ve 2-3 nolu süreksizliklerin, kama kayması oluşturabileceği alanlar bütün şev yüzeyi olarak ifade edilebilir. Bu kısımda, süreksizliklerin yönelimleri birbirlerini belirli bir açıyla keserek kama türü bloklar oluşturabilecek şekildedir. Örnek olarak, asansör arkasındaki, 2 farklı süreksizliğin kesişerek oluşturduğu kama kayması verilebilir (Şekil 3.27).

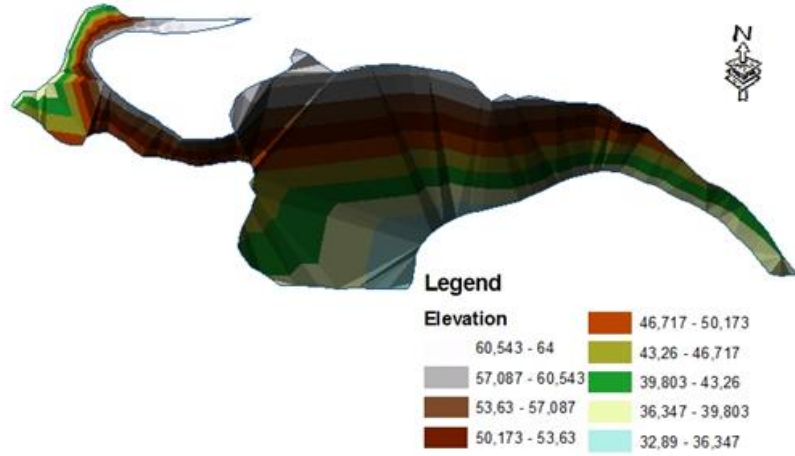




Şekil 3.27: 2. Kısım kama kaymasının oluşabileceği alanlar

### 3.3.3 3. Kısımda yapılan analizler

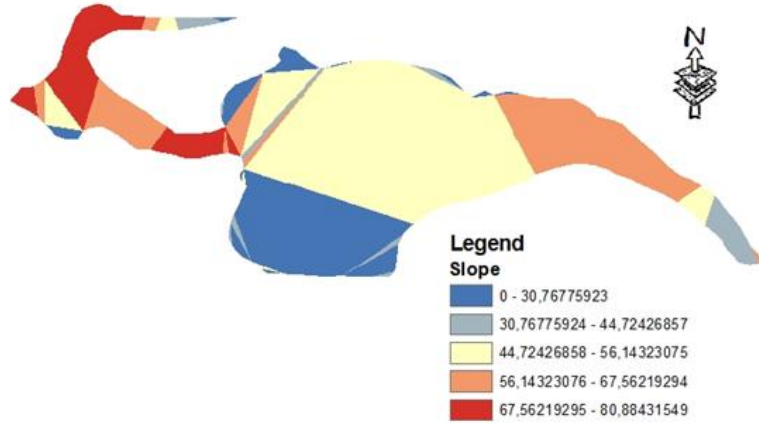
a)Yükseklik haritası: Bu kısımda şev yüksekliği, 55-60 m arasındadır.(Şekil 3.28).



Şekil 3.28: 3. Kısım yükseklik haritası

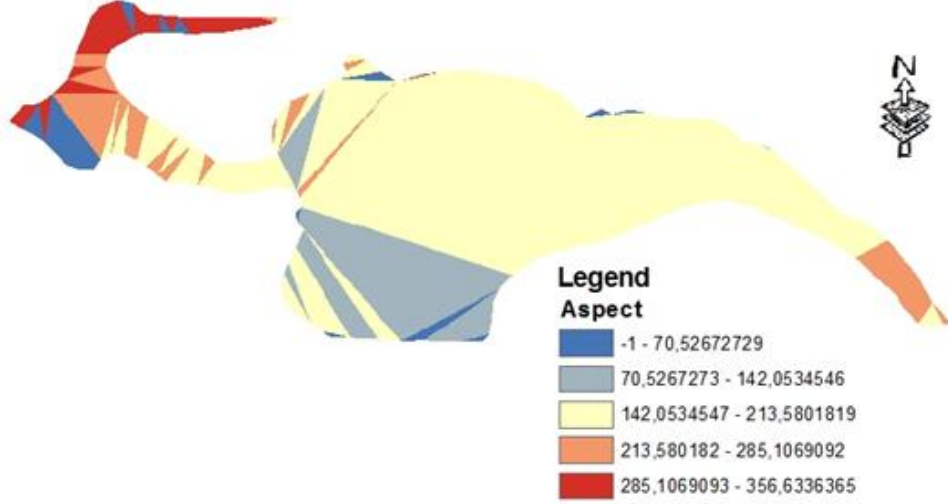
b)Eğim haritası: Sonuca göre, bu kısımda şev eğimi genellikle 45-65° arasındadır.

Çalışma alanında, uygulama yapılan şev yüzeyleri ortalama 55°'dir (Şekil 3.29).



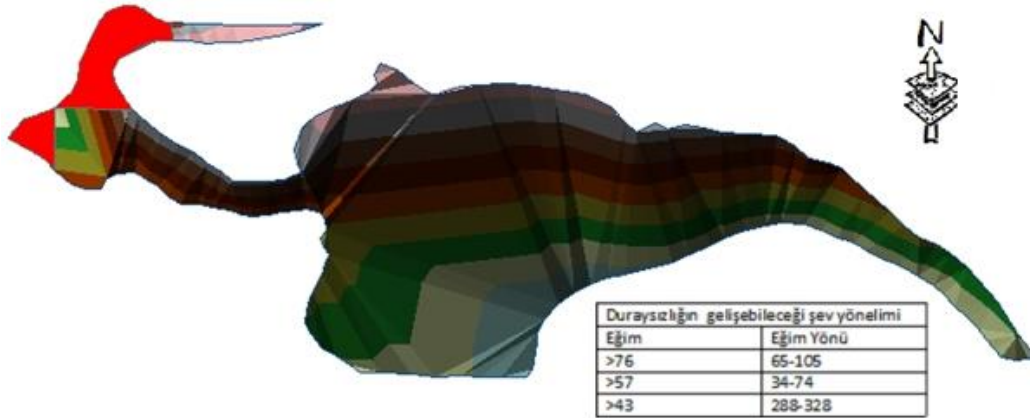
Şekil 3.29: 3. Kısım eğim haritası

c)Bakı haritası: Bu kısımdaki şev yönelimleri analiz sonucuna göre, güney ve güneybatıya yönelimlidir. Eğim ve bakı haritalarının üst üste çakıştırılması ile örtüşen değer aralık alanları bize o deformasyonun nerede oluşabileceğini gösterecektir (Şekil 3.30).



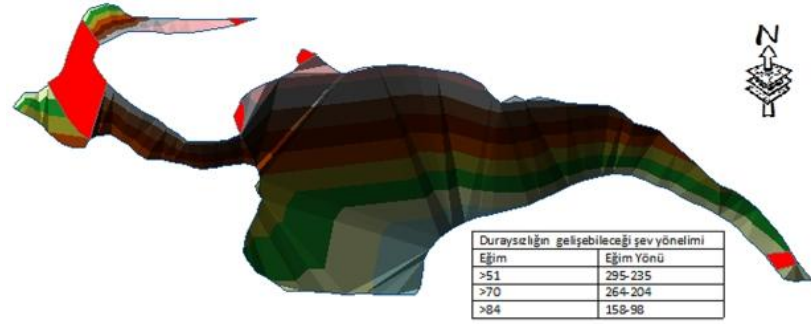
**Şekil 3.30:** 3. Kısım bakı haritası

d)Düzlemsel kayma analizi sonucuna göre, bu tür kaymanın oluşabilmesi için gerekli şartlar sağlanmamaktadır. Analiz sonucuna göre, düzlemsel kaymanın oluşabileceği yerler genellikle eğimin yüksek ve şevin kuzeybatıya eğimli olduğu yerlerdir (Şekil 3.31).



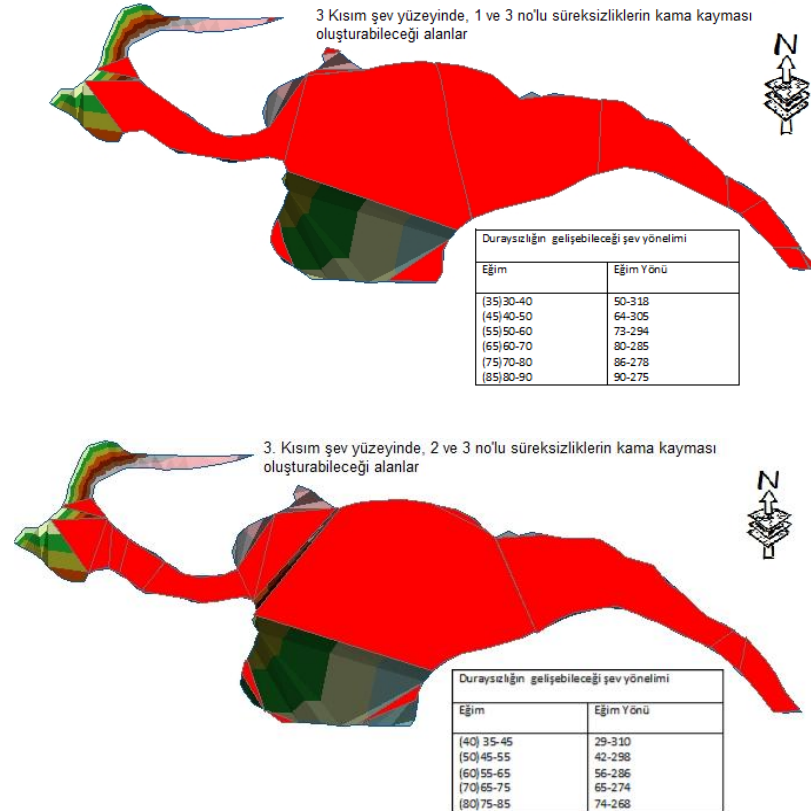
**Şekil 3.31:** 3.Kısım düzlemsel kaymanın oluşabileceği alanlar

e)Devrilme tipi düzensizlik analizi sonucu, bu tür bir düzensizliğin oluşabileceği alanlar genellikle, şev eğiminin yüksek ve kuzeybatıya eğimli olduğu alanlardır (Şekil 3.32).



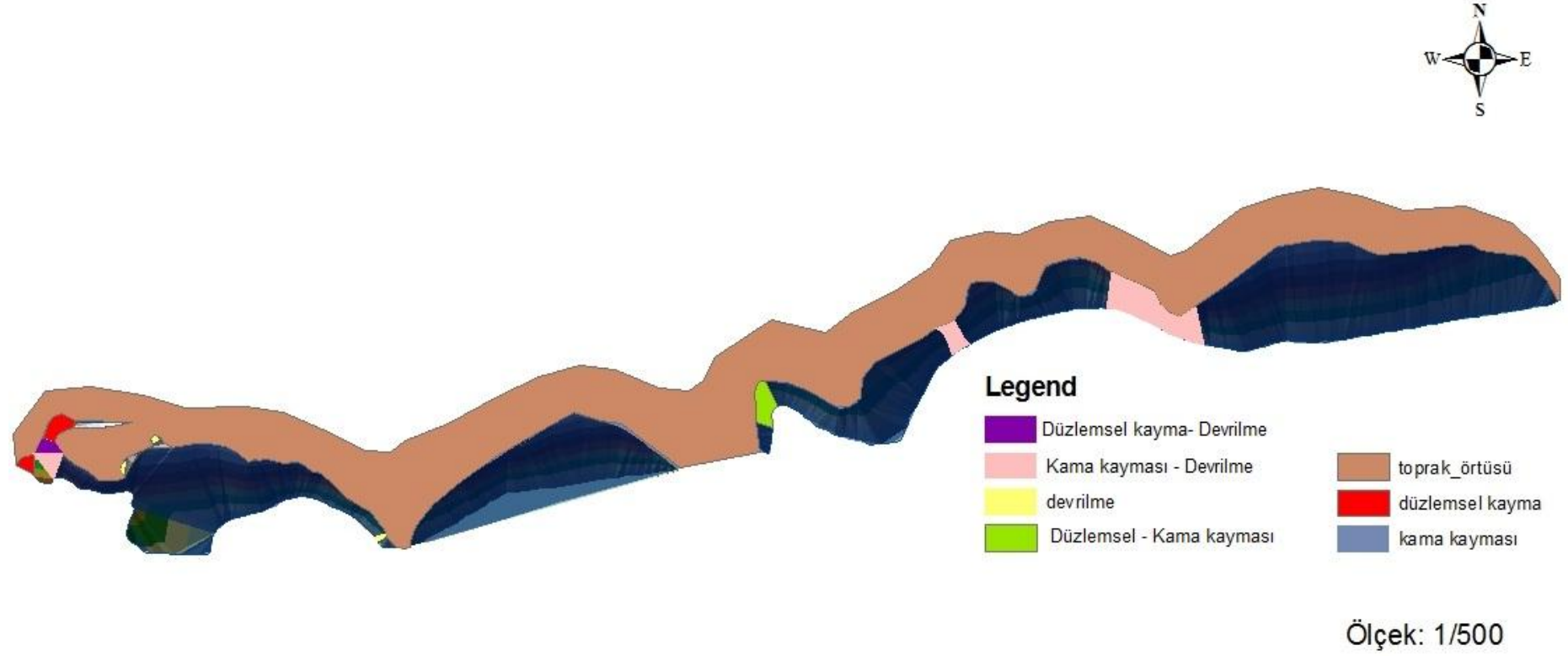
**Şekil 3.32:** 3. Kısım devrilme tipi duraysızlığın gelişebileceği alanlar

f)Kama kayması analizi: 1-3 ve 2-3 nolu süreksizliklerin, kama kayması oluşturabileceği alanlar kırmızı renkle gösterilmiştir. Şekil 3.33’de görüldüğü gibi 2 farklı süreksizliğin yaklaşık 80-83°’lik bir açıyla kesişmesiyle, kama kayması oluşabilecek alanlar neredeyse tüm şev yüzeyini kaplamaktadır. Şekil 3.33 ‘deki tabloda verilen eğim ve bakı değerlerinin şev yüzeyine işlenerek kesiştikleri alanlar bulunmuş ve bu alanlar kama kaymasının olabileceği alanlar olarak belirtilmiştir. Bu sonuç arazi gözlemimize de uymaktadır. Arazide de, süreksizlikler sistemli bir yapıya sahip olup birbirlerini belirli bir açıyla kesecek şekilde konumlanmıştır. Şekil 3.34 de verilen karar haritasında toplu analizlerin sonuçları gösterilmiştir.



**Şekil 3.33:** 3.Kısım kama kaymasının gelişebileceği alanlar

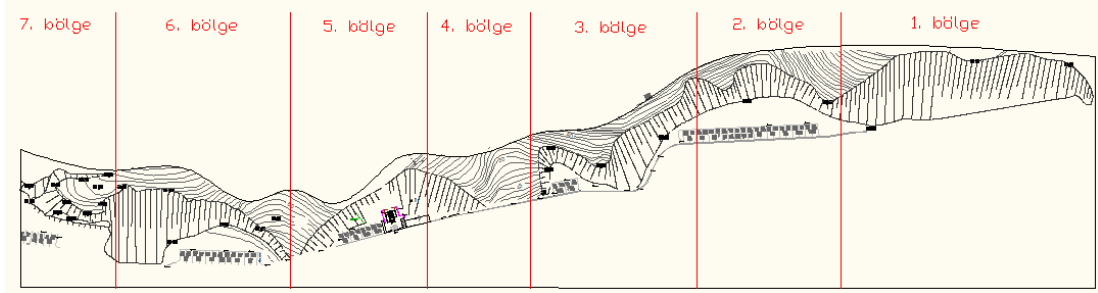
### KAMA, DEVRİLME ve DÜZLEMSEL KAYMANIN GELİŞEBİLECEĞİ ALANLAR



Şekil 3.34: Çalışma alanında oluşabilecek deformasyonlara ait karar haritası

#### 4. ÇALIŞMA BÖLGELERİ VE BAŞLICA UYGULAMALAR

Proje konusu alan 7 (yedi) bölgeye ayrılarak çalışılmıştır (Şekil 4.1). Bu 7 bölge mevcut kaya şevlerinin çalışma ve uygulamadaki benzerlikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur (EK A.2).



**Şekil 4.1:** Şev yüzeyinin bölgelendirilmesi

Uygulamalar için açıklamalı eskizler verilmiştir. Uygulamalar sırasında gerekli uyarılar ve yönlendirici talimatlarla nitelikli imalatın yapılması sağlanmıştır. Eskizler, bölge bölge ayrılarak EK B.1'de belirtilmiştir.

Uygulamaya ilk olarak 5. bölgeden (Asansör arkası) başlanması uygun görülmüştür. Bunun nedeni, 5. bölgenin diğer bölgelere göre daha riskli olması ve burada daha zaman alıcı, ayrıntılı ve yoğun uygulamalara ihtiyaç duyulmasıdır. Uygulamalara 4. bölge ile devam edilmiştir. Ardından sırasıyla 3 ve 2. bölgelere ve oradan da 6, 7 ve 1. bölgelere geçilmiştir.

##### 4.1 Asansör Bölgesinde (5. Bölge) Yapılan Özel Uygulamalar.

Çubuklu deresi kuzey yamacındaki eski taşocaklarının üretim aynaları hiçbir önlem alınmaksızın terk edilmiş durumdadır. Burada zaman içinde atmosferik koşulların etkisiyle kendiliğinden gelişen kopma, devrilme, kayma, sökülme, dökülme ve bozunmalar sonucunda kısmi stabilite sağlanmıştır. Kaya şevleri önünde biriken pasalar ve döküntüler zamanla bitki ve ağaçlarla kaplanarak çıplak kaya yüzeyleri önünde koruyan bir topuk oluşturmuştur.

Proje gereği yapılan kazı ve yol düzenleme çalışmaları ile bazı kesimlerde topuklar kesilerek, bazılarında ise yol ve bina yaklaşımları ile tehlikeli olabilecek şekilde eski taşocağı aynalarına yanaşılmıştır.

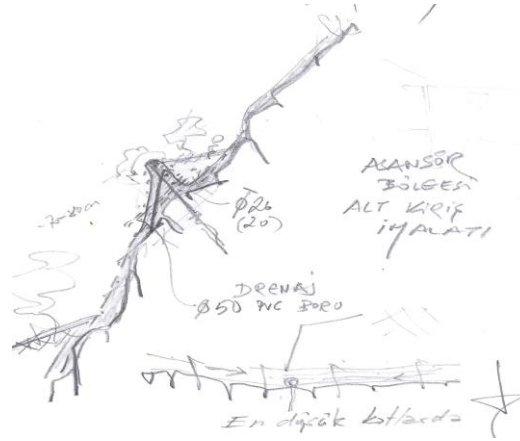
Bu yerlerden en önemlisi asansör kulesi temelinin arkasında kalan 30 m yüksekliğindeki dik aynadır. Burada temel kazısı için yapılan genişletme kazıları sırasında iki kırık yüzeyi arasında kalan ezilme kaması yerinden koparak kaymış ve malzemenin bir bölümü de asılı kalarak tehlikeli bir durum oluşturmuştur. Çatlaklardan suyun gelmesi riski daha da arttırmıştır (şekil 4.2).



**şekil 4.2:** Asansör temelinin arkasında kalan 30 m yüksekliğindeki dik aynanın kaymadan önceki ve kaydktan sonraki görünümü

#### **4.1.1 Balkon kirişleri**

Asansör bölgesinde (5. bölge) ilk olarak şev yüzeyini destekleyen, balkon niteliğinde bir kirişin yapımına başlanmıştır (şekil 4.3).



**Şekil 4.3:** Kiriş imalatı yan kesiti.(Vardar, 2010)

İmal edilen oluk şeklindeki bu kiriş ile işçilerin uygulama sırasında üzerinde rahatlıkla yürüyebilecekleri 80 cm genişliğinde, güvenli bir çalışma basamağı oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak bulonlama işlemlerinin daha rahat ve nitelikli olarak uygulanması sağlanmıştır. Yukarıdan dökülebilen ve aşağıya doğru hızlanarak inen serbestleşmiş kaya parçaları tutularak enerjileri sönmüştür. Kaya yüzeyini yeşillendirmek ve görsel açıdan zenginleştirmek için toprak tutan hazneler oluşturulmuştur.

#### **4.1.2 Balkon donatılarının yerleştirilmesi**

Balkon donatılarının yerleştirilmesine  $\phi 26$  çapında ve 150 cm uzunluğunda olan nervürlü bulonların platform için çizilen hat üzerinde, yüzeye dik gelecek şekilde 100 cm aralıklarla çakılması ile başlanmıştır. Çubuklar 50-70 cm kayaya saplanmış, kancalı uçları konsol oluşturacak şekilde 80-100 cm dışarıda bırakılmıştır (Şekil4.4).

Daha sonra  $\phi 26$  100 cm'lik bulonlar bunların yaklaşık 15-20 cm altından 50-55 cm'lik kısmı dışarıda kalacak şekilde delinip yerleştirilmiş ve uçları 150 cm lik olan nervürlü bulonlarla birleştirilmiştir. Böylece alttan destek uygulayarak platformun daha güvenli olmasını sağlamıştır (Şekil 4.4).

Bu uygulama ile çalışmalar sırasında yukarıdan dökülebilecek taşlar tutulmuş ve daha sonra oluşturulan çanak toprak ile doldurularak yeşillendirme çalışmaları yapılmıştır. Uygulamanın devamında;  $\phi 16$ 'lık nervürlü donatı çubukları 3 ayrı sıra halinde konsol bulonlarının üzerine yerleştirilip kaynaklanmıştır.



**Şekil 4.4:** Kaya civatalarının platform için yerleştirilme aşaması ve bitmiş hali

#### **4.1.3 Elek teli, çelik hasır ve rabis tel uygulaması**

φ16 çapındaki nervürlü demirler yerleştirildikten sonra, elek tellerinin bir kenarı silindirik şekilde kıvrılmış ve kıvrılan ucu açılmayacak şekilde telle bağlanmıştır. Bu bir kenarı yuvarlatılan elek telleri, birer metre uzunluğunda parçalara kesilerek platformun üzerine yerleştirilmiştir.

Elek telleri ana taşıyıcı konsolu oluşturan nervürlü çelik çubukların üzerine yerleştirildikten sonra, çelik hasırlar da platform boyutuna uyacak büyüklükte kesilerek, bindirmeli olarak elek tellerinin üzerine serilmiş ve alttaki taşıyıcı çelik çubuklara bağlanarak platform donatısı tamamlanmıştır.

Çelik hasır uygulamasının son aşamasında, mevcut hasır döşemenin üzerine bu donatıyı saracak şekilde daha ince sıva teli (rabis teli) yerleştirilmiştir. Çelik hasırların bu şekilde elek ve rabis telleriyle birlikte kullanılmasıyla oluşturulan bu sık tel dokusu püskürtme betonun kolayca tutunmasını ve böylece balkon çıkıntısının istenilen nitelikte imal edilmesini sağlamıştır.

Çelik Hasır üzerine sıva teli (rabis tel) döşenmesi püskürtme betonun uygulama kolaylığı ve sağlamlığı açısından çok iyi sonuçlar vermiş, böylece rötre çatlakları ve ayrılmalar önlenmiştir. Uygulanmış olan püskürtme beton kalınlığı 10-18 cm arasında değişmiştir (EK C.1).

#### **4.1.4 Kaya çivileri-saplamaları (Bulonlar)**

Proje devamında balkon için monte edilen Ø26 150 cm'lik bulonların çakılmasının ardından asansör bölgesinin platformun üstünde ve altında kalan yaklaşık 1000 m<sup>2</sup> 'lık kesimlerine de kaya çivileri (saplamalar-blonlar) çakılmıştır. Bunlar yatayda bir,

düşeyde 2 metre aralıklı olarak, şaşırtmalı şekilde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bulon boyları uygulanan bölgenin yüzeyine, ana kayanın derinliğine ve toprak örtüsü kalınlığına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Hasır çelik ve kafes tel uygulanan bu alanlarda 75-100-150-200 cm boylarında Ø32 mm çapında delikler açılmıştır.

Temizlenip çimento enjekte edilen deliğe Ø26mm 75-100-150-200cm. kancalı bulon yerleştirilip bırakılmıştır. Aynı işlem kavlak temizleme ile düşürülemeyen/düşürülmeyen kaya parçalarını desteklemek için yapılmıştır.

Uygulamada yanlışlığa mahal vermemek için bulon başlarındaki kancalar sarı, mavi ve kırmızı gibi farklı renklere boyanmıştır. Bunların uygulama paternleri fotoğraf üzerine işaretlenmiş ve bu noktalar araziye taşınarak uygulama yapılmıştır. Mavi ile boyanmış bulonlar 75 cm Ø26 nervürlü bulonlardır (Şekil 4.5). Kırmızı ile boyanmış olanlar 150 cm, Ø26 nervürlü bulonlardır. Sarı ile boyanmışlar ise 200 cm, Ø26 nervürlü bulonlardır.



**Şekil 4.5:** Maviye boyanan 75cm Ø26 nervürlü bulon

Asansör bölgesindeki bulonların konumlarına göre özellikleri

200 cm Ø26 bulonlar ( Sarı Bulonlar )

40 cm dışarıda

130 cm kaya içinde

30 cm toprak içinde

150 cm Ø26 bulonlar ( Kırmızı Bulonlar )

30 cm dışarıda

80 cm toprak içinde

40cm kaya içinde

75 cm Ø26 bulonlar ( Mavi Bulonlar )

15 cm dışarıda

50 cm kaya içindedir.



**Şekil 4.6:** Bulonların yerleştirilmesi sonrasında renklere bağlı konumları

Harcın Karıştırılması:

İyi bir karışımın sağlanabilmesi için aşağıdaki şartlara dikkat edilmiştir:

- 1)Su karıştırıcıya çimentodan önce konulmuştur.
- 2)Katkı maddesi dikkatle ölçülüp, karışma süresinin ikinci yarısında ilave edilmiştir.
- 3)Karıştırma süresi 2 dakikadan az olmamıştır.
- 4)Karıştırma makine ile yapılmış, böylelikle karıştırmada çimentonun iyice karışması ve karışımın üniform olması sağlanmıştır.



**Şekil 4.7:** Harcın karıştırılması

#### **4.1.5 Yüzey temizleme ve kavlak düşürme**

Kavlak düşürme, çalışma alanında bulunan üretim şevlerinde patlatma sonrasında gelişen süreksizliklerin etkisiyle serbestleşen birim kaya elemanlarından 30 cm ve 30 cm' den büyük olanlarının şev yüzeyinden temizlemek anlamına gelmektedir.

Şev yüzeyindeki kavlakları düşürmek, özel uzmanlık istemektedir. Serbest halde bulunan 30 cm den büyük kaya elemanlarının düşürülmesinde, kaya parçasının konumu geometrisi önem taşımaktadır.

Düşürülen kavlak, düşürüldükten sonra mevcut kaya yapısı içindeki denge durumunu bozmamalıdır. Bu durum, kayanın geometrisi tabakaların doğrultuları ve eğim dereceleri vs. gibi özelliklerle yakından ilişkilidir.

Kavlak olarak düşürülmeyen kaya parçaları, 75 cm'lik bulonlar yardımı ile topuklarından enaz 3 genelde 4 farklı yerden desteklenmiş ve bunlar lifli püskürtme beton ile kaplanarak (Plompaj ) blok stabil hale getirilmiştir.

Kaya yüzeylerinin temizlenmesi, püskürtme başlığından su ve basınçlı havanın püskürtülmesi ile yapılmıştır. Yüzey temizliğinde temel amaç ise, sahanın genelinde kritik dengedeki kaya parçaların temizlenerek uygulama alanının püskürtme beton için hazır hale getirilmesidir (EK D.1)

#### **4.1.6 Çelik hasır uygulaması**

Ø 6 mm demir çubuklardan imal edilmiş ve göz açıklıkları 15x15 cm olan Standart Q 188/188-131 hasır çelik kullanılmıştır. Çelik hasırlar, bulonlar yerleştirilirken eş zamanlı olarak kaya yüzeyine monte edilmiştir. Bu uygulama daha hızlı bir ilerleme ve çelik hasırın kaya yüzeyine uyumlu şekilde yerleştirilerek bulonlara bağlanmasını sağlamıştır.

Çelik Hasır yüzeye uygulanan püskürtme beton ile birlikte kaya yüzeyini örten, çekme ve kesmeye karşı dirençli bir koruyucu kabuk oluşturmaktadır, Bu uygulamanın belirli bir paterne uygun olarak yerleştirilen kancalı kaya saplamaları ile birlikte çalıştırılması ile de kaya yüzeyine destekleme basıncı uygulanmaktadır. Bu şekilde serbestleşme olasılığı bulunan parçalar bir arada tutularak şevlerin yüzeyindeki 0,75- 2 m lik kısım “deplasmanına izin verilmeyen donatılı kaya”ya dönüştürülerek çalıştırılmaktadır.

Çubukların nervürlü ve birbirine kaynaklı oluşu aderansı artırmakta, böylece beton içerisindeki çubukların kayması önlenerek yapıda çatlakların oluşumu ve dolayısıyla sızıntılar ve buna bağlı korozyon engellenebilmektedir.

Çelik hasırları kaya yüzeyine bulonlar yardımıyla yerleştirirken düzgün ve simetrik yerleştirmek yerine, çatlak ve kırıkların konumlarını da dikkate alan, asimetrik yerleştirilmelere dikkat edilmiştir. Özellikle çift kat hasır uygulamalarında çapraz yerleştirilen hasırlarla her doğrultuda kesme ve çekme dayanımı yüksek bir kaplama imal edilmiş olmaktadır (EK E.1).

#### **4.1.7 Kaya destek bulonları**

5. Bölgede bulunan ve yüzey temizliği ardından yapılan kavlak düşürme işleminde, düşürülmesi öngörülme-yen kaya parçaları, engelleme-tutma bulonları yardımıyla desteklenmiştir. Bu şekilde parçaların olası hareketleri (kinematik serbestliği) kısıtlanarak, düşmeleri engellenmiştir.

Bulonlar yardımıyla desteklenen kaya yapıları püskürtme beton ile yüzeyi kaplanmış ve buna bağlı olarak boşluklar doldurulmuş ve kaya stabil hale getirilmiştir

Kavlak olarak düşürülmesi öngörülme-yen birim kaya elemanlarının desteklenmesi ve çimento ile boşlukların doldurulmasına ilişkin iyi örneklerden birini simgelemektedir. Üst katmanda bulunan parçanın kavlak olarak düşürülmesi, onun üzerinde serbest halde bulunan kaya yapısının düşme riskini arttırmaktadır.

Kaya yapısını, teknik girişim yapılmadan önce stabil halde bulunması kalıcı bir durum değildir. Kaya elemanları zamanla ve atmosferik şartlarla beraber direnç kaybına uğrayarak yenilecektir. Kaya yapısının taç bölgesi ve topuk bölgesinde bulunan ve süreksizlik aralıkları, bu yenilmenin olacağının belirtisidir.

Kaya blokları, kamaları ve parçalarının teknik girişim öncesindeki statik dengesi onların boyut, biçim, ağırlık, konum ve üzerine oturdukları süreksizliklerin içsel sürtünme parametrelerine ve su durumuna bağlıdır.



**Şekil 4.8:** Örnek kaya yapısının desteklenme aşamaları

Sonuç olarak bu örnekte, kaya yapısı bulonlar yardımıyla desteklenmiştir ve yerleştirilen bulonlar yine bulonlar yardımıyla birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirme sonucunda, bulonlar tek bir güç gibi çalışacak ve oluşabilecek deformasyonlar kolay bir şekilde engellenmiştir (Şekil 4.8).

#### **4.1.7.1 Destekleme ve sağlamlaştırma**

Kaya yüzeyleri oldukları gibi, hiçbir önlem alınmaksızın çıplak bırakılabilmekte ya da kaplanabilmekte, desteklenebilmekte veya sağlamlaştırılarak amaca uygun güvenli koşullara getirilebilmektedir. Bu şekilde kalıcı stabilitesi sağlanmak üzere teknik hizmet görmüş şevler, yarmalar, yamaç nişleri veya derin kazı çukurları yerüstü kaya yapıları olarak adlandırılmaktadır. Çünkü oluşturulan bu yeni ve yapay ortamda kaya, yapının en önemli taşıyıcı malzemesi ve sistemi zorlayan başlıca etmeni olmaktadır. Bu haliyle kaya yapısı getirilen her türlü yapay katkılarla bütünleşmiş ve onunla kaynaştırılmış yerli yerindeki (in situ) bir mühendislik yapıtıdır. Aşağıda Çubuklu taşocağı şevlerinin rehabilitasyon çalışmaları sırasında gerçekleştirilen uygulamaların, daha kolay anlaşılmasına yardımcı olması düşüncesiyle bazı tanımların açıklamaları bulunmaktadır.

**Kaya**, süreksizliklerle kısmen veya tümüyle parçalanmış mineralleri proje ömrü süresinde su ve zaman etkisiyle biri birinden kolayca ayrılmayan, doğal koşullar altındaki ana kayadır.

**Yerüstü Kaya Yapısı**, istenilen nitelikleri mimarlık ve inşaat mühendisliği ilkeleriyle sağlanmış bulunan, ana malzemesi yerli yerindeki kaya olan, teknik girişimin etkilediği yapı sistemidir.

**Yüzey kaplaması**, çıplak kaya yüzeyinin ayrışma, erozyon ve don etkisine karşı korunması amacıyla tümünden veya bölgesel olarak doğal veya yapay malzeme ile örtülmesidir.

**Destekleme**, kazı yüzeyinin veya kazıdan etkilenen kaya kesiminin istenen güvenlik şartlarındaki stabilitesini karşılamak üzere, yeterli bileşke kuvvetinin tutucu yapılarla elde edilmesidir.

**Sağlamlaştırma**, kayanın dayanımını artıran veya kaya içindeki gerilme durumunu olumlu yönde değiştiren önlemlerin genel tanımıdır. Söz konusu birim kaya elemanlarının desteklenme aşamasında dikkat edilmesi gereken diğer husus; süreksiz ortamlarda, komşu olan çatlak cisimlerinin karşılıklı yüzeyleri, eğer aralarında yastık oluşturabilecek herhangi bir dolgu malzemesi yoksa, pürüzlülükler nedeniyle ancak 3 noktada biri birlerine dokunurlar.

Homojen olduğu varsayılabilen bir gerilme durumunda bile, parçadan parçaya geçen kuvvet aktarımları sırasında bu noktaların dolayında gerilme yığılmaları oluşur. Sonuçta, bu parçalar kayaya aktarılan genel gerilme düzeyinin çok üstünde zorlandıklarından, beklenmedik düzeyde şekil değiştirebilir, kırılabilir veya plastikleşebilirler.

Blok kaymalarında, Araziye gözlemlenen süreksizlik doğrultu ve eğim açıları veya eğim yönü vektörü ile tanımlanan düzlemsel süreksizlik yüzeyinin mekanik parametreleri olan sürtünme açısı ( $\phi_s$ ) ve teknik kohezyonu ( $C_s$ ) da bilinmelidir.

#### **4.1.7.2 Kaya şevlerinde biçim-boyut kriterleri**

Kaya şevlerinin biçim ve boyutunda yapılan değişikliklerin stabiliteyi, maliyeti ve estetik uyumu büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, şev türlerini biçim ve boyutlarına göre sınıflayarak amaca uygunluk açısından olumlu ve olumsuz yönleriyle karşılaştırması tasarımın ilk adımıdır. Böylece farklı modeller oluşturulmakta ve daha sonra bunların her biri duraylılık, maliyet ve teknik yapılabilirlik yönleriyle irdelenmektedir. Kaya şevleri bu nedenle değişik şekilde sınıflanırlar;

a)Eğim açılarına göre:

a<sub>1</sub> ) Yatık şevler ( $\beta < 40^\circ$ )

a<sub>2</sub> ) Sarp şevler ( $40 < \beta < 90$ )

a<sub>3</sub> ) Askılı (ters) şevler ( $\beta > 90$ )

Burada yatık şev deyiimi  $40^\circ$  ye kadar olan eğimlerde merdiven ve benzeri araçlar olmaksızın serbest hareket imkânının bulunmasındandır.

b) Plandaki yerleşim şekline göre:

b<sub>1</sub> ) Dış bükey şevler,

b<sub>2</sub> ) Düzlemsel şevler,

b<sub>3</sub> ) İç bükey şevler.

c) Kesitlerindeki şev yüzeylerinin biçimine göre:

c<sub>1</sub> ) Düz,

c<sub>2</sub> ) Kaşıkı şevler,

c<sub>3</sub> ) Göbeksi şevler,

c<sub>4</sub> ) Basamaklı şevler,

c<sub>5</sub> ) Jeolojinin yönlendirdiği şevler,

c<sub>6</sub> ) Düzensiz şevler

d) Yüksekliklerine göre:

d<sub>1</sub> ) Alçak şevler ( $h < 20$  m)

d<sub>2</sub> ) Yüksek şevler ( $20 \text{ m} < h < 80$  m)

d<sub>3</sub> ) Çok yüksek şevler ( $h > 80$  m)

e)Bu şekillerini yeterli güvenlik altında korumaları için gerekli olan sürelerle göre,

e<sub>1</sub> ) Geçici şevler ( $t < 6$  ay)

e<sub>2</sub> ) Kısa ömürlü şevler ( $6 \text{ ay} < t < 5$  yıl)

e<sub>3</sub> ) Kalıcı şevler ( $t > 5$  yıl)

Kaya yapılarını stabil hale getirmek için yapılan uygulamalarda, bahsedilen 2 uygulamanın farkı ortaya konulmalıdır.

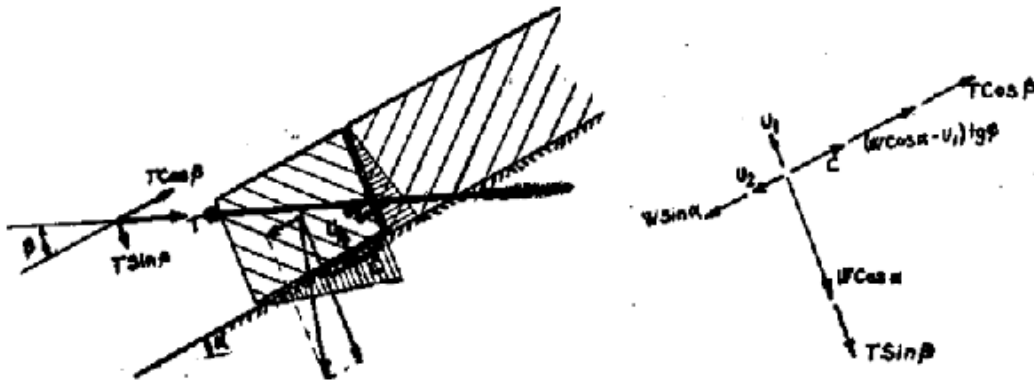
#### 4.1.7.3 Kuvvetler dengesi

Stabilitesi kritik durumda olan blokların sağlamlaştırılması için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Böyle durumdaki bir bloğun güvenlik sayısını arttırmak için bu yöntemlerden biri olan kaya civatası kullanılması halinde, kuvvetler dengesi tutucu kuvvetler tarafında artacak şekilde değişir.



Şekil 4.9: Destekleme ve sağlamlaştırmaya örnek bir uygulama

Resim 4.9’da görüldüğü gibi, yaklaşık olarak 20 ton ağırlığındaki serbestleşen birim kaya elemanı, tamamen serbestleşmiş halde ve topuk bölgesinden aldığı destekle ve süreksizlik yüzeyindeki sürtünme direnci geçici stabilitesini sağlamaktadır. Birim kaya elemanının eğim yönü ve açısı(kaymaya eğilimli olduğu yön) göz önüne alındığında kayma istikametini tersi yönde ve ayrıca topuk kısmındaki kaya yapısına uygulanan bulon desteği ile kalıcı denge sağlanmıştır.



Şekil 4.10: Bir kaya civatası ile ana kayaya bağlanan bloğa etkiyen kuvvetler

Bulon ile destekleme işlemi, şevin kaya dokusundaki serbestlik derecesi yüksek olan blokları birbirine bağlayarak kaya dokusunun kenetlenmesini sağlamak; böylece hem

kayanın içsel parametre değerleri yükseltilmiş, hem de ona çekme gerilmelerini taşıyabilme özelliği kazandırılmış olur.

Son olarak boşlukları doldurmak, serbestleşen kaya yapısını anakayaya tamamen sabitlemek ve buna bağlı olarak monolitik bir ortam oluşturmak için şevin yüzeyi püskürtme beton ile kaplanarak kaya tek parça hale getirilmiştir. Destekleme ve sağlamlaştırma ile alakalı detay hesaplar ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

#### **4.1.8 Püskürtme beton uygulaması**

Püskürtme beton su, agrega, çimento ve isteğe bağlı olarak katkı karışımından oluşan harcın basınçlı hava ile istenilen bir yüzeye püskürtülmesidir. Uygulamada hazır beton 10 bar'lık hava basıncıyla ve su ile püskürtme beton makinesinde karıştırılarak püskürtülmeye başlanmıştır. Püskürtme betonun uygulanabilirliğini, yapışkanlığını arttırmak için ilk uygulama öncesinde şev yüzeyi su ve basınçlı hava ile temizlenmiş ve püskürtme işlemi yapılmıştır. Püskürtme beton kaya yüzeyine katmanlar halinde uygulanmış, her uygulamadan önce şev yüzeyindeki toz ve kir basınçlı hava ve su ile temizlenmiştir. Uygulama aşağıdan yukarıya doğru yapılmıştır. Böylece kayıplar en aza indirilmiştir. Genelde 10 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanmıştır.

Kaya yüzeylerine beton püskürtülmesiyle çatlak ve yarıklar doldurulur, kısmen desteklenen parçalar birbirine bağlanır ve yüzeyin bozulması önlenir. Kaya yüklerinin, daha içerlerdeki sağlam bölgelere transferi sağlanır. Bu şekilde oluşturulan kabuk çelik hasır ve/veya elyaflarla birlikte kullanıldığında eğilmeye ve kesmeye karşı dayanıklı, esnek ve koruyucu bir örtü görevi görür. Yapışma, betonun özelliklerine ve kaya yüzeyine bağlıdır. Pürüzlü, iyi yıkanmış yüzeylere olan yapışma, çatlak dolgulu, çamurlu ve su gelen yüzeylere göre çok daha iyidir. Bu proje uygulamalarında yüzeylerin genelde pürüzlü ve yüzey temizliğinin de özenle sağlanmış olması nedeniyle yapışma konusunda hiç bir sorun yaşanmamıştır.



**Şekil 4.11:** Asansör arkası püskürtme beton uygulaması

Kaya yüzeyleri püskürtme başlığından su ve basınçlı havanın püskürtülmesi ile temizlenmiştir. Sızıntı suların imalatı zorlamaması ve ilerde çatlak suyu basıncının oluşmaması için, püskürtme beton uygulamasına geçilmeden önce bu noktalarda açılan deliklere hortum sokulmuş ve pvc borularla su açığa taşınmıştır (Şekil 4.11).

Püskürtme beton uygulamasında, betonun niteliklerini ve mekanik dayanımını iyileştirmek amacıyla elyaf malzeme kullanılmıştır. Elyaf kullanımı, betonun çekme direncini, sünekliğini, enerji yutma ve darbe dayanımını arttırmaktadır (EK F.1).

#### **4.1.8.1 Püskürtme beton uygulamasında kuru ve ıslak yöntem**

Püskürtme beton, kuru karışım ve ıslak karışım olmak üzere iki şekilde uygulanmakta, uygulama yapılan yerin özelliklerine, uygulama hızına ve istenen beton kalitesine bağlı olarak bu iki sistemden birisi tercih edilmektedir.

Bu projede ise hazır kuru betona elyafın katıldığı, bu karışımın basınçlı hava ile büyük bir hızla uygulama yüzeyine püskürtüldüğü ve betonun akışkanlığının karışıma verilen su miktarı ile püskürtme sırasında operatör tarafından el ile ayarlandığı kuru sistem bir uygulama yaptırılmıştır.

#### **4.1.8.2 Kuru sistemin yarar ve sakıncaları**

- Çok kısa sürede sertleşmesi gereken koşullar için daha uygundur.
- Hafif agregaların ve zor yapışan danelerin (elyaf) püskürtülmesini olanaklı kılar.

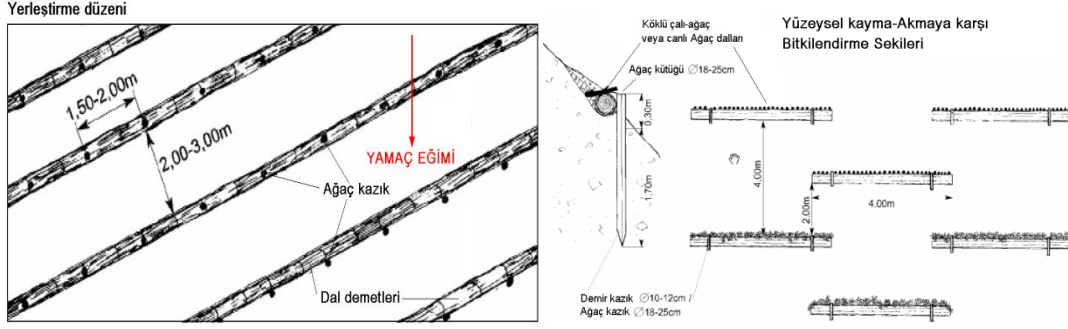
- Gerekli donanım ucuz olup daha düşük yatırım maliyeti gerektirir.
- Yüksek püskürtme hızları nedeniyle daha iyi yapışma sağlar, ancak oluşan beton homojen değildir.
- Sistemi harekete geçirme ve durdurma aşamalarındaki malzeme kaybı çok daha azdır. Ancak uygulama sırasındaki geri tepme ve saçılma malzeme kayıplarını arttırır.
- Saçılma nedeniyle uygulama alanında hava kirlenir.
- Her durum ve koşula çabuk ve kolaylıkla uyartılabilir.
- Uzak mesafelere taşınabilmesi avantaj sağlar.
- Başyukarı uygulamalarda daha kolaydır.
- Yüksek dayanımlı püskürtme beton imalatı için daha uygundur.
- Su miktarı, arazi koşullarına göre püskürtme ucunda anında, fakat yaklaşıklıkla ayarlanabilir.
- Deneyimli operatörlerin, güç şartlarda bile daha başarılı uygulama yapmasına elverişlidir.

#### **4.1.9 Yüzey koruma ve yeşillendirme çalışmaları**

Günümüzde, şevleri estetik açıdan daha iyi hale getirmek, yeşillendirmek ve şev stabilitesini sağlamak amaçlı kullanılan gereçlerin tamamen doğal malzemelerden üretilmesi ve doğa ile bir bütün halinde ortak çalışması büyük önem kazanmaya başlamıştır. Ülkemizde, bu tür örneklerin yeni yeni uygulanmasıyla beraber, bu tür uygulamaların gelişmeye açık ve başarılı bir şekilde yürütüldüğü görülmektedir. Özellikle yol yarmaları olmak üzere gabiyon uygulamaları ve geotekstil malzemenin kullanımıyla, şevler proje bitimi ardından çevreye uyumlu ve estetik bir duruma getirilmektedir. Proje kapsamında yer alan, ağaç kütükleri ile yapılan çalışma ise, Türkiye sınırlarında, yerleşim alanı içinde yapılan ilk uygulamalardan biridir.

Yapılan çalışmanın amacı,

- Şev yüzeyini, Yüzeysel kayma ve akmalara karşı korumak
- Güvenli hale getirmek
- Şev yüzeyini bitkilendirmek ve görsel açıdan zenginleştirmektir.



**Şekil 4.12:** Yüzeysel kayma-akmaya karşı bitkilendirme çalışmaları(Prof. Dr. Florin Florineth)

Resim4.12’de görüldüğü gibi sistem, belli bir düzenle çakılan bulonların arkasına yerleştirilen ağaç kütükleri ve yeşillendirme amaçlı bunların üzerine serilen köklü çalı, ağaç veya canlı ağaç dallarından oluşmaktadır.

Yukarı kotlardan gelebilecek yüzeysel su akışının hızını ve yolunu kesmek amacıyla kütükler belirli bir açı yapacak şekilde çapraz olarak yerleştirilmiştir. Projede uygun görülürse, ağaç kütüklerinin yerleştirilme düzeni yamaç eğimiyle de olabilir.

Çalışma alanı içerisinde, Asansör bölgesi arkasında bulunan ve geçmiş tarihlerde süreksizlik takımının kesiştiği bölgede bulunan yer altı sularının çatlak aralarına girmesiyle olumsuz etki yapmış ve bunun sonucu olarak kaya bulunduğu yüzeyden kaymış ve enerji boşalması ardından geçici stabilitesini yakalamıştır. Şev yüzeyinin toprak örtüsü ile kaplı olan kısmında hareket devam etmekte ve bu hareketin belirtileri yatay çizgiler halinde şev yüzeyinde görülmektedir (Şekil 4.13).



**Şekil 4.13:** Toprak akması sebebiyle şev yüzeyinde oluşan çizgiler

Uygulama ilk olarak toprak örtüsünün kalın olmasından dolayı çakılan Ø26 lık, 150 - 200 cm’lik bulonların, ağaç kütüklerini tutacak şekilde iç kısımlara yerleştirilmesiyle

başlamıştır. Uygulamada ağaç kütüklerini düzenlerken, kütüklerin bulonlara 3 noktada temas edecek şekilde yerleştirilmelerine dikkat edilmiştir.

Daha öncede değinildiği gibi ağaç kütükleri çapraz şekilde yerleştirilmiştir. Bunun sebebi yağmur gibi oluşabilecek yüzeysel akışın her bir tomrukta hızının ve yolunun kesilmesidir. Akan su her bir tomrukta engellenecek ve birikip diğer tomruğa yol alacaktır. Aksi halde simetrik yerleştirilen tomruklarda, su belirli kısımlarda tomruk engeline takılmayacak ve yolu benimseyerek oyulmalara sebep olacaktır. Bu durum uygulamayı amacından saptırmaktadır.

Diğer aşama da ise, tomrukların yerleştirilmesinden sonra tomruk altlarında oluşan boşlukları gidermek amacıyla tahta kazıklar tomruk önlerine çakılmış ve ardından üzerleri toprak ile örtülmüştür. Son aşama olarak, Peyzajcılar tarafından uygun görülen bitkilerle yeşillendirilmiştir (Şekil 4.14).



**Şekil 4.14:** Tomruklar ve arkalarına yerleştirilen tahta kazıklar

Şev yüzeyinde toplamda 28 adet ağaç kütüğü (tomruk) kullanılmıştır. Tomruklar Ø20-25 cm çapında ve 3 m boyundadır.

#### **4.1.10 Tel kafes uygulaması**

5. Bölgedeki (Asansör Bölgesi) işlemlerden son olarak yapılan uygulama tel kafes uygulamasıdır. Dökülen taş blokları tutabilmek üzere riskli kesimlerin önüne yerleştirilen yapılardır. Proje kapsamında tel kafes olarak, Ø4mm kalınlıklı tellerden 70x70 mm göz aralıklı sıcak daldırma galvanizli helezon tellerden kullanılmıştır. Uygulamada rulo genişliği 2m. olan kafes teller kullanılmıştır. Kafes teller hem halatla askıda tutulup hem de bulon plakaları ile yüzeye tutturulmuştur.

Asansör bölgesinin hemen yanında olan ve 5. Bölgeye dahil edilen bu kısımda tel kafes uygulaması yapılmıştır. Uygulamadan önce kaya destekleme bölümünde bahsedildiği gibi ilk aşama olarak boyutu 30 cm ve üzeri olan bloklar düşürülmüş,

düşürülmesi uygun görülmeyen bloklar ise bulonlar yardımıyla desteklenmiştir. Desteklenme işleminin ardından, kaya yüzeyi püskürtme beton ile kaplanarak kırık ve çatlaklar kapanmış ve desteklenen parçalar birbirine bağlanmıştır. Daha açık anlamda kaya üzerinde yapıştırma dolgusu ( Plompaj ) uygulaması yapılmıştır.



**Şekil 4.15:** Püskürtme betonun sadece işlem yapılan bölgelere uygulanması

Yapıştırma dolgusu (Plombaj); Serbestleşmiş blokları bir diğerine bağlamak üzere yapıştırıcı harç ile boşlukların doldurulmasıdır. Bu noktada önemli olan püskürtme betonun bütün kaya yüzeyine uygulanmamasıdır. Buradaki amaç, kayanın doğal görüntüsünü ve dokusunu bozmamak ve sadece uygulama yapılan yerlere beton uygulamasının gerçekleştirilmesidir (Şekil 4.15).

En son işlem olarak tel kafes uygulamasına geçilmiştir. Tel kafes uygulamasında kullanılan kafes teller, olası taş dökülmeleri ve devrilmelere karşı engel teşkil etmek ve dökülen parçaların yükseklikle orantılı olarak gelişen hızlarını kesmek ve enerjilerini sönmölemek amacı ile çelik halat yardımıyla şev üst kotunda bulunan sağlam kayalara monte edilerek asılmıştır. Asılan tel kafeslerin bütünlük sağlaması için yan kısımlarından, kafes tel boyunca çelik halatla birleştirilmiş ve alt kısımlarından bulonlar vasıtasıyla gerilmiştir (Şekil 4.16).



**Şekil 4.16:** Tel kafes uygulaması

Kayanın sahip olduğu doğal renk proje bittikten sonra, projeyi estetik kılan önemli faktörlerden biridir. Projede ana amaçlardan biri olan şev yüzeylerinin olabildiğince doğal dokusunun korunması adına, uygulama bitiminde sarı kırmızı ve siyah renklerin belirli oranlarda su ile karıştırılarak, basınçlı hava ile şev yüzeyi boyanmıştır.

#### **4.1.11 Destek kolonu ve kiriş uygulaması**

Projenin temel ilkeleri ve genel hedefleri;

- Tüm kayalık alanın doğal yapısının ve görünümünün olabildiğince korunması,
- Büyük ve ağır destek yapılarının oluşturulmaması,
- Geniş kapsamlı ve uzun, özellikle öngermeli ve kablolu ankraj uygulamalarından kaçınılması, şeklinde tanımlanmıştır.

Bu nedenle Çubuklu vadisi eski taşocağı aynalarının rehabilitasyonuna yönelik kaya yapıları projelerinde ağır destekleme yapılarından olabildiğince kaçınılmış, şevlerin doğal görünümünü ve dokusunu koruyan mühendislik uygulamaları tercih edilmiştir. Böylelikle daha ekonomik ve uygun çözümler getirilmiştir.

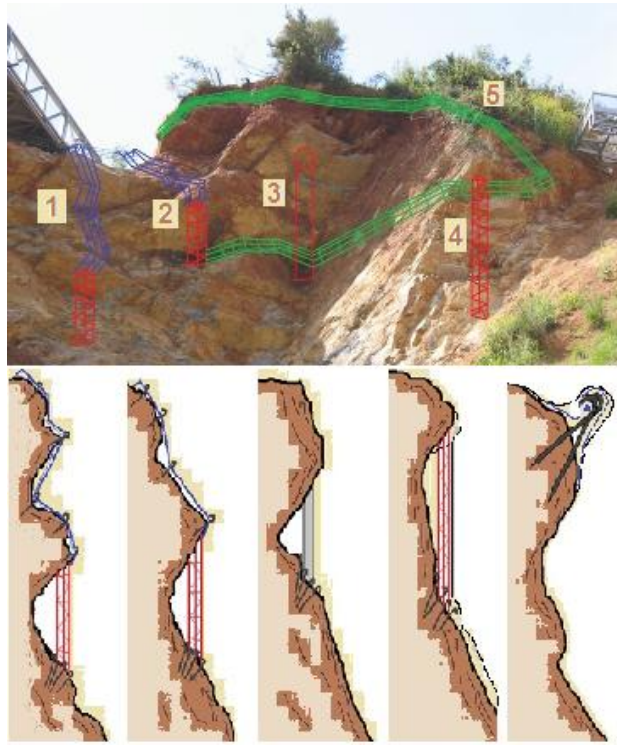
Bu çerçevede geniş alanlara yayılan ağır destek yapılarından yaygın püskürtme beton uygulamalarından, büyük kazı ve tıraşlama uygulamalarından kaçınılmış, bunların yerine geçecek daha hafif, fakat daha etkin alternatif çözümler üretilmiştir.

Özellikle en riskli kesimi oluşturan 5. Bölgedeki asansör kulesinin arkasında bulunan dik ve çıplak kaya aynaları bir bütün olarak ele alınmıştır. Burada en üstteki altı boşalmış, askıdaki tabakalı kaya ile üstündeki toprak örtüsünden oluşan büyük ve ağır kütlelerin tıraşlanması yerine, onu örselemeden ve mevcut görünümünü ve dokusunu koruyan çözümler geliştirilmiştir. Zor ve uzmanlık isteyen kolon ve kiriş uygulamaları başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Projede alınan tüm önlemlerin ve uygulanan işlemlerin, uygulama öncesinde eskizleri çizilmiş, gerekli görülen açıklamalar yapılarak özenli, titiz ve nitelikli çalışmaların yapılması sağlanmıştır. Ezkizler, uygulama sırasına göre EK B.1’de yer almaktadır.

#### 4.1.11.1 Destek kolonları ve kuşaklama kirişleri

Konsol şeklinde şev dışına sarkan kaya bloklarının düşme ve devrilmesini engellemek üzere bunların alttan desteklenmesi ve kaya yüzeyinin kaya saplamaları, çelik hasır ve püskürtme beton ile sağlamlaştırılması gerekmiştir. Asansör temeli altındaki bu bölgede çok sayıda serbest blok ve uygun olmayan geometrik düzensizlikler bulunduğundan, bu kesimde yatay ve düşey doğrultuda yerleştirilen kolon ve kuşakların (kirişlerin) biri birlerini destekleyecek ve birlikte çalışacak şekilde yerleştirilmesi öngörülmüştür (Şekil 4.17).



**Şekil 4.17:** Kolon ve kuşakların (kirişlerin) öngörülen yerleştirilme şekli

Bu kapsamda destek kolonlarının arazideki alt ve üst bağlantı yerleri işaretlenmiş ve arada kalan mesafeler ölçülerek bunlara uygun 60 cm enindeki eşkenar üçgen kafes donatılar dışarıda imal edilmiştir. Yatay bağlantıları oluşturan 60x40 cm kuşaklama kirişleri ise dikdörtgen kesitli ve etriye aralıkları 25 cm olacak şekilde imal edilmiştir. Bu donatı kafesleri Ø 26 lık çubukların arasına yerleştirilen Ø16 lık nervürlü demirlerden oluşturulmuştur (EK G.1).

Daha sonra bu kolon ve kirişler sırasıyla yerlerine Ø26, 75 cm lik kaya saplamalarıyla bağlanmıştır. Kolonların yerleştirildiği noktalar kaya blokların büyüklüğü, geometrisi ve konumu dikkate alınarak saptanmış, imalatlar bu

doğrultuda yapılmış ve yerlerine yerleştirilmiştir. Kirişler monte edilmeden önce yerleştirilecekleri hat boyunca kancalı Ø26, 75-100 cm'lik nervürlü demir saplamalar 30-50 cm'si dışarıda kalacak şekilde 1'er metre aralıklarla çakılmış ve böylece kuşaklama kirişini taşıyan bir askı sistemi oluşturulmuştur (Şekil 4.18).



**Şekil 4.18:** İmal edilen kafes donatılar (Kolonlar ve kirişler)

Bulonların zemine daha sık aralıklarla çakılmasıyla, kolonun oturacağı temel bölgesi sağlamlaştırılmış ve burkulmaları önlemek üzere donatı kafesleri 50-100 cm aralıklarla her düğüm noktasında şaşırtmalı olarak kancalı kaya saplamaları ile anakayaya bağlanmıştır. Daha sonra kolon ile şev yüzeyi arasındaki kısım çelik hasır ile döşenerek püskürtme beton uygulaması yapılmıştır. Bu şekilde destek kolon ve kuşakları şev yüzeyi ile birlikte çalışan bir donatılı-destekli kaya yapısına dönüştürülmüşlerdir (EK H.1)

#### **4.1.11.2 Kolon ve kirişlerin oluşturduğu birleşik kaya yapısı**

Kolon ve kirişlerin biri birinden bağımsız çalıştırılması halinde olası deplasmanlara sadece o bölgedeki önlemlerin karşı koyması gerekeceğinden proje güvenliğinin riske sokulmaması amacıyla, bu birbirinden bağımsız olarak yerleştirilen yapısal öğelerin (kolonlar, kirişler, çelik hasır, kaya saplamaları ve PB) birbirine bağlanarak çalıştırılması gerekmiştir.

Bunu sağlamak üzere daha farklı bir destekleme uygulaması Ø26 lık nervürlü çelik çubukların 25-30 cm aralıklarla arazi geometrisine uygun şekilde yerleştirilmesi ve bunların 50 cm'de bir yatay çubuklarla bağlanması ile oluşturulan merdiven şeklindeki destek kolonlarıdır (Şekil 4.19).

Daha sonra bu yaslama merdivenleri üstlerine serilen çelik hasırlarla birlikte Ø26 75 cm lik kaya saplamalarıyla kayaya bağlanmıştır.



**Şekil 4.19:** Arazi geometrisine uygun, merdiven şeklindeki destek kolonları.

Yerleştirilme işlemi biten kolon ve kirişlerin beton dökümü için dış kalıpları hazırlanmış, C30 beton dökülmüş ve priz süresinden sonra kalıplar sökülüştür (Şekil 4.20).

Son aşamada donatılı imalat ile şev yüzeyi arasında boşluk kalmayacak şekilde kalınlığı enaz 10 cm olacak şekilde elyaflı beton püskürtülerek işler tamamlanmıştır. Böylece şev yüzeyinin tek bir yapı olarak davranması ve olası deformasyonları da mevcut kaya ile birlikte çalıştırılan bu iskeletli kompozit yapı ile sönmülendirmesi sağlanmıştır.



**Şekil 4.20:** Dış kalıpların hazırlanması ve sökülmesi

#### **4.1.11.3 Boru desteği ve sonlama işlemleri**

Asansör kulesi ile köprüsünün arkasındakiriskli kazı aynasının risklerinin giderilmesi için planlanan uygulamaların bitmiş durumu şekil 4.21’de.görülmektedir.



**Şekil 4.21:** Destek borusu, çanakı yapı ve uygulamaların bitmiş durumu

Destekleme kolonları, bağlantı kirişleri, sistematik blonlama ve çelik hasırlı püskürtme beton kaplaması şeklindeki uygulamanın yanı sıra askıdaki yaklaşık 285 ton ağırlığındaki büyük bloğun olası hareketlerini engellemek için de bu tabakalı-çatlaklı kaya kütesinin altına ayrıca rijit bir boru desteği yerleştirilmiştir. Bu imalatla 8 mm et kalınlığı olan Ø 200mm çaplı çelik çekme boru kullanılmıştır. Dayanma yerlerindeki yükler 20mm kalınlığındaki 40x40cm lik flanşlar ile anakayaya aktarılmıştır. Bu şekilde yerleştirilen ve flanşları kaya saplamalarına kaynakla bağlanan destek borusunun içi daha sonra beton ile doldurulup sabitlenmiş, alt ve üst dayanakları çelik hasır ile sarılarak elyafli püskürtme beton ile kaplanmıştır. Bu uygulama ile alınan diğer yapısal önlemlere ek olarak 126 tonluk ilave bir destek sağlanmıştır.

Diğer bir bağlantı yapısı olarak, toprak örtüsünün hemen altından donatılı (3 x Ø26 nervürlü çelik) tac kirişi geçirilmiş ve üstünde tutucu balkon oluşturulmuştur. Bu uygulama ile mevcut taş duvara saplanarak tutunan bir kuşaklama bağlantısı elde edilirken aynı zamanda döküntüleri toplayan, drenajı sağlayan ve içleri yeşillendirme amaçlı kullanılabilen bir çanakı yapı oluşturulmuştur (Şekil 4.22).



**Şekil 4.22:** Toprak örtüsünün hemen altındaki tutucu balkon yapısı

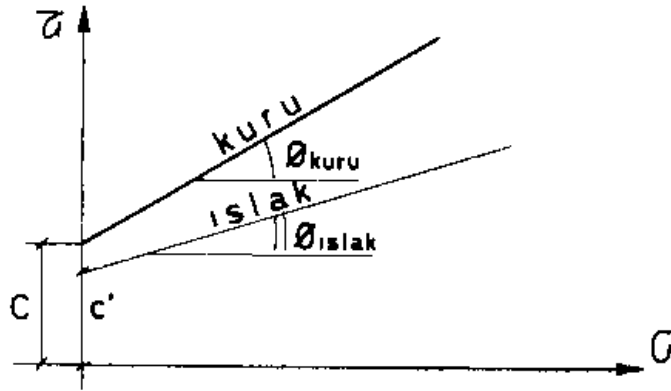
#### 4.1.12 Drenaj çalışmaları ve suyun uzaklaştırılması

Mühendislik girişimlerinde, denge durumunu sağlamak ve korumak için hiç şüphesiz ki, ilk akla gelmesi gereken suyu uzaklaştırmak olmalıdır.

Blok kaymalarında; yeraltı suyunun başlıca iki olumsuz etkileri vardır.

1. Çatlak suyu basıncı oluşturarak, tanımlanan serbest dolaşım yüzeylerinde istenmeyen kuvvetler oluşturur.

2. Süreksizlik dolgusunun mekanik (içsel) parametre değerlerinin azalmasına neden olur. Böylece, süreksizliklerle ilgili daha düşük kesme dirençleri veren mekanik davranış modellerinin kullanılması zorunlu olur (Şekil 4.23).



Şekil 4.23: Kaya şevlerinde suyun etkisiyle (C,  $\phi$ )'nin değişimi

Projede Püskürtme beton yapılan alanlarda veya derinlerde bulunan sızıntıların yüzeye serbestçe çıkıp akmasını sağlamak için Ø32 pvc borular 100-150 cm derinliğe yerleştirilmiştir.

Asansör bölgesi arkasında bulunan, su çıkışları olmaktadır. Bu suların, çıkış yerleri saptanıp, delgilerle delinerek, delinen kısma boruların yerleştirilmesiyle sızan su tamamen kontrol altına alınmıştır. Pvc özel borularla ilişkilendirilerek aşama tamamlanmıştır.



**Şekil 4.24:** Yeraltı suyunun uzaklaştırılması

Devamında ise, genel anlamda sadece su sızıntılarının olduğu kısımlar değil, püskürtme beton sonrasında şev yüzeyinde düşeyde ve yatayda 2m olacak şekilde delikler delinmiş, delinen deliklere olası su birikintilerine karşılık, meydana gelecek olan su basınçlarını engellemek amacıyla borular yerleştirilmiştir (Şekil 4.24).

#### **4.2 2. Bölgede Yapılan Uygulamalar**

2. Bölge, yapısal anlamda sistemli süreksizliklerden oluşmakla beraber, askıda bulunan büyük blok haricinde önemli bir risk durumu taşımamaktadır.



**Şekil 4.25:** 2. Bölgenin uygulama öncesi görünümü

Bölgede bulunan çatlaklar sistemli olup, 3 farklı süreksizlik takımı mevcuttur. 2 bölgede patlatma sonucu oluşan üretim şevinde, iri bloklarla beraber çok parçalı ezilmiş zonlar yer almaktadır.

Bu kapsamda iri bloklar kaya saplamalarıyla desteklenmiş, çok parçalı ezik zonlar püskürtme beton ve tel kafesle güvenli hale getirilmiştir.

Bölgeyi genel anlamda risk açısından incelemeye alırsak;

- Şevin üst kısımlarda bulunan bitki ve toprak örtüsüne bağlı olarak, burada oluşan sökülmeler ve dökülmeler,
- Süreksizliklerle sınırlandırılmış büyük ölçüde düşme riski taşıyan iri kaya bloğu (Askıda bulunan blok),
- Şev yüzeyinin orta kısımlarında ise, kavlak olarak düşürülmesi öngörülmeyen ve bulonlar ile desteklenmesi gereken kaya blokları mevcuttur.

Bölgede, ezik zonlardaki parçalı kısımları temizlemek adına yüzey temizliği yapılmıştır. Uygulama, basınçlı havanın şev yüzeyine uygulanmasıyla gerçekleşmiştir.

Yüzey temizliği yapılan şev yüzeyinde, kavlak olarak düşürülmeyen kaya blokları, Ø26-75cm nervürlü demirlerle desteklenmiştir (Şekil 4.26).



**Şekil 4.26:** Kaya civataları ile desteklenen kaya bloğu

Doğal kaya yapısını ve dokusunu bozmamak amacıyla, püskürtme beton uygulaması sadece bulon ile desteklenen kısımlara plompaj görevi görmesi açısından uygulanmıştır.

Daha öncede değinildiği gibi, 2. Bölgede şev tavan kotunda oluşan taş düşmeleri ve toprak örtüsünden kaynaklanan dökülmeleri engellemek için püskürtme beton uygulaması yapılmıştır. Şevin alt kotlarına inildikçe parçalanma ve ezik zonlar arttığı için, bu kısımlara püskürtme beton sadece bulonlama işleminin yapıldığı kesimlere değil, bütün yüzeye uygulanmıştır.

2. bölgede şev boyunca uzanan baklava şeklinde kaya bloğu mevcuttur. Tektonik tarihçesinde, düzlemsel çatlaklar boyunca belirli bir açıyla kesişen kaya blokları, kesişme hattı boyunca ezilme zonu oluşmuştur ve bu ezilme zonunda, taşlar zaman etkisiyle ve atmosferik şartlar nedeniyle parçalanıp dökülmeye başlamıştır.

Bu durumu gidermek üzere, taş parçalarının yukarıdan aşağı yuvarlanırken yüksekliğe bağlı enerjilerini ve hızlarını kesmek amacıyla kaya bulonları ve tel örgülerle engeller yapılmıştır.



**Şekil 4.27:** Taş düşmelerini engellemek için yapılan uygulama

Bu işlem, Ø26-150 cm bulonların, 90 cm'si dışarıda ve 60 cm'si kaya içinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Çakılan bulonların, uç kısımlarına ve orta kısımlarına 2 sıra halinde yerleştirilen Ø16'lık nervürlü demirler, kaynak cihazı bulonlarla ilişkilendirilmiştir (Şekil 4.27).

Bu şekilde bağlantıların yapılmasının nedeni, bulonların birbirinden bağımsız olarak, tek başlarına zorlanmalarını engellemektir. Son işlem olarak bu imalatın üzerine teller yerleştirilmiş ve bu teller bulonların üzerinden kıvrılarak bulonlara bağlanmıştır.

2. bölgede uygulama olarak yapılan işlemler sırasıyla;

- Yüzey temizliği,
- Kaya bloklarının desteklenmesi,
- Desteklenen yüzeyler boyunca ve çok parçalı ezik kısımlara tümüyle uygulanan püskürtme beton,
- Tel kafes uygulanmasıdır.

Bu uygulamaların ardından, 2.Bölgede bulunan askıdaki büyük blok üzerinde çalışılmıştır. Bu bloğun boyutları ve geometrisi kaya saplamalarının yetersiz

kalacağını göstermiştir. Aynı gerekçeyle, çelik halat askıları gibi sağlamlaştırma işlemleri de öngörülmemiştir.

2. Bölgede şevlerin üst kesimlerinde aşırı sökülmeler, ezik zonlar ve bunlarla beraber değişik yoğunlukta bitkilerle kaplanmış toprak örtüsü mevcuttur. Şevlerin üst kesimlerindeki bu aşırı sökülmeler ve ezik zonların bulunduğu kısımlara püskürtme beton uygulanmış, ardından üstleri tel kafes ile örtülmüştür.

Tel kafesler, çelik halatlar ve uçlarına takılan kelepçeler ile bitki örtüsünün olduğu kesimde bulunan sağlam kayalara veya sağlam kayanın bulunmaması halinde, delici ile yerleştirilen bulonlara bağlanmıştır. Yerleştirilen tel kafesler, yan yüzeylerinden birbirine çelik halatlarla bağlanarak bir bütün haline getirilmiş ve alt kotlardaki çakılan bulonlara bağlanarak gerdirilmiştir.

Askıdaki büyük bloğun üzerinden kayarak çevreye fırlayabilecek olası sıçramalarını önlemek üzere bu bloğun üzerinden tel kafes sarkıtılmıştır. Tel kafesin olası hareketlerini engellemek için, eteklerdeki gözlerden iki parmaklık galvanize boru geçirilerek gerdirilmiştir (Şekil 4.28).



**Şekil 4.28:** Askıdaki blok üzerinde yapılan tel kafes uygulaması

### **4.3 3. Bölgede Yapılan Uygulamalar**

3. bölge şev bölümlendirmesinde farklı uygulamalar gerektiren iki ayrı kesimden oluşmaktadır. Bu kesimler 3-1 ve 3-2 olarak gruplandırılmıştır. İlk kesim kaya bloklarının bulunduğu, taş düşme olasılığının yüksek olduğu, ikinci kesim ise, yüzeyinde akmalar görülen toprak örtüsüyle kaplı kesimdir. İlk kesimde birbirinden

farklı davranış gösteren iki farklı bölge tespit edilmiştir. İlk bölgede, belirgin pürüzlü kaya yüzeyleri olan bloklar, diğer kısımda ise patlatmalar sonucu aşırı parçalanmış kırıklı-ezikli zonlar bulunmaktadır.



**Şekil 4.29:** Bölge şev yüzeylerinin genel görünümü

Bloklı, belirgin pürüzlü kaya yüzeyleri olan kesimde, şev yüzeyleri şev içine eğimli olup, düzenli bir çatlak takımına sahiptir. Yüzeylerin pürüzlü olması ve içsel sürtünme açısının da yüksek olması, bu bölgede kaymaya bağlı oluşabilecek duraysızlıkları aza indirmiştir. Bu kesimde giderilmesi gereken sorun, şevin üst kotlarına doğru taş düşme riskinin olmasıdır. Bölgede kavlak olarak düşürülebilecek birim kaya elemanı olmamakla beraber, bulonlarla desteklenen az sayıda kaya bloğu mevcuttur. Kayaların desteklenmesinin ardından, blokların dokanaklarına ve kaya saplamalarıyla desteklenen kaya yapılarına püskürtme beton uygulanmıştır. Tel kafeslerle üzerleri örtülerek, olası bir taş düşme ihtimali engellenmiştir.

Aşırı parçalanmış kırıklı-ezikli zonlardan oluşan kesimde ise, yüzeyin basınçlı hava ile temizlenmesinin ardından, kavlaklar düşürülmüş ve kaya blokları bulonlar ile desteklenmiştir. Son uygulama olarak, kaya parçalarını bütünleştirmek ve ortamı tek parçalı hale getirmek amacıyla bölge bütünüyle püskürtme betonla kaplanmıştır.

3-1 ve 3-2 bölgelerinin kesiştiği kesimde, parçalı- iri kaya blokları ve yukarı kotlardan gelen sürekli bir toprak akıntısı mevcuttur. Bu durumdaki şev yüzeyinde, parçalı kaya yapılarından desteklenmesi gereken bloklar, bulonlar yardımıyla sabitlenmiş ve parçalı kısım bütünüyle püskürtme beton ile kaplanmıştır.



**Şekil 4.30:** Püskürtme beton yapılmadan ve yapıldıktan sonraki görünüm

Şevin üst kesimlerinden gelen toprak akıntısını engellemek amacıyla, bölgeye Ø26, 75 cm kaya saplamaları bir metre aralıklarla yerleştirilmiş ve yerleştirilen bulonların üzerine 3 metre uzunluğundaki ağaç kütükleri şev yüzeyine uygun olarak konulmuştur. Böylece sistem, oluşabilecek hareketlere ve şev eğimine bağlı akan toprak miktarına engel oluşturmuştur. Şevin en üst kısmına 1 adet ve en alt kısmına 4 adet olmak üzere toplam 5 adet tomruk yerleştirilmiştir. En üst kısma yerleştirilen tomruğun amacı, yukarıdan gelen toprak akıntısına engel oluşturmaktır. Orta seviyeler ise, çelik hasır ve ardından püskürtme beton ile kaplandığı için, tomruk yerleştirmeye gerek duyulmamıştır (Şekil 4.30).

Ağaç kütüklerinin yerleştirilmesinin ardından, yüzey tel kafesle örtülmüştür. Tel kafesler, yan yüzeyleri boyunca halatlar yardımıyla birbirleriyle ilişkilendirilmiş ve bulonlara bağlanarak gerdirilmiştir. Böylece, sistem bir bütün halinde çalışır konuma getirilmiştir.



**Şekil 4.31:** Uygulamanın bitmiş hali

Uygulama yapılan şev yüzeyinin devamında, taş düşmesi ve toprak akması açısından potansiyeli daha düşük şev yüzeyi yer almaktadır. Bu kısımlarda şev yüksekliğinin ve eğiminin düşük olması sebebiyle, püskürtme beton ve diğer iyileştirme

sistemlerine gerek duyulmamıştır. Bu bölgedeki toprak akıntısını engellemek temel amaçtır. Bu amaçla şev yüzeyinde, sadece tel kafes uygulaması uygun görülmüştür.

Uygulama gereği, şevin üst kısımlarına bulonlar çakılmış ve çakılan bulonlara, çelik halatlar yardımıyla bağlanan tel kafesler aşağıya doğru sarkıtılmıştır. Tel kafesler, yine halatlar yardımıyla yan yüzeylerinden birbirleriyle ilişkilendirilmiş ve halat uçları alt kısımlara yerleştirilen bulonlara bağlanarak gerdirilmiştir (Şekil 4.32).



**Şekil 4.32:** Tel kafes uygulamasının bitmiş hali

Uygulaması yapılan alanın devamında, taş düşmesi açısından tehlike oluşturan şev yüzeyleri bulunmaktadır. Bu kesimde, bulonların çakılması ve düşen taşları tutmak amacıyla tel örgü uygulaması öngörülmüştür. Uygulama, şev yüzeyinin Ø32 mm delgilerle delinerek, Ø26'lık 150 cm nervürlü kaya saplamalarının, 60 cm'si kaya içinde, 90cm'si dışarıda kalacak şekilde yerleştirilmesinden oluşmuştur. Bu uygulamadan sonra tel örgüler ve bulonlar kaynak cihazı ile ilişkilendirilmiş ve uygulama tamamlanmıştır (Şekil 4.33).



**Şekil 4.33:** Taş düşmelerini engellemek için yapılan uygulama

3-2. bölge olarak nitelendirdiğimiz bölge ise yüzeyinde akmalar görülen toprak örtüsüyle kaplı kesimdir. Bölgede şev yüzeyinin üst kısımlarında, ayrıışmış ve ufalanmış malzeme oldukça fazladır. Bölgede taş düşme riski yüksektir.

Bu bölgede yüzey temizliği, işlemlere başlamadan önce yapılması gereken ilk uygulamadır. Serbest halde bulunan taşları temizlemek üzere, basınçlı hava ve su ile yapılan uygulama ile beraber yüzey arındırılmış ve püskürtme beton uygulaması için hazır hale getirilmiştir.

Çapı 20cm'den büyük serbest halde bulunan ve kavlak olarak nitelendirebileceğimiz kaya blokları düşürülmüştür. Düşürülmesi öngörülmeleyen parçalar ise Ø26 75 cm nervürlü kaya saplamaları ile desteklenmiştir. Desteklenen blokların statik analizleri hesaplar kısmında detaylarıyla incelenmiştir.

Bölgede blok destekleme uygulamasının ardından, kaya ortamı açısından kötü olan kesimlere bütünüyle püskürtme beton uygulanmıştır. Bu uygulama parçalı ezik zonların serbest halde bulunan kaya elemanlarını bir bütün halinde tutarak, boşlukları doldurmuş ve ortamı tek parçalı ortam haline getirmiştir.

Desteklenen kaya bloklarının olduğu kesimlere uygulanmış olan püskürtme beton ile de, boşluklar dolmuş ve püskürtme beton o kısımda dolgu (plompaj) görevi görmüştür. Püskürtme betonun içerisine katılan elyaf püskürtme betonda çekme gerilmelerinin artmasına ve buna bağlı olarak da püskürtme beton uygulamasının potansiyelinin artmasını sağlamıştır.



**Şekil 4.34:** Püskürtme beton uygulaması sonrasındaki şev görünümü

Son uygulama olarak, bölgede tel kafes uygulaması yapılmıştır. Proje kapsamında, daha öncede değinildiği gibi tel kafes olarak, Ø4mm kalınlıklı tellerden 70x70 mm

göz aralıklı sıcak daldırma galvanizli helezon teller kullanılmıştır. Kafes teller hem halatla askıda tutulup hem de kaya bulonları ile yüzeye tutturulmuştur.

Üst kotlarda taş düşme riskinin fazla olması sebebiyle, ucunda kelepçelerin bulunduğu halatlar tel kafesin göz aralıklarından geçirilerek, şevin en üst kotunda bulunan sağlam kayaya, sağlam kayanın olmaması durumunda ise, bu özel amaçla yerleştirilen bulonlara bağlanmıştır (Şekil 4.35).

Yerleştirilen tel kafeslerin yan yüzeyleri yine halatlar vasıtasıyla birbiriyle ilişkilendirilip, tel kafes uygulaması gerektirmeyen bölgedeki kısımlar kesilmiştir. Asılı olan tel kafes, eteğinde bulunan kaya saplamalarına bağlanarak gerdirilmiştir.



**Şekil 4.35:** Son uygulama olan tel kafeslerin şev yüzeyindeki görünümü

#### **4.4 6. Bölgede Yapılan Uygulamalar**

6. bölge olarak nitelendirdiğimiz kaya şevinin genel olarak durumunu incelersek, bölgede patlatma sonucu oluşan kırıklı yüzey ve buna bağlı taş düşmeleri, çapı 20cm den büyük serbest halde bulunan kaya blokları ve düşmesi muhtemel, ana kayadan 6cm kadar ayırık bulunan iri kaya bloğu mevcuttur.

Bölgede ilk olarak basınçlı hava ve su karışımı ile yüzey temizliği yapılmıştır. Yüzey temizliğinin yararı, püskürtme betonun daha iyi bir şekilde uygulanabilmesidir. Örnek vermek gerekirse, her yapılan püskürtme beton sonrasında basınçlı hava ve su ile püskürtme beton yapılan kısım yeniden temizlenmeli ve ardından beton püskürtülmelidir. Bu şekilde yapılan uygulamada, püskürtme beton katmanlar oluşturmayacak ve tek bir uygulama gibi çalışacaktır. Aksi halde kendi içinde, her bir püskürtme beton uygulaması ayrı katmanlar olarak çalışacak ve buda püskürtme betonun işlevi açısından olumsuz bir sonuç doğuracaktır. Bu sebepten dolayı, ilk olarak yüzey temizliği yapılmıştır.



**Şekil 4.36:** Şev yüzeyinin uygulama öncesi ve uygulama sonrası genel görünümü

Yüzey temizliği ardından, püskürtme beton yapılmıştır. Şev geometrisine bağlı olarak, şev yüzeyinin sol tarafı şev içine eğimli, kaya dokusu çok zarar görmemiş güvenli halde bulunan kaya yapısından, sağ tarafı ise ezilmiş parçalanmış ezik zonlardan oluşmaktadır. Bu bölgede uygulamalar daha çok bu kısımda yoğunlaşmıştır. Şev yüzeyinde, kaya saplamaları ile desteklenen kısımlara uygulanan püskürtme beton işleminin ardından, az önce değindiğimiz parçalı ezik zonlara bütünüyle püskürtme beton uygulaması yapılmıştır.

Düşürülmesi gereken kaya blokları(kavlaklar) düşürülmüştür Serbestleşmiş diğer kaya blokları ise desteklenmiş ve denge durumu sağlanmıştır (Şekil 4.37).



**Şekil 4.37:** Kavlak düşürme uygulamasından bir görünüm

Şevlerde genel uygulama olarak, tel kafes uygulamasına geçilmiştir. Şev yüzeyinde uygulamaların yoğunlaştığı sağ kısma, yukarıdan gelebilecek taş düşme ve dökülmelerini önlemek için tel kafesler çelik halatlar yardımıyla şev yüzeyine tutturulmuştur. Tel kafeslerin, uygulamaların yapıldığı ve şev eğiminin yüksek olduğu bölgelere uygulanması öngörülmüştür. Bunun sebebi, uygulamanın yapıldığı ve şev eğiminin yüksek olduğu kısımlarda, zaman etkisiyle serbestleşebilecek kaya

elemanları düşebilir ve en önemlisi şev eğimi yüksek olduğu için, düşen taşlar yürüyüş yoluna ve yapılan konutlara kadar ulaşabilmektedir.

Son olarak, genel şev yüzeyi bilgilerinde de bahsedilen iri kaya bloğu uygulamasına geçilmiştir. Kaya bloğu, daha öncede değinildiği gibi ana kayadan yaklaşık 8 cm ayırık halde bulunmaktadır ve sahip olduğu geometri ve bulunduğu konum itibarıyla kaya civatalarıyla desteklenmesi uygun görülmemiştir. Kaya bloğu geometrisi sebebiyle, ağırlık merkezi zamanla şev eğimini aşan bir noktaya gelecek ve blok yuvarlanacaktır.

Blok üzerinde belirgin bir çatlak mevcuttur. Bu durumda en uygun görülen uygulama, kayayı kırıcılarla kırarak ve hacmini genişleterek, belirgin olarak görülebilen çatlak yüzeyinden ayırmaktır. Kaya, kırıcılarla kırılıp bahsedilen çatlak yüzeyinden ayrılmıştır. Anakaya'ya nervürlü kaya civataları yerleştirilmiştir ve bu uygulamanın ardından çelik halatların kayanın etrafında birkaç tur dolandırılmasıyla, kaya bloğu çelik halatlarla çevrelenmiş ve uçları yerleştirilen bulonlara bağlanıp gerdirilmiştir. Son olarak, püskürtme beton ile 8cm aralanmış olan çatlak doldurulmuş ve alan bütünüyle püskürtme beton ile kaplanmıştır (EK I.1).

#### 4.5 7. Bölgede Yapılan Uygulamalar

7.Bölge diğer bölgelere kıyasla en güvenli bölgedir. Patlatma etkileri, kaya şevi üzerinde diğer bölgelere göre daha az görülmektedir. Çatlak takımları oldukça belirgin ve düzenlidir (Şekil 4.38).



**Şekil 4.38:** Uygulama öncesi şev yüzeyinin görünümü

Bu bölgede, kavlak olarak düşünülebilecek serbest kaya elemanları yok denecek kadar azdır. Fakat, kaya dokusunun pürüzlü olması ve buna bağlı sürtünme

kuvvetinin büyük olması ile oluşan denge durumu desteklenmelidir. Bu sebeple, kaya blokları nervürlü kaya cıvatalarıyla desteklenmiştir. Bu aşamanın ardından, bölgede sadece kaya bloklarının desteklendiği noktalara yapılan püskürtme beton uygulaması gelmektedir. Bu durum sonucunda, boşluklar dolmuş ve kaya ile civata ilişkisi kuvvetlenmiştir.

Son işlem olarak, tel kafes uygulamasına geçilmiştir. Tel kafes uygulaması, şev yüzeyinin en üst kotundan başlayarak, şev eğiminin ani değişim yaptığı ve daha da dikleştiği noktaya kadar uygulanmıştır. Bunun sebebi, üst kotlarda bulunan parçalı zonda serbestleşmiş birim kaya elemanları, bulunduğu yerden ayrılıp şev eğimine bağlı olarak düşerken hız kazanacak ve enerjisi artacaktır. Bunun sonucunda hızlanan taş, eğimin tam olarak değiştiği yere kadar şev yüzeyine bağlı kalarak sürüklenecek ve eğimin değiştiği yerden sonra ani bir sıçrama yapacaktır.



**Şekil 4.39:** Uygulamalar sonrasında şev yüzeyinin görünümü

Ani sıçrama sonucu taş, insanların günlük kullanım alanlarına ulaşacak ve büyük tehlike yaratacaktır. Bu sebeple, tel kafes çalışmalarında şev yüzeyindeki ani değişimler hesaba katılmalı ve tel kafes uygulaması bu hesap doğrultusunda projelendirilmelidir.

## 5. DONATILI KAYA UYGULAMALARI VE KAYA SINIFLAMASI

### 5.1 Donatılı Kaya Uygulamaları

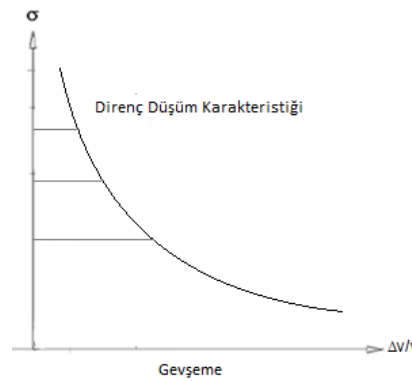
#### 5.1.1 Bilimsel altyapı ve tek ya da çok parçalı ortamların davranışı

Süreksiz ortamlarda; komşu olan çatlak cisimlerinin karşılıklı yüzeyleri, eğer aralarında yastık oluşturabilecek herhangi bir dolgu malzemesi yoksa pürüzlülükler nedeniyle ancak 3 noktada biri birlerine dokunurlar.

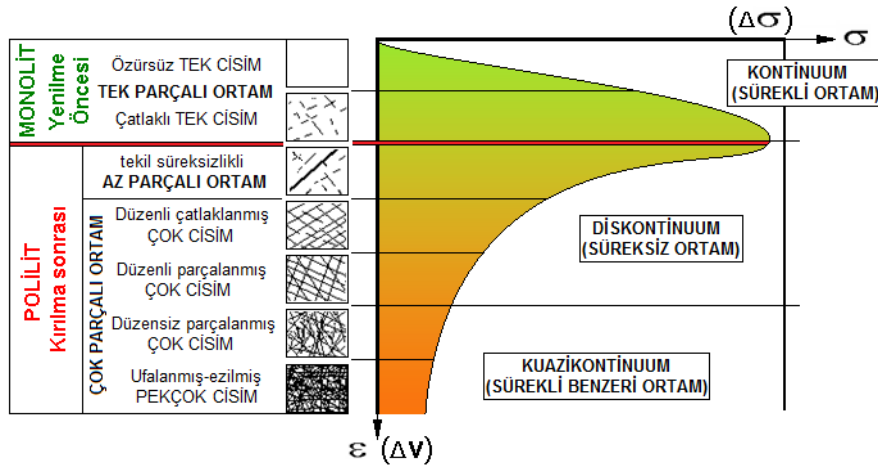
Homojen olduğu varsayılabilen bir gerilme durumunda bile, parçadan parçaya geçen kuvvet aktarımları sırasında bu noktaların dolayında gerilme yığılmaları oluşur. Sonuçta, bu parçalar kayaya aktarılan genel gerilme düzeyinin çok üstünde zorlandıklarından, beklenmedik düzeyde şekil değiştirebilir, kırılabilir veya plastikleşebilirler.

Polilit olarak da adlandırılan bu çok parçalı ortamların; monolit adını da alan tek parçalı cisme göre daha düşük direnç göstermesi ve kolayca şekil değiştirerek plastikleşebilmesi büyük oranda bu nedenledir.

Süreksizliklere yakın kesimlerin parçacığın iç kesimlerine göre önceden daha fazla zorlanmış ve örselenmiş olması, parçacık küçüldükçe bu zayıf kesimlerin hacim içindeki payını arttırmakta ve sonuçta “çok parçalılık” arttıkça kayanın dayanım parametrelerinde laboratuarda incelenen taş örneklerinde bulunan değerlere kıyasla çok belirgin azalmalar oluşmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Psödoplastikleşmeye bağlı direnç düşüm eğrisi

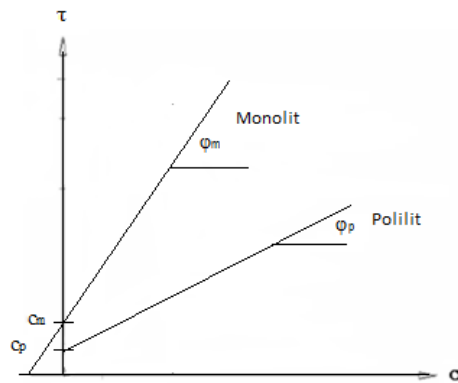


**Şekil 5.2:** Kaya mekaniğinde aynı ortamın “sistem büyüklüğü”ne bağlı olarak farklı şekilde davranmasının, post- failure davranışı ile açıklanması.

Şekil soldan sağa doğru incelendiğinde, sırasıyla ortamların adları, bunların sistem büyüklüğündeki görünüşleri, grafik üzerinde de (üstteki yatay eksen  $\Delta\sigma$  ve düşey eksen  $\varepsilon$  olmak üzere) kayanın, kırılma öncesinden (pre failure) başlayarak, kırılma sırası ve sonrasındaki (post failure) davranışları ve nihayet bu ortamların mekanik değerlendirmelerinde kullanılması gereken bilim dalları görülmektedir.

Buradaki post failure eğrisi, başlangıçta (diajenez sonunda) tek parça (monolit) olan kayaçların geçirdikleri tektonizmaya bağlı kırılmalar sonrasında nasıl çok parçalı ortama dönüştüklerini göstermektedir.

Monolit (Tek parçalı masif ortam), Polilit (Çok parçalı kırıklı ortam)’ a göre daha yüksek içsel parametrelere sahiptir.



**Şekil 5.3:** Çatlaklanmaya bağlı, içsel sürtünme açısındaki değişim

Bu durum,  $(\sigma - \tau)$  Mohr diyagramında yenilme zarfları ve bunların denklemleriyle ifade edilir.

$$\text{Monolit için; } \tau_m = c_m + \sigma \tan \phi_m \quad (5.1)$$

$$\text{Polilit için; } \tau_p = c_p + \sigma \tan \phi_p \quad (5.2)$$

$$\tau_m > \tau_p$$

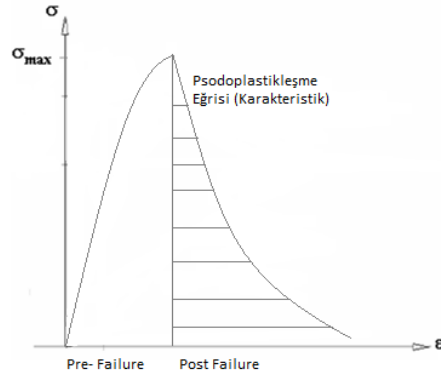
$\tau$ = Kayma Gerilmesi

$c$ = Kohezyon

$\sigma$ = Normal Gerilme

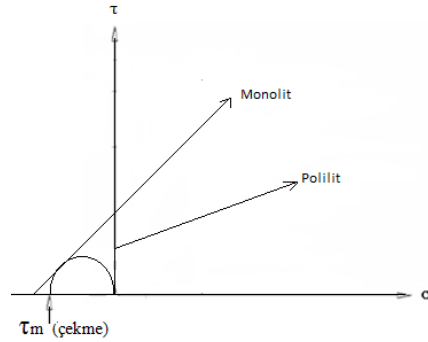
$\phi$ = İçsel Sürtünme Açısıdır.

Sonuç olarak; kaya çatlaklandıkça (psödoplastikleştikçe) dayanımı azalır, çekme direncini kaybeder ve daha düşük kesme dirençleri gösterir. Ancak her zaman bir kalıcı dayanımı vardır.



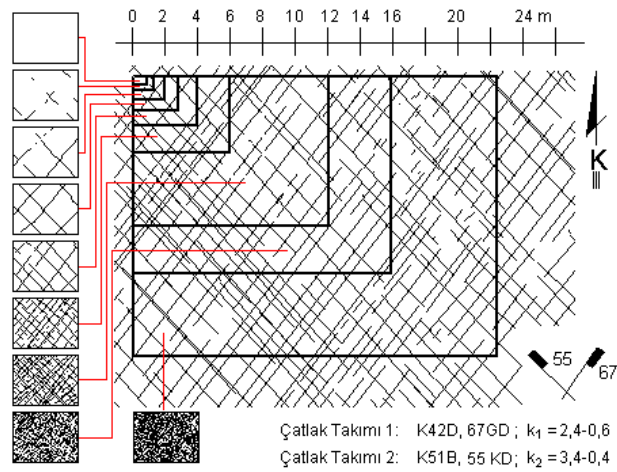
**Şekil 5.4:** Psödoplastikleşme eğrisi (Karakteristik)

Monolit çekme gerilmesi alırken Polilit çekme gerilmesi almaz. Dolayısıyla çatlaklı-kırıklı kayayı oluşturan parçalar birbiri üzerinde serbestçe hareket edebilir. Bunun önüne geçilebilmesi için ya parçaların birbirlerine çekmeye çalışabilen elemanlarla bağlanması, ya da bunların kinematik serbestliğinin kısıtlanması gerekir.



**Şekil 5.5:** Monolit ve polilit arasındaki temel fark

### 5.1.2 Sistem büyüklüğünün denetlenmesi



**Şekil 5.6:** Sistem büyüklüğü ve özür sayısının artışı

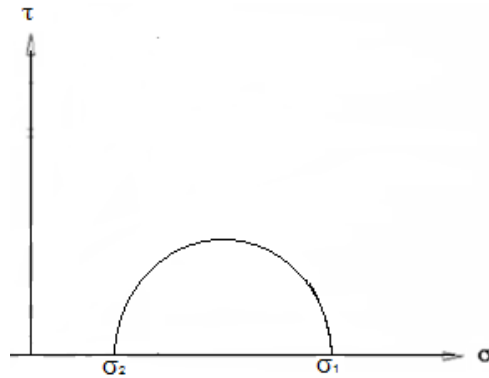
Projelerde yapılan her türlü analizin sonuçları sistem büyüklüğüne bağlı olarak farklılıklar gösterir. Şekilde de görüldüğü gibi, teknik girişimin boyutu büyüdükçe, içerdiği özür sayısı artacak ve buna bağlı olarak ortamın gerilme dağılımı ve dayanımında farklılıklar oluşacaktır.

Proje kapsamında, doğru analizlerle ortamı en iyi şekilde yorumlayabilmek için sistem büyüklüğünün bilinmesi gerekir.

Sistem büyüklüğü; teknik girişim sırası ve sonrasında etkilenen "fiziksel ve mekanik etkileşimin" olduğu ortamın boyutudur.

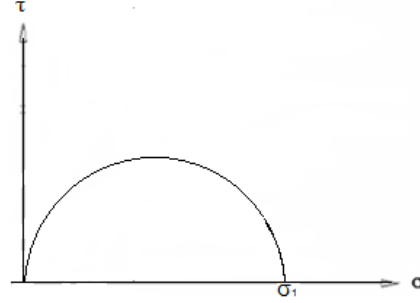
### 5.1.3 Gerilme dağılımları

Kazı öncesinde ortam primer gerilme durumuna sahiptir. Yüzey, herhangi bir teknik girişim olmadan önceki gerilme durumundadır.



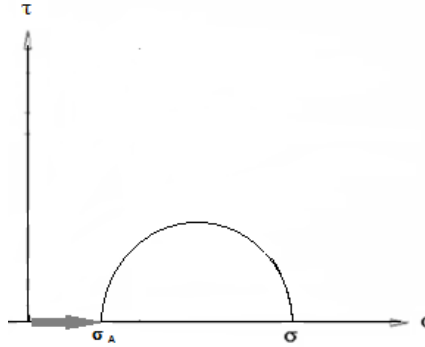
**Şekil 5.7:** Kazı öncesi

Kazı sırasında, doğal gerilme durumu değişir ve seconder (ikincil) gerilme durumu oluşur. Bu durumda artık ortamda Tek eksenli gerilme durumu hakimdir. Bu durum proje güvenliği açısından uygun bir gerilme durumu değildir.



**Şekil 5.8:** Kazı sırasında

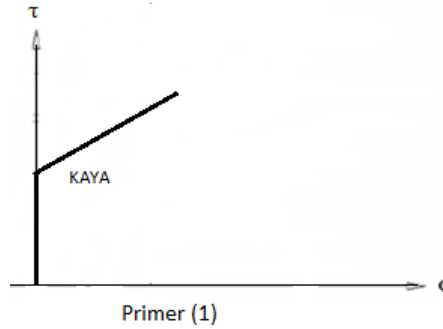
Ortamı donatılarla iyileştirdiğimiz anda, yüzey çekme gerilmeleri alabilen bir ortam haline gelecektir ve küçük parçalar birleşerek tek kuvvet olarak hareket edebilecektir. Yani, ortamda 3 eksenli gerilme durumu oluşacaktır.



**Şekil 5.9:** Donatılı kaya imalatı sonrası

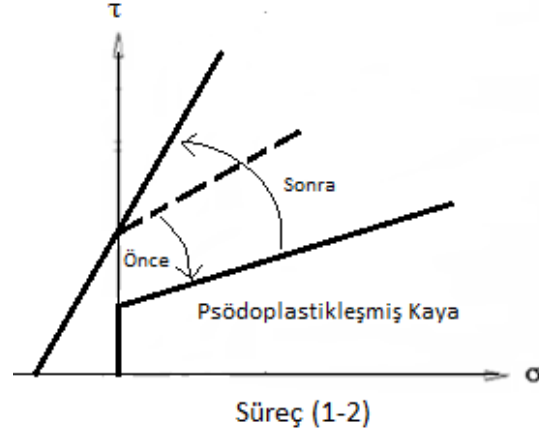
#### 5.1.4 Dayanım parametrelerinin denetimi

Kaya kazı öncesinde doğal (primer) gerilme durumuna sahiptir. Kaya yük ve çekme gerilmeleri alabilen bir dayanıma sahiptir.



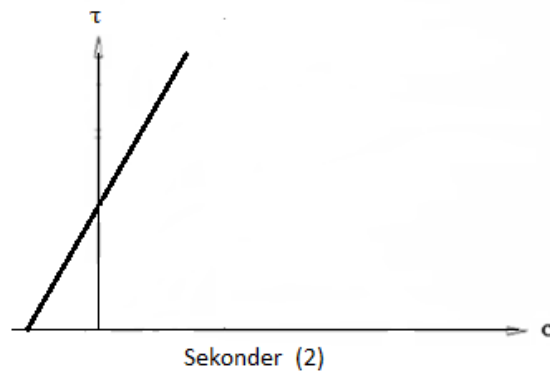
**Şekil 5.10:** Kazı öncesi

Kazı sırasında, doğal gerilme durumu bozulacaktır. Kazı sırasında, oluşan gerilme dağılımı parçadan parçaya aktarılırken, bu noktalarda yoğun gerilme yığılımları oluşur. Bu parçalar zamanla taşıyabileceği gerilme düzeyinin çok üstünde zorlandıkları an birbirleri üstünden kayarak, kayada şekil değişikliğine sebep olurlar. Yani, kaya parçalanmaya başlar ve psödoplastikleşir.



**Şekil 5.11:** Kazı sırasında

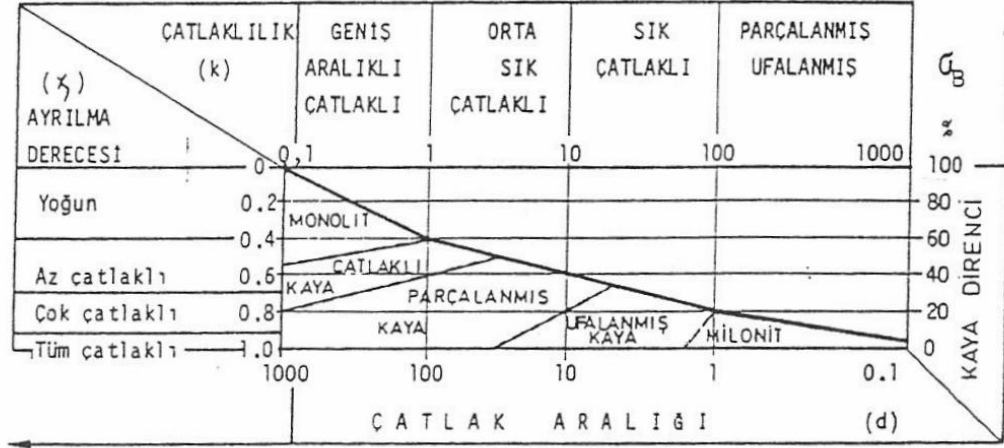
Donatılı kaya imalatından sonra, parçalanmış kayadaki ufak parçacıklar (serbest kaya elemanları) birleşecek ve tek bir kaya yapısı gibi davranmaya başlayacaktır. Artık, gerilme yığılımlarının olduğu noktalardaki gerilme düzeyi düşecek ve kaya çekme gerilmeleri alabilen bir dayanıma sahip olacaktır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken diğer nokta, kaya donatılandırdıktan sonra, ilk primer gerilme durumuna kıyasla dayanımı daha yüksektir.



**Şekil 5.12:** Donatılı kaya imalatı sonrası

### 5.1.5 Kaya sınıflaması

Kayanın taşıma direncindeki düşmeleri çatlaklılık ve ayrılma derecesinin bir fonksiyonu olarak ifade eden bir sınıflamadır. Kayanın mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.



**Şekil 5.13:** Ayrılma derecesi ve çatlak sıklığına bağlı olarak oluşturulan kaya sınıflaması (Müller, 1963)

Çalışma alanındaki şev yüzeyleri daha öncede belirtildiği gibi yedi bölgeye ayrılmış ve her bir bölgede kaya sınıflaması yapılmıştır. Bu sınıflama yöntemindeki en önemli unsur, sistem büyüklüğünün hesaba katılmasıdır. Yürütülen projelerde, sistem büyüklüğünün hesaba katılması gerekmektedir çünkü, her türlü analizin sonuçları sistem büyüklüğüne bağlı olarak farklılıklar gösterir. Çalışma alanında ilk etapta süreksizlikler belirlenmiş ve bu süreksizliklerin belirlenen bir uzunluktaki (belirlenen bir sistem büyüklüğünde) sayısı ve sürekliliği incelenmiş ve sınıflama yoluna gidilmiştir. Aynı bir uygulama olarak, terkedilen şevlerin mühendislik jeolojisi açıdan değerlendirilebilmesi için, arazide şev yüzeylerinin genel değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme kapsamında şev yüzeyindeki çatlaklar, su sızıntıları, ayrışma, taş düşmesi gibi kavramlara açıklık getirilmiştir. Yapılan gözlem ve ölçümlerin sonuç ve değerlendirmeleri EK İ.1’de yer almaktadır.

### 5.1.5.1 3. Bölge - 1.Kısım

1. Kısımda yapılan ortalama çatlak sıklığı ve ayrılma dereceleri hesabı,



Şekil 5.14: 3. Bölgedeki ortalama çatlak sıklığı

#### Ortalama çatlak sıklığı

$$K1(SINI) = (n1 / L)$$

$$= 5 / 3,5m$$

$$= 1,42$$

$$K2(SINI) = (n2 / L)$$

$$= 5 / 3,5m$$

$$= 1,42$$

$$K3(SINI) = (n3 / L)$$

$$= 5 / 3,2m$$

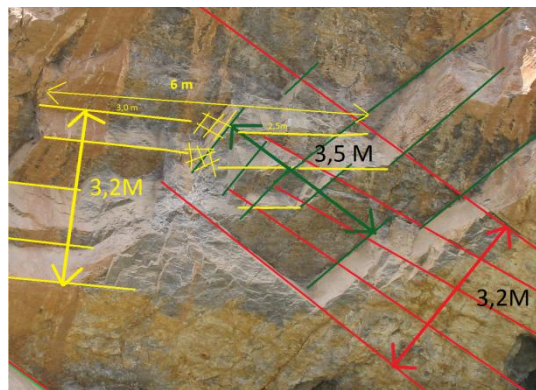
$$= 1,56$$

$$Kortalama(SINI) = (n1 + n2 + n3) / 3$$

$$= (1,42 + 1,42 + 1,56) / 3$$

$$= 1,46$$

**Ayrılma derecesi** için malzeme köprüleri Şekil 5.15'te görüldüğü gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.15: 3. Bölge, ayrılma derecesi hesabı

$$X_L = \sum \dot{C}_i / L \text{ (Sarı renkteki süreksizliğin ayrılma derecesi)}$$

$$= 5.5 / 6m$$

$$= 0,91$$

Çatlaklar arasında malzeme köprüleri bulunmamaktadır. Bu nedenle diğer süreksizlik takımlarının( yeşil ve kırmızı) ayrılma derecesini ‘1’ olarak almaktayız.

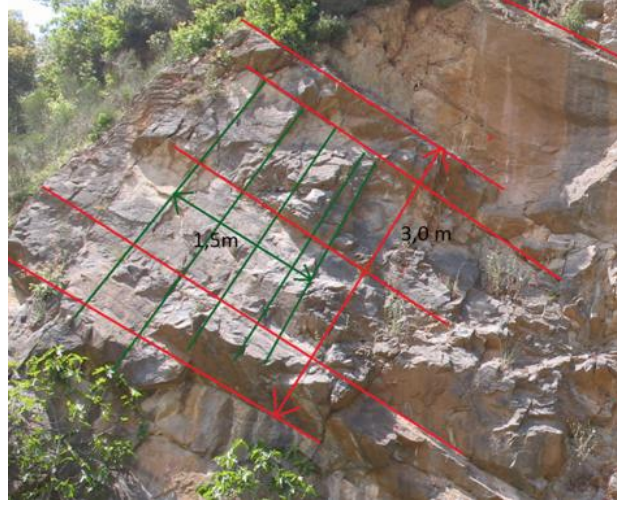
3 Süreksizlik takımının ortalamasını alırsak;

$$(1+1+0,91) / 3$$

$$= 0,97$$

Kaya sınıfı: Parçalanmış kaya

## 2. Kısım



**Şekil 5.16:** 3. Bölge, 2. kısım ortalama çatlak sıklığı

### Ortalama çatlak sıklığı

$$K1(SINI) = (n1 / L)$$

$$= 5 / 3m$$

$$= 1,66$$

$$K2(SINI) = (n2 / L)$$

$$= 5 / 1,5m$$

$$= 3,33$$

$$Kortalama(SINI) = (n1+n2) / 2$$

$$= (1,66+3,33) / 2$$

$$= 2,49$$

### Ayrılma derecesi

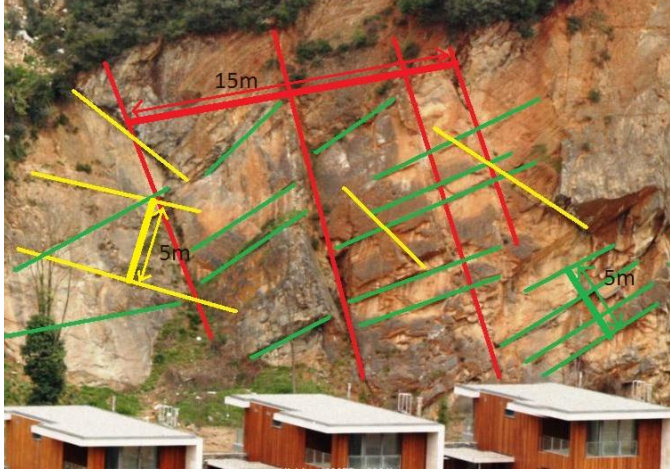
$$X_L = \sum \dot{C}_i / L$$

Çatlaklar arasında malzeme köprüleri bulunmamaktadır. Bu nedenle ayrılma derecesini ‘1’ olarak almaktayız.

Kaya Sınıfı: Parçalanmış Kaya

### 5.1.5.2 2. Bölge

2. bölgede kaya sınıflaması için saptanan ortalama çatlak sıklığı ve ayrılma derecesi hesabı



Şekil 5.17: 2. Bölge, ortalama çatlak sıklığı

#### Ortalama çatlak sıklığı

$$K1(SINI) = (n1 / L)$$

$$= 4/15m$$

$$= 0,26$$

$$K2(SINI) = (n2 / L)$$

$$= 2/5m$$

$$= 0,4$$

$$K3(SINI) = (n3 / L)$$

$$= 4/5m$$

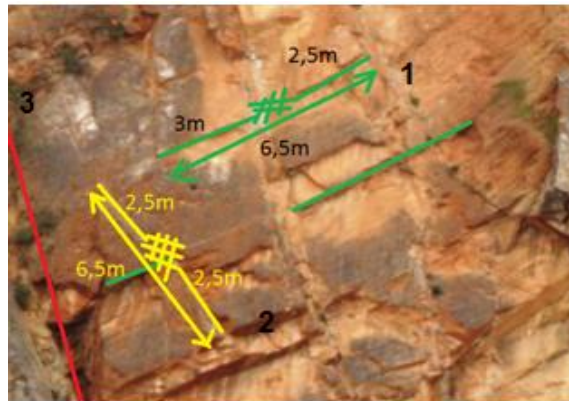
$$= 0,8$$

$$Kortalama(SINI) = (n1+n2+n3) / 3$$

$$= (0,26+0,4+0,8) / 3$$

$$= 0,48$$

**Ayrılma derecesi** için resimde de görüldüğü gibi, malzeme köprüleri belirlenmiştir.



Şekil 5.18: 2. Bölge, ayrılma derecesi hesabı

$$X_L = \sum \dot{C}_i / L$$

$$=(3+2,5)/6,5$$

$$=0,84$$

$$X_L = \sum \dot{C}_i / L$$

$$=(2,5+2,5)/6,5$$

$$=0,76$$

3 No'lu çatlakta (boyuna çatlaklar) malzeme köprüleri bulunmamaktadır.

$$X_L = \sum \dot{C}_i / L$$

$$=1/1=1$$

$$X_L = X_1 + X_2 + X_3 / 3$$

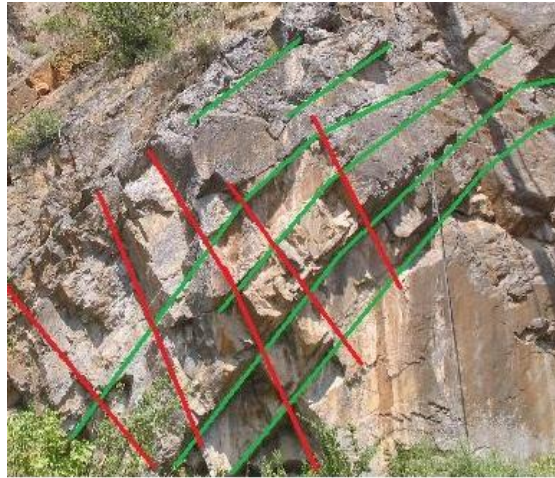
$$(0,84+0,76+1)/3$$

$$=0,87$$

Kaya Sınıfı: Çatlaklı kaya

#### 5.1.5.3 .7 Bölge

7. Bölgede resimde de görüldüğü gibi, çatlaklar belirgin ve malzeme köprüleri yoktur.



**Şekil 5.19:** 7. Bölge çatlak sıklığı ve ayrılma derecesi tayini

#### Ortalama Çatlak Sıklığı

$$K1(SINI) = (n1 / L)$$

$$=6/10m$$

$$=0,6$$

$$K2(SINI) = (n2 / L)$$

$$=5/15m$$

$$=0,33$$

$$Kortalama(SINI) = (n1+n2) / 2$$

$$=(0,6+0,33) / 2$$

$$=0,46$$

Ayrılma Derecesi

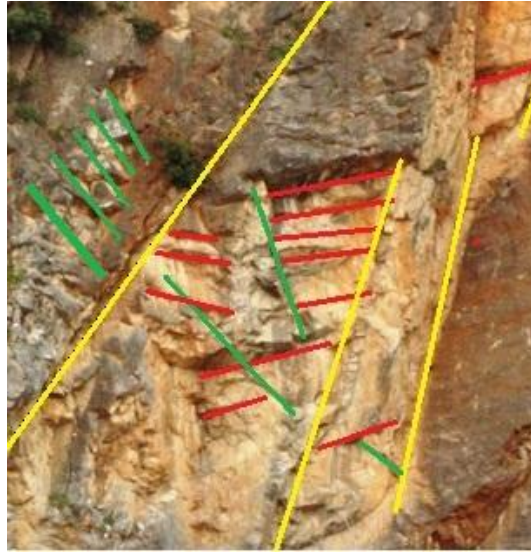
$$1-X_L = \sum \zeta_i / L$$

Çatlaklar arasında malzeme köprüleri bulunmamaktadır. Bu nedenle ayrılma derecesini '1' olarak almaktayız.

Kaya Sınıfı: Çatlaklı Kaya

#### 5.1.5.4 4-5. Bölge

Çok parçalı ve ezik zonların bulunduğu şev yüzeyinde çatlaklar belirgin ve malzeme köprüleri bulunmamaktadır.



Şekil 5.20: 4-5. Bölge, çatlak sıklığı ve ayrılma derecesi tayini

Ortalama Çatlak Sıklığı

$$K1(SINI) = (n1 / L)$$

$$= 7/5m$$

$$= 1,4$$

$$K2(SINI) = (n2 / L)$$

$$= 5/3m$$

$$= 1,66$$

$$Kortalama(SINI) = (n1+n2) / 2$$

$$= (1,4+1,66) / 2 = 3,06$$

Ayrılma Derecesi

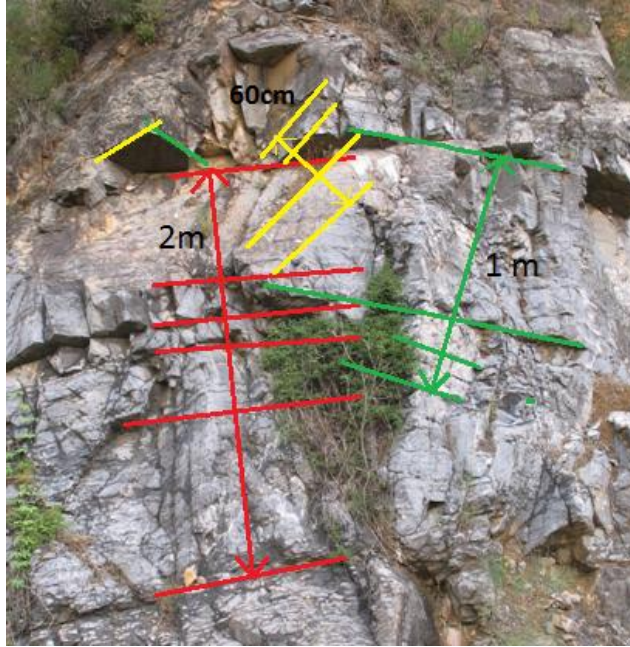
$$X_L = \sum \zeta_i / L$$

Çatlaklar arasında malzeme köprüleri bulunmamaktadır. Bu nedenle ayrılma derecesini '1' olarak almaktayız.

Kaya sınıfı: Parçalanmış Kaya

#### 5.1.5.5 1. Bölge

1. Bölgede kaya sınıflaması için ortalama çatlak sıklığı belirlenmiş ve ayrılma derecesi ise, malzeme köprülerinin olmamasından dolayı 1 olarak alınmıştır.



Şekil 5.21: 1. Bölge, çatlak sıklığı ve ayrılma derecesi tayini

Ortalama Çatlak Sıklığı

$$K1(SINI) = (n1 / L)$$

$$= 6/2m$$

$$= 3$$

$$K2(SINI) = (n2 / L)$$

$$= 4/1m$$

$$= 4$$

$$K3(SINI) = (n3 / L)$$

$$= 4/0,6m$$

$$= 6,5$$

$$Kortalama(SINI) = (n1+n2+n3) / 3$$

$$= (3+4+6,5) / 3$$

$$= 4,5$$

Ayrılma Derecesi

$$X_L = \sum \dot{C}_i / L$$

Çatlaklar arasında malzeme köprüleri bulunmamaktadır. Bu nedenle ayrılma derecesini '1' olarak almaktayız.

Kaya Sınıfı : Parçalanmış Kaya.

### 5.1.6 Kayanın fiziksel özellikleri

Kayanın fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla çalışma alanından 12 adet örnek alınmış ve deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde kayanın su muhtevası, boşluk oranı, porozite, dane birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı suya doymuş birim hacim ağırlığı, su altındaki birim hacim ağırlık ve doygunluk derecesi gibi özellikleri hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.1:** Deney numunelerinin ağırlık ve hacim değerleri

| Numune No | Kuru Ağırlık | Yaş Ağırlık | Toplam Hacim |
|-----------|--------------|-------------|--------------|
| 1         | 349,03       | 357,51      | 139,02       |
| 2         | 244,45       | 247,35      | 90,07        |
| 3         | 174,92       | 179,07      | 68,98        |
| 4         | 268,18       | 272,09      | 103,56       |
| 5         | 320,77       | 325,75      | 120,27       |
| 6         | 248,15       | 252,09      | 92,65        |
| 7         | 320,54       | 321,42      | 117,83       |
| 8         | 270,32       | 273,37      | 102,51       |
| 9         | 413,66       | 417,48      | 158,05       |
| 10        | 244,63       | 247,98      | 94,26        |

**Çizelge 5.2: Kayaçların fiziksel özellikleri**

| Deney Türü                 | Formüller                                           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9     | 10    | Ortalama |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| Boşluk oranı               | $e=V_b/V_s$                                         | %6,4 | %3,3 | %6,4 | %3,9 | %4,3 | %4,4 | %0,7 | %3,0 | %2,47 | %3,68 | 3,85     |
| Porozite                   | $n=V_b/V$                                           | %6   | %3,2 | %6,0 | %3,7 | %4,1 | %4,2 | %0,7 | %2,9 | %2,41 | %3,55 | 3,67     |
| Kuru birim hacim ağırlık   | $\gamma_k=W_k/V$                                    | 2,67 | 2,80 | 2,69 | 2,69 | 2,78 | 2,79 | 2,74 | 2,71 | 2,68  | 2,69  | 2,72     |
| Doygun birim hacim ağırlık | $\gamma_d=W_k+V_b.\gamma_w / V$                     | 2,57 | 2,74 | 2,59 | 2,62 | 2,70 | 2,72 | 2,72 | 2,66 | 2,64  | 2,63  | 2,65     |
| Ağırlıkça su emme          | $(W_t-W_s)/W_s$                                     | %2,4 | %1,1 | %2,3 | %1,4 | %1,5 | %1,5 | %0,3 | %1,1 | %0,9  | %1,36 | 1,38     |
| Hacimce su emme            | $S_v = \frac{(W_t - W_s) \gamma_w}{W_s / \gamma_s}$ | %6,4 | %3,3 | %6,3 | %3,9 | %4,3 | %4,4 | %0,7 | %3,0 | %2,47 | %3,68 | 3,84     |



## **6. KAYA ŞEVLERİNDE KAPLAMA-DESTEKLEME VE SAĞLAMLAŞTIRMA YAPILARININ TÜRLERİ**

Kaplama yapıları, kazı şevi eğiminin kaya dokusunun ve dayanımının izin verdiği üst sınırlarda veya daha düşük değerlerde seçilmesi halinde, ayrışma, sökülme, kavlaklanma ve don etkisine karşı kaya yüzeyini taş duvar, beton perde, püskürtme beton veya harç ile, drenaja imkan verecek şekilde örten statik görevi az olan kabuksu yapılardır.

Destekleme yapıları, kazı şevi eğiminin kaya dokusunun elverdiğinden daha dik seçilmesi durumunda gerekli olur. Dik şevler;

- Kazı miktarını azaltmak,
- Arazi kaybını önlemek ve kamulaştırma miktarını azaltmak,
- Büyük kazı yüzeyleri ile doğal görünümü bozmamak düşüncesiyle tercih edilir.

Kısa sürelerde; dik kaya şevlerinin kendini büyük ölçüde tutabildiği veya basit bazı önlemlerle korunabildiği bilinmektedir. Ancak uzun ömürlü kaya yapıları olarak düşünüldüğünde, zaman içinde yalnızca ayrışma, yüzeysel sökülme ve kavlaklanmalardan korumanın yeterli olamayacağı, istenilen güvenlik sağlanacak şekilde statik dengenin oluşturulması gereklidir. Destekleme yapıları bu amaca hizmet eden tutucu kuvvetler oluşturmak üzere imal edilirler.

Sağlamlaştırma işlemleri, kayanın mekanik parametrelerinin artırılması ve kazı sırasındaki ikincil gerilme durumunun güvenli yönde değiştirilmesi veya bunlarda etkili olan olumsuz faktörlerin giderilmesine yardımcı olurlar. Bu konuda; kaya enjeksiyonları, sistem ankrajları, kaya takozları (dübeller), kaya donatıları, kaya askıları ve benzerleri sayılabilir. Ayrıca kayanın (yeraltı) drenajı da bu kapsamda düşünülmelidir.

Kaya şevi enjeksiyonlarının genel olarak kazı öncesinde, olası kayma zonunu ve şev aynasını sağlamlaştıracak şekilde tamamlanmış olması gerekir. Aksi takdirde, enjeksiyon basınçları ve sıvısı şevi harekete geçiren neden de olabilirler.

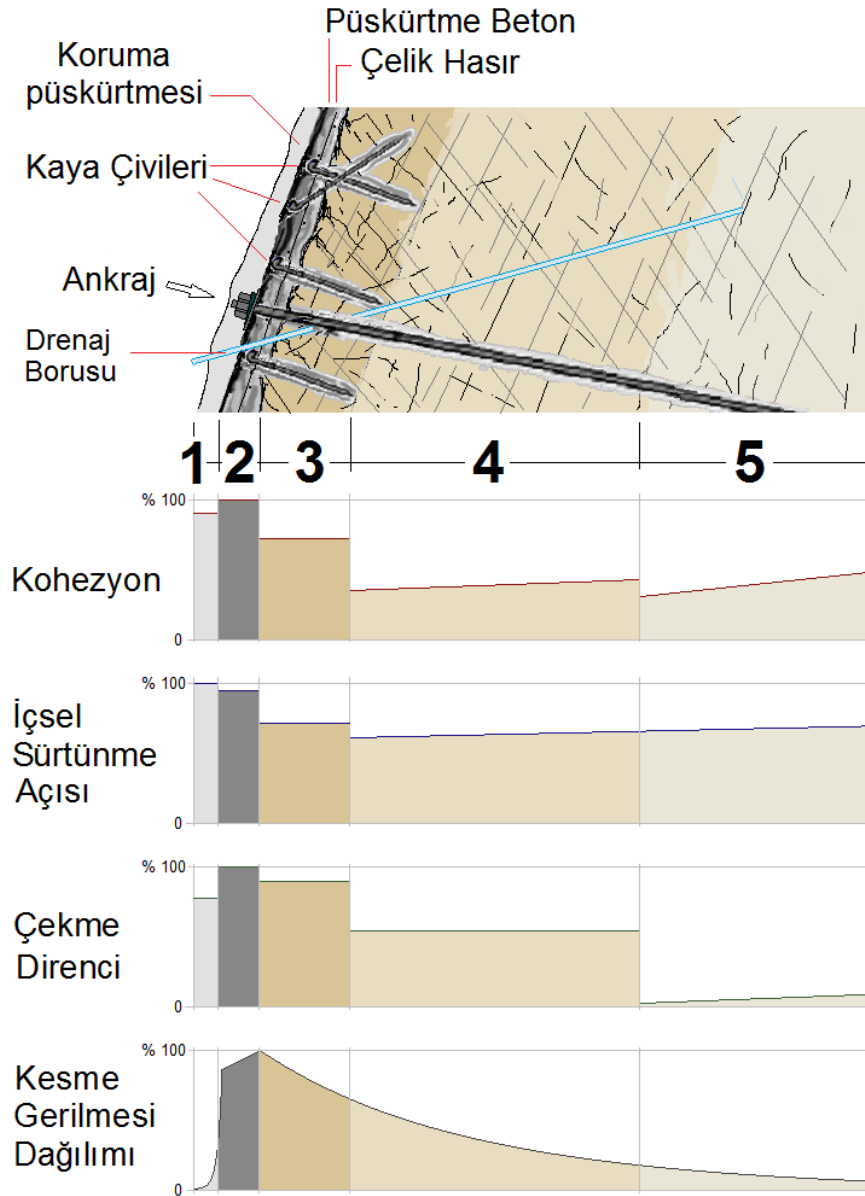
### 6.1 Donatılı Kaya Yapımında Çivi ve Ankrajların Görevi

Donatılı Kaya, farklı uzunluk ve yönelimdeki çok sayıda kaya çivisi ve ankrajın birlikte çalıştırılması ile oluşturulan bir kaya yapısı türüdür. Bu imalatla önce kazı yüzeyinin durumuna göre 3-5 cm kalınlığında, olabilirse lifli püskürtme beton uygulanır. Daha sonra çubukların yerleştirilmesine başlanır. Bu amaçla çelik ya da yerine göre lifli (fiber) çubuklar kullanılabilir. Prensip olarak kaya çivisi ve ankrajlar iki amaca hizmet ederler. Bunlar, Parçacıkları birleştirerek kaya dokusunu sağlamlaştırmak ile destekleme basıncı oluşturarak gerilme durumunu denetlemek.

Kaya yüzeyindeki gevşemeler ve boşalmalar püskürtülen harç ile önledikten sonra farklı yönlerde açılmış, derin olmayan (1-3 m) deliklere kancalı uçları 5 cm kadar dışarıda kalacak şekilde kaya çivileri yerleştirilir. Kancalara çelik hasırlar (Q188-Q221) asılır ve üstüne yeniden beton püskürtülür (10-15 cm). Bu şekilde serbestleşebilen bloklar birbirine bağlanarak kaya dokusunun kenetlenmesi sağlanır.

Sonuçta hem kayanın içsel parametreleri yükseltilmiş, hem de ona çekme gerilmelerini alabilme özelliği kazandırılmış olur. Bu şekilde sağlamlaştırılmış olan bölge daha sonra, hala duraylık sorunları giderilememişse sağlam olan iç kesimlere uzun ankrajlara gerdirilerek bağlanır.

Birinci grubu oluşturan saplamalar (kaya çivileri, blonlar), olabildiğince süreksizliklere, ya da süreksizliklerin arakesit doğrusuna dik olarak yönlendirilirler. Bunlar genelde  $\phi$  26 mm lik nervürlü çelikten yapılır. Kanca boyları, çivinin uzunluğuna bağlı olarak 15-30cm arasında olur. Uygulamada olabildiğince ekonomik, kolay ve hızla gerçekleştirilebilen imalat tarzı benimsenir. Çivi başlarına asla plaka konmaz. Çünkü beton ile donatının birlikte çalışması istenir. Deliklere doldurulan çimentolu harç çoğun yeterlidir. Gerektiğinde enine ve dikine gömülü kuşaklar (gizli kiriş ve kolonlar) oluşturacak şekilde, kancaların içinden geçen  $\phi$ 26mm nervürlü çelik donatı da yerleştirilir. Böylelikle kazı yüzeyinde, toplam kalınlığı yerine göre 3-3,5 metreye varan ve ana malzemesi kaya olan bir taşıyıcı-destek yapısı ortaya çıkar.



**Şekil 6.1:** Donatılı kaya imalatında ankrajların fonksiyonları

Son aşamada şev dışına eğimli delikli dren boruları yerleştirilir ve yüzey koruma ve düzleme amacıyla da üstü yeniden püskürtme beton ile örtülür. Dren boruları gelen su miktarı ve peyzaj durumu dikkate alınarak son kat püskürtmenin içinden topuktaki hendeğe ya da toplama borusuna bağlanabileceği gibi doğrudan dışarıya da çıkarılabilir.

Çatlaklı ve/veya geçirimli bir ortam için hazırlanan şev projesinde ilk ve vazgeçilmez önlem, yerüstü suyunun girişini engellemek veya azaltmak ve yer altı suyunu en güvenilir şekilde uzaklaştırmaktır. Diğer bütün önlemler daha sonra gelir. Genelde 4. zon üzerine yerleştirilen ve 1-2 ve 3. zon karakterindeki “kafa hendeksiz bir donatılı kaya yapısı” yetersiz, eksik, kusurlu ve tehlikeli bir imalattır.

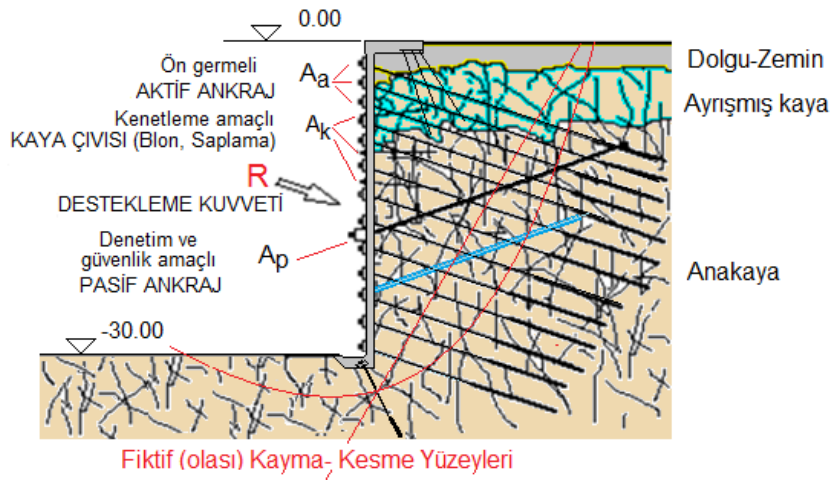
İmalat; şevlerde kazıyla birlikte yukarıdan aşağıya, sorunlu yamaçlarda ise aşağıdan yukarıya doğru yapılmalıdır. Büyük alan kaplayan yüksek şev ve yamaçlarda kesinlikle parçalı ve atlamalı-topuklu iş düzenlemeleri yapılmalıdır. Bu bölgeleme işe başlamadan evvel titizlikle gerçekleştirilmiş olan Mühendislik Jeolojisi veri ve bilgilerine dayandırılmış olmalıdır.

## 6.2 Kaya Şevlerinde Ankrajlı Perde Uygulaması

Kayada temel çukuru veya yol yarması gibi nedenlerle oluşturulan derin veya yüksek kazı şevlerinde, geçici veya kalıcı stabilitenin sağlanması için yararlanılan yapı türleri arasında ankrajlı perde uygulamaları da bulunmaktadır. Kaya yapıları mekaniği açısından gerçek ankrajlar; ikincil gerilme durumunun oluşumunu, gelişimini, yönünü ve şiddetini denetleyen ve düzenleyen yapı elemanlarıdır.

Ayrıca, ankrajların taşıyabildikleri çekme kuvveti kadar, yükleri nerede, nereye, niçin ve nasıl aktardıkları ve bunların deformasyon ve ötelenmelere karşı nasıl tepkidikleri öncelikle bilinmek zorundadır. Bu açıdan ele alındığında ve doğru kullanılmaları koşuluyla, ankrajların başka bir işlevi de, dolaylı olarak kayanın niteliğini arttırmalarıdır. Sonuçta ankrajlanmış bölge, çekme gerilmelerini de alabilen ve dokusu dağılmayan bir ‘monolitimsi’ ye dönüşmüş bulunmaktadır. Ankrajlı Perde prensipte bir “öngermeli donatılı kaya yapısı”dır.

Şekil 6.2.’de, derin temel kazılarında kullanılan ankrajlar, işlevlerine göre sınıflandırılarak açıklanmaktadır.



Şekil 6.2: Sistem ankrajlamada görev ve işlevleri farklı olan ankrajlar

**Kaya Saplamları ( $A_k$ )**, Kazı yüzeyinden başlayarak içerilere doğru sönümlenen gevşemelerin denetlenmesi ve bir donatılı kaya zonunun oluşturulması için hızla ve kolayca yerleştirilen kenetleme çubuklarıdır. Kaya çivileri ve blonlar olarak da bilinirler. Boyları genelde 1-3 m arasında değişir. İnce bir püskürtme beton uygulamasının ardından ve gerektiğinde hasır çelik ile birlikte hemen yerleştirilmeleri daha uygundur.

Kullanılmalarındaki ana amaç, betonarme perde (plak) gerisinde, onunla birlikte çalışan ve çekme ve kesme gerilmeleri alabilen fiziksel bir sistemin oluşturulmasıdır. Kayaçların ve süreksizliklerin durumuna göre yerleştirilen çubukların bağlanması için yapılan enjeksiyon dolguları, ayrıca birim kaya elemanlarını (çatlak cisimlerini) birbirine bağlayarak ortamın dayanımını da artırmış olmaktadır.

**Etkin (Aktif) Ankrajlar ( $A_a$ )**, Projelerde yakından tanıdığımız, kazı yüzeyine uygulanması gereken destekleme basıncına göre boyutlandırılmış ve seçilmiş olan aktif ankrajlardır. Bunlar gerideki sağlam ve güvenli bölgeye bağlanarak gerilme durumunu değiştiren, uzun ve nitelikli gerçek ankrajlardır.

**Pasif ankraj ( $A_p$ )**, Yukarıya doğru yönlendirilmiş oluşuyla Şekil 7.2’de gösterilen önemli bir yeniliktir. Bunlar ilk kez Fındıklı-Gümüşsuyu derin kazı ankrajlı perdelerinde ve ikinci kez de Mahmutlu TEM Kavşağının ankrajlı yarma perdelerinde oluşan hareketleri ve öngermeli ankrajlardaki boşalmaları önlemek için kullanılmışlardır (Vardar,1987, 2004).

Bu yukarıya yönelimli pasif ankrajlarla, öngermeli aktif ankrajların betonarme plak üzerinden kazı yüzeyine uyguladıkları R destekleme kuvvetinin düşey bileşeni karşılanmakta ve yukarıdan aşağıya gerçekleştirilen uygulamalarda askıdaki betonarme plağın sürtünme ile karşılanamayan ağırlığı taşınmaktadır. Böylece olası topuk ezilmelerinin ve aktif ankrajlardaki gevşemelerin ve buna bağlı duraysızlıkların önüne geçilmektedir. Bu ankrajların aynı zamanda bir ölçüm aracı olarak perdede oluşan deformasyonları ve yük değişimlerini izlemek, denetlemek ve gerektiğinde yenilerini ekleyerek karşılamak üzere yerleştirilmelerinde büyük yarar vardır. Bu ankrajlardaki yüklerin zamanla artması, duvarda düşey yüklerin sürtünmeyle karşılanamadığının, öngermeli ankrajların gevşemeye başladıklarının ve şev-yamaç içinde göreceli hareketin (doku yenilmesinin) başlamış olduğunun en belirgin kanıtı olmaktadır.

**Betonarme plak,** Kayada üç eksenli gerilme durumunun yaratılması sırasında, kazı yüzeyine düzgün (homojen) ve değişmeyen (konzervatif) basınç aktarımını sağlayan, onu dış etmenlerden koruyan ve gerilme boşalması sırası ve sonrasında kaya dokusunun gevşemesini (psödoplastikleşmesini ve buna bağlı dilatasyonunu) engellemek üzere katılaştırılmış (rijitleştirilmiş) önemli bir kaya yapısı ögesidir.

Bu plaklar, kendi ağırlıkları veya sürtünmeleriyle kuvvetleri dengelemek veya kazı yüzeyine destekleme basıncı uygulamak amacıyla imal edilmezler, ankrajların ön germe verilerek oluşturdukları noktasal yüklerin alansal yayılımını sağlayarak destekleme basıncının (destekleme direncini) kayaya en iyi şekilde iletilmesine yardımcı olurlar. Plak içine gömülü veya görünür perde kirişleri ve payanda kolonları da geniş alana yayılı bu perdenin üçüncü boyuttaki rijitliğini sağlar.

## 7. KAYA ŞEVLERİNİN HESAPLANMASINDA BAŞLICA YÖNTEMLER

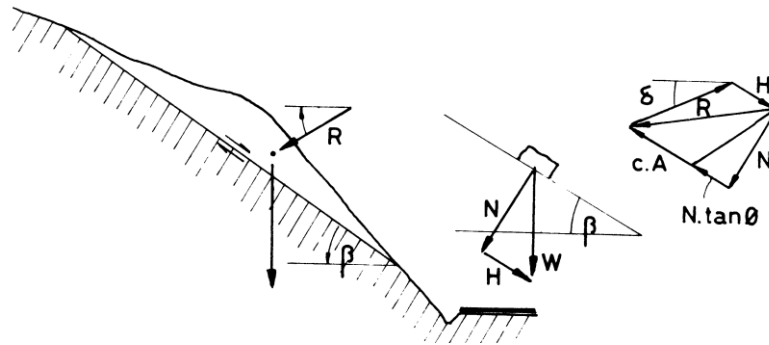
Kaya şevlerinin duraylık analizlerinde genelde zorlayıcı kuvvetlerin ya da bunların oluşturduğu momentlerin veya gerilmelerin dikkate alındığı değişik denge ve taşıma hipotezlerinden yararlanılmaktadır.

### 7.1 Kaya Şevlerinin Duraylılık Analizi

Blok kaymalarında, iki boyutlu (düzlemsel) kayma durumu daha basit mekanik modellere indirgenerek kuvvetler poligonundan yararlanılır ve tutucu kuvvetler ile kaydırıcı kuvvetler ayrı ayrı incelenir.

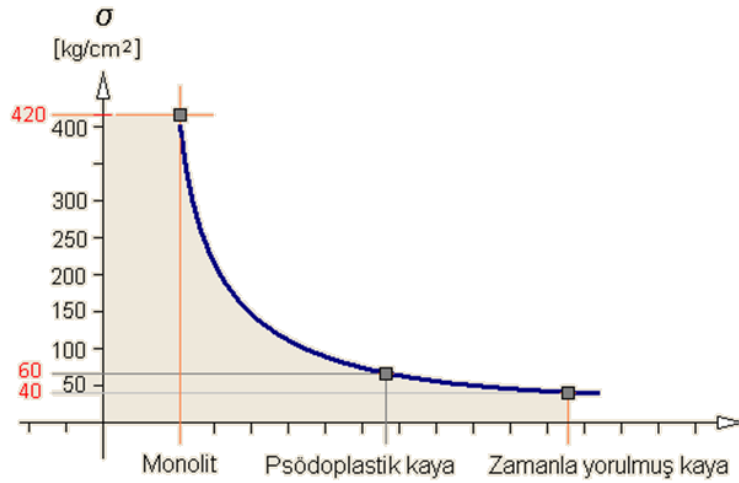
Kaydırıcı kuvvetlerin, istenen güvenlik sayısına göre ifade edilmiş olan ( $\Sigma$  tutucu kuvvetler/ $\upsilon$ ) tutucu kuvvetlerden daha büyük olması halinde, dengeyi sağlayacak olan kuvvetlerin bileşkesi olan “R” kuvvetinin yönünün ve şiddetinin bilinmesi gerekir.

Dengeleme kuvvetinin yönü, farklı uygulama açılarına göre yapılan hesaplar sonucunda optimize edilir. Dengeleyici kuvvet bir kaya ankrajı ile iletilmek istendiğinde, süreksizlik düzlemi ile ankraj yönü arasındaki açının 30 dereceden daha büyük olması genel ilke olarak benimsenmiştir. Böylelikle delgi sırasında tijlerin süreksizlik içine sapması önlenmekte ve ankraj ucunun ana kaya içinde daha güvenli olarak bağlanması sağlanmaktadır.

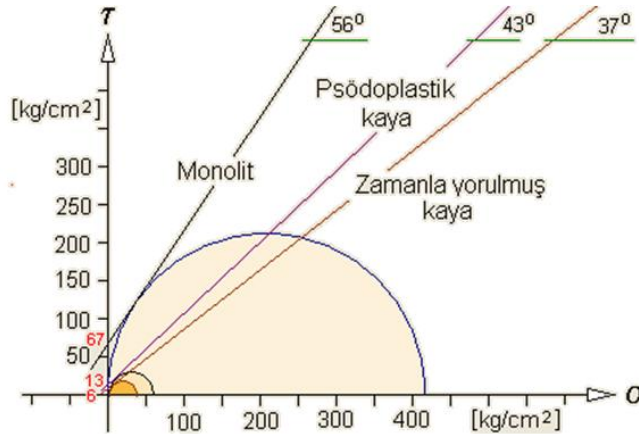


Şekil 7.1: Düzlemsel kaymada kuvvetler poligonu

Arazi incelemeleri sırasında saptanan bu süreksizlik topoğrafik eğimin ( $\beta_{top}$ ) süreksizliğin eğiminden daha küçük olması nedeniyle çoğu kazı ve yarma işlemleri öncesinde yamaçta izlenemez. Ancak, kazı sırasında oluşturulan şev açısının ( $\beta_{şev}$ ), süreksizliğin eğiminden ( $\beta_{sür}$ ) daha büyük olduğu durumlarda şevin yüzeyinde gözüktür. ( $\beta_{şev} > \beta_{sür}$ ). Bir kaya bloğunun kayabilmesi için süreksizliğin şev koşulunun gerçekleşmesi gerekir. Buna “Geometrik Koşul” veya “Olasılık Koşulu” adı verilmektedir.



**Şekil 7.2:** Kireçtaşlarında çatlaklanma ve zaman etkisi sonucunda beklenen basınç dirençleri



**Şekil 7.3:** Beklenen olası mekanik parametreler

#### **Beklenen olası mekanik parametreler;**

Monolit (taş) tek parça için,

$$\sigma_b \cong 420 \text{ kg/cm}^2, (42 \text{ MPa})$$

$$E = 17000 \text{ MPa}, n = 0.22$$

$$\phi \cong 56^\circ$$

$$c \cong 67 \text{ kg/cm}^2, (6,7 \text{ MPa})$$

Psödoplastikleşmiş çatlaklı kaya için,

$$\sigma_b \cong 60 \text{ kg/cm}^2, (6 \text{ MPa})$$

Zaman etkisi sonucunda,

$$\sigma_b \cong 40 \text{ kg/cm}^2, (4 \text{ MPa})$$

$$E = 7000 \text{ MPa}, n = 0.29$$

$$\phi \cong 37^\circ$$

$$c \cong 6 \text{ kg/cm}^2, (600 \text{ kPa})$$

$$\phi \cong 43^\circ$$

$$c \cong 13 \text{ kg/cm}^2, (1300 \text{ kPa})$$

$$E = 7500 \text{ MPa}, n = 0.24$$

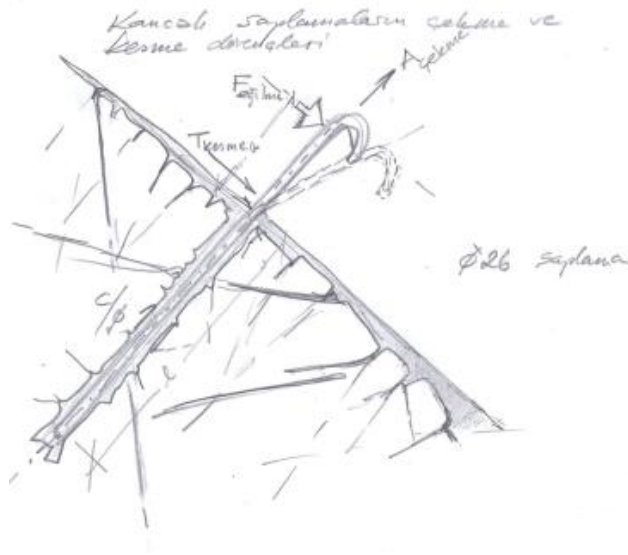
## **7.2 Kancalı Saplamların Çekme ve Kesme Dirençleri ve $\phi$ 26 mm SN Nervürlü Çelik İçin Dayanım Analizleri**

Destek amaçlı kullanılan kaya saplamlarında (blonlarında, çivilerinde), 4 farklı yenilme gözlemlenebilir. Bunlar;

1. Serbestleşen kaya bloğu ağırlığının,  $\phi$ 26 mm SN nervürlü çelik kaya çivisinin kesme direncini geçmesi ve buna bağlı olarak destek bulonunun eğilmesi veya kesilmesidir. Bu durumda bloğun ağırlığı, saplamanın kesme direncine oranlanarak, güvenli taşıyabileceği bir alan belirlenir. Bu alan  $\phi$ 26 mm SN nervürlü çelik çubuğun kesit alanına bölünerek, o bloğu istenilen şartlarda taşınması gereken bulon adedi saptanır.
2. Kaya çivisinin, arazi gerilmelerinin bir sonucu olarak çekme kuvvetine maruz kalması ve bunun sonucunda deliğinden sıyrılmasıdır. Çimento kohezyonun, saplama çubuğunun çevresi ve kaya içindeki saplanma uzunluğu ile çarpımı elde edilen değerdir.
3. Sürtünmenin ve kesme gerilmesinin yüksek olduğu durumlarda ise çivinin, araziden koni şeklinde bir parça kopararak serbest hale gelmesidir. Bulonun

bağlandığı kayayı kopararak oluşturabileceği yenilme olasılığının irdelenmesidir.

4. Saplama başlarının zorlanarak eğilmesidir. Bloğun kinematik serbestliğini sınırlamak üzere yerleştirilen saplamanın dışarıda bırakılan en uç noktadan yüklenmesi durumunda ve en fazla 15 mm deformasyona yapacak şekilde taşıma yükünün belirlenmesidir.



Şekil 7.4:Kancalı saplamaların kesme ve eğilmeye göre tahkiki(Vardar,2010)

#### Hesaplarda kullanılan değerler:

Q26 nervürlü bulon için;

Alan: 5,3 cm<sup>2</sup>

$$\tau_{emn} = 3700 \text{ kg/cm}^2 = 37000 \text{ ton/m}^2$$

Çevre: 8,16cm

$$c = 0,15 \text{ kg/cm}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

#### 1. Kopmaya karşı dayanım analizi

Alan: 5,3 cm<sup>2</sup> ve  $\tau_{emn} = 3700 \text{ kg/cm}^2 = 37000 \text{ ton/m}^2$  olduğuna göre;

$$3700 \text{ kg/cm}^2 \times 5,3 \text{ cm}^2 = 19610 \text{ kg} = 19,6 \text{ ton.}$$

Bu değer, kaya bloğunun etkin kaydırıcı kuvvetinin 19,61 tonu geçmediği durumlarda bir adet bulon için, bulonun kopmasının gerçekleşmeyeceği sınır değerdir.

Ancak hiçbir kalıcı saplama bu değerlere göre çalıştırılmaz. Açık arazi şartlarında  $\phi 26$  mm SN nervürlü çelik saplamlar güvenlik sayısı yaklaşık 2 olacak şekilde en fazla 10 tona çalıştırılabilirler. Bu değer aşılması durumunda, bulon adedi artırılır.

## 2. Sıyrılmaya karşı dayanım analizi

100 cm kaya içine saplanan bulonun sıyrılmaya direnci:

$$T = c \times \text{bulon çevresi} \times \text{kaya içine saplanan uzunluk} \quad (7.1)$$

$$T = 15 \text{ kg/cm}^2 \times 8,16 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 12\,240 \text{ kg olacaktır.}$$

## 3. Kayanın kesmeye karşı dayanım analizi:

Kesilecek olan koninin yüzeyinde normal gerilmenin etkilediği kabul edilerek yalnızca kohezyon direnci hesaplanır. Buna göre 1 m derine saplanan çubuğun koparacağı koninin yüzey alanı (sürtünme konisinin yüzeyi)  $\phi = 56^\circ$  ( $\theta = 17^\circ$ ) için

$$A_{\text{koni}} = r \pi s = l^2 \times \sin \theta / \cos^2 \theta \quad (7.2)$$

$$A_{\text{koni}} = 100^2 \times \sin 17 / \cos^2 17 = 3197 \text{ cm}^2 = 3200 \text{ cm}^2 \text{ dir.}$$

Kayanın kohezyonu en kötü koşullarda (çatlaklanma ve zaman etkisi)

6 kg/cm<sup>2</sup> olduğuna göre kayayı koparabilmek için

$$3200 \times 6 = 19\,200 \text{ kg lık kuvvet gerekecektir.}$$

Ancak saplanan çubuk daha önce sıyrılarak çıkar, ya da kopar. Dolayısıyla kaya tüm uygulanan saplamları zarar görmeden taşır.

## 4. Eğilmeye karşı dayanım analizi:

Ankastre saplamanın 30 cm lik ucunda 15 mm lik bir eğilmenin oluşabilmesi için gerekli olan Yük (kg)

$$f = P \times l^3 / 3 E \times J \text{ eşitliğinden hesaplanır.} \quad (7.3)$$

Buna göre

$$P = f \times 3 E \times J / l^3 = 1.5 \times 3 \times 2\,100\,000 \times 4,5 / 30^3 = 1570 \text{ kg dır.}$$

J: Atalet Momenti.

E: Elastik Modul

Saplama kancalarının daha kısa tutulması halinde çubuklar daha fazla taşıyabilirlerse de her saplama için 1500 kg lık bir tutucu kuvvet kabulünden hareket edilmesi uygun olur.

### 7.3 3 Nokta Kuralı

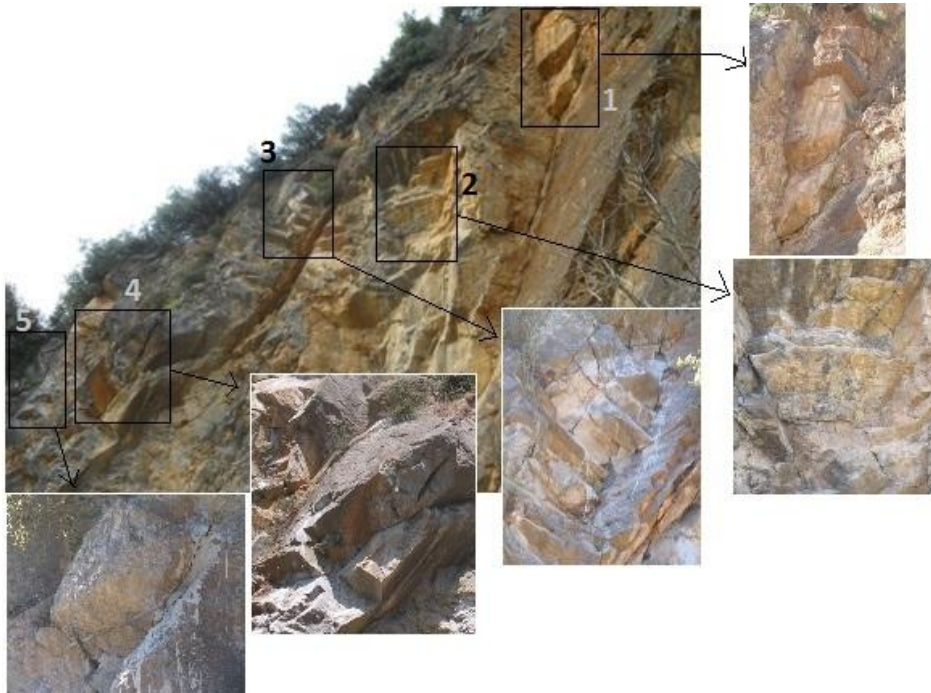
Burada değinilmesi gereken önemli nokta, eğik yüzeyler üzerinde kayma olasılığı bulunan cisimlerin dengede durabilmesi ve kaymaması için olası hareket vektörünün aralarında kaldığı en az iki noktadan tutulmasının gerektiğidir. Tek noktada desteklenen blok dönerek kayabilir, 2 noktada desteklenen blok ise herhangi birinin devre dışı kalması halinde dönebilir veya devrilebilir. Bu nedenle bloğun kalıcı dengesinin güvenli şekilde sağlanabilmesi için en az 3 farklı noktadan tutulması ve böylece olası hareketinin engellenmesi amaçlanır.

En önemli uygulama işlemi ise saplama başının bloğa boşluk bırakmayacak şekilde temas ettirilmesi ve anakaya ile blok arasının saplamayı enaz 8 cm örtecek şekilde püskürtme beton ile doldurulmasıdır.

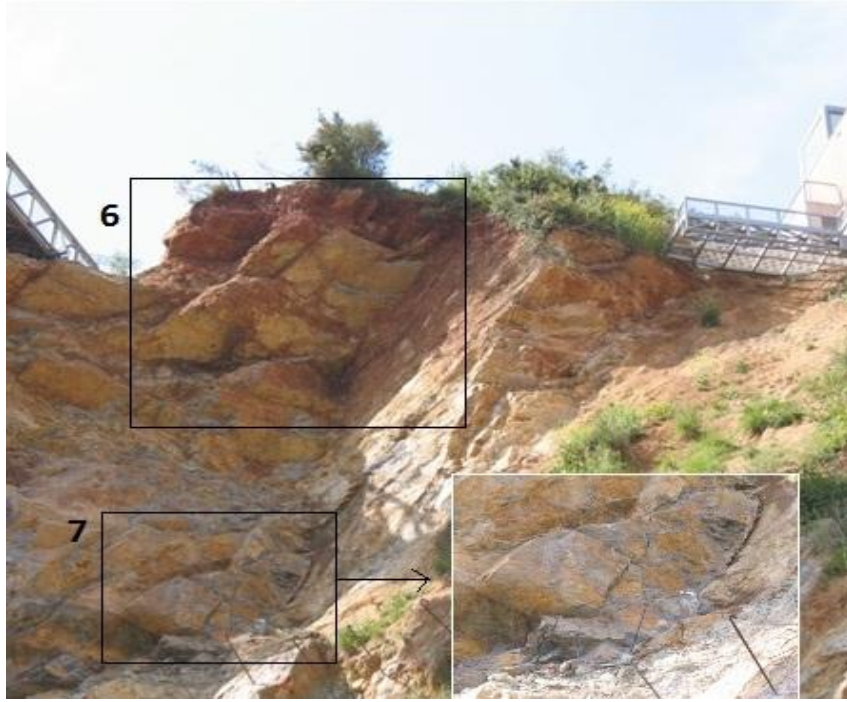
### 7.4 İmalat Bölgelerindeki Uygulamalar İçin Yapılan Hesaplar

#### 7.4.1 4-5. Bölgelerde bulunan riskler ve hesapları

Asansör Bölgesi olarak adlandırdığımız kısımda şev yüzeyinde tehlike oluşturan, süreksizliklerle anakayadan ayrılmış kaya blokları mevcuttur. Bu parçalar kavlak olarak düşürülebilecek nitelikte değildir. Bu durumda, tehlike oluşturan kaya bloklarının kaya saplamalarıyla desteklenmesi gerekmektedir.



**Şekil 7.5:** Önlem alınmasını gerektiren riskli kaya bloklarının yerleri



**Şekil 7.6:** Önlem alınmasını gerektiren riskli kaya bloklarının yerleri

İlk olarak, şev yüzeyindeki olası tehlikelerin yerleri ve adetleri saptanmış, buradaki serbest kaya bloklarının konumları ve boyutları belirlenmiştir. Geometrilere çıkarılan bu kaya bloklarının ağırlıkları bulunmuş ve şev eğimine bağlı olarak sayısal duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu bölgede serbest halde bulunan 7 adet kaya bloğu vardır. Her bir kaya bloğunun, uygulama yapılmadan önceki güvenlik sayısı bulunmuştur. Bulunan güvenlik sayılarını, en az ‘‘3 ve üzeri’’ yapmak koşuluyla, kullanılacak olan kaya cıvatalarının adedi ve özellikleri hesaba katılmış ve blok modellenmiştir.

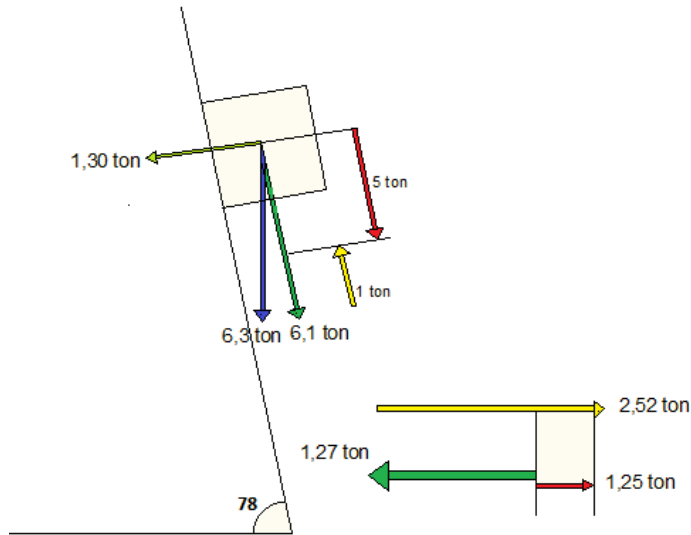
5. Bölgede şev yüzeyi yaklaşık 78 derecedir. Bu değer, düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıkların oluşabilme ihtimalini arttırmaktadır. Bilindiği gibi şev eğiminin, süreksizliğin eğiminden büyük olması, olası deformasyonları tetikler.

Bölgede bulunan serbest kaya elemanlarının, ağırlıklarına ve şev eğimine bağlı olarak tutucu kuvvetleri ve kaydırıcı kuvvetleri bulunmuştur. Sonuç olarak, istenilen güvenlik sayısı doğrultusunda destekleme işlemleri yapılmıştır.

#### 7.4.1.1 5-1.Blok



Şekil 7.7: 1 No'lu blok geometrisi ve işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü



Şekil 7.8: 1 No'lu blok için hesap modeli

#### Bloğun Kayma ve Yenilme Modeli

*Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli*

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = ((3 \text{ m} \times 0,9 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}) + (1,5 \times 0,9 \times 0,5) + (0,9 \times 1 \times 0,3)) \times 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = 4,5 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'$  (1,3 ve 1,4) için;

$$4,5 \times 1,3(1,4)=5,85\text{ton} (6,3\text{ton})$$

$$5,85 \times 0,3=1,75 \text{ ton}$$

$$6,3 \times 0,4=2,52 \text{ ton (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 6,3 ton, yatay bileşen 2,52 ton)}$$

**Çizelge 7.1:** 5-1.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                               |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos 12 =6,16 ton     |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin 12=1,30 ton     |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=0,97, (1) ton |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= K - S = 5 ton            |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0.4 = 2,52 ton      |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos12 = 1,27 ton    |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = 1,25 ton     |

$$\text{Tam temaslı yüzey alanı}=2,5 \text{ m}^2$$

$$C=0,15\text{kg/cm}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad (7.4)$$

$$G_s = \frac{1,5 \times 2,5 + 1}{6,1} = 0,8$$

Gs=3 için;  $(6,1 \times 3) - 4,75 = 13,55 \text{ ton}$  (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

Ø26 bulon için;

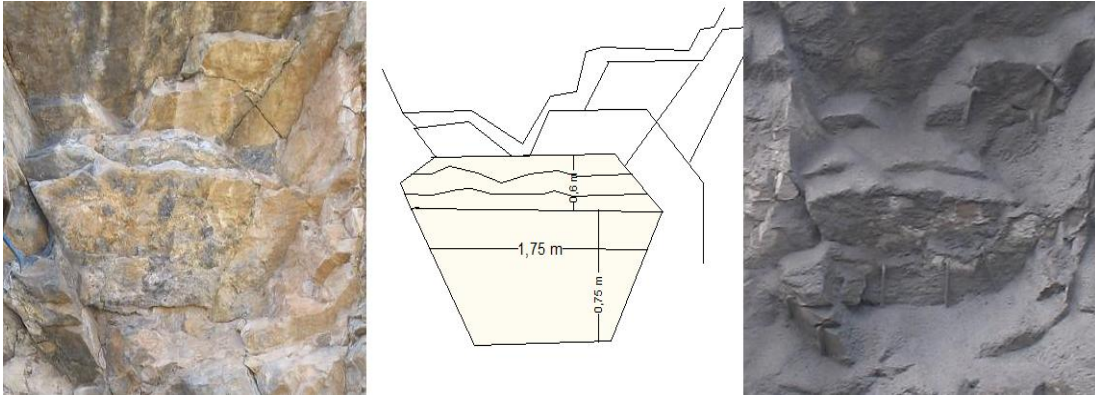
$$\text{Alan: } 5,3 \text{ cm}^2$$

$$\tau_m = 3700\text{kg/cm}^2 = 37000\text{ton/m}^2 \quad 1350\text{kg}/3700\text{kg/cm}^2 = 0,36 \text{ cm}^2$$

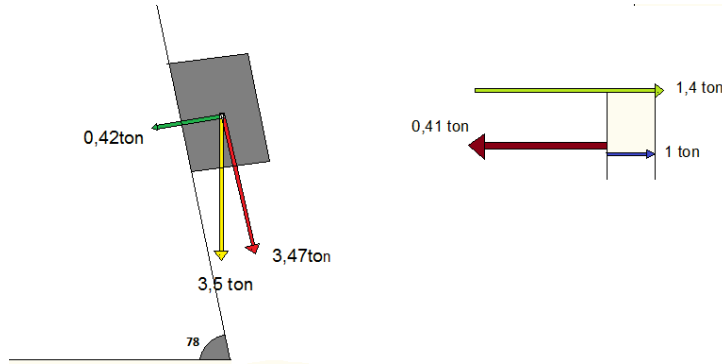
$$W: 1,35 \text{ ton} = 1350\text{kg} \quad G_s=3 \text{ için; } 0,36\text{cm}^2 \times 3 = 1,09\text{cm}^2$$

Civatanın Alanı =  $5,3 \text{ cm}^2$  olduğuna göre, Bu blok örneği için tek bir civata statik açıdan dengeyi sağlamak için yeterlidir. Fakat, daha öncede bahsedilen 3 nokta kuralı sebebiyle kaya civataları bloğun geometrisine bağlı olarak konumlandırılmıştır.

#### 7.4.1.2 5-2.Blok



Şekil 7.9: 2 No'lu bloğun geometrisi ile işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü



Şekil 7.10: No'lu blok için hesap modeli

#### Bloğun Kayma ve Yenilme Modeli

*Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli*

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = (0,65 \times 0,80 \times 01,75) \times 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = 2,5 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$2,5 \times 1,3(1,4) = 3,25 \text{ ton } (3,5 \text{ ton})$$

$$3,25 \times 0,3 = 0,97 \text{ ton}$$

$$3,5 \times 0,4 = 1,4 \text{ ton}$$

(Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 3,5 ton, yatay bileşen 1,4 ton)

**Çizelge 7.2:** 5-2.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                                              |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | $(K) = G \times \cos 7 = 3,47 \text{ ton}$   |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | $(N) = G \times \sin 7 = 0,42 \text{ ton}$   |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | $(H_d) = G \times 0.4 = 1,4 \text{ ton}$     |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | $(N_h) = N \times \cos 7 = 0,41 \text{ ton}$ |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | $(F_h) = H_d - N_h = 1 \text{ ton}$          |

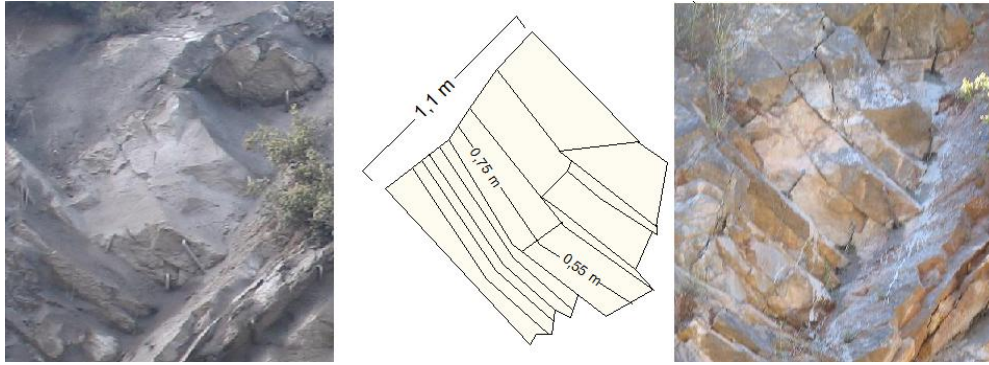
Bu blok düzlemsel kayma oluşturabilmesi için gerekli geometrik koşula sahip değildir. Blok şev eğimine göre daha dik durmakta ve devrilme tehlikesi oluşturmaktadır. Bu durumda bloğun yatay bileşenleri sorgulanmıştır. Deprem durumunda, yatay bileşeni tabloda da görüldüğü gibi 1.4 ton dur. Bu blok deprem esnasında 1,4 tonluk bir kuvvetle şev dışına doğru itilecektir.

Diğer yandan blok ağırlığına bağlı olarak oluşan normal kuvvetin yatay bileşeni ise 0.41 tondur. Çatlak aralığı iki kaya yüzeyinin temasını yeterince engellemiş olduğundan kohezyon hesaba katılmamıştır.

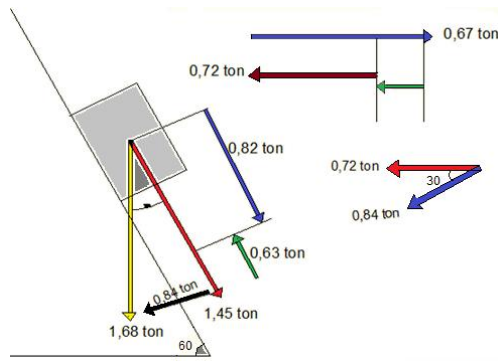
Sonuç olarak, çizilen modelden de anlaşıldığı gibi, kaya bloğu deprem durumunda, 1 tonluk bir kuvvetle şev dışına doğru hareket edecektir.

$G_s=3$  için,  $1 \times 3=3$  ton. 3 tonluk bir yatay bileşen civatanın genel bilgiler kısmında da hesaplandığı gibi, kesme direncini aşmamaktadır. Bu durumda tek bir saplama statik açıdan yeterlidir. Ancak, 3 nokta kuralına göre blok geometrisine bağlı olarak, blonlar en az üç farklı noktada konumlandırılmıştır.

### 7.4.1.3 5-3.Blok



Şekil 7.11: 3 No'lu bloğun geometrisi ile işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü



Şekil 7.12: 3 No'lu blok için hesap modeli

### Kayma ve Yenilme Modeli

Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G (0,75 \times 0,55 \times 1,10) \text{ ton} \times 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = 1,2 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$1,2 \times 1,3(1,4) = 1,56 \text{ ton (1,68 ton)}$$

$$1,56 \times 0,3 = 0,47 \text{ ton}$$

$$1,68 \times 0,4 = 0,672 \text{ ton (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 1,68 ton, yatay bileşen 0,67 ton)}$$

**Çizelge 7.3:** 5-3.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos 30 =1,45 ton  |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin 30=0,84 ton  |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=0,63ton    |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= K - S = 0,82 ton      |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0.4 = 0,67 ton   |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos30 = 0,72 ton |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = - 0,5 ton |

Tam temaslı yüzey alanı=0,5 m<sup>2</sup>

$$C=0,15\text{kg/cm}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4).no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{1,5 \times 0,5 + 0,63}{1,45} = 0,95$$

Gs=3 için; (1,45 x3) – 1,38 = 2,97ton (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

φ26 bulon için;

$$\text{Alan: } 5,3 \text{ cm}^2$$

$$\tau_m=3700\text{kg/cm}^2=37000\text{ton/m}^2$$

$$W:0,08 \text{ ton}=80\text{kg}$$

$$80\text{kg}/3700\text{kg/cm}^2=0,02 \text{ cm}^2$$

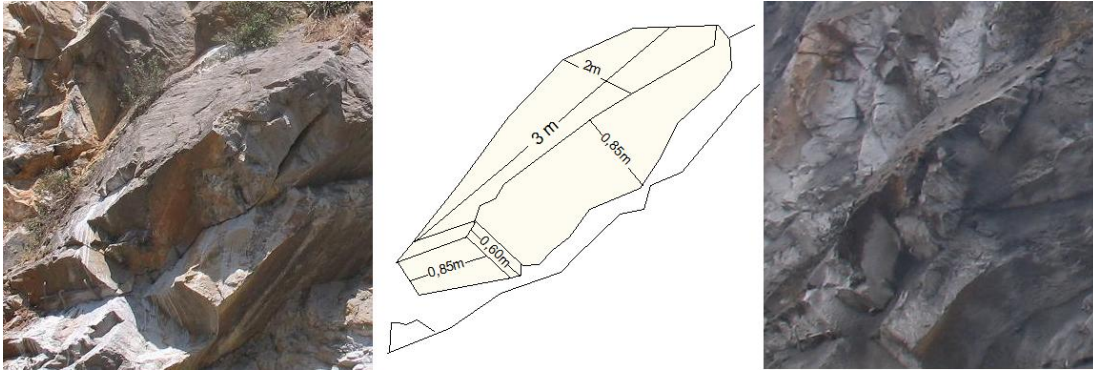
$$Gs=3 \text{ için; } 0,02\text{cm}^2 \times 3=0,06\text{cm}^2$$

Civatanın Alanı =5,3 cm<sup>2</sup> olduğuna göre,

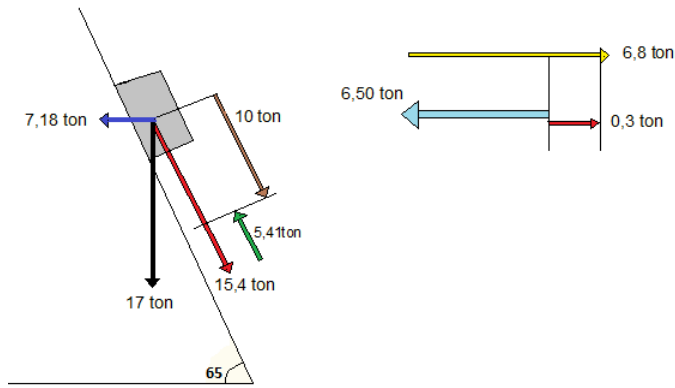
Tek bir kaya çivisi kayan bloğu tutmak için oldukça yeterlidir.

Resimde de görüldüğü gibi, kesme direncini tek bir kaya civatası karşılayabildiği için kayma yönüne bir adet ve 3 nokta kuralı gereği bloğun kayma yönü ve geometrisi göz önünde bulundurularak geriye kalan 2 adet kaya saplaması da, uygun görülen yerlere yerleştirilmiştir.

#### 7.4.1.4 5-4.Blok



Şekil 7.13: 4 No'lu bloğun geometrisi ile işlem öncesi ve sonrasındaki görünüşü



Şekil 7.14: 4 No'lu blok için hesap modeli

#### Bloğun Kayma ve Yenilme Modeli

*Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli*

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = (2 \times 0,85 \times 3) \text{ ton} \times 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = 12 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$12 \times 1,3(1,4) = 15,6 \text{ ton (17 ton)}$$

$$15,6 \times 0,3 = 4,68 \text{ ton}$$

$17 \times 0,4 = 6,8 \text{ ton}$  (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 17 ton, yatay bileşen 6,8 ton)

**Çizelge 7.4:** 5-4.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos 25 =15,4 ton  |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin 25=7,18 ton  |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=5,41ton    |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= K - S = 10 ton        |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0.4 = 6,8 ton    |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos25 = 6,50 ton |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = 0,3 ton   |

$$C=0,15\text{kg/cm}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Tam temaslı yüzey alanı}=2,5 \text{ m}^2$$

(7.4).no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{1,5 \times 2,5 + 5,41}{15,4} = 0,6$$

Gs=3 için;  $(15,4 \times 3) - 9,16 = 37 \text{ ton}$  (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

Ø26 bulon için;

$$\text{Alan: } 5,3 \text{ cm}^2$$

$$\tau_m = 3700 \text{ kg/cm}^2 = 37000 \text{ ton/m}^2$$

$$W: 6,24 \text{ ton} = 6240 \text{ kg}$$

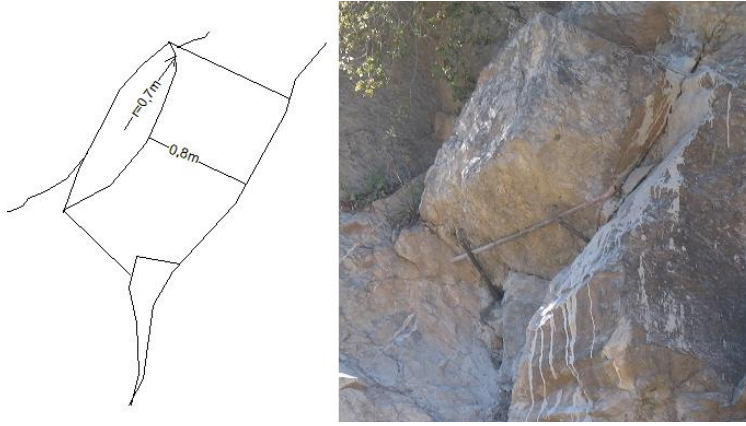
$$6240 \text{ kg} / 3700 \text{ kg/cm}^2 = 1,68 \text{ cm}^2$$

$$G_s=3 \text{ için } 1,68 \text{ cm}^2 \times 3 = 5,05 \text{ cm}^2$$

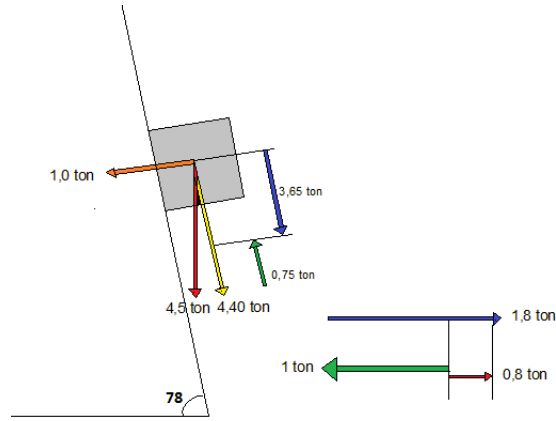
Civatanın Alanı =5,3 cm<sup>2</sup> olduğuna göre,

1 adet kaya civatası bu bloğun ağırlığını karşılamak için sınır değerdir. Bloğun kayma yönü ve geometrisine göre 3 nokta kuralı esas alınarak, kaya civataları uygun görülen yerlere yerleştirilmiştir.

#### 7.4.1.5 5-5.Blok



Şekil 7.15: 5 No'lu bloğun geometrisi ile işlem sırasındaki görünüşü



Şekil 7.16: 5 No'lu blok için hesap modeli

#### Bloğun Kayma ve Yenilme Modeli

*Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli*

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma=2,60\text{g/cm}^3=2,60\text{ ton/m}^3$$

$$V= \pi r^2 h, \quad (7.5)$$

$$G=3,1416 \times (0,7\text{m})^2 \times 0,8\text{m} \times 2,60\text{ ton/m}^3$$

$$G=3,2\text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'$ (1,3 ve 1,4) için;

$$3,2 \times 1,3(1,4)=4,16\text{ton} (4,5\text{ton})$$

$$4,16 \times 0,3=1,25$$

4,5 x 0,4=1,8 ton(Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 4,5 ton, yatay bileşen 1,8 ton)

**Çizelge 7.5:** 5-5.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos 12 =4,40 ton  |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin 12= 1 ton    |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=0,75 ton   |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= K - S = 3,65 ton      |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0.4 = 1,8 ton    |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos12 = 0,97 ton |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = 0,83 ton  |

Tam temaslı yüzey alanı=1,54 m<sup>2</sup>

C=0,15kg/cm<sup>2</sup> = 1,5 ton/m<sup>2</sup>

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{1.5 \times 1.54 + 0.75}{4.40} = 0.70$$

Gs=3 için; (4,40 x3) – 3,06= 10,14 ton (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

φ26 bulon için;

Alan: 5,3 cm<sup>2</sup>

τ<sub>m</sub>=3700kg/cm<sup>2</sup>=37000ton/m<sup>2</sup>

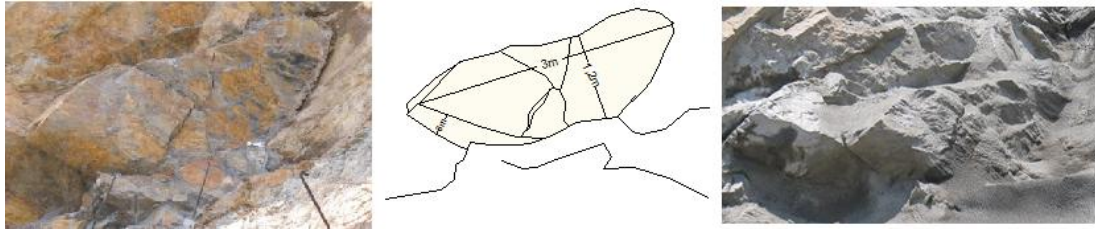
W:1,34 ton=1340 kg

1340kg/3700kg/cm<sup>2</sup>=0,36 cm<sup>2</sup>

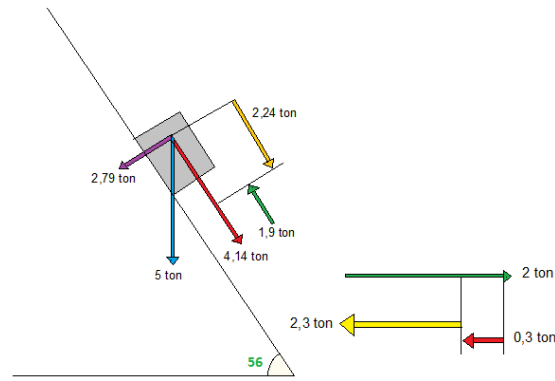
Gs=3 için 0,36cm<sup>2</sup> x 3=1,09cm<sup>2</sup> Civatanın Alanı =5,3 cm<sup>2</sup> olduğuna göre,

Bu blok örneği için tek bir civata statik açıdan dengeyi sağlamak için yeterlidir. Fakat, daha öncede bahsedilen 3 nokta kuralı sebebiyle kaya civataları en az 3 farklı şekilde konumlandırılmıştır.

#### 7.4.1.6 5-6.Blok



Şekil 7.17: 6 No'lu bloğun önceki hali, geometrisi ve sonraki görünüşü



Şekil 7.18: 6 No'lu blok için hesap modeli

#### Kayma ve Yenilme Modeli

*Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli*

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma=2,60\text{g/cm}^3=2,60\text{ ton/m}^3$$

$$G= 3,5\text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3\text{ ve }1,4)$  için;

$$3,5 \times 1,3(1,4)=4,55\text{ ton (5 ton)}$$

$$4,55 \times 0,3= 1,35\text{ ton}$$

$$5 \times 0,4=2\text{ ton (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 5 ton, yatay bileşen 2 ton)}$$

**Çizelge 7.6:** 5-6. Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos 34 =4,14 ton  |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin 34= 2,79 ton |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=1,9 ton    |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= K - S = 2,24 ton      |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0.4 = 2 ton      |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos34 = 2,31 ton |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = 0,31 ton  |

Tam temaslı yüzey alanı = 1m<sup>2</sup>

$$C=0,15\text{kg/cm}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{1,5 \times 1 + 1,9}{4,14} = 0,82$$

G<sub>s</sub>=3 için; (4,14 x3) – 3,4 = 9 ton (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

φ26 bulon için;

Alan: 5,3 cm<sup>2</sup>

W:0,74 ton=740kg

$$\tau_m = 3700\text{kg/cm}^2 = 37000\text{ton/m}^2$$

$$740\text{kg}/3700\text{kg/cm}^2 = 0,2 \text{ cm}^2$$

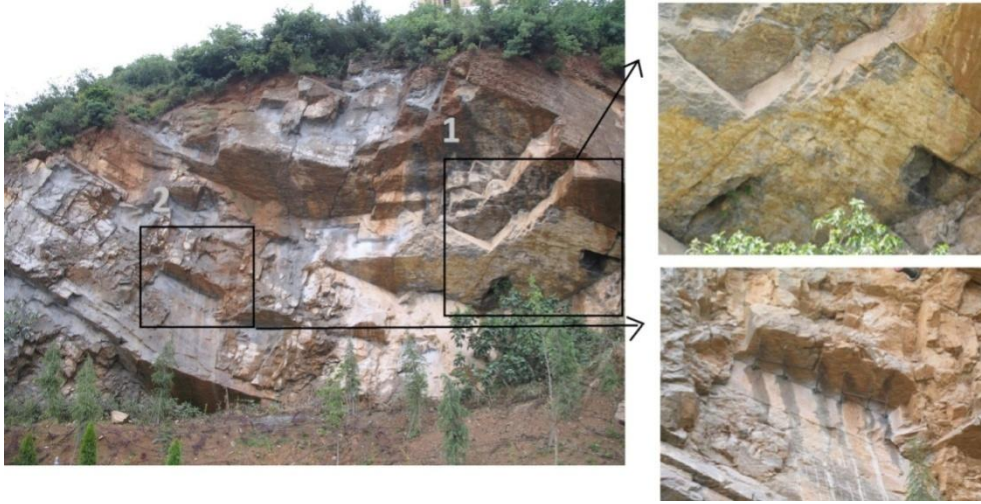
G<sub>s</sub>=3 için 0,2cm<sup>2</sup> x 3=0,6cm<sup>2</sup> Civatanın Alanı =5,3 cm<sup>2</sup> olduğuna göre,

Tek bir kaya civatası, kesme direncini aşmayacak şekilde bloğu tutmak için oldukça yeterlidir. Resimde de görüldüğü gibi, bloğun geometrisine bağlı olarak ağırlık merkezi zamanla şev eğimini aşmış ve blok taç bölgesinde gerilme çatlağı olarak açılmaya başlamıştır. Bloğun kaydığı yönde, hareketi engellemek için 1 adet bulon yerleştirilmiştir. 3 nokta kuralı esas alınarak, diğer 2 yönde yapabileceği yer değiştirmeleri engellemek için en az 2 bulon daha uygun görülen yerlere yerleştirilmiştir.

### 7.4.2 3. Bölgede bulunan riskler ve hesapları

Bölge, kendi içinde iki ayrı şev yüzeyinden oluşmaktadır. Bölgede toplam 4 adet belirlenmiş serbest kaya elemanı mevcuttur. Şev açıları yaklaşık 75 derecedir.

3-1 bölgesindeiki adet serbest blok mevcuttur. Bunlardan biri, şev eğimine bağlı olarak düzlemsel kaymanın oluşabileceği bir geometriye sahip değildir.



Şekil 7.19: 3. Bölgede belirlenen riskli bloklar

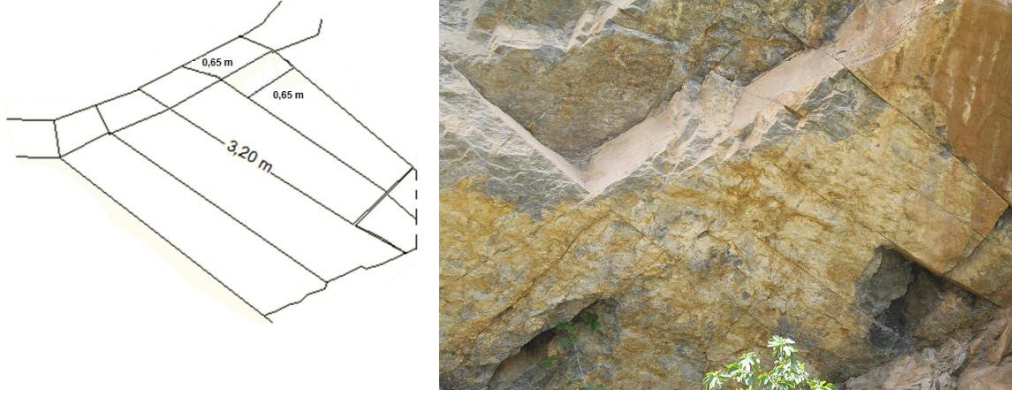


Şekil 7.20: 3. Bölgede belirlenen riskli bloklar

1 numara olarak kotlanan, ebatları belirlenmiş ve süreksizliklerle sınırlandırılmış kaya elemanı çoğunluğu kohezyon tarafından karşılanan bir denge durumundadır. Bulunduğu eğime bağlı olarak düşme riski taşımaktadır. 3-2 bölgesi şev yüzeyinde ise iki adet serbestleşmiş kaya bloğu mevcuttur. Bu bloklarında şev eğimine ve belirlenmiş olan geometrilerine bağlı olarak güvenlik sayıları tespit edilmiş ve

gerekiyorsa, güvenlik sayısını istenen değere getiren gerekli destek sistemleri uygulanmıştır. 3-2 bölgesindeki şev açısı da yaklaşık 75 derecedir. Şev açısının yüksek olması daha önce de değinildiği gibi deformasyonların oluşmasını tetiklemektedir.

#### 7.4.2.1 3-1. Blok



Şekil 7.21: 1 No'lu bloğun geometrisi ve önceki görünümü

#### Kayma ve Yenilme Modeli

Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = (0,65 \times 0,65 \times 3,20 \text{ m}) \times 2,60 = 3,5 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$3,5 \times 1,3(1,4) = 4,55 \text{ ton (5 ton)}$$

$$4,55 \times 0,3 = 1,35 \text{ ton}$$

$$5 \times 0,4 = 2 \text{ ton (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 5 ton, yatay bileşen 2 ton)}$$

Bu kaya bloğunda, bloğu dengede tutan kuvvetin büyük kısmını kohezyon oluşturmaktadır.

$$\text{Tam temaslı yüzey alanı} = 2,5 \text{ m}^2$$

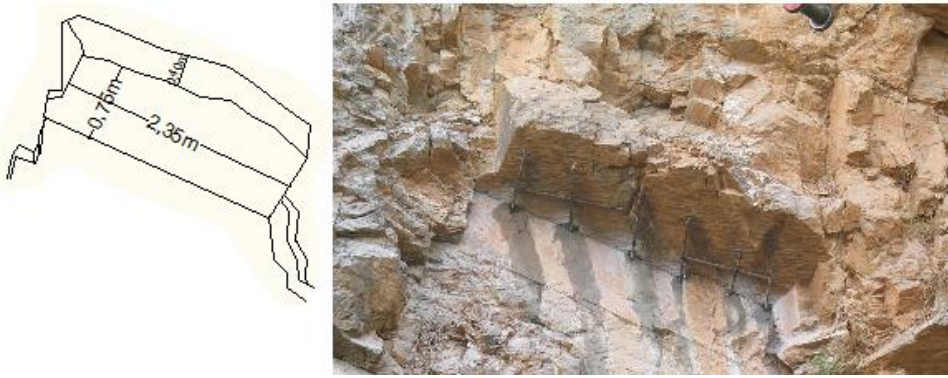
$$C = 0,5 \text{ kg/cm}^2 = 5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

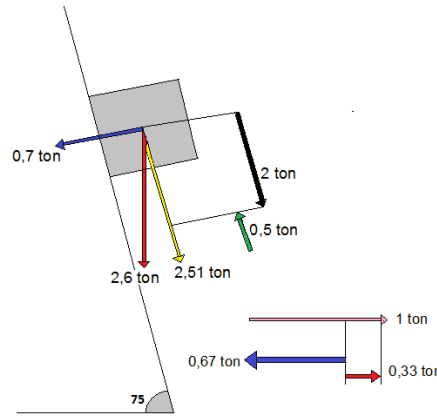
$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{5 \times 2,5}{5} = 2$$

Bu bloklarda, nervürlü demirlerle destekleme işlemleri yerine püskürtme beton uygulaması yapılarak kohezyon değeri arttırılmıştır. Kohezyon değeri 0,5 ton/m<sup>2</sup> den minimum değer 0,8 ton/m<sup>2</sup> ye yükseltilmiştir. Bu durumda,  $G_s = \frac{8 \times 2,5}{5} = 4$  olmaktadır.

#### 7.4.2.2 3-2 Blok



Şekil 7.22: 2 No'lu bloğun geometrisi ve uygulama sonrası görünümü



Şekil 7.23: 2 No'lu blok için hesap modeli

#### Kayma ve Yenilme Modeli

Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G (0,75 \times 0,40 \times 2,35) \text{ ton} \times 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G=1,85 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$1,85 \times 1,3(1,4)=2,4 \text{ ton (2,6 ton)}$$

$$2,4 \times 0,3= 0,72 \text{ ton}$$

$$2,6 \times 0,4= 1 \text{ ton (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 2,6 ton, yatay bileşen 1 ton)}$$

**Çizelge 7.7:** 3-2.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                                              |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | $(K)= G \times \cos 15 = 2,51 \text{ ton}$   |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | $(N) = G \times \sin 15 = 0,7 \text{ ton}$   |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | $(S) = N \times \tan 37 = 0,5 \text{ ton}$   |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | $(F)= K - S = 2 \text{ ton}$                 |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | $(H_d)= G \times 0.4 = 1 \text{ ton}$        |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | $(N_h)= N \times \cos 15 = 0,67 \text{ ton}$ |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | $(F_h) = H_d - N_h = 0,33 \text{ ton}$       |

$$\text{Tam temaslı yüzey alanı}=0,9 \text{ m}^2$$

$$C=0,15 \text{ kg/cm}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4) no'lu formülünden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{1,5 \times 0,9 + 0,5}{2,51} = 0,73$$

$G_s=3$  için;  $(2,51 \times 3) - 1,85 = 5,68 \text{ ton}$  (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

$\phi 26$  bulon için;

$$\text{Alan: } 5,3 \text{ cm}^2$$

$$W: 0,66 \text{ ton} = 660 \text{ kg}$$

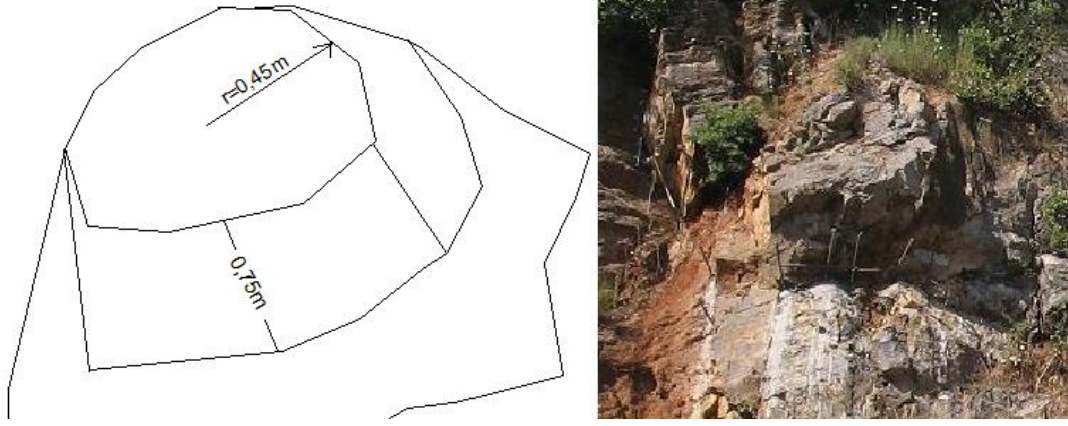
$$\tau_m = 3700 \text{ kg/cm}^2 = 37000 \text{ ton/m}^2$$

$$660 \text{ kg} / 3700 \text{ kg/cm}^2 = 0,17 \text{ cm}^2$$

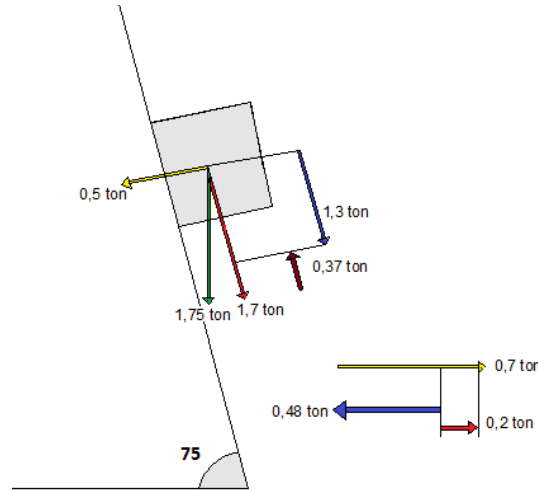
$$G_s=3 \text{ için } 0,17 \text{ cm}^2 \times 3 = 0,54 \text{ cm}^2 \quad \text{Civatanın Alanı} = 5,3 \text{ cm}^2$$

Bu blok örneğinde, tek bir civata statik açıdan dengeyi sağlamak için yeterli bulunmuştur. Fakat, her blok için uygulanan 3 nokta kuralı sebebiyle, resimde de görüldüğü gibi kaya civataları bloğun geometrisine bağlı olarak konumlandırılmıştır.

#### 7.4.2.3 3-3.Blok



Şekil 7.24: 3 No'lu bloğun geometrisi ve önceki görünümü



Şekil 7.25: 3 No'lu blok için hesap modeli

#### Bloğun Kayma ve Yenilme Modeli

Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

(7.5) no'lu formülден hareket edilerek bloğun hacmi hesaplanır,

$$V = \pi r^2 h \text{ ise, } V = 3,1416 \times (0,45\text{m})^2 \times 0,75\text{m}$$

$$G = 3,1416 \times (0,45\text{m})^2 \times 0,75\text{m} \times 2,60 \text{ ton/m}^3 = 1,25 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$1,25 \times 1,3(1,4)=1,625\text{ton} (1,75\text{ton})$$

$$1,625 \times 0,3= 0,48 \text{ ton}$$

$1,75 \times 0,4=0,7 \text{ ton}$ (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 1,75 ton, yatay bileşen 0,7 ton)

**Çizelge 7.8:** 3-3.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                                              |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | $(K)= G \times \cos 15 = 1,7 \text{ ton}$    |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | $(N) = G \times \sin 15= 0,5 \text{ ton}$    |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | $(S) = N \times \tan 37=0,37 \text{ ton}$    |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | $(F)= K - S = 1,3 \text{ ton}$               |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | $(H_d)= G \times 0.4 = 0,7 \text{ ton}$      |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | $(N_h)= N \times \cos 15 = 0,48 \text{ ton}$ |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | $(F_h) = H_d - N_h = 0,2 \text{ ton}$        |

Tam temaslı yüzey alanı=0,63 m<sup>2</sup>

$$C=0,5\text{kg/cm}^2 = 5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{5 \times 0,63 + 0,37}{1,7} = 2,07 \text{ (Blok dengede)}$$

$G_s=3$  için;  $(1,7 \times 3) - 3,50 = 1,6 \text{ ton}$  (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

Ø26 bulon için;

Alan: 5,3 cm<sup>2</sup>

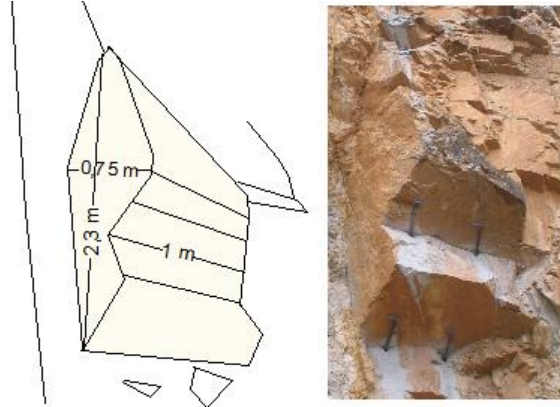
W: 1,6 ton= 1600kg

$$\tau_m=3700\text{kg/cm}^2=37000\text{ton/m}^2$$

$$1600\text{kg}/3700\text{kg/cm}^2=0,43 \text{ cm}^2 \text{ ( } G_s=3)$$

Civatanın Alanı  $=5,3 \text{ cm}^2$  olduğuna göre bu kaya bloğunu statik açıdan tek bir kaya civatası ile dengeleyebiliriz. Bunun nedeni, bloğun yükünün kaya civatasının kesme direncinin oldukça altında olmasından kaynaklanmaktadır. Resimde de görüldüğü gibi blok, geometrisine bağlı olarak en az 3 nokta ile temas edecek şekilde kaya civatalarıyla denge durumuna sokulmuştur.

#### 7.4.2.4 3-4.Blok



Şekil 7.26: 4 No'lu bloğun geometrisi ve saplama uygulaması

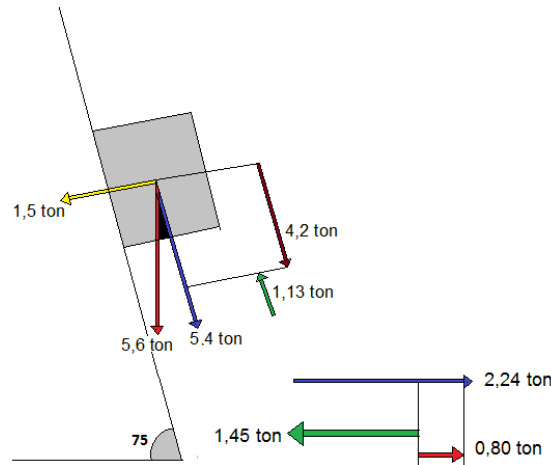
#### Bloğun Kayma ve Yenilme Modeli

Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$G (0,75 \times 1 \times 2,3) \text{ ton} \times 2,60 \text{ ton/m}^3$ ,  $G=4,4 \text{ ton}$ . Geometri düzeltmesi ile,  $G= 4 \text{ ton}$



Şekil 7.27: 4 No'lu blok için hesap modeli

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$4 \times 1,3(1,4)=5,2 \text{ ton (5,6 ton)}$$

$$5,2 \times 0,3= 1,56 \text{ ton}$$

$$5,6 \times 0,4= 2,24 \text{ ton (Güvenli bölgede kalırsak düşey bileşen 5,6 ton, yatay bileşen 2,24 ton)}$$

**Çizelge 7.9:** 3-4.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                                             |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= $G \times \cos 15 = 5,4 \text{ ton}$   |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = $G \times \sin 15 = 1,5 \text{ ton}$  |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = $N \times \tan 37 = 1,13 \text{ ton}$ |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= $K - S = 4,2 \text{ ton}$              |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= $G \times 0,4 = 2,24 \text{ ton}$     |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= $N \times \cos 15 = 1,45 \text{ ton}$ |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = $Hd - Nh = 0,80 \text{ ton}$         |

Tam temaslı yüzey alanı=2 m<sup>2</sup>

$$C=0,5\text{kg/cm}^2 = 5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{5 \times 2 + 1,13}{5,4} = 2$$

Gs=3 için;  $(5,4 \times 3) - 1,13 = 5 \text{ ton}$  (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

φ26 bulon için;

$$\text{Alan: } 5,3 \text{ cm}^2$$

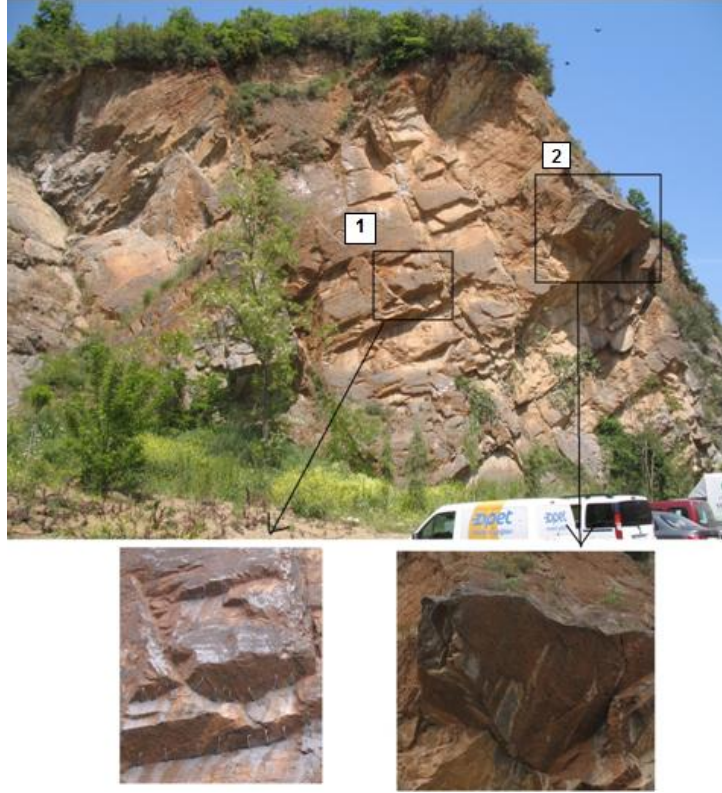
$$W: 5 \text{ ton} = 5000\text{kg}$$

$$\tau_m = 3700\text{kg/cm}^2 = 37000\text{ton/m}^2$$

$$5000\text{kg}/3700\text{kg/cm}^2 = 1,35 \text{ cm}^2 \text{ (Gs=3)}$$

Civatanın Alanı  $=5,3 \text{ cm}^2$  olduğuna göre bu kaya bloğu da statik açıdan, bloğun yükünün kaya civatasının kesme direncinin oldukça altında olmasından dolayı tek bir kaya civatası ile dengeleyebiliriz.

#### 7.4.3 2.Bölgede bulunan riskler ve hesapları



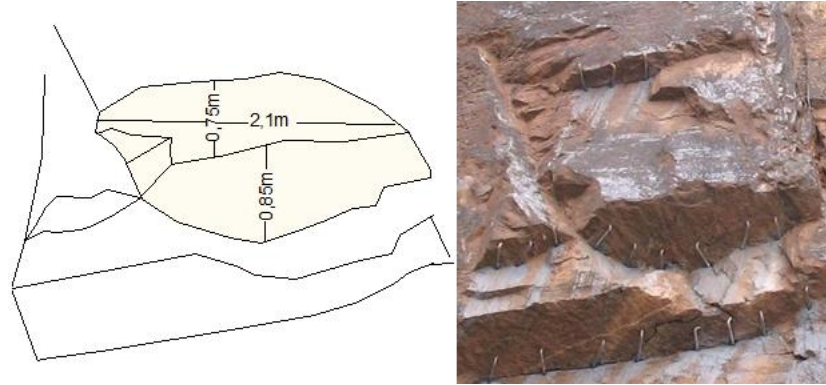
**Şekil 7.28:** 2.Bölgedeki sakıncalı kaya blokları

2. Bölgede şev açısı yaklaşık 75 derecedir. 2. Bölge sistemli süreksizliklere sahiptir. Bölgede, askıdaki büyük blok haricinde şev yüzeyinde risk oluşturan ve desteklenmesi gereken bir örnek vardır. 2. bölgede şev yüzeyi temiz ve kaya kalitesi olarak iyi bir değere sahiptir.

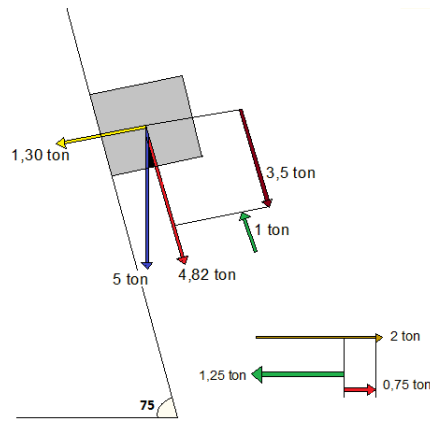
Bölgede su çıkışı veya sızıntısı yoktur. Çatlak aralıkları kurudur. Bu durumda, diğer bölgelerde olduğu gibi hesaplarda su basıncı hesaba katılmamıştır. Bölgedeki riskler uygulama yapılmadan önce tespit edilmiş ve en boy ve yükseklik olarak ebatları belirlenmiştir. Destekleme amaçlı kullanılan bulonlar 26 mm çapında ve 75 cm uzunluğundadır.

Bölgedeki süreksizliklerin doğrultu ve eğim değerleri, kama kayması olasılığını desteklemektedir. Ölçülen süreksizliklerin aralarındaki açı yaklaşık olarak 81 derecedir.

#### 7.4.3.1 2-1.Blok



Şekil 7.29: Bloklu alanın geometrisi ve saplamalarla uygulanan kaya dikişi



Şekil 7.30: 1 No'lu bloklu alan için hesap modeli

#### Kayma ve Yenilme Modeli

Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G (0,75 \times 0,85 \times 2,1) \text{ ton} \times 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G = 3,5 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$3,5 \times 1,3(1,4) = 4,5 \text{ ton (5 ton)}$$

$$4,5 \times 0,3 = 1,35 \text{ ton}$$

$$5 \times 0,4 = 2,0 \text{ ton (Güvenli bölgede kalırsak düşey 5,0 ton, yatay bileşen 2,0 ton)}$$

**Çizelge 7.10:** 2-1.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                           |
|------------------------------------------|---------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos15 =4,82 ton  |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin15= 1,30 ton |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=1 ton     |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= K - S = 3,5 ton      |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0,4 = 2,0 ton   |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos15 =1,25 ton |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = 0,75 ton |

Tam temaslı yüzey alanı=1,5 m<sup>2</sup>

$$C=0,5\text{kg/cm}^2 = 5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{5 \times 1,5 + 1}{4,82} = 1,76$$

G<sub>s</sub>=3 için; (4,82 x3) – 8,5 = 5,96=6 ton (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

φ26 bulon için;

Alan: 5,3 cm<sup>2</sup>

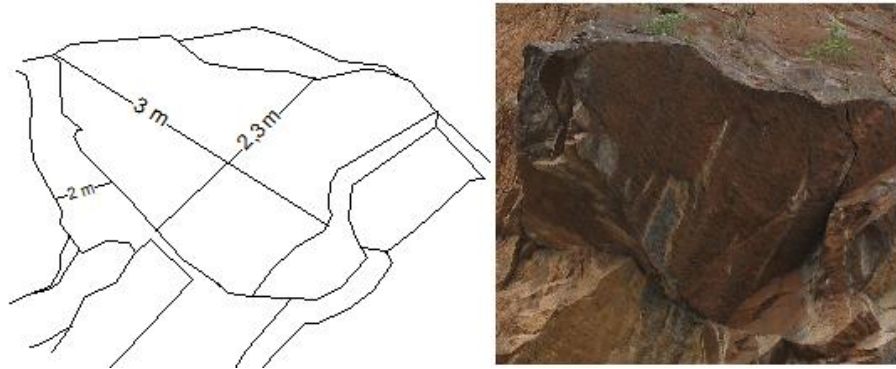
W: 6 ton= 6000kg

$$\tau_m=3700\text{kg/cm}^2=37000\text{ton/m}^2$$

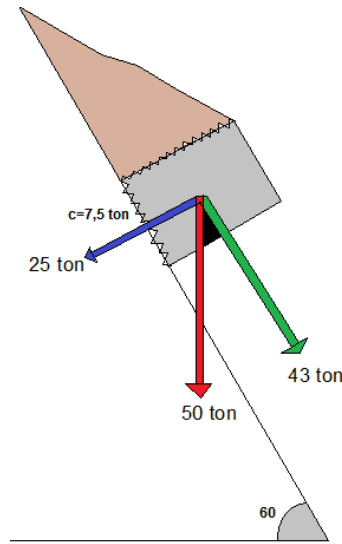
$$6000\text{kg}/3700\text{kg/cm}^2=1,62 \text{ cm}^2 \quad (G_s=3)$$

Civatanın Alanı =5,3 cm<sup>2</sup> olduğuna göre bir adet kaya civatası etkin kaydırıcı kuvveti karşılamak için yeterlidir. Fakat 3 nokta kuralı hesaba katıldığında bloğun geometrisine göre, denge durumunu korumak için en az 3 noktadan desteklenmesi gerekmektedir.

#### 7.4.3.2 2-2.Blok



Şekil 7.31: 2 No'lu bloğun geometrisi ve uygulama öncesindeki durumu



Şekil 7.32: 2 No'lu blok için hesap modeli

#### Kayma ve Yenilme Modeli

Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli

Blok Ağırlığı (G),

$$\gamma=2,60\text{g/cm}^3=2,60\text{ ton/m}^3$$

$$G (2 \times 3 \times 2,3) \text{ ton} \times 2,60 \text{ ton/m}^3$$

$$G=36 \text{ ton}$$

Deprem durumunda yatay ve düşey bileşen;

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$36 \times 1,3(1,4)=46,8 \text{ ton (50 ton)}$$

$$46,8 \times 0,3 = 13,28 \text{ ton}$$

$$50 \times 0,4 = 20 \text{ ton} \text{ (Güvenli bölgede kalırsak düşey 50 ton, yatay bileşen 20 ton)}$$

**Çizelge 7.11:** 2-2.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                          |
|------------------------------------------|--------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos30 =43 ton   |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin30= 25 ton  |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=18,8 ton |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0.4 = 20 ton   |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos30 =21 ton  |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = -1 ton  |

$$C=0,15\text{kg/cm}^2 = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

$$C_1.A_1 = 1,5 \text{ ton/m}^2 \times 5\text{m}^2 = 7,5 \text{ ton}$$

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{7,5 + 18,8}{43} = 0,61$$

Gs=3 için;  $(43 \times 3) - 26,3 = 102,7 \text{ ton}$  (Güvenlik sayısının 3 olması halinde gerekli olan kaya civatası dayanımı)

φ26 bulon için;

$$\text{Alan: } 5,3 \text{ cm}^2$$

$$W: 16,7 \text{ ton} = 16700\text{kg}$$

$$\tau_m = 3700\text{kg/cm}^2 = 37000\text{ton/m}^2$$

$$16700\text{kg} / 3700\text{kg/cm}^2 = 4,51 \text{ cm}^2$$

$$G_s=3 \text{ için } 4,51\text{cm}^2 \times 3 = 13,54\text{cm}^2$$

Civatanın Alanı =  $5,3 \text{ cm}^2$  olduğuna göre;  $13,54 / 5,3 = 2,55$  adet, yani toplamda 3 adet kaya civatası kullanılması gerekli)

#### 7.4.4 6. Bölgede bulunan riskler ve hesapları

Bu bölgede anakayadan koparak moloz ve toprak üzerine yerleşmiş, fakat kayma ve devrilme riski taşıyan, yaklaşık 28 ton ağırlığında çatlaklı bir blok bulunmaktadır.

Uygulama öncesinde geometrisine bağlı olarak ağırlık merkezi şev dışına taşan kritik dengedeki bu kaya bloğu çevresel koşullar ve riskler nedeniyle düşürülerek uzaklaştırılmamaktadır.



**Şekil 7.33:** Serbest bloğun uygulama öncesindeki durumu

Önlem alınmadığı takdirde bulunduğu yerden zamanla ayrılacak ve düşecek olan bu bloğun kısmen yerinde parçalanması, ağırlığı azalan kaya kütlelerinin gerideki anakayaya asılması, topuğunun sağlam kayaya giren saplamalarla desteklenmesi ve oturduğu bölgenin beton ile doldurularak sağlamlaştırılması uygun bulunmuştur



**Şekil 7.34:** Blok için öngörülen çalışmalar(sol), ve uygulama sonrası durumu(sağ)

Bloğu dengede tutan bir topuk desteğinin olmaması ve bloğun bindiği yüzeyin gevşek ve hareket halindeki moloz ve toprak örtüsünden oluşması burada ayrıntılı önlemler alınmasını, blok yerinin uzak ve zor erişilir olması da yorucu bir uygulamanın yapılmasını gerektirmiştir.

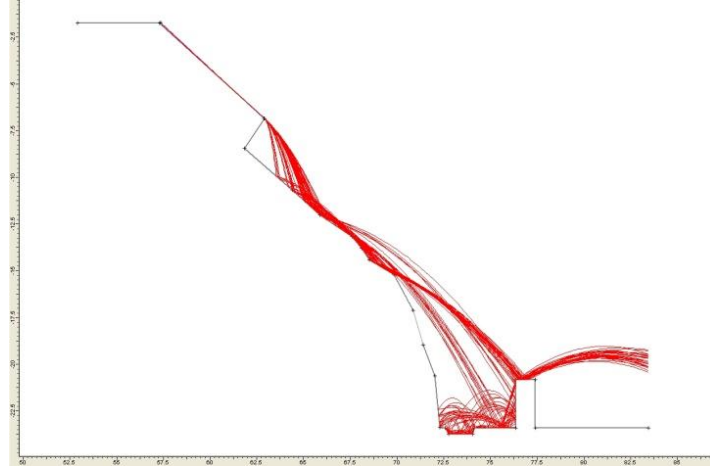
#### 7.4.5 7. Bölgede bulunan riskler ve hesapları



**Şekil 7.35:** 7.Bölgedeki kritik bloklar ve tabaka kaymalarına bağlı gelişerek ilerleyen (prograsif) sökûlmeleri durdurmak için alınan önlemler

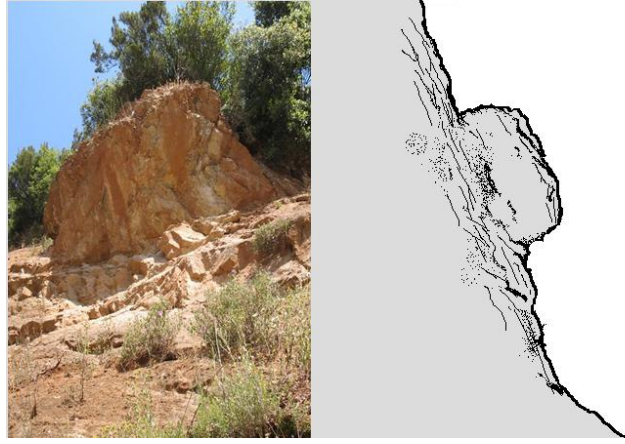
7. bölgede doğrudan risk oluşturabilecek serbest kaya blokları yoktur. Bu kısımda yapılması gereken analiz, şevin eğimine ve geometrisine bağlı olarak gelişebilecek olan taş düşme analizleridir. Çünkü inceleme bölgesinde değişik büyüklükteki çok sayıda kaya ve taş parçasının savrularak çevreye ve yola dağılmış olduğu görülmüştür. Taş sıçramalarının olası etkilerini ve ulaşabilecekleri uzaklığı belirlemek için arazi geometrisini, parça boyutlarını ve düşme olasılıklı bölgenin niteliğini dikkate alan Rocfall programı kullanılmıştır. Rocfall programı, rocscience ürünü olup amacı, istatistiksel olarak kaya düşmelerinin analizini yapmaktır. Şev yüzeyinden düşme ihtimali bulunan taşların, düşerken sahip olduğu hız, enerji, yükseklik ve sıçrama uzaklığı gibi bilgilerine bu program ile açıklık getirebiliriz. Ayrıca bu verilerin sonuçlarını grafik olarak gösterebilir ve farklı sonuçlarla karşılaştırabiliriz.

Analizlerin de taşların duvarı aşarak fırlayabileceğini kanıtlaması üzerine bölgenin üst kesimlerinde güvenlik artırıcı önlem olarak tel kafes uygulanmıştır. Bu uygulama, şev yüzeyinin en üst kotundan başlayarak, eğimin daha da dikleştiği noktaya kadar uygulanmıştır. Böylece yukarı kotlardan düşebilecek taş parçalarının şev eğiminin azaldığı yerden sıçrayarak kullanım alanlarına fırlamasının önüne geçilerek etekte toplanması sağlanmış olmaktadır.



**Şekil 7.36:** Rocfall programı ile belirlenen sıçrama davranışı

#### 7.4.6 1. Bölgede bulunan riskler ve hesapları



**Şekil 7.37:** Birinci bölgedeki askıda duran blok

#### **Bloğun Kayma ve Yenilme Modeli**

*Kireçtaşı bloğunun statığe indirgenmiş deprem etkisi ile denge durumu analiz modeli*

Blok Ağırlığı (G),

$$3\text{m} \times 2.5\text{m} \times 1.6\text{m} = 12\text{m}^3 \quad \gamma = 2.57\text{g/cm}^3$$

Yerçekimi Kuvveti = 30 ton

$g'(1,3 \text{ ve } 1,4)$  için;

$$30 \times 1,3(1,4) = 39.52(42.56)$$

$$39,52 \times 0,3 = 11,85$$

$$42,56 \times 0,4 = 17$$

(Güvenli bölgede kalırsak düşey 43 ton, yatay 17 ton)

**Çizelge 7.12:** 1-1.Blok, güvenlik sayısı için hesaplanan veriler

|                                          |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|
| Kaydırıcı Kuvvet                         | (K)= G x cos30 =37 ton     |
| Bloğun kayma yüzeyindeki Normal Kuvveti  | (N) = G x sin30= 21,5 ton  |
| Tutucu Sürtünme Kuvveti                  | (S) = N x tan37=16,20 ton  |
| Etkin Kaydırıcı Kuvvet                   | (F)= K - S = 21 ton        |
| Deprem etkisi Yatay Kuvvet Bileşeni      | (Hd)= G x 0.4 = 17 ton     |
| Bloğun Kayma yüzeyindeki Yatay Bileşeni  | (Nh)= N x cos30 =18,61 ton |
| Bloğu deprem etkisiyle iten Yatay Kuvvet | (Fh) = Hd – Nh = -1,5 ton  |

Tam temaslı yüzey alanı=5 m<sup>2</sup>

$$C=0,5\text{kg/cm}^2 = 5 \text{ ton/m}^2$$

(7.4) no'lu formülden hareket edilerek,

$$G_s = \frac{C_s \cdot A + N \cdot \tan \phi}{\sum K} \quad G_s = \frac{5.5 + 16,20}{37} = 1,2$$

## **8. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Terkedilen taşocağı, mermer ocağı ve maden açık işletme sahaları ne yazıktır ki, bu güne değin ülkemizde bir kaya yapısı olarak düşünülmemekte olduğundan, çirkinleştirici ve tehlikeli görünümüleriyle giderek yaygınlaşmaktadırlar. Bu nedenle en azından, bunların kalıcı şevlerinin ayrıca projelendirilmesinde büyük yarar vardır. Bu açıdan bakıldığında; işlevsel ve güvenli çözümlerin yanı sıra, estetik ve doğal görünümü koruma veya en azından çirkinleştirmeme gibi kavramların da projede üst düzeyde ele alınması kaçınılmaz olmaktadır.

Bu açıdan bakıldığında; işlevsel ve güvenli çözümlerin yanı sıra, estetik ve doğal görünümü koruma veya en azından çirkinleştirmeme gibi kavramların da projede üst düzeyde ele alınması kaçınılmaz olmaktadır.



## KAYNAKLAR

- Çelikkol, M. (1993).**, “Süreksiz Ortamlarda Kaya Ankrajlarından Etkilenen Bölgenin Duraylılığının Araştırılması”. (Bitirme Ödevi). İTÜ, Maden Fakültesi.
- Ercanoğlu, M., Aksoy, H.**, 2004: Ankara Kalesi ve civarındaki kaya şevleri için potansiyel duraysızlık haritası, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, **29**, p 97-114.
- Goodman, R.E.** 1976: Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, West Publishing Co., p. 472.
- Goodman, R.E. - Bray, J.**, 1976: Toppling of Rock Slopes, Rock Engineering for Foundations and Slopes, Proc. Spec. Conf. Univ. Of Colorado. **Vol. II**, p. 201-235.
- Gürocak, Z., Alemdağ, S.**, 2002: **Kapıkaya (Malatya)** baraj yerindeki kaya şevlerinin kinematik açıdan değerlendirilmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.19, S.2, p. 151-164,
- Hoek, E., Bray, J.W.**, 1976:, Rock Slope Engineering”. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E., Bray, J.W.**, 1977: (**Çev: Paşamehmetoğlu, Öncül, Çakmak, Şatırlar**), Kaya Şev Stabilesi”. Maden Müh. Odası Yayını.
- Hoek, E. - Bray, J.**, 1976: Rock Slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy, London, p. 402.
- Muller, L.**, 1963: “Felsbau”. Band I, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- Vardar, M., Yüzer, E.** 1986: “Kaya Mekaniği”. İTÜ Vakfı Kitap Yayınları No.11, İstanbul.
- Vardar, M., Yüzer, E.**,1983: Kaya Mekaniği. İTÜ maden Fakültesi yayını
- Vardar, M.**, İ.T.Ü Maden Fakültesi - Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Kaya Mekaniği Ders Notları. Sayı no:1

**Vardar, M., Yavuz, V., İ.T.Ü Maden Fakültesi - Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Kaya Mekaniği Ders Notları. Sayı no:3**

**Zanbak, C., 1973: “Kaya Şev Stabilitesi ve Stereografik İzdüşüm Yöntemi ile Stabilité Analizi”. Madencilik, Cilt. XII, S. 3, Mayıs.**

**Zanbak, C., 1978: Experimental Evaluation of Stability Analysis Methods for Some Rock Slopes by a Physical Model, Ph. D. Thesis, Univ. of Illinois, p. 150, January.**

**Zanbak, C., 1978: Mühendislik Jeolojisi- Yerüstü Kaya Mekaniği İlişkisi, 1. Mühendislik Jeolojisi Simpozyumu, Ankara, p: 23-28.**

## **EKLER**

**EK A.1 :** Proje Alanı Panaromik görüntüsü

**EK A.2 :** Çalışma Alanı Bölgelemesi (Anahtar Resim)

**EK B.1 :** Eskizler

**EK C.1 :** Balkon donatı uygulamalarının baştan sona imalat aşaması

**EK D.1 :** Kavlak düşürme uygulamalarına birkaç örnek

**EK E.1 :** Çelik Hasır Uygulaması esnasında, şev yüzeyindeki çalışmalar

**EK F.1 :** Püskürtme beton uygulaması ve elyaf kullanımına ait örnek resimler

**EK G.1 :** Kolon ve kirişlerin yapım aşamasından bazı örnek resimler

**EK H.1 :** Kolon uygulamasında kolonun oturacağı yerden, beton dökümüne kadar geçirmiş olduğu safhalar

**EK I.1 :** İri kaya bloğunun, uygulama olarak geçirdiği safhalar

**EK İ.1 :** Şev Denetimi

**EK A.1**



**Şekil A.1:** Proje Alanı Panaromik görüntüsü

## EK A.2



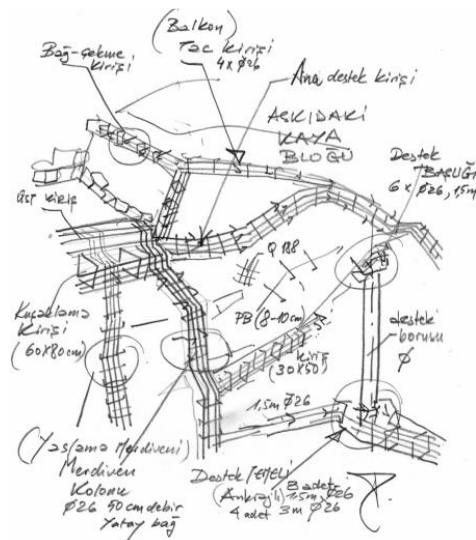
Şekil A.2: Çalışma Alanı Bölgelemesi (Anahtar Resim)

## EK B.1

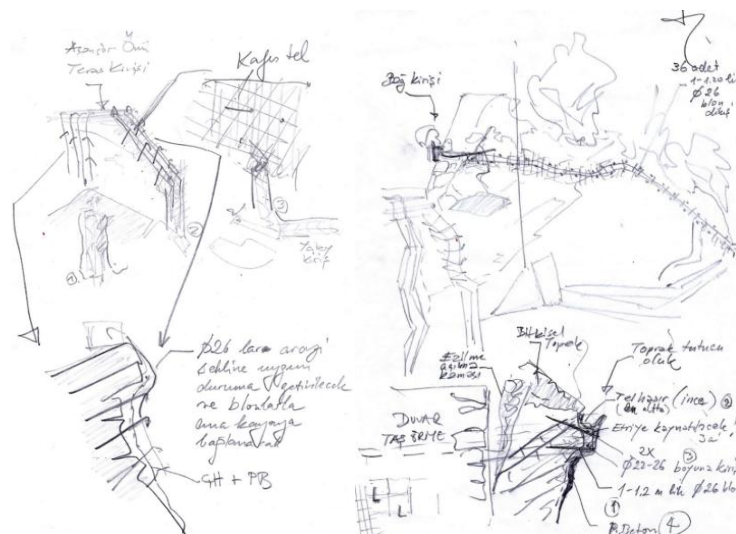


### 1-Asansör bölgesi destek kolonu imalatı

## 2-Tabakalı kaya konsolunun desteklenmesi

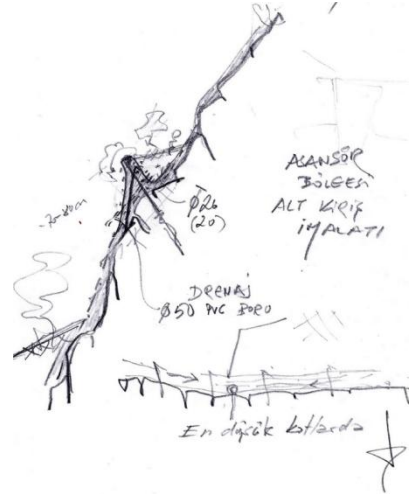


### 3- Dayanma merdivenli imalat

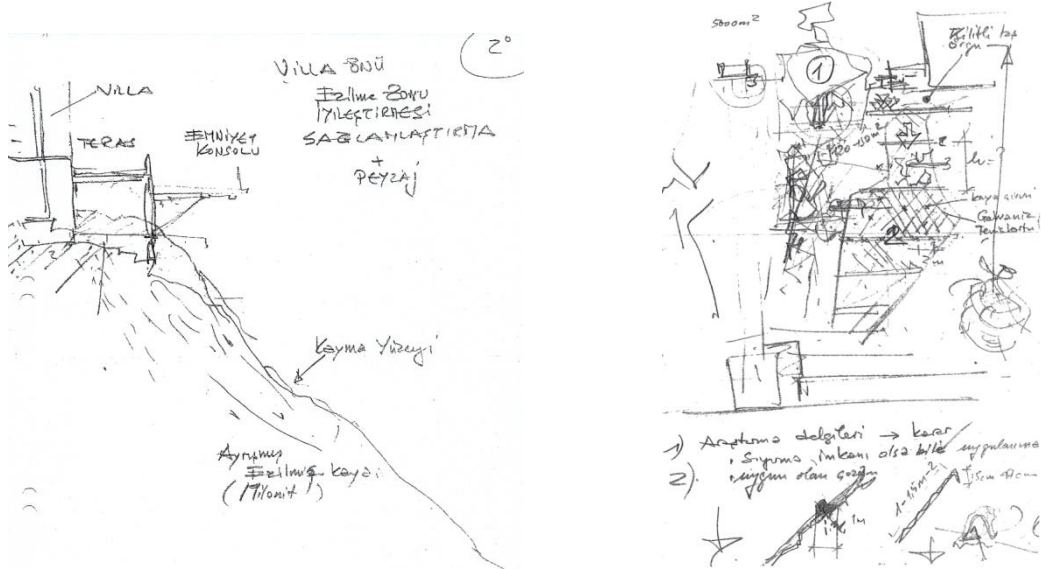


#### 4- Kaya konsolu üstündeki tutucu bağlantı kirişi ve imalatı

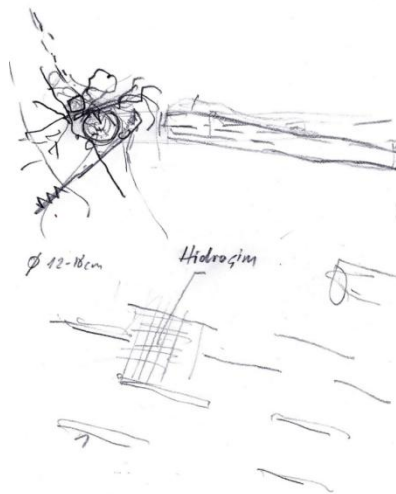
**Şekil B.1 : Asansör Bölgesi (5. ve 4.bölge) Eskizleri (VARDAR, 2010)**



5-Tutucu Balkon yapısı



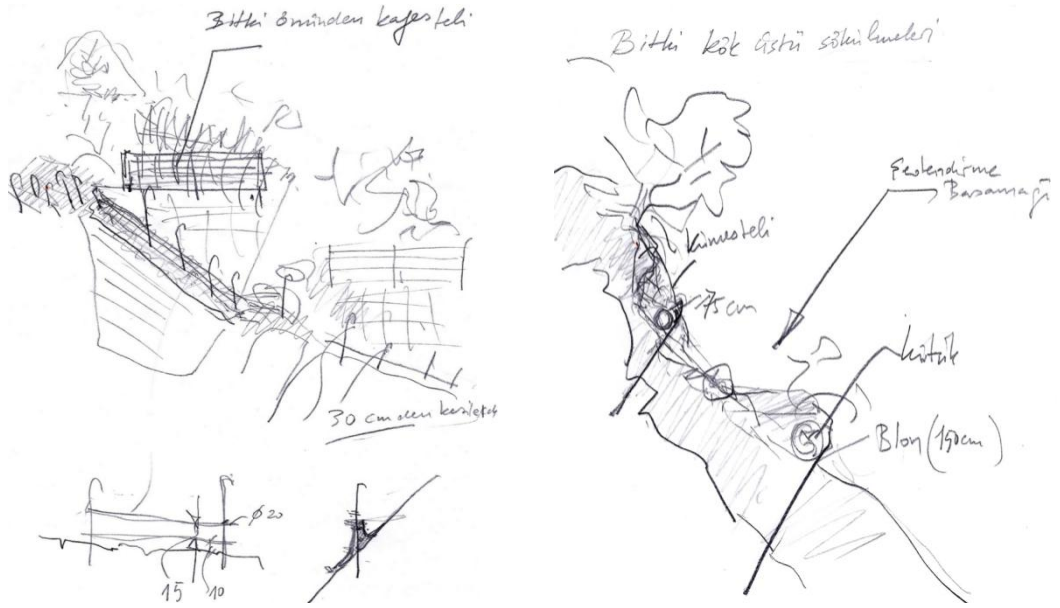
6-Toprak örtülü doğu kesimi için belirlenen imalat



7-Tutucu ağaç kütükleri ve bitkilendirme

Şekil B.1: (Devamı) Asansör Bölgesi (5. ve 4.bölge) Eskizleri (VARDAR, 2010)

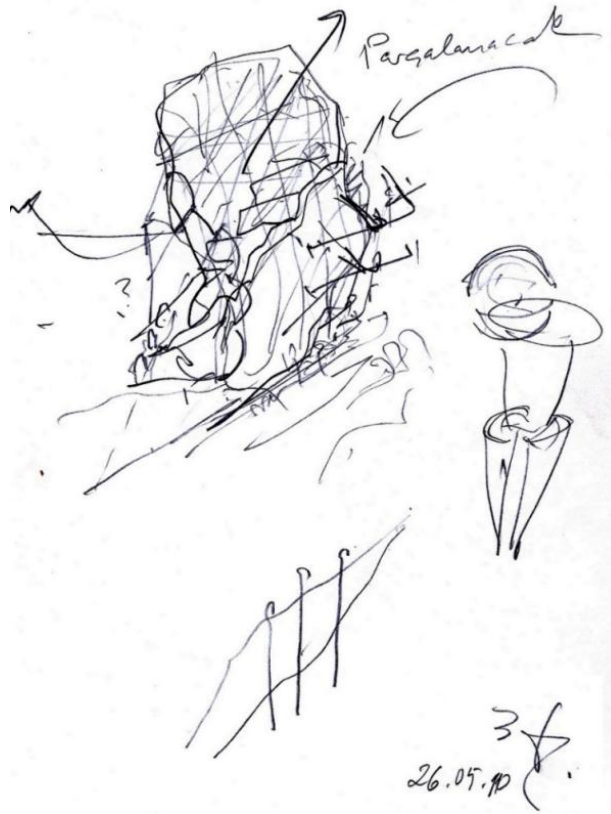




1-Taş düşmelerine karşı önlemler

2- Tutucu ağlar, ağaç kütükleri ve bitkilendirme

**Şekil B.3:** 3.Bölge Eskizleri (VARDAR, 2010)



Parçalanacak dengesiz kaya bloğu

**Şekil B.4:** 6.Bölge Eskizleri (VARDAR, 2010)

## EK C.1



Şekil C.1: Balkon donatı uygulamalarının baştan sona imalat aşaması

## EK D.1



**Şekil D.1:** Kavlak düşürme uygulamalarına birkaç örnek

## EK E.1



**Şekil E.1:** Çelik Hasır Uygulaması esnasında, şev yüzeyindeki çalışmalar

#### EK F.1



Şekil F.1: Püskürtme beton uygulaması ve elyaf kullanımına ait örnek resimler

#### EK G.1



Şekil G.1: Kolon ve kirişlerin yapım aşamasından bazı örnek resimler

## EK H.1 :



**Şekil H .1:** Kolon uygulamasında kolonun oturacağı yerden, beton dökümüne kadar geçirmiş olduğu safhalar

## EK I.1

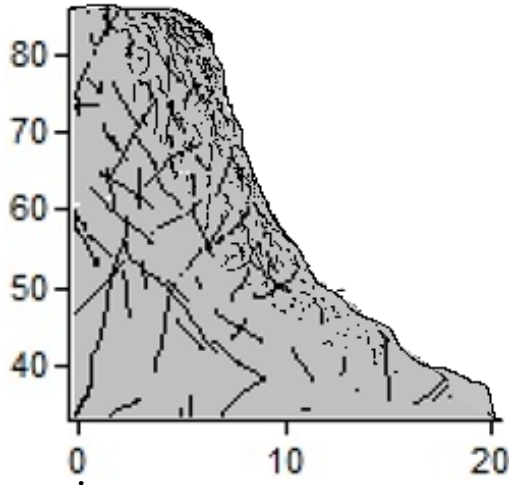


**Şekil I.1:** İri kaya bloğunun, uygulama olarak geçirdiği safhalar

## EK İ



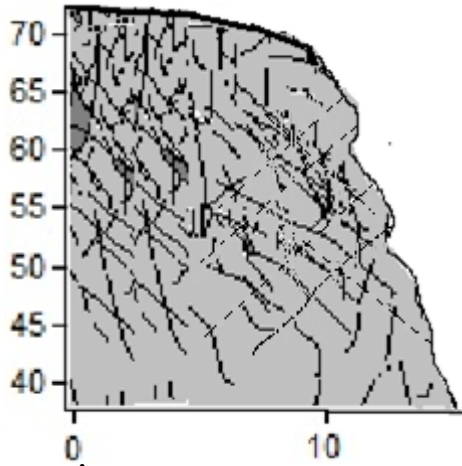
**Şekil İ.1:** Şev Denetimi (Şevlerin mühendislik açıdan değerlendirilmesi ve bu kapsamda alınan kesitler).



**Şekil İ.2:** 1.Bölge kesiti

**Çizelge İ.1 : 1.Bölge bilgileri**

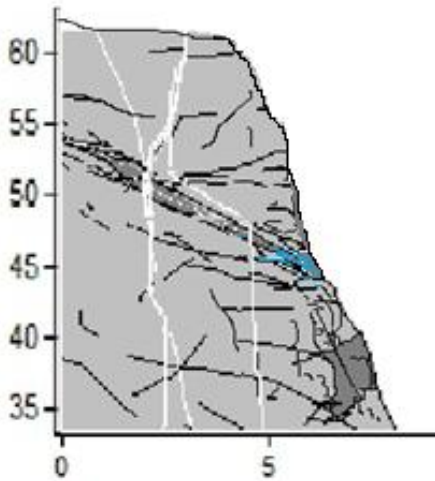
|                              |                                                                             |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>JEOLJİ</b>                |                                                                             |
| Çatlaklar                    | 214/75, 110/81, 200/80, 146/63, 244/33, 210/82, sürekliliği olan kırıklar   |
| Faylar                       | Yok                                                                         |
| Ayrışma                      | Ayrışmış yüzeyler oldukça fazla. Üst kısımlarda dökülmeler mevcut.          |
| Gevşeme                      | Yok                                                                         |
| Su Geliri                    | Yok                                                                         |
| <b>GÜNCEL DURUM</b>          |                                                                             |
| Patlatma-kazı etkisi         | Yer yer ezik zonlar mevcut fakat şev yüzey alanında etkisi bulunmamaktadır. |
| Sağlama önlemleri            | Kaya civataları, püskürtme beton ve tel kafes.                              |
| Geometrik düzenlemeler       |                                                                             |
| <b>ÖNGÖRÜ</b>                |                                                                             |
| <b>Taş düşmesi (a)</b>       | Olasılık(p)..yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                            |
| Topuktan fırlama uzaklığı    | çok az(0) <5 m(1) <10m(2) >10m(3)                                           |
|                              | Oluşma sıklığıhiç(0) <b>ender(1)</b> sıkça(2) çok sık(3)                    |
| <b>Basamak yenilmesi (b)</b> | Olasılık (p) <b>yok(0)</b> olabilir(1) var (2)                              |
|                              | Oluşma sıklığıhiç(0) ender(1) sıkça(2) çok sık(3)                           |
| <b>Şev kayması (c)</b>       | Olasılık (p)yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                             |
|                              | Oluşma sıklığı(t) hiç (0) <b>ender(1)</b> sıkça (2) çok sık (3)             |



Şekil İ.3: 2. Bölge kesiti

Çizelge İ.2: 2.Bölge bilgileri

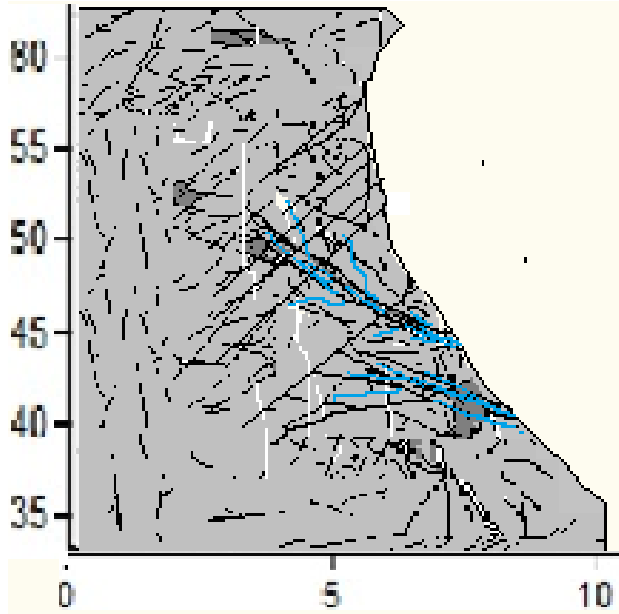
|                              |                                                                           |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>JEOLJİ</b>                |                                                                           |
| Çatlaklar                    | 330/48, 120/70, 310/50, 106/68, 325/46, 60/75, 290/64, 55/66,             |
| Faylar                       | Yok                                                                       |
| Ayrışma                      | Atmosferik etkilerle bazı kısımlarda renk değişimleri oluşmuştur          |
| Gevşeme                      | Yok                                                                       |
| Su Geliri                    | Yok                                                                       |
| <b>GÜNCEL DURUM</b>          |                                                                           |
| Patlatma-kazı etkisi         | Şev yüzeyinin aşağı kısımlarında patlatma etkisi artış göstermiştir.      |
| Sağlamlaştırma önlemleri     | Kaya civataları püskürtme beton ve tel kafes                              |
| Geometrik düzenlemeler       | Düzenlenmesi gereken , yaklaşık 40 ton ağırlığındaki, askıdaki kaya bloğu |
| <b>ÖNGÖRÜ</b>                |                                                                           |
| <b>Taş düşmesi (a)</b>       | Olasılık(p) yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                           |
| Topuktan fırlama uzaklığı    | çok az(0) <5 m(1) <10m(2) >10m(3)                                         |
|                              | Oluşma sıklığı hiç(0) ender(1) <b>sıkça(2)</b> çok sık(3)                 |
| <b>Basamak yenilmesi (b)</b> | Olasılık (p) <b>yok(0)</b> olabilir(1) var (2)                            |
|                              | Oluşma sıklığı hiç(0) ender(1) sıkça(2) çok sık(3)                        |
| <b>Şev kayması (c)</b>       | Olasılık (p)yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                           |
|                              | Oluşma sıklığı(t) hiç (0) <b>ender(1)</b> sıkça (2) çok sık (3)           |



Şekil İ.4: 3. Bölge kesiti

**Çizelge İ.3: 3.Bölge bilgileri**

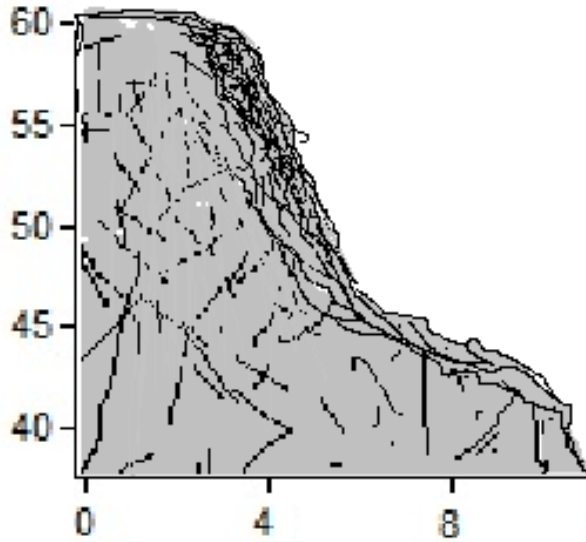
|                              |                                                                                  |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>JEOLOJİ</b>               |                                                                                  |
| Çatlaklar                    | 288/62, 60/54, 285/64, 70/60, 280/48, 50/58, 308/68, 56/58, 70/40, 55/50         |
| Faylar                       | Yok                                                                              |
| Ayrışma                      | Yer yer kayada renk değişimleri gözlenmiştir. Yoğun bir ayrışma yoktur.          |
| Gevşeme                      | Yok                                                                              |
| Su Geliri                    | Var                                                                              |
| <b>GÜNCEL DURUM</b>          |                                                                                  |
| Patlatma-kazı etkisi         | Patlatma etkisi yüksek. Şev yüzeyinde aşırı parçalı kırıklı kesimler oluşmuştur. |
| Sağlamlaştırma önlemleri     | Kaya civataları, püskürtme beton ve ardından tel kafes uygulaması                |
| Geometrik düzenlemeler       | -                                                                                |
| <b>ÖNGÖRÜ</b>                |                                                                                  |
| <b>Taş düşmesi (a)</b>       | Olasılık(p)..yok (0) olabilir (1) <b>var (2)</b>                                 |
| Topuktan fırlama uzaklığı    | çok az(0) <5 m( <b>1</b> ) <10m(2) >10m(3)                                       |
|                              | Oluşma sıklığı hiç(0) ender(1) <b>sıkça(2)</b> çok sık(3)                        |
| <b>Basamak yenilmesi (b)</b> | Olasılık (p) <b>yok(0)</b> olabilir(1) var (2)                                   |
|                              | Oluşma sıklığı hiç(0) ender(1) sıkça(2) çok sık(3)                               |
| <b>Şev kayması (c)</b>       | Olasılık (p)yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                                  |
|                              | Oluşma sıklığı(t) hiç (0) ender(1) <b>sıkça (2)</b> çok sık (3)                  |



**Şekil İ.5: 4-5. Bölge kesiti**

**Çizelge İ.4: 4-5.Bölge bilgileri**

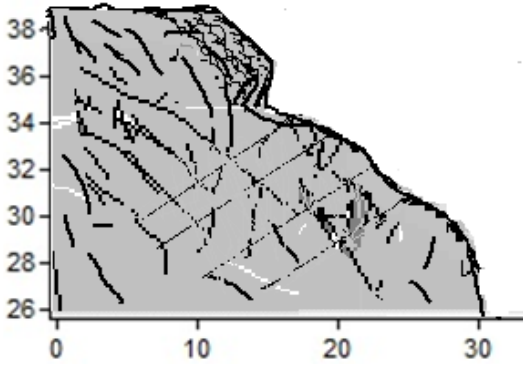
|                              |                                                                          |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>JEOLOJİ</b>               |                                                                          |
| Çatlaklar                    | 70/60, 75/64, 70/70, 273/83, 240/75                                      |
| Faylar                       |                                                                          |
| Ayrışma                      | Şev yüzeyinde yoğun ayrışma gözlenmiş tir.                               |
| Gevşeme                      | Yok                                                                      |
| Su Geliri                    | Şev yüzeyinin orta kotlarından su çıkışı saptanmıştır.                   |
| <b>GÜNCEL DURUM</b>          |                                                                          |
| Patlatma-kazı etkisi         | Yer yer ezik zonlar ve serbest kaya elemanları oluşmuştur.               |
| Sağlamaştırma önlemleri      | Kaya civataları, kaya dikişleri, püskürtme beton ve tel kafes uygulaması |
| Geometrik düzenlemeler       | Şev eğimine uygun yapılan destek kolon ve kirişler.                      |
| <b>ÖNGÖRÜ</b>                |                                                                          |
| <b>Taş düşmesi (a)</b>       | Olasılık(p)..yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                         |
| Topuktan fırlama uzaklığı    | çok az(0) <b>&lt;5 m(1)</b> <10m(2) >10m(3)                              |
|                              | Oluşma sıklığıhiç(0) ender(1) <b>sıkça(2)</b> çok sık(3)                 |
| <b>Basamak yenilmesi (b)</b> | Olasılık (p) <b>yok(0)</b> olabilir(1) var (2)                           |
|                              | Oluşma sıklığı hiç(0) ender(1) sıkça(2) çok sık(3)                       |
| <b>Şev kayması (c)</b>       | Olasılık (p)yok (0) olabilir (1) <b>var (2)</b>                          |
|                              | Oluşma sıklığı(t) hiç (0) ender(1) <b>sıkça (2)</b> çok sık (3)          |



**Şekil İ.6: 6. Bölge kesiti**

**Çizelge İ.5: 6.Bölge bilgileri**

|                              |                                                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>JEOLojİ</b>               |                                                                              |
| Çatlaklar                    | -                                                                            |
| Faylar                       | Yok                                                                          |
| Ayrışma                      | Yüzeysel ayrışma, yer yer renk değişimi,                                     |
| Gevşeme                      | Şev yüzeyinde ezik zonlar mevcut. En üst kısımda dökülmeler, gevşemeler var. |
| Su Geliri                    | Yok                                                                          |
| <b>GÜNCEL DURUM</b>          |                                                                              |
| Patlatma-kazı etkisi         | Patlatma etkisi düşük.                                                       |
| Sağlama önlemleri            | Kaya civataları, Püskürtme beton ve tel kafes.                               |
| Geometrik düzenlemeler       | Anakayadan 8cm ayrılan bloğun traşlanması ve anakayaya bağlanması            |
| <b>ÖNGÖRÜ</b>                |                                                                              |
| <b>Taş düşmesi (a)</b>       | Olasılık(p)..yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                             |
| Topuktan fırlama uzaklığı    | çok az(0) <5 m(1) <10m(2) >10m(3)                                            |
|                              | Oluşma sıklığıhiç(0) <b>ender(1)</b> sıkça(2) çok sık(3)                     |
| <b>Basamak yenilmesi (b)</b> | Olasılık (p) <b>yok(0)</b> olabilir(1) var (2)                               |
|                              | Oluşma sıklığı hiç(0) ender(1) sıkça(2) çok sık(3)                           |
| <b>Şev kayması (c)</b>       | Olasılık (p) <b>yok (0)</b> olabilir (1)var (2)                              |
|                              | Oluşma sıklığı(t) hiç (0) ender(1) sıkça (2) çok sık (3)                     |



**Şekil İ.7: 7. Bölge kesiti**

**Çizelge İ.6: 7.Bölge bilgileri**

|                              |                                                                          |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>JEOLojİ</b>               |                                                                          |
| Çatlaklar                    | 85/75, 312/38, 305/41, 85/81                                             |
| Faylar                       | Yok                                                                      |
| Ayrışma                      | Yok                                                                      |
| Gevşeme                      | Yok                                                                      |
| Su Geliri                    | Yok                                                                      |
| <b>GÜNCEL DURUM</b>          |                                                                          |
| Patlatma-kazı etkisi         | Patlatma etkisi görülmemekte                                             |
| Sağlama önlemleri            | Kaya civataları, kaya dikişleri, püskürtme beton ve tel kafes uygulaması |
| Geometrik düzenlemeler       | Yok                                                                      |
| <b>ÖNGÖRÜ</b>                |                                                                          |
| <b>Taş düşmesi (a)</b>       | Olasılık(p)..yok (0) <b>olabilir (1)</b> var (2)                         |
| Topuktan fırlama uzaklığı    | çok az(0) <5 m(1) <10m(2) >10m(3)                                        |
|                              | Oluşma sıklığıhiç(0) ender(1) <b>sıkça(2)</b> çok sık(3)                 |
| <b>Basamak yenilmesi (b)</b> | Olasılık (p) <b>yok(0)</b> olabilir(1) var (2)                           |
|                              | Oluşma sıklığı hiç(0) ender(1) sıkça(2) çok sık(3)                       |
| <b>Şev kayması (c)</b>       | Olasılık (p) <b>yok (0)</b> <b>olabilir (1)</b> var (2)                  |
|                              | Oluşma sıklığı(t) hiç (0) <b>ender(1)</b> sıkça (2) çok sık (3)          |

## **ÖZGEÇMİŞ**

**VESİKALIK  
FOTO**

**Ad Soyad: Zeynep Duygu Öz**

**Doğum Yeri ve Tarihi: Mersin / 19.03.1984**

**Adres: Sarıkanarya Cad. Güven Sok. Osmanbey Apt. Kat:2 /11 Kozyatağı/İST**

**Lisans Üniversite: Kocaeli Üniversitesi**