

77200

**KOHEZYONLU VE KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ŞEV STABİLİTESİ VE  
UYGULAMA YÖNTEMLERİ**

**Caner ÖZSOY**

**Dumlupınar Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Lisansüstü Yönetmenliği Uyarınca**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Olarak Hazırlanmıştır**

77200

**Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KIRBAŞ**

**Eylül – 1998**



**KOHEZYONLU VE KOHEZYONSUZ  
ZEMİNLERDE ŞEV STABİLİTESİ  
VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ**

**Caner ÖZSOY**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**Eylül 1998**

Caner ÖZSOY'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı  
"KOHEZYONLU VE KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ŞEV STABİLİTESİ  
VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ "başlıklı bu çalışma, jürimizce lisanüstü  
yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

20./11./1998

Üye : Prof. Dr. M. Teyfik BAYER *M. Bayer*  
Üye : Doç. Dr. Mustafa TUNCAN *Mustafa Tunçan*  
Üye : *Hüseyin KIRBAŞ*  
Hüseyin KIRBAŞ  
Yrd. Doç. Dr. İnş. Müh.

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02.12.1998.. gün ve ...08.....

Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

*İsmail*  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Doç. Dr. İSMET İSİK

**Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde şev stabilitesi ve uygulama yöntemleri****Caner ÖZSOY****İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi,****Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KIRBAŞ****Eylül – 1998****ÖZET**

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde şev stabilitesi ve uygulama yöntemleri konusundaki bu çalışmada;

Yamaç ve şev stabilitesinde, kütle hareketleri sınıflandırılarak, Jeomorfolojik açıdan incelenmiştir.

Şev stabilitesinin etüdünde arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla stabilite bozulmalarını denetleyen etmenler üzerinde durularak şev ve yamaç stabilitesinin bozulmasında önemli bir yer tutan heyelanlara ayrıca değinilmiştir.

Şev stabilitesinin sağlanması ve bu konuda alınacak önlemler, örneklerle anlatılarak ayrıca ankraj tekniği üzerinde durulmuştur.

Şev stabilitesi konusuna teorik açıdan yaklaşarak, şevlerde stabilite analizi yöntemleri çözümlü örneklerle anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Şev Stabilitesi, Heyelan, Şev Stabilite Analizi**

**STABILITY OF SLOPES AND METHOD OF APPLICATION IN GROUNDS  
WITH AND WITHOUT COHESION**

**By**

**Caner ÖZSOY**

**Civil Engineering, Master Thesis**

**Supervisor: Ass. Prof. Dr. Hüseyin KIRBAŞ**

**September – 1998**

**Summary**

In this study concerning the stability of slopes and method of application in grounds with and without cohesion;

Mass movements in the stability of slopes are classified and observed geomorphologically.

In the study of slope stability, the factors controlling stability defects are concerned through site and laboratory studies and landslides which have a profound role in stability defects are further more discussed in detail.

The precautions to be taken for slope stability are considered in examples with emphasis on anchor technique.

Slope stability is considered also through a theoretical position and stability analysis methods are described in examples with solutions.

**Keywords: Slope Stability, Landslide, Slope Stability Analysis.**

## TEŞEKKÜR

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde şev stabilitesi ve uygulama yöntemleri konusundaki tezimi hazırlayabilmem için çalışmalarımın her safhasında engin bilgi ve deneyimi ile kaynaklarından yararlandığım, yönlendirmeleriyle tezimin bitmesini sağlayan,

Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KIRBAŞ'a

Her zaman destek ve katkılarını hissettiğim Dumlupınar Üniversitesi İnşaat ve Seramik mühendisliği bölümünün değerli yönetici ve öğretim üyelerine,

Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünün kıymetli yönetici ve personeline teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

|                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| <b>ÖZET .....</b>                    | <b>IV</b>   |
| <b>SUMMARY .....</b>                 | <b>V</b>    |
| <b>TEŞEKKÜR.....</b>                 | <b>VI</b>   |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>         | <b>X</b>    |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>       | <b>XII</b>  |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b> | <b>XIII</b> |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. GİRİŞ .....                                                                            | 1  |
| 2. YAMAÇ VE ŞEV STABİLİTESİNDE KÜTLE HAREKETLERİNİN<br>SINIFLANDIRILMASI VE TÜRLERİ ..... | 2  |
| 2.1. Yamaç ve Şev Stabilitesinde Kütle Hareketleri.....                                   | 2  |
| 2.2. Yamaç ve Şev Stabilitesinde Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması .....             | 3  |
| 3. YAMAÇ VE ŞEVLERİN JEOMORFOLOJİK İNCELEMESİ.....                                        | 4  |
| 3.1. Jeomorfolojik İncelemelerde Veri Grupları.....                                       | 7  |
| 3.1.1. Coğrafi Bölge Nitelikleri.....                                                     | 7  |
| 3.2. Jeomorfolojik İncelemelerde Veri Kaynakları.....                                     | 8  |
| 4. ŞEV STABİLİTESİNİN İNCELENMESİNDE ARAZİ VE<br>LABORATUAR ÇALIŞMALARI .....             | 11 |
| 4.1. Şev Stabilitesinde Geoteknik Çalışmaların Amaçları .....                             | 11 |
| 4.2. Şev Stabilitesinde Geoteknik Çalışmaların Programlanması .....                       | 12 |
| 4.3. Şev Stabilitesinde Arazi Çalışmalarının Boyutları .....                              | 13 |
| 4.4. Şev Stabilitesinin Bozulmasına Yol Açan Hareketlerin İncelenmesi.....                | 13 |
| 4.5. Şevlerde Stabilitate Bozulmalarını Denetleyen Etmenler .....                         | 14 |
| 4.5.1. Jeolojik Etmenler .....                                                            | 14 |
| 4.5.2. İklimsel Etmenler .....                                                            | 16 |
| 4.5.3. Diğer Etmenler .....                                                               | 16 |
| 5. ŞEVLERDE STABİLİTE ETÜDÜ VE HEYELANLARA<br>İLİŞKİN UYGULAMALAR .....                   | 16 |
| 5.1. Şevlerde Stabilitate Etüdü .....                                                     | 16 |
| 5.2. Şevlerde Stabilitate Sorunları .....                                                 | 17 |
| 5.2.1. Kaya Şevlerinde Stabilitate Bozulmaları .....                                      | 17 |
| 5.2.2. Düşmeler .....                                                                     | 17 |
| 5.2.3. Çökmeler ve Kaymalar.....                                                          | 18 |
| 5.2.3.1. Çökmeler .....                                                                   | 18 |
| 5.2.3.2. Kaymalar (Heyelanlar) .....                                                      | 18 |

## İÇİNDEKİLER (DEVAMI)

|          |                                                                                                                        |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3.     | Aktif Heyelanlar Potansiyel Heyelanlar .....                                                                           | 19 |
| 5.4.     | Dönme Ve Öteleme Biçiminde Olan Heyelanlar .....                                                                       | 20 |
| 5.4.1    | Dönel Heyelanlar.....                                                                                                  | 20 |
| 5.4.2.   | Translasyonel Heyelanlar .....                                                                                         | 21 |
| 5.5.     | Kaya Şevlerinde Stabilite Bozulmaları.....                                                                             | 22 |
| 5.6.     | Kritik Şev Yüksekliği .....                                                                                            | 24 |
| 5.7.     | Kayma Yüzeyinin Pratik Olarak Bulunması, Stabilite Bozulmaları .....                                                   | 25 |
| 5.7.1.   | Sondaj Yöntemi.....                                                                                                    | 25 |
| 5.7.2.   | Sismik Reaksiyon Yöntemi .....                                                                                         | 25 |
| 5.7.3.   | Tüp Yerleştirme Yöntemi.....                                                                                           | 26 |
| 5.8.     | Şevlerde Heyelanın Önlenmesi ve Sağlamlaştırılması .....                                                               | 26 |
| 5.8.1.   | Heyelanın Önlenmesi.....                                                                                               | 26 |
| 5.8.2.   | Heyelanın Sağlamlaştırılması.....                                                                                      | 27 |
| 5.8.2.1. | Heyelan Olan Kesimde Eksende Yeterli Bir Ripaj<br>Yaparak Yolu Uzaklaştırmak.....                                      | 27 |
| 5.8.2.2. | Kırmızı Çizgiyi Yükseltmek .....                                                                                       | 27 |
| 5.8.2.3  | Yüzeysel Drenaj Yapmak .....                                                                                           | 27 |
| 5.8.2.4. | Derin Yüzeyaltı Drenajları Yapmak.....                                                                                 | 28 |
| 5.8.2.5. | Kayan zemini Kaldırmak, Geri Kalan Zeminde<br>Yükleri Azaltmak, Şev Eğimini Yatıklaştırmak .....                       | 28 |
| 5.8.2.6. | Kayan Gevşek zeminler İçine Çimento Enjeksiyonu<br>Yapılması .....                                                     | 29 |
| 5.8.2.7. | Etek ve Topuk Kesimine Karşılıklı Yükler Koymak.....                                                                   | 29 |
| 5.8.2.8. | Kaya Düşmesi, Kaya Heyelanı, Bölgelerinde<br>Alınacak Önlemler. ....                                                   | 29 |
| 5.8.2.9. | Kayaların Güçlendirilmesi ve Desteklenmesi .....                                                                       | 30 |
| 5.8.3.   | Dolgularda Heyelan Sağlamlaştırması .....                                                                              | 34 |
| 5.8.3.1. | Dolgu Tabanı Heyelanlarında Heyelan Olan Yerden<br>Yol Ekseninde Yeterli bir Ripaj Yaparak Yolu<br>Uzaklaştırmak. .... | 34 |
| 5.8.3.2. | Dolgu Tabanı Heyelanlarında Kırmızı Çizgiyi<br>Düşürmek.....                                                           | 34 |
| 5.8.3.3. | Dolgu Şevlerinde Stabilite Bozuklukları Halinde<br>Alınacak Tedbirler. ....                                            | 35 |
| 6.       | ŞEVLERDE EROZYON KONTROLU .....                                                                                        | 36 |
| 6.1.     | Yarma Şevlerinde Erozyon Kontrolü .....                                                                                | 36 |
| 6.2.     | Dolgu Şevlerinde Erozyon Kontrolü .....                                                                                | 38 |
| 7.       | ŞEV STABİLİTESİNDE ANKRAJ TEKNİĞİ.....                                                                                 | 42 |
| 7.1.     | Kullanılan Ankraj Tipleri .....                                                                                        | 43 |
| 7.2.     | Ankrajların Hazırlanması .....                                                                                         | 44 |

## İÇİNDEKİLER (DEVAMI)

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2.1. Ankarj Kuyusunun Açılması .....                                                | 44 |
| 7.2.2. Ankarj Teçhizatının Yerleştirilmesi ve Enjeksiyon İşlemi .....                 | 45 |
| 7.3. Ankrajların Taşıma Gücü .....                                                    | 46 |
| 7.3.1. Kohezyonsoz Zeminlerde Ankrajlarla İlgili Deneyimler .....                     | 46 |
| 7.3.2. Kohezyonlu Zeminlerde Ankrajlar ile İlgili Deneyimler .....                    | 47 |
| 7.3.3. Kayalarda Ankrajlarla İlgili Deneyimler .....                                  | 49 |
| 7.4. Yamaç Stabilesinde Ankrajların Uygulanması.....                                  | 50 |
| 8. ŞEV STABİLİTESİNE TEORİK YAKLAŞIMLAR .....                                         | 51 |
| 8.1. Şevlerde Risk Analizi .....                                                      | 51 |
| 8.2. Şevlerde Güvenlik Katsayısının Tanımlanması .....                                | 52 |
| 8.3. Yamaç Stabilesinde Çözümlü Örnekler .....                                        | 54 |
| 8.3.1. Yamaçların Dengesini Etkileyen Özellikler.....                                 | 55 |
| 8.3.1.1. Doğal Yamaçlar.....                                                          | 55 |
| 8.3.2. Yamaç Stabilesi Hesabında Yöntemler .....                                      | 57 |
| 8.3.2.1. Sonsuz Yamaçta Duraylık.....                                                 | 58 |
| 8.3.2.2. Stabilenin dilim Yöntemiyle Hesaplanması.....                                | 60 |
| 8.3.3.3. Kama Analizi İle Stabite .....                                               | 62 |
| 9. KAYA ŞEVLERİNDE STABİLİTE (DURAYLIK) ANALİZİ<br>YÖNTEMLERİ.....                    | 62 |
| 9.1. Amprik Yöntem.....                                                               | 63 |
| 9.2 Gerilme Analizi Yöntemleri .....                                                  | 67 |
| 9.3. Analitik Yöntem .....                                                            | 69 |
| 9.4. Stereografik İzdüşüm Yöntemi.....                                                | 70 |
| 9.5. Fiziksel Model Yöntemi .....                                                     | 72 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                               | 73 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ.....                                                                 | 75 |
| EKLER                                                                                 |    |
| I- Sonsuz Yamaçta Duraylığın İncelenmesi                                              |    |
| II A. – Heterojen Yamaçta OMS Yöntemiyle Toplam Gerilme Analizi                       |    |
| II B – Heterojen Yamaçta Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi ile Toplam Gerilme<br>Analizi |    |
| III – Heterojen Yamaçta Dengenin Kama Analizi İle Hesaplanması                        |    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil                                                                                                                | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 2.1. Şev ve yamaçlarda kütle hareketleri.....                                                                        | 3     |
| 3.1. Yarı kurak iklim koşullarında morfolojinin evrimi .....                                                         | 5     |
| 3.2. Magmatik kayalar üzerine gelen eğimli sedimentlerin oluşturduğu<br>yamaç şekillerinin topografya haritası ..... | 6     |
| 3.3. Farklı litolojiler üzerinde oluşan vadiler ve akarsu örnekleri.....                                             | 8     |
| 3.4. Zemin akmasının sebep olduğu tipik basamaklı morfolojik görünüş .....                                           | 10    |
| 3.5. Bir kaya yamacının eteğinde oluşan moloz birikimleri .....                                                      | 11    |
| 5.1. Kütle hareketlerinin sınıflandırılması.....                                                                     | 18    |
| 5.2. Heyelanın Çeşitli kesimlerinin Adları ve şekilleri .....                                                        | 19    |
| 5.3. Dönel kayma yüzeyli heyelanlarda kayma yüzeyi .....                                                             | 21    |
| 5.4. Kayalarda Görülen Stabilitate bozulmaları .....                                                                 | 22    |
| 5.5. Kaya devrilme türleri.....                                                                                      | 24    |
| 5.6. Şev Dranajı ve Basınç Azaltma Önlemleri.....                                                                    | 28    |
| 5.7. Şokret uygulamaları.....                                                                                        | 31    |
| 5.8. Düşen kayaları yakalamak için şevde çelik Ağ ve Çit .....                                                       | 33    |
| 5.9. Kaya Çatıları ve Tüneller .....                                                                                 | 33    |
| 5.10. Şevlerde alınabilecek tedbirler .....                                                                          | 34    |
| 6.1. Şevlerde bitkilendirme ile erozyonun önlenmesi .....                                                            | 37    |
| 6.2. Dolgu şevlerinde erozyon kontrolü .....                                                                         | 39    |
| 6.3. Şevde kafa hendeğinin durumu .....                                                                              | 40    |
| 7.1. Zemin Ankraj Elemanları .....                                                                                   | 43    |
| 7.2. Ankraj Gövdesinde Kuvvet iletimine Göre Ankraj Tipleri .....                                                    | 44    |
| 7.3. Kohezyonsuz zeminde ankraj çubuğunun yer değiştirmesi sırasında<br>meydana gelen kemerlenme.....                | 47    |
| 7.4. Kohezyonlu zeminlerde ikinci enjeksiyondan evvel ve sonra ortalama<br>çevre sürtünmesi değerleri .....          | 48    |
| 7.5. Kohezyonlu Zeminlerde İkinci Enjeksiyondan Evvel ve Sonra Ortalama<br>çevre sürtünmesi değerleri.....           | 48    |
| 8.1. Örnek şevde kayma olasılığı değişimi.....                                                                       | 53    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.2. Kilin Kayma Direncinin zamana bağlı değişimi .....                                        | 55 |
| 8.3. Sonsuz yamaçta stabilite.....                                                             | 58 |
| 8.4. Sonsuz yamaçta Duraylık hesabı için Abak .....                                            | 60 |
| 8.5. Bishop Yönteminde $m$ $\alpha$ Eğrileri .....                                             | 61 |
| 9.1. Tabaka ve çatlakların durumlarına göre şevlere verilmesi uygun kritik şev<br>açıları..... | 66 |
| 9.2. Süreksizlikleri kohezyonlu malzeme ile dolmuş çatlaklı kayalara verilecek<br>eğim.....    | 67 |
| 9.3. Bir şevde sonlu elemanlar yöntemi için üçgen ve düğüm noktalarının<br>oluşturulması.....  | 68 |
| 9.4. Bir şevin çeşitli bölgelerinde yer çekimi ve yatay kalıcı gerilmelerin<br>akılanı.....    | 69 |
| 9.5. Bir şevde süreksizlikler nedeniyle oluşan kama.....                                       | 70 |
| 9.6. Şevlerde dışa ve içe bakan kamaların iz düşüm ve emniyet faktörleri.....                  | 71 |

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

| <b>Çizelge</b>                                                                              | <b>sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.1. Kütle hareketlerinin genel sınıflandırılması ve türleri .....                          | 4            |
| 4.1. Şev Stabilite bozulmalarının nedenleri ve Önlemler.....                                | 15           |
| 8.1. Örnek şevde olasılık hesapları için seçilen parametrelerin<br>dağılım özellikleri..... | 53           |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler   | Açıklamalar                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------------------|
| $\beta$    | Yamaç eğim açısı                                                |
| $\Delta h$ | İki eş yükselti eğrileri arasındaki yükselti farkı              |
| $\Delta l$ | Eşyükselti eğirleri arası harita uzaklığı                       |
| $N_s$      | Taylor'un verdiği stabilite sayısı                              |
| $C$        | Zeminin Kohezyonu                                               |
| $\gamma$   | Zeminin birim hacim Ağırlığı                                    |
| $F$        | Kohezyon değerleri bakımından güvenlik için gereken oran sayısı |
| $G_s$      | Güvenlik katsayısı                                              |
| $R$        | Kaymaya karşı koyan kuvvetlerin bileşkesi                       |
| $T$        | Kaymaya yol açan kuvvetlerin bileşkesi                          |
| $G_{so}$   | Tasarım güvenlik katsayısı                                      |
| $P_f$      | Kayma olasılığı                                                 |
| $\phi$     | İçsel sürtünme açısı                                            |
| $A$        | Sonsuz yamaçta katsayı                                          |
| $B$        | Sonsuz yamaçta katsayı                                          |
| $H$        | Yamaçta düşey yükseklik                                         |
| $T$        | Kayan kitlenin kayma yüzeyine dik kalınlığı                     |
| $W$        | Toplam zemin ağırlığı                                           |
| $W_a$      | YASS üstünde zemin ağırlığı                                     |
| $W_b$      | Batık durumdaki zemin ağırlığı                                  |
| $X$        | YASS'nin kaymaktan yüksekliği (dikey)                           |
| $B$        | Dilimlerin genişliği                                            |
| $I$        | Dilim tabanında yay uzunluğu                                    |
| $r_u$      | Boşluk basıncı katsayısı                                        |
| $C_I$      | Efektif kohezyon                                                |
| $A$        | Çatlak incelemesi yapılan alan                                  |
| $A_g$      | (A) alanındaki çatlakların tüm alanı                            |

## 1.GİRİŞ

Doğal olarak veya insan eli ile oluşturulmuş bir zemin kitlesini sınırlayan eğik yüzeye “ŞEV” adı verilmektedir. Eğik yüzey bir düzlem olabileceği gibi, birbirlerini takip eden düzlemlerden de oluşabilir. Şev genel bir tabir olmakla beraber bazen tabii zemin kitlelerini sınırlayan eğik yüzeylere “YAMAÇ” veya “ETEK” denilmektedir.

Şevin en yüksek noktası “ŞEV TEPEŚİ”, alt kenarı “ŞEV TOPUĞU”, bu iki nokta arasındaki düşey mesafe “ŞEV EĞİMİ” olarak adlandırılmaktadır. Şev eğimi 1 (düşey) /n (yatay) uzunluk olarak ifade edilmektedir. Bazı teknik literatürde şev eğimi n(yatay) /1 (düşey) uzunluk olarak da verilmektedir.

Şev ile sınırlanmış zemin kitlesi içindeki düzlemler esas olarak yer çekim kuvvetlerinden doğan kayma gerilmeleri sebebiyle devamlı olarak aşağıya doğru çekilerek daha yatık bir yüzeye sahip olmaya zorlanmaktadır. Sözü geçen düzlemlerde doğabilecek kayma mukavemetleri mevcut kayma gerilmelerine karşı durabilecek seviyede ise şevin stabilitesi vardır. Aksi durumda şev kayar. Bazı hallerde şevlerde çok yavaş ilerleyen “KRİP” hareketi de görülebilir. Şevlerin bozulmadan göçmeden kalması, yani verilen şekli koruması en önemli problemlerden biridir. Bu kapsamda şev stabilitesi, şev yüzeyinin arkasında bulunan kitlede göçme ve yıkılma tehlikesinin olup olmadığının araştırılması ve doğrulanmasıdır.

Şev stabilitesini kontrol eden etkenler arasında zemin profilinin özellikleri yanında topografik, jeolojik, hidrolojik ve iklimsel şartlar ile şev üzerinde yer alabilen ilave yükler ve titreşim kuvvetleri bulunmaktadır.

Şevlerin Stabillite etüdünde;

Yamaçlarda meydana gelebilecek heyelanların. kaymaların saptanarak korunma ve önleme işlemlerinin belirlenmesi;

1. Şevlere gerekli stabil durumun verilmesi, ve kayma olasılıklarının giderilmesi,
2. Şev ve yamaçlarda oluşan heyelanların, kaymaların önlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması araştırılmalıdır.

Şevlerde Stabilite sorunlarını doğuran sebepleri;

1. Düşmeler
2. Hızlı ve yavaş akmlar
3. Heyelanlar
4. Kaymalar
5. Devrilmeler
6. Çökmeler
7. Karmaşık hareketler olarak sınıflandırabiliriz (Varnes 1978) .

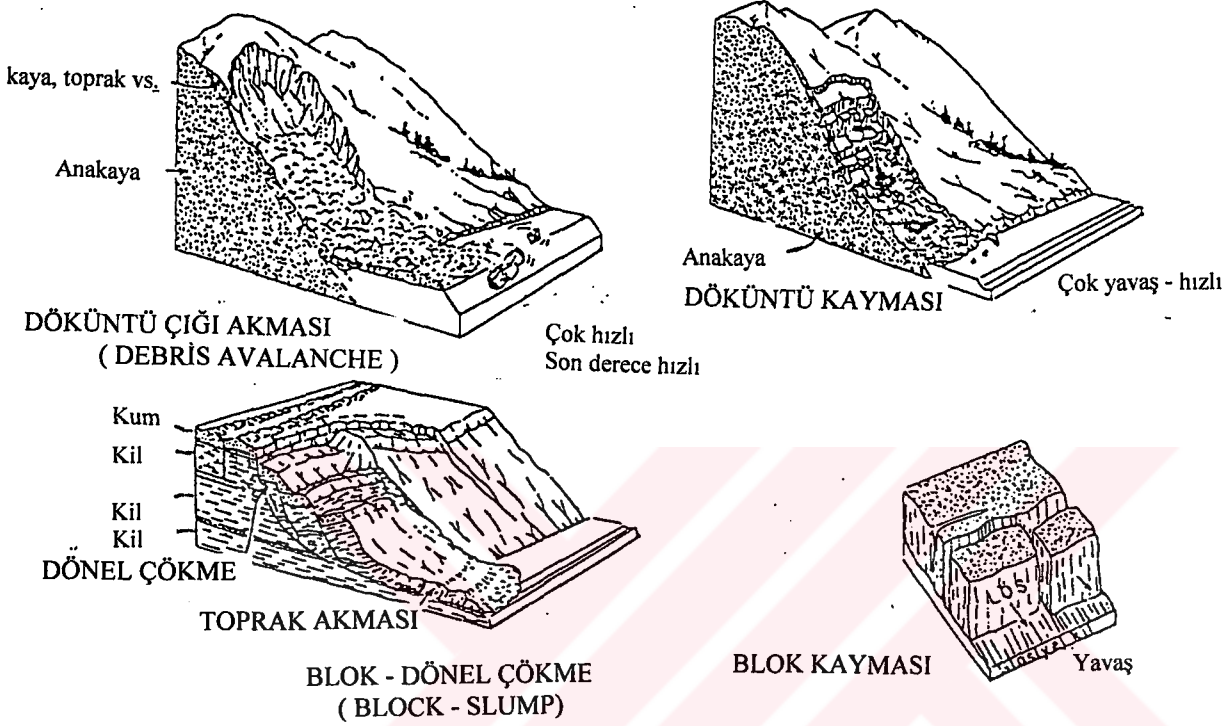
## **2.YAMAÇ VE ŞEV STABİLİTESİNDE KÜTLE HAREKETLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE TÜRLERİ**

### **2.1. YAMAÇ VE ŞEV STABİLİTESİNDE KÜTLE HAREKETLERİ**

Kütle hareketleri yeryüzünün az yada çok eğimli yüzeylerinde (yamaçlarda), yada insanlar tarafından meydana getirilen şevlerde (kazılarda) oluşur ve dolayısıyla, mühendislik işlerinde “yamaçların stabilitesi” yada “şevlerin, kazıların stabilitesinden bahsedilebilir.

Bu tür olaylar, olayın meydana geldiği yere hareket eden malzemenin türüne, hızına, hareket yüzeyinin olup olmamasına ve hareket yüzeyinin şekline göre özel isimler alır. Bu parametrelere göre de kitle hareketleri genel olarak “Şev Hareketleri” ya da “Yamaç Hareketleri” olarak adlandırılırlar. Ayrıntılı olarak ta Düşme, Akma, Kayma, Devrilme, Heyelan, Çökme gibi, isimler alır. Bu hareketlerin bir kaçı bir arada olduğunda bunlara “Karmaşık Kitle Hareketi” adı verilir.

Yeryüzünün ve yeryüzünde oluşturulan şevlerin dengesi, kayaların litolojik fiziksel özelliklerine, kimyasal birleşimlerine, suya karşı davranışlarına jeolojik yapılarına, süreksizliklere ve üzerlerine gelen basınç-gerilme miktarına bağlıdır.



Şekil 2.1. Şev ve Yamaçlarda kütle hareketleri

## 2.2. YAMAÇ VE ŞEV STABİLİTESİNDE KÜTLE HAREKETLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Kütle hareketlerini, değişik ölçütler kullanarak değişik şekillerde sınıflandırmak mümkün olmakta birlikte bu sınıflandırmalarda kullanılan en önemli parametreler

- Hareketin türü, miktarı ve hızı
- Hareket eden malzemenin türü, dizilişi, yaşı,
- Hareket eden kütlelerin şekli,
- Su miktarı
- Hareket eden kütle ile alttaki temel arasındaki bağıntı

- Hareketin nedenleri
- Kohezyon (C) ve iç sürtünme ( $\phi$ ) karakteristikleri dir.

Çizelge 2.1: Kütle hareketlerinin genel sınıflandırılması ve türleri [Varnes (1978)'den geliştirilmiştir]

| Hareket Türü |       | Hareketin Olduğu Malzeme Türü               |                                      |
|--------------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
|              |       | Kaya, Blok, İri Çakıl                       | Kum Silt Kil                         |
| Düşme        |       | Kaya, Blok Düşmesi                          | Toprak Dökülmesi                     |
| Akma         | Yavaş | Kaya-Blok Akması                            | Kum-Kil Akması                       |
|              | Hızlı | Yamaç molozu akması                         | Çamur-Kum Akması                     |
| Heyelan      |       | Rotasyonel-Translasyonel                    | Eğrisel Kayma yüzeyli zemin hareketi |
| Devrilme     |       | Kaya devrilmesi                             | Gevşek çimentolu moloz devrilmesi    |
| Karmaşık     |       | Kaya ve Malzeme Türü karışık                |                                      |
| Çökme        |       | Belirli Kayma yüzeyi olmayan kitle hareketi |                                      |

Bu tabloda verilen sınıflamada düşme ve akmada, malzeme serbest olarak, hareket etmektedir. Kayma ve heyelanlarda ise hareket bir düzlem ya da bir yüzey üzerinde meydana gelmektedir.

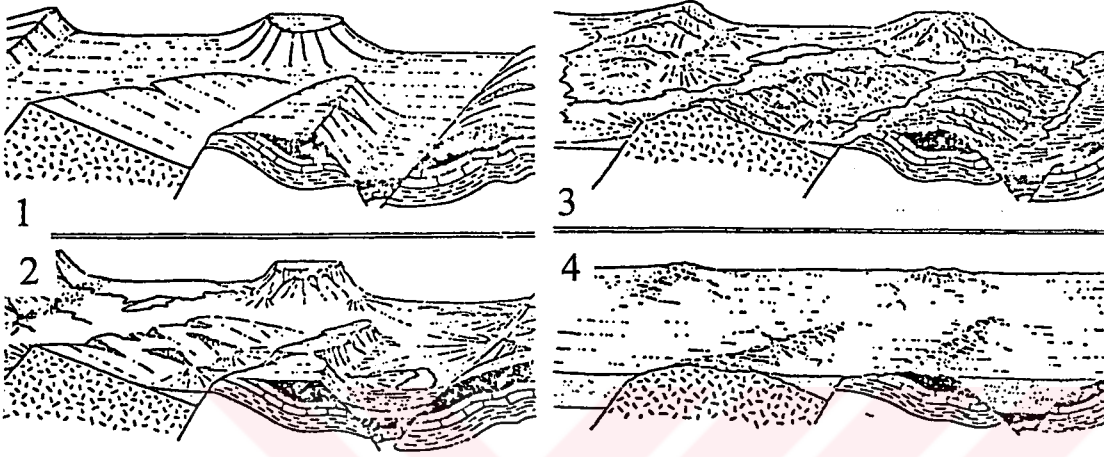
Akmanın her türünde, malzeme viskoz ya da plastik olsun hiçbir zaman herhangi bir akma düzlemi bulunmaz.

### 3. ŞEV VE YAMAÇLARIN JEOMORFOLOJİK İNCELEMESİ

Yer kabuğu iç ve dış olaylar etkisiyle çeşitli Jeomorfolojik şekiller kazanmıştır. Belli bir bölgeyi oluşturan litolojiler veya malzeme, tektonik Jeolojik evrim, iklim koşulları ve başka bir çok unsur jeomorfolojik şekillerin oluşumunu denetler.

Herhangi bir bölgede görülen şekiller erozyonla, kalık (residual) veya çökelmeyle (depositional) oluşabilir.

Morfoloji başlıca akarsu, buzul, dalga ve rüzgarla meydana gelebilir. Jeomorfolojik evrime bağımlı olarak gençlik, olgunluk, yaşlılık ve gençleşme aşamalarında olabilirler. Benzer şekilde iklim koşulları da; kurak veya yağışlı iklimlerle buzul dönemlerinde farklı jeomorfolojik şekiller oluştururlar.



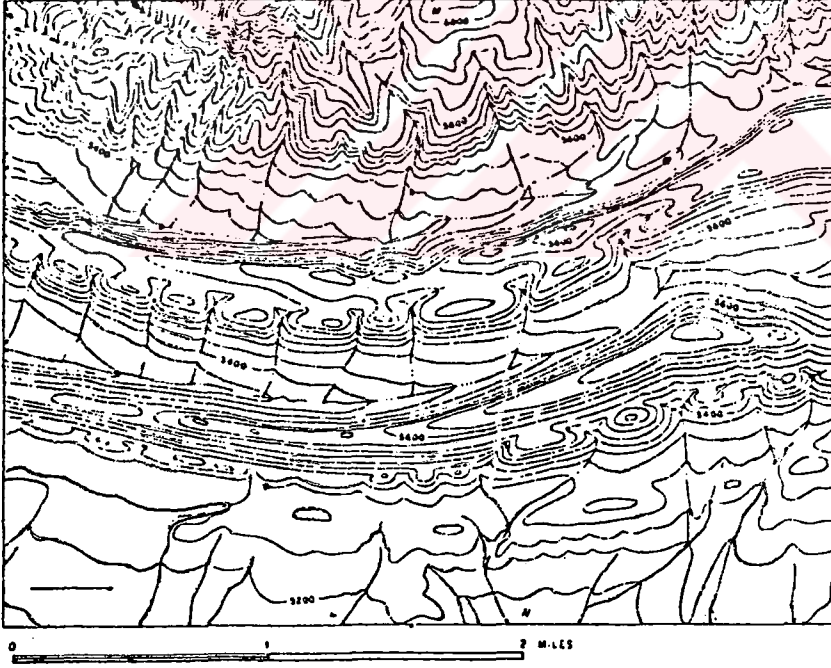
Şekil. 3.1: Yarıkurak iklim koşullarında morfolojinin evrimi: 1- Başlangıç, 2- Gençlik, 3- Olgunluk ve 4- Yaşlılık aşamalarında oluşan şekiller (Lobeck, 1939)

Yer kabuğunun jeomorfolojik döngüsü (cycle) içerisinde kütle hareketleri, doğal olarak engebenin düzleşmesi yönünde gelişen olaylardır. Çeşitli mühendislik işleri veya bir başka deyişle doğal dengeye yapılan etkiler, yer kabuğu hareketlerinin çoğu zaman hızlanmasına bazen de şekil veya yön değiştirmesine sebep olmaktadır. Yapılan mühendislik iyileştirmeleri yerel olarak kaymaların yavaşlatılmasını veya belli bir süre için durdurulmasını sağlamaktadır.

Yamaç ve şevlerde meydana gelen hareketler zemin veya kayanın cinsi, hareketin hızı ve tipi, harekete neden olan faktörler vb. çeşitli parametrelere göre değerlendirilerek sınıflandırılırlar. Mühendislik amaçları için şev veya yamaç stabilitesi bakımından olay, yerel olarak malzeme dengesinin bozularak yüksekten alçağa doğru kayması, akması, koparak devrilmesi veya düşmesidir.

Terzaghi'nin de belirttiği gibi “çeşitli niteliklerdeki zemin ve kayaların, stabiliteyi bozucu çok sayıda faktörünün etkisiyle hareket etmesi”, çok sayıda sınıflamalar yapılmasına sebep olmuştur. Aynı zamanda sınıflamalarda mühendislik amaçları da sonucu ve önem verilen parametrelerin seçimini etkilemiştir.

Yamaç ve şevlerde hareket yerel, ufak boyutlarda olabileceği gibi, çok büyük boyutlarda, bir dağın yamacının kayması şeklinde veya büyük blokların hareketi olarak görülebilir. Genel olarak yamaç ve şev değerlendirmelerinin sadece stabilite sorunlarıyla karşılaşılacak sahada değil; yeterince geniş bir bölgeden derlenecek veri ve ölçüm sonuçlarıyla incelenmesi yararlı olmaktadır.



Şekil 3.2. Magmatik kayalar üzerine gelen eğimli sedimentlerin oluşturduğu yamaç şekillerinin topografya haritası (Miller, 1961).

### 3.1. JEOMORFOLOJİK İNCELEMELERDE VERİ GRUPLARI

#### 3.1.1- Coğrafi Bölge Nitelikleri

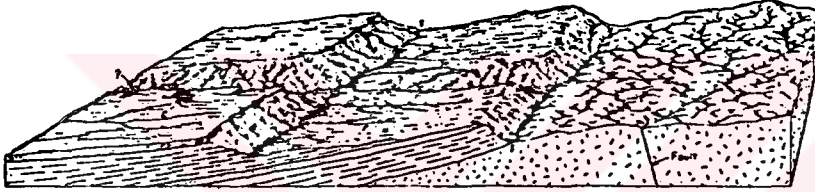
- Engebe durumu
  1. Dağlık bölge, plato, vadi
  2. Etkin jeomorfolojik şekiller
  3. Jeormofolojik evrim: Gençlik, olgunluk, yaşlılık gençleşme evreleri
- İklim
  1. Yağış: Kurak, yarıkurak, yağışlı, tropikal, kutup iklimi
  2. Sıcaklık: Ekstrem değerler, sıcaklık farkları
- Toprak Örtüsü: Tipi, kalınlığı
- Bitki örtüsü: Ormanlık, makilik, çalılık, seyrek ağaç, çimen, çıplak arazi
- Arazi kullanımı: Tarım, sulu tarım, iskan alanı sanayi kuruluşları baraj rezervuarı
- Jeolojik ve Jeoteknik veriler
- Hidrolojik Veriler
  1. Yüzey suları: Nehirler, vadiler, dereler
  2. Akarsu ağı ve yoğunluğu
  3. Drenaj örnekleri
  4. Akarsu ağının gelişmesi
- Yamaç analizi ve değerlendirilmesi
  1. Yamaçların geometrik tanımlanması
  2. Yamaç eğimine göre
    - Az eğimli yamaçlar < % 5
    - Orta eğimli yamaçlar = % 5-15
    - Çok eğimli yamaçlar > % 15

- Simetrik ve asimetrik yamaçlar

#### 1.Yamaçların yapısal tanımlanması

- Eğim yamaçları
- Dik yarlar
- Transversal yamaçlar

Doğal bir yamaç veya şevin morfolojik bakımdan erozyon sonucu mu oluştuğu, yoksa akarsu, buzul, rüzgar vb. etkilerle biriken alüvyon, birikinti, buzul moreni vb. çökeltilerle örtülü olup olmadığı belirlenmelidir.



Şekil 3.3.: Farklı litolojiler üzerinde oluşan vadiler ve akarsu örnekleri (Miller, 1961).

### 3.2. JEOMORFOLOJİK İNCELEMELERDE VERİ KAYNAKLARI

Günümüzde jeomorfolojik incelemeler arazi gözlemleri ve ölçümleriyle birlikte çeşitli haritalar, hava fotoğrafları veya uzay görüntülerinden yararlanılarak yapılabilmektedir. Gelişen ölçme teknikleri ve aygıtlar sayesinde fotojeolojik ve foto gravimetrik yöntemlerle yamaç ve şevlerin morfometrik analizleri ayrıntılı olarak değerlendirilebilmektedir. Ancak mühendislik sorunları bulunan yamaçlarda veya şevlerde, arazi gözlem ve ölçümleri pek çok araştırmacı veya mühendisler tarafından tercih edilmektedir.

Yamaç ve şevlerin incelenmesinde kullanılan harita ve fotoğraflar aşağıda belirtilen özelliklerde olmalıdır.

- Haritalar

İncelenecek yamacın boyutlarına göre çeşitli ölçekli topoğrafik haritaları (1/100.000, 1/25.000, 1/10.000, 1/5000 varsa 1/1000 ölçekli) değerlendirilir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan 1/25.000 ve 1/5.000 ölçekli eşyüksekti eğrili topoğrafik haritalar, çeşitli amaçlar için iyi kalitede çok veri sağlayan haritalardır. Eşyüksekti eğrili haritalar yardımıyla genel coğrafi ve morfolojik veriler önce değerlendirilir. Daha sonra;

1. Su bölümleri ve doruklar çizilir. Akarsular, drenaj örnekleri akarsu frekansı ve yoğunluğu hesaplanabilir.

2. Eşyüksekti eğrileri örnekleri incelenerek yamaç stabilitesi bakımından bir çok doğrudan veya dolaylı bilgiler elde edilebilir,

3. Eğim haritaları hazırlanarak, incelenecek bölgenin, 1/100 ise eşit yüzölçümü olan, alanlar seçilerek temsilci yamaç eğimleri hesaplanır.

$$\tan \beta = \frac{\Delta h}{\Delta l} \dots\dots\dots 3.1.$$

$\beta$  = Yamaç eğim açısı

$\Delta h$  = İki eşyüksekti eğrileri arasındaki yükselti farkı

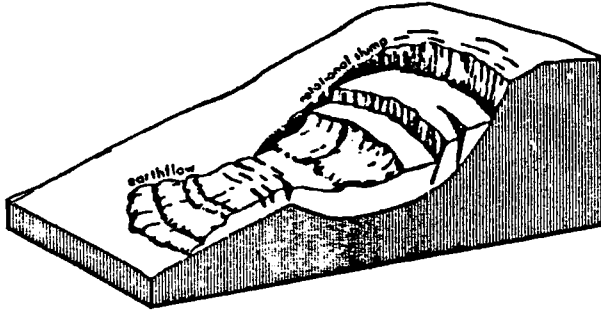
$\Delta l$  = Eşyüksekti eğrileri arası harita uzaklığıdır.

Elde edilen değerler, asalanların merkezine yazılarak eşyüksekti eğrileri eğim haritaları çizilebilir. Eşyüksekti eğrileri veya topoğrafik eğriler yüzde eğim cinsinden de ifade edilebilir.

Yüzde eğim haritalarında çoğunlukla % 5'e kadar az eğimli % 5-15 orta eğimli ve %15'den büyük çok eğimli yamaçlar ayrılarak farklı renk veya taramalarla gösterilmektedir. Yamaç eğimleri eğim yönü vektörleriyle

gösterilebilir. İzometrik blok perspektifler hazırlanarak yamaç incelemelerinde jeomorfolojik şekiller gösterilebilir.

Eşyüksekti eğrileri veya topoğrafik eğriler haritalardan, hava fotoğraflarından veya uzay görüntülerinden sağlanan kot ve koordinat değerleriyle istenilen ölçeklerde eğim haritaları, profiller ile çeşitli blok perspektiflerinin çizdirilmesi veya modeller hazırlanması mümkündür.

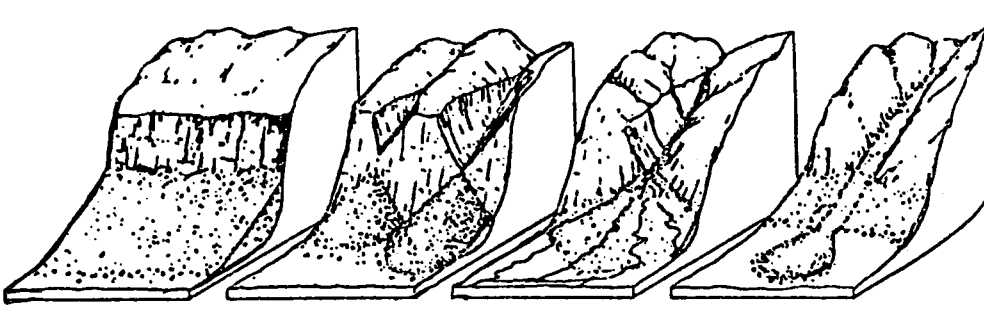


Şekil 3.4. : Zemin akmasının sebep olduğu tipik basamaklı morfolojik görüntü.

Hava fotoğraflarından jeomorfolojik amaçlar için pek çok bilgi sağlanabilir. Fotojeolojik yorumlar veya fotoğravimetrik ölçümlerle de istenilen ölçek ve ayrıntıda değerlendirmeler yapılabilir. Hava fotoğraflarının üstünlüğü farklı zamanlarda çekilecek fotoğraflar ile yamaç ve şevlerde meydana gelebilecek stabilite sorunlarının karşılaştırmalı incelenebilmesidir.

Hava fotoğraflarının değerlendirilmesinden elde edilebilecek veriler aşağıda verilmiştir.

- Bölgesel yapıyla yamacın genetik ilişkileri,
- Yamacın geometrisi: Boyutları, eğimi, diğer jeomorfolojik şekillerle ilişkisi (Şekil 3.5.),
- Yamacın simetrisi,
- Yamacın jeomorfolojik evrimi,
- Hidrolojik ve hidrojeolojik unsurlar,
- Yamaç ve şev boyunca stabilite sorunu olan veya potansiyel alanların belirlenmesi,
- Varsa, yer değiştirmelerde hareketin tipi, kayan kütlenin sınırları, miktarı ve kayma hızı hakkında yorum elde etme imkanı bulunmaktadır.



Şekil 3.5: Bir kaya yamacın eteğinde oluşan moloz birikimleri

#### **4- ŞEV STABİLİTESİNİN İNCELENMESİNDE ARAZİ VE LABORATUAR ÇALIŞMALARI**

##### **4.1.ŞEV STABİLİTESİNDE GEOTEKNİK ÇALIŞMALARIN AMAÇLARI**

Şevlerin stabilitesinin incelenmesi için yapılacak geoteknik araştırmalar

- 1.Yeni bir kazı ve dolgunun yapılması,
- 2.Mevcut bir şevin güvenliğinin hesaplanması,
- 3.Mevcut bir şevde hareket veya göçmenin sebeplerinin bulunması ve alınacak önlemlerin tespiti amaçları ile yapılır.

Şev projelendirilmesinde daima hatırdta tutulması gereken husus harekete geçmiş bir şevin stabilitesinin sağlanması genelde karmaşık, başarı ihtimali her zaman olmayan mali yükü büyük ve önlemler gerektiren bir mühendislik işidir. Yürütülecek geoteknik inceleme sonunda elde olunan bilgiler ile emin ve ekonomik bir projelendirme yapılabilmesi kazı veya dolgu işleri için uyulacak şartlar belirlenebilmelidir.

## 4.2. GEOTEKNİK ÇALIŞMALARIN PROGRAMLANMASI

Geoteknik çalışmaların hacmi amaca uygun olarak ve zemin şartları gözönünde tutularak tespit edilmelidir. Yapılacak programda, önerilen tedbirlerin alınması sırasında ve işin tamamlanmasından sonraki kontrol çalışmaları da yer almalıdır. Geoteknik çalışmaların uzun zaman gerektireceği durumlarda eğer şevde bir hareket tehdidi varsa veya hareket başlamış ise topuk yükleme, tepeden yük kaldırma ve benzeri şekilde stabiliteyi arttırıp hareketi azaltacak veya durduracak önlemler süratle alınarak çalışmalar öncelikle yapılmalıdır. Aksi takdirde yetersiz çalışmalar ile yapılacak değerlendirmelere göre hazırlanan projelerin uygulanması amaca ulaşmayı sağlamamakta ve/veya çözümler pahalı olmaktadır.

Yapılacak geoteknik çalışmalarda aşağıdaki yol izlenebilir.

1. Konu hakkında bilgi alınır,
2. Arazide ön inceleme yapılır,
3. Konu ve bölge ile ilgili mevcut bilgiler toplanıp bir ön değerlendirme yapılır,
4. Sahada hareket varsa gözlem ve ölçüm altına alınır,
5. Sahanın topografik planı yoksa hazırlanır,
6. Sahanın jeolojisi belirlenir,
7. Jeofizik çalışmalar yapılır,
8. Gözlem kuyuları, galerileri açılır sondajlar yapılır,
9. Arazi deneyleri yapılır,
10. Mühendislik jeolojisi haritası hazırlanır,
11. Alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyimleri yapılır,
12. Elde olunan bilgiler değerlendirilir geoteknik plan ve rapor düzenlenir,
13. Proje hazırlanır,
14. Kazı veya dolgu yapılması ve/veya önlemlerin alınması sırasında gözlemler yapılır, Gerekli olduğu hallerde uygulamada değişiklikler yapılır, ilave incelemelere gidilir, gerekiyorsa gözlemlere işin tamamlanmasından sonrada devam edilir.

#### **4.3- ŞEV STABİLİTESİNDE ARAZİ ÇALIŞMALARININ BOYUTLARI**

Gözlem ve sondaj kuyuları, galeriler gibi inceleme noktalarının araları, şev arkasında ve şev topuk seviyesi altında bulunan, stabilize analizlerinde özellikleri kullanılacak zemin formasyonu kesitlerini gösterecek düzeyde seçilmelidir. İşin önemine göre bu aralık 15-60m arasında değişir. İnceleme noktalarının şev tepe veya topuk çizgisine dik doğrultuda tipik kesit elde edebilmek için en az 3 adet olarak tespiti uygun olur.

İnceleme noktalarında varılacak derinlik, problemin özelliklerine bağlı olarak en az 2-3m olmalıdır. Genelde bu derinliğin şevde; geometrik olarak mümkün olabilecek kayma yüzeylerinin en altına inmesi gerekir. Arkalarında su tutan zemin yapılarında inceleme derinliği sızmanın borulanma ve miktar yönünden önemsiz olacağı seviyeye indirilmelidir.

#### **4.4- ŞEV STABİLİTESİNİN BOZULMASINA YOL AÇAN HAREKETLERİN İNCELENMESİ**

Bu incelemelerde önemli olan hareketin türünün derinliği ortamın litolojik ve yapısal özelliklerini yerüstü ve yer altı su durumunu hareketli kitlenin boyutlarını, şeklini, hareketin olası nedenlerini, şekil-neden-önlem ilişkilerini, yapılması gerekli işleri ve alınması zorunlu önlemleri sapmaktır.

Bunlarda ayrı bir bilgi, beceri , seziş, ve deneyim ister. Ayrıca arazi çalışmaları, ölçü, gözlem ve labaratuvar deneyimlerini gerektirir. Bütün bu çalışmaların yapılmasına rağmen ortam özelliklerinin iyi anlaşılmamış olması yapılan işleri ve alınan önlemleri yararsız kılar. İnceleme ve araştırmalarda tek amaç kitle hareketinin durdurulması bölgenin tekrar kullanılabilmesi için gerekli uygulanabilir önlemlerin alınması girişimlerin yapılması zarar- ziyan ve yapım maliyetinin minimum olmasıdır.

Bunun içinde;

1. Kitle hareketlerinin türünün doğru olarak belirlenmesi (Çizelge 2.1),
2. Oluş ortamının mühendislik özelliklerinin iyi saptanmış olması,
3. Özellikle litolojik ve yer altı suyu durumunun kesin olarak bilinmesi,
4. Doğru gözlem, sürekli gözlem ve ölçülerin yapılmasının sağlanması,
5. Elde edilen verilerin ışığında hareket eden kitleyi durdurmak için hareketin özelliğine göre gerekli önlemlerin alınması ve sağlamlaştırma yapılarının gözlem ve ölçülerin ışığında zaman kaybetmeden adım adım yapılmasıdır.

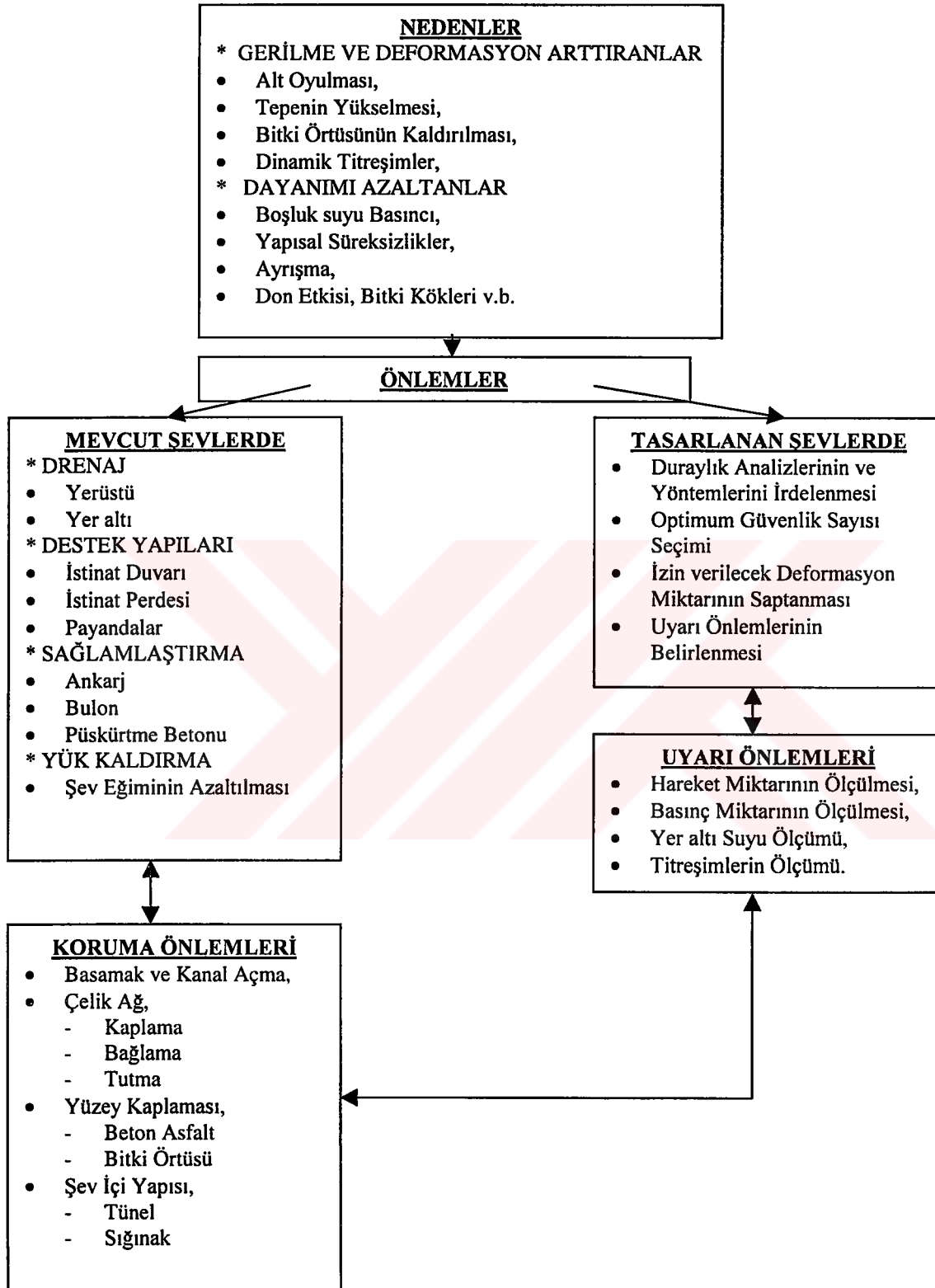
#### **4.5. ŞEVLERDE STABİLİTE BOZULMALARINI DENETLEYEN ETMENLER**

Şevlerin stabilitesi üzerine etkili olan etmenler aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

##### **4.5.1. Jeolojik Etmenler**

- Litoloji,
- Süreksizlikler,
- Yer altı suyu durumu,
- Ayrışma derecesi,
- Doğal gerilmeler,
- Depremler,

Çizelge. 4.1. Şev Stabilite Bozulmalarının Nedenleri ve Önlemler



#### 4.5.2. İklimsel Etmenler

- Ayrışma ve Erozyon
- Yağış
- Sıcaklık
- Don
- Rüzgar

#### 4.5.3. Diğer Etmenler

- Şev Geometrisi,
- Dinamik etmenler,
- Ağaç kökenlerinin etkisi,
- İnsan Girişimi,
- Zaman,

Yukarıda belirtilen etmenlerden, kaya şevlerin stabilitesi üzerinde en fazla etkili olanı jeolojik etmenlerdir. Arazide ve laboratuarda yürütülen çalışmalarla jeolojik etmenlerle ilgili veriler toplanarak yorumlanır ve diğer verilerin de ışığı altında duraylık analizlerine geçilir.

### 5. ŞEVLERDE STABİLİTE ETÜDÜ VE HEYELANLARA İLİŞKİN UYGULAMALAR

#### 5.1. ŞEVLERDE STABİLİTE ETÜDÜ

Şevlerin stabilitesinin etüdü şu üç sorunun çözümü için gerekir:

- Doğal eğik yamaçlarda meydana gelecek heyelan ve kaymaların önceden saptanması ve korunma, önleme işlemlerinin belirlenmesi,
- Yol yapımında oluşturulan yapay şevlere gerekli stabil durumun verilmesi, kayma olasılıklarının giderilmesi,
- Doğal ve yapay şevlerde oluşan kayma ve heyelanların düzeltilmesi sağlamlaştırılmasıdır.

## 5.2. ŞEVLERDE STABİLİTE SORUNLARI

Şevlerde stabilite bozuklukları sonucu bir takım zemin hareketleri belirir. Bu hareketleri tipleri bakımından şu üç grup altında toplayabiliriz.

### 5.2.1. Akmalalar

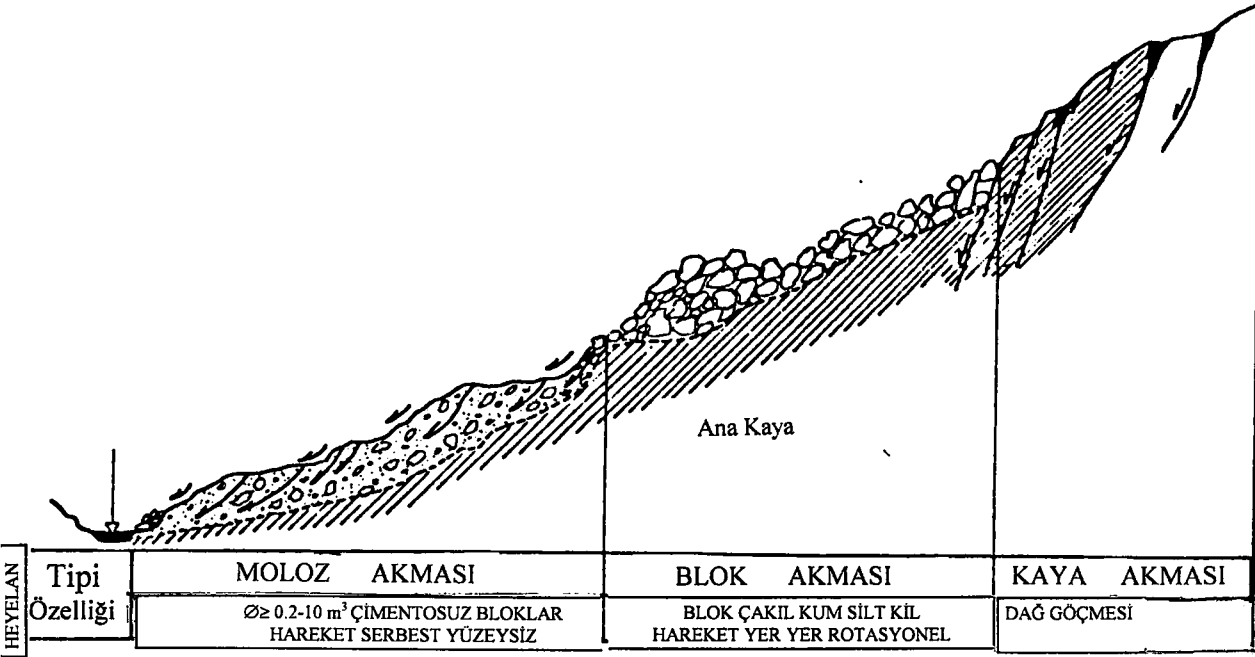
Bunlar bir kayma yüzeyi üzerinden olmayan hareketlerdir. Akmalarda zemin hızlı ya da yavaş akar. Bu akış sulu ya da kuru bir kıvamda olur. Sulu akımlar genellikle daha hızlı akmalardır. Zemin içine giren su akma hızını artırır.

### 5.2.2. Düşmeler

Düşmelere daha çok kaya şevlerde rastlanır. Kaya şevlerde kaya yatak ve birleşme yüzeylerinin şeve göre eğim ve durumları, birleşim kesimlerinde hidrostatik su basıncı olması, şev yüzünün iklim ve mevsimlere göre atmosfer etkilerine az ya da çok uğraması, kayanın cinsi, formasyonu, kaya yarmalardaki kazı çalışmalarında şevler yakınında kazıdan sonra kalacak kitleyi örseleyen ve harabeden bir yöntem uygulanması bu konuda rol oynayan başlıca hususlardır.

Kaya düşmelerinde şu görüntülerle karşılaşılabilir.

- Yarma şevinden dışa kazı yönüne doğru eğimli tabakalardan oluşan kaya şevlerinde tabakalar birbiri üzerinden kayabilir.
- Bloklı kayalarda kaya bloğunun kitle içinde boyutu, oturuşu, taban eğimi büyük rol oynar. Dengesiz kalan bloklar düşer.
- Yarma içine doğru olmayan eğimli tabakalardan oluşan kaya şevlerinde yani ters eğimli tabakalanmada şevlerin alt kesimlerinden başlayarak tabakaların şev tarafından kırılma ve göçmeler olabilir.
- Düşey eğimli tabakalardan oluşan kaya şevlerde flambaja benzer, ortaya yakın kesimlerden dışa doğru bükülüp kırılmalar olabilir.
- Yarma şev kitlesi içinde iki doğrultuda tabaka eğimleri varsa blok düşmeleri olabilir.



Şekil 5.1 Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

### 5.2.3. Çökmeler ve Kaymalar

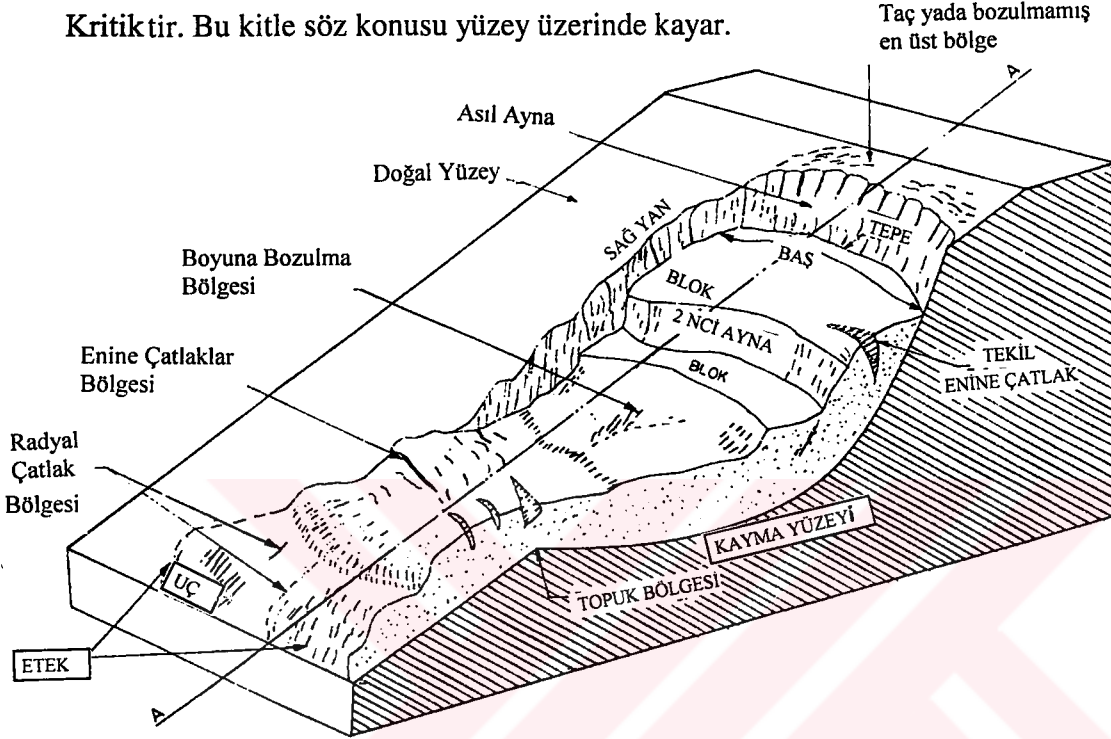
#### 5.2.3.1. Çökmeler

Bu grupta hareket yanal bir yönde değil daha çok düşey yöndedir. Ancak düşey yönde olan bu hareket desteklerin tek yanlı olarak kaldırılması durumunda şevden dışa doğru bir hareket haline dönüşebilir.

#### 5.2.3.2. Kaymalar ( HEYELANLAR)

Bunlar şev sorunları içinde en önemli grubu oluşturur. Kaymaların başlıca niteliği bir kayma yüzeyini içermeleridir. Şevlerdeki zemin kitlesi daha altta bulunan bir yüzey üzerinde hareket eder. Bu yüzeyin biçimine bağlı olarak bu hareket şev dışına doğru bir ilerleme ve bir alçalma biçiminde görülebilir. Şekil ( 5.2 ) de bir heyelanın türlü kesimlerinin adları ve şekilleri görülmektedir.

Kayma yüzeyleri stabilitesinin en kritik olduğu zemin kitlesi alt sınırını belirler. Bir kil kitlesi üzerinde geçirimli bir zemin olması durumunda üst yüzeyi, bir kaya üzerinde ona göre geçirimli bir zemin olması durumunda ise kaya üst yüzeyi bir kayma yüzeyi olabilir. Başka bir durumda kitle tümü ile homogen olmakla birlikte belirli bir yüzeyin üzerindeki kitlenin stabilitesi Kritiktir. Bu kitle söz konusu yüzey üzerinde kayar.



Şekil 5.2.: Bir Heyelanın Çeşitli Kesimlerinin Adları ve Şekilleri

Geçirimsiz bir kil kitlesi üzerinde daha geçirimli zeminin kayması durumunda kayma yüzeyine (yani kil üst yüzeyine) ve üstteki zemin kitlesine suyun etkisi önemlidir. Su kayma yüzeyindeki kayma direncini düşürür. Kayan kitlenin ağırlığını yani kaydırıcı kuvvetleri artırır. Kaya üzerindeki kayma durumunda benzer etkileri görebiliriz. Homogen bir zemin kitlesinin içinde oluşan kaymalarda suyun etkisi kaydırıcı güçleri artırır. Buna karşın kayma dirençleri azalır. Kaydırıcı güçlerin büyük olduğu, dengenin en kritik bulunduğu durumda kitleyi sınırlayan yüzeyin üstünde kaymalar olur.

### 5.3. AKTİF HEYELANLAR - POTANSİYEL HEYELANLAR :

Heyelanları hareket halinde olup olmadıklarına göre iki türe ayrabiliriz: Bunlar;

- Aktif Heyelanlar,

- Potansiyel Heyelanlardır.

Aktif heyelanlar oluşmuş ve hareket halindeki heyelanlardır. Potansiyel heyelanlar heyelana hazır, fakat hareketsiz ya da hareket etmiş fakat sonra bir neden ile durgunlaşmış heyelanlardır.

Yarmalarda yapılan kazı sonunda kaydırma güçleri ile kayma direnç güçleri arasındaki denge bozulabilir ve kaymalar, heyelanlar meydana gelebilir. Dolgu yapımlarında da dolgu tabanlarındaki kitle içinde dolgu ağırlığının etkisi ile kaydırıcı güçler artar. Suların hidrolik potansiyelleri akma güçlükleri ile yükselir, kayma dirençleri azalır. Kayma ve heyelanlar meydana gelebilir.

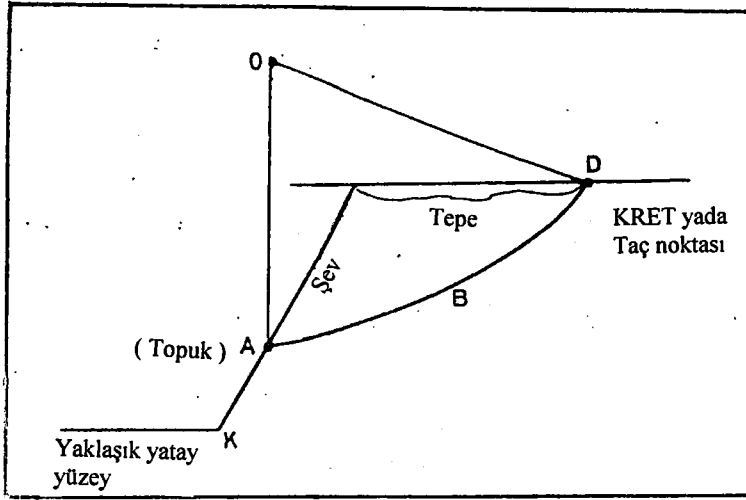
#### **5.4. DÖNME (ROTASYON) VE ÖTELEME (TRANSLASYON) BİÇİMİNDE OLAN HEYELAN HAREKETLERİ**

Heyelanlar kayma yüzeylerinin biçimine bağlı olarak öteleme ya da dönme hareketi biçiminde görünür. Kayma yüzeyi bir düzlem ise öteleme (translasyon), bir dönen yüzey ise bir dönme hareketi (Rotasyon) belirir. Bu tür heyelanlara “dönel” ya da “rotasyonel” heyelan denir.

##### **5.4.1. Dönel Heyelanlar**

Dönel kayma yüzeyli heyelanlarda kayma yüzeyi derindedir. Şekil (5.3) bu yüzeyler şevin tepe (taş-kret) denen daha az eğimli olan kesiminin bir yerinden başlar. Topuk denen bir kesiminde biter. Topuk (K) noktasında ya da onun üzerinde ise bu harekete “şev göçmesi”, topuk (K) nın altında ise “taban kayması” denir. Kayma yüzeyi şevin uzunluğu boyunca silindirik bir yüzeydir. Yani bu silindirin yan yüzeyleri kağıt düzlemine diktir. Bir (0) merkezi çevresinde ABCD kitlesi dönel bir hareket yapar. Şev stabilitesinin incelenmesi yöntemlerinde kayabilecek kitlenin dengesi etüd edilirken “kritik kayma yüzeyi” yani üzerindeki kitlenin kayması en olası olan yüzey aranır. Bunun için birçok “aday kayma yüzey”leri ele alınır. Bunlar arasında denge bakımından en sakıncalı durumu veren saptanır. Bu saptama işleminde ele alınan bir yüzeyin

üzerinde kaydırıcı kuvvetler ve direnç kuvvetleri; kaydırıcı momentler ve direnç momentleri arasında denge aranır. Momentler (0) noktasına göre alınır.



Şekil : 5.3.: Dönel Kayma Yüzeyli Heyelanlarda Kayma Yüzeyi

Direnç etkilerinin kaydırıcı etkilere oranı güvenlik değeridir. Aday kayma yüzeyleri arasında güvenlik sayısı en küçük olanı kritik yüzeydir. Bu güvenlik sayısı istenen bir değerin altında ise şev eğimi gereğinden dik demektir. O zaman şev eğimi daha yatıklaştırılır. Kritik yüzey için bulunan güvenlik sayısı istenen bir değerin üzerinde ise şev eğimi uygundur.

Aday kayma yüzeyleri ya bir daire yayı ya da bir “Logaritmik spiral” olarak seçilir. Ancak logaritmik spiral seçimi durumunda bir takım analitik işlemler gerekir ki bunlar çözümü uzatır ve güçleştirir. Dairesel aday yüzeyler alınması grafik ve çabuk çözümler verir. Dairesel yöntemlerin en çok kullanılanları İsveç Dilim Yöntemi ile  $\phi$  dairesi yöntemidir.

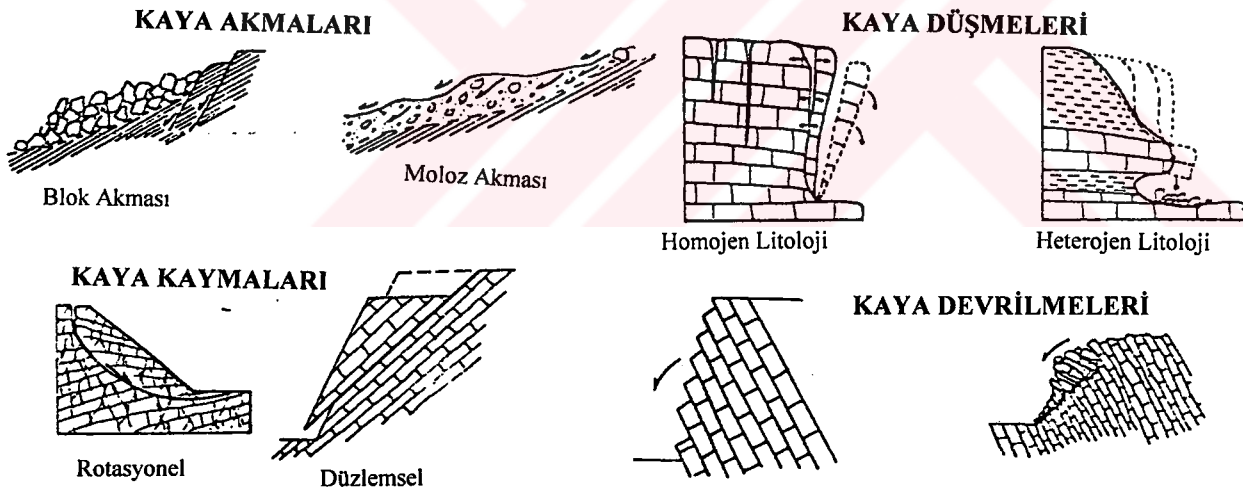
#### 5.4.2. Translasyonel Heyelanlar:

Bu tür heyelanlarda kayma yüzeyinin bir düzlem olduğundan söz etmiştik. Genellikle farklı oluşumdaki zemin kitlelerinin ara kesitleri bir düzlem şeklinde ise bu tür heyelanlar görülebilir. Bu heyelanlarda bir dönme merkezi olmadığı için kaydırıcı kuvvetlerin ve direnç kuvvetlerinin momentleri bulunmayabilir. Denge kontrolü yalnızca kuvvetler arasında yapılır.

### 5.5. KAYA ŞEVLERİNDE STABİLİTE BOZULMALARI

Kayalarda doğal yollarla ve/veya insan eli ile yapılan girişimler sonucunda gelişen stabilite bozulmaları genel olarak;

- Kaya düşmesi,
- Kaya kayması,
- Düzlemsel kayma,
- Rotasyonel kayma,
- Kaya (Blok) Akması,
- Devrilme şeklinde sınıflandırılmaktadır.



Şekil :54.. Kayalarda Görülen Stabilite Bozulmaları.

#### • Kaya Düşmesi

Vadi yamaçlarında, özellikle deniz göl gibi dalga ve rüzgar etkilerine açık falezlerdeki kayaların süreksizlikler boyunca ayrışıp, serbestleşen blokları, düşerek yamaç eteğinde toplanır. Bu durumda zamanla yamaçlarda gerileme

görülür. Kaya düşmeleri, aynı türden kayaların süreksizliklerle kesilerek serbestleşen bloklarında olduğu gibi, ayrılmaya ve aşınmaya karşı değişik davranış gösteren jeomorfolojik yapıdaki yatay tabakalı yamaçlarda, farklı alt oyulmaları ile de oluşur.

- **Kaya Kayması**

Kaya kaymaları kayalardaki çeşitli kökenli süreksizlik yüzeyleri boyunca blokların yamaç aşağı kayması ile oluşur. Yamaç ya da şev dışına eğimli blokların ağırlığının, süreksizlikler boyunca etkili makaslama direncinden fazla, süreksizlik eğiminin sürtünme açısından büyük olması halinde kayma başlamaktadır. Kaya kaymaları tek veya birbirini kesen iki yüzey (kaya kayması) şeklinde oluşmaktadır. Kayaçlarda çok sayıda ve düzensiz dağılımlı süreksizliklerin bulunması halinde kaya blokları, zemindekine benzer, dairesel yüzeyler boyunca hareket ederler. Bu tür hareketlere “Rotasyonel Kaya Kayması” adı da verilmektedir.

- **Kaya Akması**

“Kaya Kripi ismi de verilen, bu kütle hareketinde, don etkisi ve bitki köklerinin büyüüp gelişmesi ile, yerli kayaların yüzeye yakın uçları süreksizlikler boyunca bloklara ayrılır, serbestleşen blokların yamaç aşağı çok yavaş hareketi kaya akmasını oluşturur. Çeşitli dış etkenlerle parçalanarak, dağ yamaçlarında yığılan iri kaya bloklarının, yer çekimi etkisiyle bir serbest yüzeye bağlı olmaksızın yamaç aşağı çok yavaş hareketine de “Blok Akması” denilmektedir.

- **Devrilme**

Yamaç içine eğimli olan süreksizliklerde görülen bir stabilite bozulması türüdür. İlk kez BRAY tarafından 1969 yılında ortaya atılmıştır. Bir bloğun kayma ve devrilme olasılıkları da görülmektedir. Devrilme üzerinde blokların en / yükseklik oranları çok etkilidir.

Bükülme devrilmesi, yamaç içine doğru dike yakın eğimlerle yatımlı bulunan süreksizliklerle ayrılmış sütunların yamaç aşağı bükülüp kırılmaları ile oluşur. Eğer bu süreksizlik takımı ile ayrılmış kaya sütunları bunlara dik ikinci bir süreksizlik takımı örneğin çatlaklarla kesilirse kopan blokların yamaç aşağı devrilmesi ile birlikte, kayma da görülür. Çatlak takımı sayısının birden fazla olması halinde ise “Blok Devrilmesi” görülür.

Kıvrım tepelerinde, gerilme çatlakları boyunca gelişen blokların devrilmesi ile “Kaya Tepesi Devrilmesi” oluşur. Yamaç eteklerindeki şev kazıları sonucunda meydana gelen rotasyonel hareketle, “Kayma Topuğu Devrilmeleri” gelişir. Dik falezlerin ardında çekme gerilmeleri ile oluşan tansiyon çatlaklarının gittikçe açılarak derinleşmesi sonucunda parçalanan sütunlar, kaya düşmesi olarak da isimlendirilebilecek diğer bir devrilme türünü oluşturur.



Şekil : 5.5. Kaya Devrilmesi Türleri.

### 5.6. KRİTİK ŞEV YÜKSEKLİĞİ:

Dolgu şevleri bölümünde sözünü ettiğimiz kritik şev yüksekliği yarma şevleri için de söz konusudur. İstenen güvenliği sağlayan şev eğiminde şevin yüksekliği bu kritik yüksekliği geçerse şev stabilitesi sakıncalı bir duruma girer. Kritik şev yüksekliği dolgu şevlerinde sözü edilen;

$$H_c = \frac{N_s \cdot C}{\gamma \cdot F} \dots\dots\dots 5.1$$

Formülü ile hesaplanır. Burada;

$$G_s \text{ ile } N_s \text{ arasında } N_s = \frac{1}{G_s} \text{ bağıntısı vardır.} \dots\dots\dots 5.2.$$

$N_s$  : Taylorun verdiği stabilite sayısı

$C$  : Zeminin kohezyonu.

$\gamma$  : Zeminin birim hacim ağırlığı

$F$  : Kohezyon değerleri bakımından güvenlik için gereken oran sayısıdır.

Kritik şev yüksekliğinin bilinmesi çok yüksek şevlerde yüksekliği kritik yüksekliği geçmeyen ve yatay basamaklarla ayrılmış ara şevler yapmada yararlı olur. Böylece şevde yüksekliği kritik yüksekliği geçmeyen bölümler oluşturulur. Basamakların genişlikleri de önemlidir. Bu genişlik için şu kuralı verebiliriz: Basamağın altındaki şevin kritik kayma yüzeyi düşünülürse basamak, bu yüzeyin basamak düzeyinde ayracağı genişlikten büyük olmalıdır. Bu genişlik gerektiğinde basamaklara girilip çıkılmasında yeterli olacak büyüklükte olmalıdır.

## 5.7. KAYMA YÜZEYİNİN PRATİK OLARAK BULUNMASI YÖNTEMLERİ

Bu yöntemler aktif heyelanlarla heyelan koşullarının hazır olduğu belli olan potansiyel heyelanlarda kullanılır.

### 5.7.1. Sondaj Yöntemi

Yöntemler içinde en iyisidir. Ancak gerek pahalı oluşu gerekse sondaj ekipmanının yerine yerleştirilmesinin her durumda olanaklı olmaması nedeni ile pek yaygın kullanılışı yoktur.

### 5.7.2. Sismik Reaksiyon Yöntemi

Kayma yüzeyleri genellikle zemin türlerinin değiştiği kesimlerde, iki değişik formasyonun bulunduğu durumlarda bunların arakesitlerinde olabilir.

Buna göre “zemin türlerinin değişme sınırları saptanırsa kayma yüzeyi saptanabilir” diye düşünülebilir. Bu sınırlar saptanmaya çalışılır. Bu yöntem ile alınan başarılı sonuçlar vardır.

### 5.7.3. Tüp Yerleştirme Yöntemi

İngiltere’de uygulanmakta olan (ALKATHENE TUBE) yöntemi yerinde yararlı olabilecek bir yöntemdir. Bunda 1,5 cm. çapında ve ucunda delici matkabı olan bir boru ve buna eklenebilen çelik borular kullanılır. Bunlar heyelanın alt sınırında, heyelan kitlesi içine, stabil kitle içinde biraz ilerleyinceye dek çakılır. Bu kitle stabil sağlam, çakmaya direnç gösteren bir kesimin olduğu yerdir. Sonra borular geriye çekilir. Açılmış delik içinde plastik ALKATHENE tüpler yerleştirilir. Tüpler delik içinde bir süre kalır. Kayma yüzeyi üzerindeki hareket nedeni ile tüpün bunun üstündeki kesimi ileri gider. Tüp doğrultusunda sapma olur. Tüp içine metal bir çubuk sokulursa bu, sapmanın olduğu yerde durur. İşte o durma kesimi kayma yüzeyi üstündedir. Kayma yüzeyi üstünde nokta bulunmuş olur. Böylece bu işlem birçok nokta için yapılırsa kayma yüzeyi üzerinde bir sıra nokta bulunur. Bu noktalar birleştirilerek yüzey belirlenir. Bu yöntem bloklu zeminlerde oldukça zor işleyen bir yöntemdir.

## 5.8.ŞEVLERDE HEYELANIN ÖNLENMESİ VE SAĞLAMLAŞTIRILMASI

### 5.8.1. Heyelanın Önlenmesi

Heyelanın oluşunu önlenmenin etkinliği ve başarı şansı heyelanın olabileceğini önceden görmektir. Yol güzergâhının geçtiği bölgede jeolojik, jeofizik, hidrojeolojik ve zemin mekaniği ile ilgili etüdlerin yapılarak bölgenin heyelan yönünden durumu belirlemelidir. Güzergâhı heyelan olabilecek kesimlerden yeterince uzaktan geçirmek birinci ilke olmalıdır. Ancak bu durum sağlanamıyorsa derin yarmalardan, yüksek dolgulardan kaçınılmalıdır. Yarmada ve dolguda şev eğimlerini etüdlerle elde edilen verilerden yararlanarak iyi saptamaya çalışmalıdır. Şevlerde kritik yükseklikler aşılmamalıdır. Yeter genişlikte kademeler oluşturularak şevler de kritik yüksekliği aşamayan ara şevler yapılmalıdır. Yerüstü suları iyi drene edilmelidir. Dışarıdan alan içine su

akımı olması önlenmelidir. Ayrıca yer altı sularına drenaj sistemleri uygulanmalıdır.

### **5.8.2. Heyelanın Sağlamaştırılması**

#### **5.8.2.1. Heyelan olan kesimden Eksende Yeterli Bir Ripaj Yaparak Yolu Uzaklaştırmak**

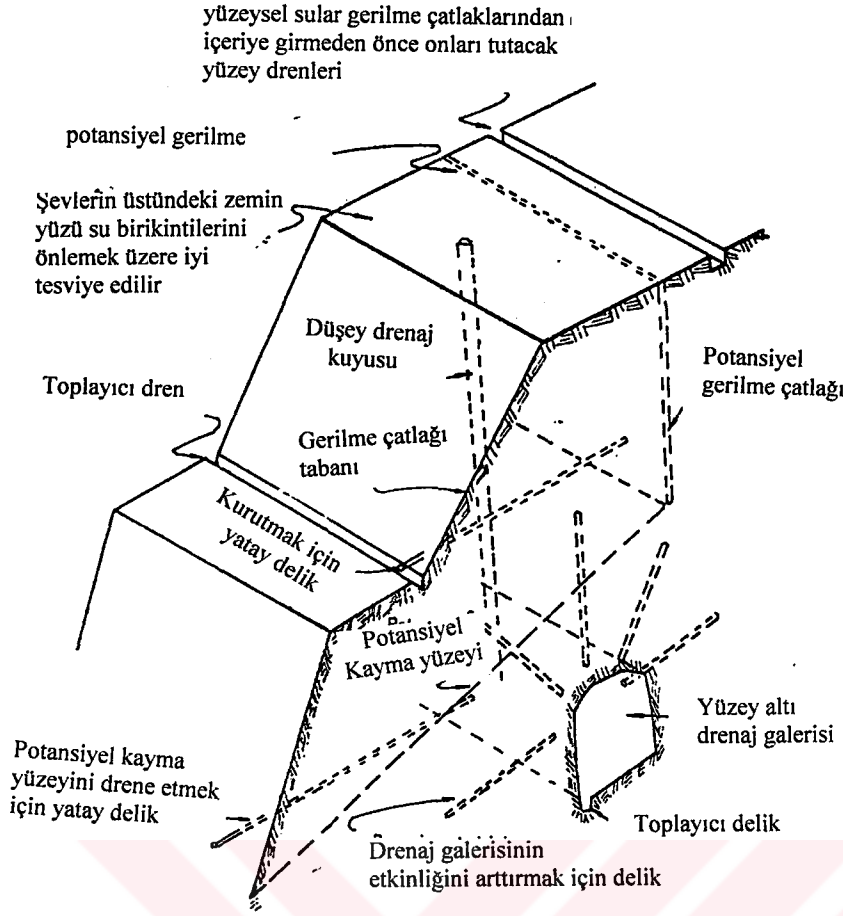
Bu önlem bir sağlaştırma önlemi değildir. Heyelan bölgesini terketmektir. Sorunu tümünden ortadan kaldırır. Ancak yeni proje düzenlenmesi, yeni yapım organizasyonu ve ihalesi gerektirir. Harcamalar yapılmış ise bunların biri bölümü boşa gidebilir. Ripaj ayrıca yeni harcamalar getirir. Baştan beri yapılmış işlerin toplamı artar. Sonuç olarak çok zaman ve para harcaması gerekebilir. Heyelanı sağlamaştırmak ile ripaj arasında bir maliyet karşılaştırılması yapılmalıdır.

#### **5.8.2.2. Kırmızı Çizgiyi Yükseltmek**

Kırmızı çizginin şevdeki heyelan topuğunun üzerinde belirli bir yüksekliğe çıkarılması çok faydalı olur. Eğer heyelan topuğu yarma şevi dip noktası altında ve yol platformunda çatlak varsa, platform yüzeyi biraz kabarmış ise kayma yüzeyi platformun altından geçiyor demektir. Bu bir taban kayması hareketidir. Kırmızı çizgi gerektiği kadar yükseltilerek yarma içinde dolgu yapılabilir. Bu işlem kaymaya ve heyelana karşı olan direnç kuvvetlerini ve karşı yükleri, karşı momentleri artırır ve böylece faydalı olur.

#### **5.8.2.3. Yüzeysel Drenaj Yapmak**

Şeve doğru eğimli olan doğal arazi yüzeyinden şeve doğru yüzeysel suların gelmesi önlenir. Bu amaç ile heyelan kreti üzerinde kafa hendekleri açılarak yüzey suları, bu hendeklerde toplanır ve heyelan halindeki kitleye girmeden uzaklaştırılır. Heyelana uğrayan toprak kütlelerinde su birikmesini önleyen tesviye işleri yapılmalıdır. Bu önlemler heyelana uğramış kitlenin daha da ağırlaşmasını, böylece kaydırıcı kuvvetlerin artmasını, heyelana uğramamış kitlelere yeni su girişini önler.



Şekil :5.6. Şev Drenajı ve Basınç Azaltma Önlemleri.

#### 5.8.2.4. Derin Yeraltı Drenajları Yapmak:

Bu tip drenajda amaç, kayan ya da kayacağı düşünülen toprak kitlesini, onun önünde buna destek olacak ağırlıkta bir kitleyi ve kayma yüzeyini kuru tutmaktır. Bunun için yer altı suları olduğunca geriden ve yeterli derinlikten alınarak uzaklaştırılmalıdır.

#### 5.8.2.5. Kayan Zemini Kaldırmak, Geri Kalan Zeminde Yükleri Azaltmak, Şev Eğimini Yatıklaştırmak

Kırmızı çizgi heyelan topuğu üzerine en az, heyelanı karşılayacak kitleleri yerinde bırakacak kadar çıkarılacaktır. Eğer bu olanaksız ise kaydırıcı yükleri azaltırız. Geri kalan zeminlerde yükleri alır, şevleri yatıklaştırırız. Ancak bunları yaparken hareket etmemiş zeminleri kayma yüzeyi altına kadar kaldırmaya gerek yoktur. Önce şevin en üst kesiminden yük alınarak şev yüksekliği azaltılır. Daha sonra, daha yatık bir şev oluşturulur. Bazen de şev

üzerinde kademeler yapılarak hem yükler azaltılır hem de kademe aralıklarınca yükseklikte şevler oluşturulmuş olur. Kademe aralarındaki şev yükseklikleri verilen şev eğimine göre bulunacak kritik şev yüksekliğini aşmamalıdır. Bu çalışmalar yapılırken kazı işlerinde yukarıdan aşağıya doğru inilir. Alt taraftan, topuk seviyesinde veya altında kazılar yapılmamalıdır. Şev topuklarında karşılayıcı yük durumundaki kitleler olduğunca korunmalıdır.

#### **5.8.2.6. Kayan Gevşek Zeminler İçine Çimento Enjeksiyonu Yapılması**

Gevşek malzemeyi stabil duruma getirmek için uygun bölümlerine çimento şerbeti enjekte edilebilir. Kohezyonlu zeminlerde bu yöntem ile kitle içinde düşey kollar oluşur. Bunlar bir kazık sistemi gibi etkir. Bu yöntem de hareket eden kitlenin kayma direnci yükselir. Yöntem en çok granüler zeminlerde başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak geniş ölçüde yer altı suyu sızıntısı olan yerlerde suyun potansiyel basıncı, azaltılmamış ise bu basınç altında alınan önlemlerin etkisi azalır.

#### **5.8.2.7. Etek ve Topuk Kesimine Karşılayıcı Yükler Koymak**

Bu yükler konulurken dönel heyelanlarda dönme merkezine göre momenti kaydırıcı momentlere karşı olması sağlanmalıdır.

#### **5.8.2.8. Kaya Düşmesi, Kaya Heyelanı, Bölgelerinde Alınacak Önlemler**

- Kaya şevlerine, kaya tabaka eğimlerine, kaya oluşum ve cinsine uygun eğimler vermek,
- Kazı işlerinde şev yüzeyine şekil verilirken çok dikkatli olmak,
- Kazıdan sonra geride kalacak kaya kitesini örselemeyen, stabilitesini bozmayan kazı ve patlatma yöntemleri kullanmak,
- Kaya şevlerinde kademeler yapmak; kademeler, kaya topukları üzerindeki yükleri azaltmak amacı ile kullanılmazlar. Kayalarda kazı ile yük azaltmak ve bunun bir gereği olarak kademelendirme pahalı bir işlemdir. Kayada kademelerin fonksiyonu düşen kaya parçalarını tutmaktır. Ancak bu

kademelerin dolması işlevlerini sürdürmelerine engel olur. Kademelerin faydalı olmaları için:

- 1- Kademelerin kaya parçalarını tutabilecekleri en olası kesimlerin altında oluşturulmaları sağlanmalıdır.
  - 2- Şev yüzeyinde sürekli olmalıdırlar. Bu maksatla yarmanın başından sonuna kadar uzanmalıdır.
  - 3- Genişlikleri, konum ve eğimleri bakımından da girilebilir, erişilebilir olmalıdır.
  - 4- Kademelerde biriken kayalar trafiği yaşayan yola sakınca vermeden alınıp yol dışında bir yere taşınabilmelidir.
- Drenaj yapmak; Yüzeysel sular şev kreterlerinde yapılan kafa hendekleri kademelerde açılan kanallarda toplanıp dışarı atılabilir.
  - Kademedeki şevlerde yer altı sularının drenaj için en uygun sistem yatay drenajlardır. Bu amaçla bazen galeriler de kullanılabilir.

Şekil 5.6'da şev drenajı ve basınç azaltma önlemleri şematik olarak gösterilmektedir.

#### 5.8.2.9.- Kayaların Güçlendirilmesi ve Desteklenmesi:

##### \*Güçlendirme:

Dilimli ve bloklu kaya şevlerinde bloklardan birisinin düşmesi başka blokların altının boşalmasına yol açabilir. Böylece bir bloğun düşüşünü başka blokların düşmesi izleyebilir. Bundan dolayı ilk düşmeleri önlemek çok önemlidir. Kayma ve düşme olasılığı olan kayaların çelik çubuklar ile ankre edilmesi bu güne kadar yapılan pratik uygulamalarda başarılı olmuştur. Sağlam kayaya kadar delikler açılır. Bu deliklere çelik çubuklar yerleştirilir. Bu yöntem kayanın çelik çubuklar ve cıvatalar ile adeta iliklenmesidir. Çelik cıvatalar ve çubuklar ya ön çekme gerilmesi uygulamadan kaya kitleleri içine sokulur ve daha sonra kayada olacak

hareketler onu gerer. Veya yerleştirmeleri sırasında kendilerine bir ön gerilme verilir. Birinci türden olanlar daha çok kademe tabanlarına yerleştirilir. İkinci türden olanlar ise gevşek kaya kitlelerini daha derindeki sağlam kaya kitlelerine bağlarlar. Başlarındaki bir ankraj levhasına somunlarla tesbit edilirler. Bir başka güçlendirme yöntemi ise çelik kablolar kullanmaktır. Bunlar çelik çubuk ve cıvatalara benzer biçimde kullanılırlar. Yalnız bunlar çekme güçlerine çelik çubuklardan daha çok dayanırlar.

#### **\*Destekleme:**

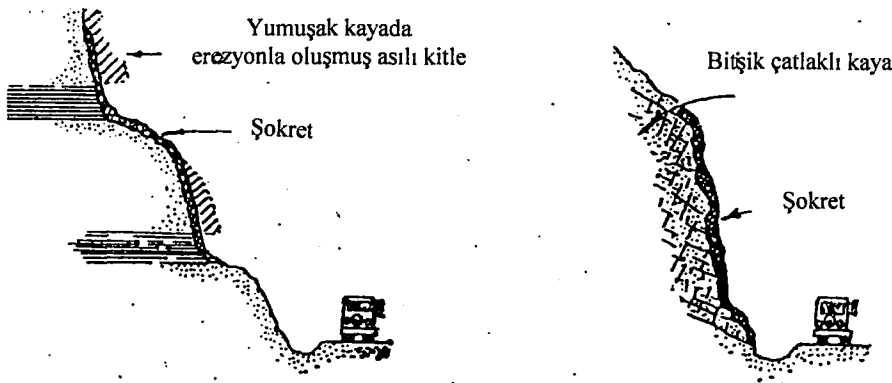
Kayaların desteklenmesinde istinat ve kaplama duvarları uygulanabilir.

Şokret (Shotcrete); Şokret bir ince agregalı betondur. Bu kaya şev yüzeyine pnomatik olarak “sprey”lenir. Bir tür kalın Şokretin tabaka kalınlığı takriben 30 cm. kadar olabilir. Genel olarak 5-7,5 cm. kalınlığında tabakalar halinde yapılır.

Şokret Şevleri şu iki mekanizma ile destekler.

- Yumuşak ve asılı tabakaların erezyondan korunmasını sağlayarak, Yüzeydeki blokların gevşemesini ve şeve yakın kaya çatlaklarını doldurup kaya kitlesinin ufalanmasını önleyerek.

- Şokret kendiside küçük bir dayanım yapısı gibi çalışabilir. Genellikle çelik cıvata ve çubuklarla birlikte uygulanır.



Şekil : 5.7. Şokret Uygulamalar.

- **Düşmelerin Tehlikeli Olmasının Önlenmesi;**

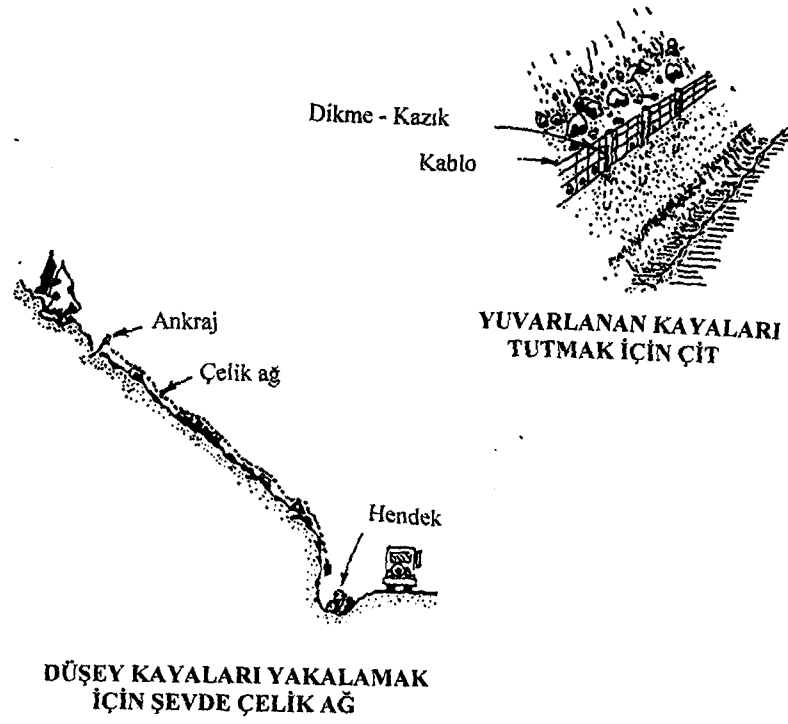
Şevlerin taban ile birleştiği yerlerde açılan hendekler düşen kayaların tutulmasında kullanılır. Bu hendeklerin kazısı şevlerin stabilizasyonu için yapılan başka çalışmalardan daha düşük maliyetlidir. Hendeklerin boyutu şevlerin açısı ve yüksekliğine bağlı olarak değişir. Hendeklerin boyutları şevler dikleştikçe azalır.

- **Kafes Çitler;**

Kafes çitler  $40^0$  den az diklikte kaya şevlerde düşen kayaları tutmada kullanılabilir. Daha dik şevlerde kayaların düşüş ivmesi çok yüksek olduğundan bu metot uygulanmaz. Bu kafes çitler ya kafes örgüler ya da sıra teller halinde olurlar. Kafes olanlar kaya şey üzerine dikilmiş dikmeler arasında gerili olan gergi kablolarına asılır. Kafesler kaya blokların çarpmasını karşılayacak ve hızlarını kırarak güç ve esneklikte olmalıdır. Zemine yakın kesimlerinde bir aralık bulunur. Burada hızı kesilen kaya parçalar aşağı iner ve yapılan çitin önünde birikmez. Aslında çitler belirli büyüklüğe kadar olan kaya parçalarını karşılayabilirler. Bu tiplerde ortalama boyutu 30 cm.'den küçük kayalar tutulabilir. Çitleri daha güçlü kılmak için dikmeler, gergi telleri ve örgü telleri daha güçlü yapılmalıdır.

- **Çelik ağlar;**

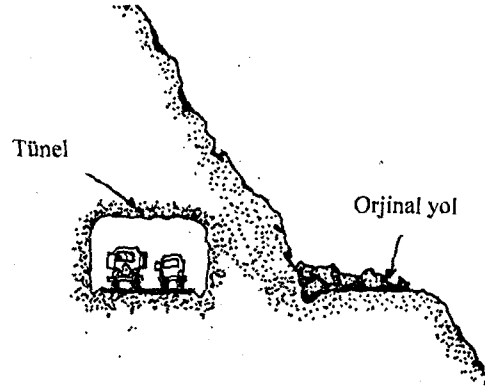
Şevler üzerinde serilen asılı çelik ağlar düşen kayaları tutarlar ve hendeğe veya başka bir kaya yakalama yerine doğru yönlendirirler. Bu ağlar şevin üst kesimindeki ankraj çubuklarına ya da gergi tellerine asılı olup aşağıya doğru kaya şevi yüzeyince sarkarlar. Çelik ağlar kaya parçalarının otuz santimden büyük olduğu yerde uygun değildir.



Şekil :5.8. Düşen Kayaları Yakalamak İçin Şevde Çelik Ağ.

- **Beton çatılar ve tüneller;**

Kaya düşmelerinde oluşan hasarların çok büyük olabileceği, belirttiğimiz önlemlerin yetersiz kalacağı ve harcamaların yüksek olacağı yerlerde yol, beton çatılar ile korunur. Ya da bir küçük ripaj yapılaraya yol kaya kitlesi içindeki bir tünelden geçirilir.



Şekil :5.9. Kaya Çatıları ve Tüneller.

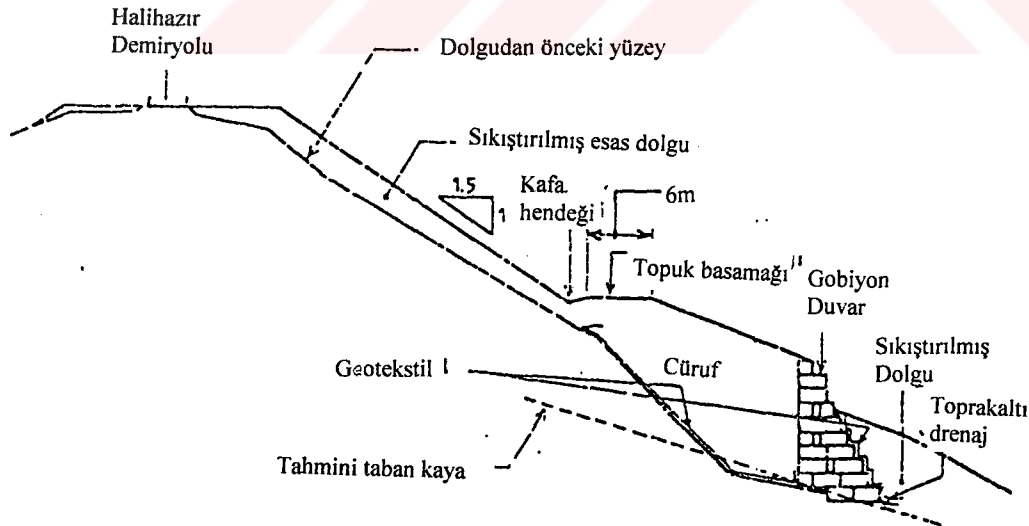
### 5.8.3. Dolgularda Heyelan Sağlamaştırılması

#### 5.8.3.1. Dolgu Tabanı Heyelanlarında Heyelan Olan Yerden Yol Ekseninde Yeterli Bir Ripaj Yaparak Yolu Uzaklaştırmak

Yarma şevlerinde olduğu gibi dolgu şevlerinde de bu yöntem sağlamaştırma yöntemi olarak kabul edilmemektedir. Bu şekilde heyelan olan bölgeden uzaklaşmak suretiyle sorunun tümünden ortadan kalkması söz konusu olacaktır. Ripaj yeni bir proje oluşturulmasını gerektirir ve yapılan işlerin toplamının artmasına sebep olur. Sonuçta ek zaman ve maliyet gerektirir. Heyelanı sağlamaştırmak ile ripaj arasında bir maliyet karşılaştırması yapılmalıdır.

#### 5.8.3.2. Dolgu Tabanı Heyelanlarında Kırmızı Çizgiyi Düşürmek

Kırmızı çizgiyi standartları bozmadan düşürmek olanağı varsa bunu gerçekleştirmelidir. Böylece dolgudan gelen kaydırıcı yükler ile taban zemininin geçirimsizliğini azaltarak, yer altı sularının hidrolik potansiyelini arttıran basınçlar azaltılmalıdır.



Şekil : 5.10: Şevlerde alınabilecek tedbirler

- Yüzeysel Drenaj Yapmak; Heyelan çevresinde yüzey sularını bekletmeden ve biriktirmeden, akmasını sağlayacak tesviye işleri yapılmalıdır. Heyelan bölgesinin yüksek kesiminde bir çevre hendeği yaparak yüzeysel suların heyelan bölgesine girmesi önlenmelidir.
- Derin (Yüzeyaltı) Drenaj Sistemi Yapmak; Bu tip drenajlarda amaç ve uygulama ilkeleri yarma heyelanlarındakinin aynıdır.
- Dolgu tabanında kayan kitleyi kaldırmak kaymaya neden olacak yükleri azaltmak,
- Kayma yüzeyinin topuk kesimine olanağı varsa karşılayıcı yükler koymak,
- Etekte duvar şeklinde destekler yapmak, kayma yüzeyinin altında yeterli ankraj sağlayan bağlayıcı kazıklar çakmaktır.

#### 5.8.3.3. Dolgu Şevlerinde Stabilite Bozuklukları Halinde

- Şev yüksekliği kritik yüksekliği aşıyorsa şevlerde kademelendirme yapılmalıdır.
  - Dolgu şevi zeminde C ve  $\phi$  gibi değerler istenen şev eğimi ve dolgu yüksekliğinde stabiliteyi sağlamaya yetmiyorsa ya şev gerektiğince yatırılmalı ya da C ve  $\phi$  yi artırmak üzere kompaksiyon derecesi yükseltilmelidir.
  - Yüzey suların Şev'e girmesi önlenmelidir. Banketlerde geçirmezlik sağlanmalı. Şevlerde ise bitkisel örtüleme ile çimlenme veya yüzeysel kaplama yapılmalıdır.
1. Şev önüne denge sağlayacak duvar, taş dolgu ya da karşılayıcı zemin dolgu yerleştirilebilir. Bu sonuncusu bir anlamda şev'in yatırılmasıdır.
  2. Stabilitesizlik dolgu tabanındaki bir heyelandan ileri geliyorsa 1'nci maddede belirtilen önlemler alınabilir.

## 6. ŞEVLERDE EROZYON KONTROLÜ

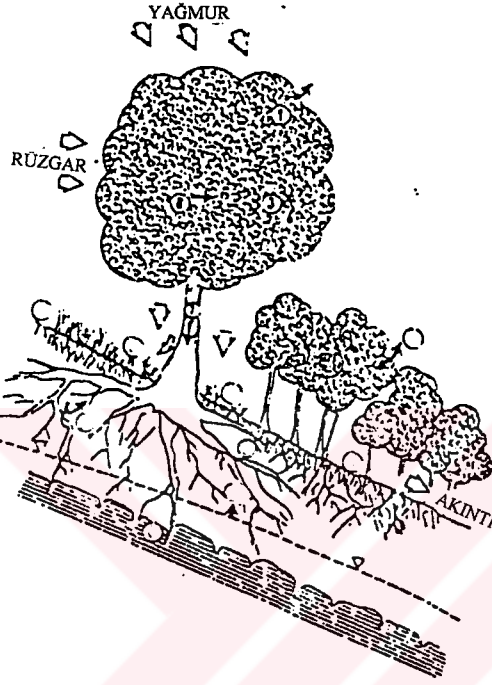
### 6.1. YARMA ŞEVLERİNDE EROZYON KONTROLÜ

Toprak veya kaya şevleri oluşturan zeminler atmosfer koşulları altında cinslerine ve yapılarına bağlı olarak bir takım aşınmalar gösterirler. Bu aşınmalar, toprak şevlerde zeminlerin sürüklenmesi, yerlerinin boşalması, şev yüzeylerinin oluklanması; kaya şevlerde ise yatak ve tabanların, dilimlerin birleşme durumlarını izleyen kopma ve dökülmeler gibi olguları içerir.

Yarma şev yüzeyinin doğrultusu, gerek atmosfer tesirlerini ve gerekse zemin tabaka doğrultu ve durumları ile bu durumun etkilere karşı yönü ve konumu bakımından çok önemlidir. Yarma yüzeyi zemin tabaka ve bloklarının yol içine doğru eğimli olmasına olanak verecek bir doğrultuda ve yönde ise şev kitlesinde kayma, akma ve dökülmeler olabilir. Ayrıca zemin tabaka veya bloklarının ara kesitleri, zayıf noktaları ve yüzeyi ile yarma şev yüzeyinin doğrultu ve konumu dolayısıyla erozyonu oluşturan dış etkilerle karşılaşıyorsa yarma şevinde erozyon beklenmelidir. Kuzey rüzgarlarının, egemen yağmur, kar, tipi doğrultusunun etkisinde olan yarma şevlerinde zayıf kesimler aşınır, erir, erozyon artar ve giderek heyelanlar meydana gelir.

Birçok inşaat mühendisi zeminlerin erozyona karşı dayanımlarını kazıya/hafriyata karşı gösterdiği güçlülüğe bakarak değerlendirirler. Ama bu, yeterli bir değerlendirme değildir. Kazılırken dayanıklı görünüp su, güneş don, sıcaklık ve yağışlar karşısında aşınan, parçalanmış zeminler, hatta kayalar vardır. Görülüyor ki stabiliteyi sağlayacak nitelikler ve önlemler ile şevlerde stabilitenin gerektirdiği eğimi vermek. Şevlerden gelecek bütün sorunların ve erozyonun önlenmesine yetmez. Hava, su ve iklim gibi çeşitli erozyon etkileri altında şevlerin korunması gerekir. Şevlerin erozyondan korunmasında kullanılacak yöntem ve önlemler mühendislik ile ekonomi ilkelerine dayanmalıdır. Şevlerin yüzey ve yer altı sularına karşı korunması, şev drenajı ve şevlerin kaplanması ile ilgilidir.

Zeminlerde dilim, tabaka ve yatak yüzeyleri gibi birleşim kesimlerindeki doğal akıntı ve sızıntı yolları boyunca bulunan yer altı suları drene edilmez ise bir hidrostatik basınç yaratarak kayma, çatlama ve dökülmelere sebep olur. Donma ve çözülme olayları yüzey ve yer altı sularının bulunduğu durumlarda onların etkilerine ilave etkiler ile şevlerin erozyonunu hızlandırır.



Şekil 6.1: Şevlerde bitkilendirme ile Erozyonun önlenmesi

Duvar yapmak bir erozyon önlemi olabilir. Bu duvarlar taş kaplamalardan biraz daha fazla yük ve itki taşıyabilir. Ayrıca bunların projelendirilmeleri için karayollarının tip tablolarından yararlanılabilir. Ancak bu duvarlar istinat duvarları değildir. Özellikle bu nokta unutulmamalıdır. Bu maksatla beton kaplama duvarlar da aynı tablolardan yararlanılarak projelendirilebilir.

Asfalt kaplamalar daha çok hendek ile şevin birleştiği bölgede hendek içinde asfalt kaplama varsa onun bir uzantısı gibi yapılır. Ayrıca hendek kaplamasından daha kalın yapılabilir. Asfalt kaplama, şevde daha yukarılara çıkarılacak ise özel bir takım noktalara dikkat edilmelidir. Kaplamanın altında şev zemini iyi derecede sıkıştırılmış, yüzey suları drene edilmiş, toprak da bitki

yetiştirilmeyecek kısır hale getirilmiş olmalıdır. Kaplama yapılmadan önce astarlama yapılır. Kaplama iki tabaka olarak uygulanmalıdır. İki tabaka arasına tel ağ ya da önce demir donatı yerleştirilir. Bu, yer yer ankre edilmeli ve katlar normal yol kaplamalarından % 50 daha çok bitüm içermelidir. Kaplamanın derzleri yarma hendek çizgisine paralel veya dik olabilir. Derzler soğutulmadan yapılmalıdır. Ayrıca kaplama katları arasına yapıştırıcı sürülmelidir. Serme elle veya makine ile yapılabilir. Yarma şevlerin kaplamaları ne tür olursa olsun şev eteğinin hendek ile birleştiği kesim civarında sağlam bir dayanma yapısı gerekir. Bu bir duvar olabilir. Herşeyden önce şev eteğinde ki hendekte erozyon önlenmiş olmalıdır. Çünkü yarma şevlerinde erozyonun başladığı kesimlerden birisi hendekte şev eteğidir. Hendek ve şev erozyon önlemleri birbirini bütünler.

Kaplamanın en yukarı başı ile yarma yüzü arasından su girerse zeminin kaplamaya değen yüzünde oyulmalar sonucu, arada boşluklar meydana gelir. Onun için kaplamanın yukarı başı zemin yüzünden içeri ilerlemelidir. Bazı ayrık taneli zeminlerde, oluşan yarma şevlerinde çimento ve asfalt enjeksiyonu ile stabilizasyonu faydalı olur.

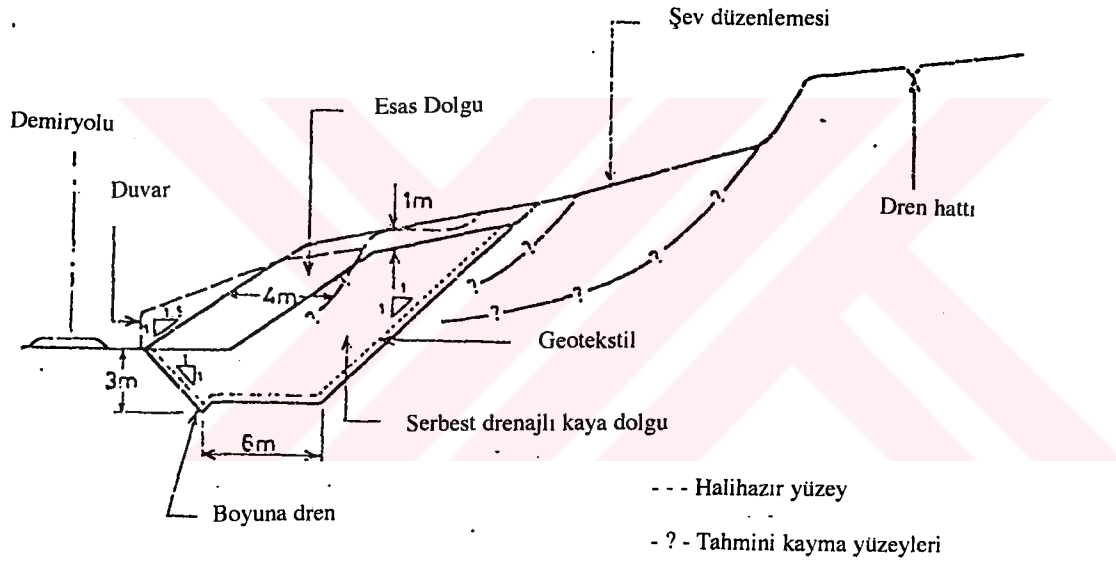
Geniş dilimlerden oluşan kayalarda dilim yüzey doğrultuları şev yüzüne paralel veya ondan daha dik ise dilimlerin dış kesimleri kopmalar ve döküntüler yapabilir. Bu dilim dış tabakaları sağlam alt tabakalara özel ankraj cıvataları veya geniş başlı somunlarla sıkıca bağlanarak yapılabilir. Bu durumlarda, daha önceki bölümde de açıklandığı gibi dilimlerin ara kesitlerini çapraz ya da dik kesen, yüzeye ankre edilmiş demir ya da beton çubuklar kullanılır. Bunlar yüzeye bulonlar ya da kaya da açılan yuvalara betonlama ile ankre edilir.

## 6.2. DOLGU ŞEVLERİNDE EROZYON KONTROLU

İklim, hava koşulları ve bunlar dışındaki etkenler dolgu şev yüzlerinde yarma şevlerindeki gibi erozyona neden olabilir. Dolgu şevlerinde erozyona karşı yarma şevlerinde daha şanslı bir durum vardır. Dolgu şevleri yarma şevleri gibi doğal olmayıp yapay olarak meydana getirilmişlerdir. Bu şeyleri inşa ederken yapı ve bünyelerini gereği gibi oluşturmak, tabakalarını iyi düzenlemek,

erozyona dayanıklı bir sıkılıkta yapmak mümkündür. Bu bakımdan eldeki olanaklara göre dolgu sevi yüzeylerine gelecek malzeme ve zeminler, aşınma ve erozyona, türlü iklim etkilerine dayanıklı olanlardan seçilebilir.

Dolgu şevlerinde, banketlerinde oluklanmaya neden olacak birikintilerden, akıntıları hızlı ve etkin hale getirecek yüzey engel ve çıkıntılarından sakınmak gerekir. Kaya ile yapılan dolgulara iri parçaların şev diplerine konmasına, şev yüzeyinde askıda, düşebilecek, yeri boşalabilecek kaya parçaları kalmamasına dikkat edilmelidir. Kayalar arasındaki ince daneli zeminler erozyona karşı zayıf kesimler oluşturur. Şevlerde kayaların mümkün olduğunca geniş yüzeylerinin yatay olacak biçimde konulması bu kesimleri korur.



Şekil 6.2. : Dolgu şevlerinde erozyon kontrolü

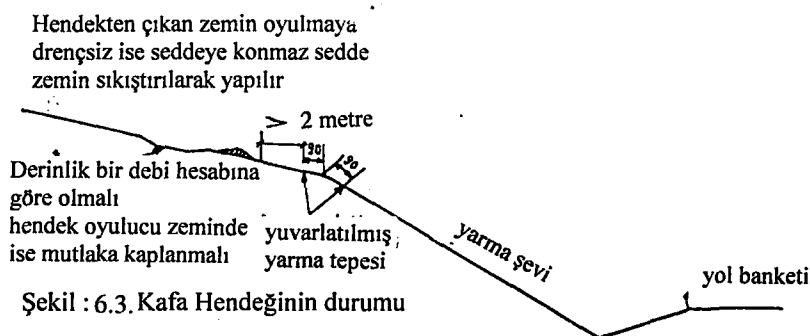
erozyona dayanımda dolgu şevinin kompaklığı, su geçirimsizliği çok önemlidir. Dolgu kitlesi ve şevler iyi sıkıştırılmış olmalıdır. Yüksek dolgulara kademeler yapılması hem stabilite hem de erozyon kontrolü için faydalı olur. Dolguları şev kazıklarından başlayarak yukarıya doğru her iki yandaki proje şev yüzeyine göre 25-30 cm. geniş yapmanın şev erozyonuna karşı şevleri korumada etkisi olur. Erozyonunun şiddetli olduğu sonbahar ve kış mevsiminden önce dolgu şevleri çimleme ile ya da başka bir biçimdeki kaplanamayacak ise doğal olarak çimlenmesi çevre koşullarına göre olanaksız ise bu fazlalıklar alınmaz bırakılır.

çimleme ile ya da başka bir biçimdeki kaplanamayacak ise doğal olarak çimlenmesi çevre koşullarına göre olanaksız ise bu fazlalıklar alınmaz bırakılır.

Sonbahar ve kış erozyon etkilerinde bu fazlalıklar asıl şev yüzeylerini korur. Erozyon etkileri bu fazla tabakada kalır. Erozyon mevsimi geçip, çimleme işlerinin uygun koşullarda yapılabileceği dönem gelince şevdeki fazlalık kesilip atılır. Şevler düzeltilir, onarılır ve yapay olarak çimlendirilir veya sonbahara kadar doğal çimlenmeye bırakılır. Gerek yarma gerekse dolgularda şevlere yağmur ve kar yağışı ile araziden ve yol yüzeyinden gelen sular en büyük erozyon etkenleridir. Şevlerin bu su etkilerine karşı korunması gerekir.

Yarma şevinin üstündeki arazi yarmaya doğru eğimli ve bu nedenle yamaç suları yarma içine akabilecek ise bunu önlemek üzere yarma şevinin bittiği ve doğal yamacın başladığı bölgeye kafa hendekleri açılır. Kafa hendekleri yarma şev kazığı noktasından 3-4 metre yukarıya yapılmalıdır. Kazı sırasında çıkacak topraklar yarma yönüne konulur. Kafa hendeklerinin enine kesiti dikdörtgen ya da trapez biçimdedir. Boyutlandırılması çıkış kesiti için “rasyonel metot” ve “manning” formülünün kullanılması ile yapılır. Diğer kesitlerde, çıkış kesiti boyutlarında devam ettirilir.

Kafa hendekleri yarmaların sıfırlarına doğru dikleşirler. Buralarda oyulma olabilir. Kafa hendeklerinde kaplama yapılacak ise yüksek yerlerde olmaları nedeni ile her yerden görülecekleri gözönünde tutulmalı ve düzgünlüklerine önem verilmelidir. Kafa hendeklerinin çıkışları yani akıntı uçları yarma hendeği ile birleşmemelidir. Ne de olsa dik eğimli bir kesimden sonra bu birleşme noktasına gelen kafa hendeği akıntısı sürüklenen maddeler varsa bunları yarma hendeğinin önüne sürükleyip tıkayabilir.



Kafa hendeklerinin harçlı taş veya beton kaplamasında ayrılma olmayacak şekilde zemin yüzeyi sıkıştırılmış olmalıdır. Kaplama kenarları zemin yüzeyi ile aynı seviyede ve uyumlu olmalıdır. Böyle olmaz ise yüksek olan kenar ile zemin yüzeyi arasında bir oluklanma meydana gelir buradan bir oyulma başlar.

Yarma şevlerinin derinliği 10 m'den yüksek ise şevde ilave bir ara hendek yapılabilir. Bu hendek oluşturulacak bir kademenin dibinde açılır. Yarma şevlerinde yarma hendeğine dik olukçuklar ile kafa hendeği suyunun yer yer yarma hendeğine indirilmesi sağlanmalıdır. Ancak bunların yarma hendeği ile birleşim yerlerinde olabilecek oyulmalar önlenmelidir. Ayrıca birleşim yerine önce hız kırıcılar konulması faydalı olur. Aslında bu oluklar kademeli ve düşümlü akım sağlayan düşüm olukları gibi olmalıdır. Ancak bu su ile yarma hendeğinin aşırı yüklenmesi sakıncalıdır. Ayrıca bu olukların suyu bir yer altı akım yoluna verilebilirse faydalı olacaktır.

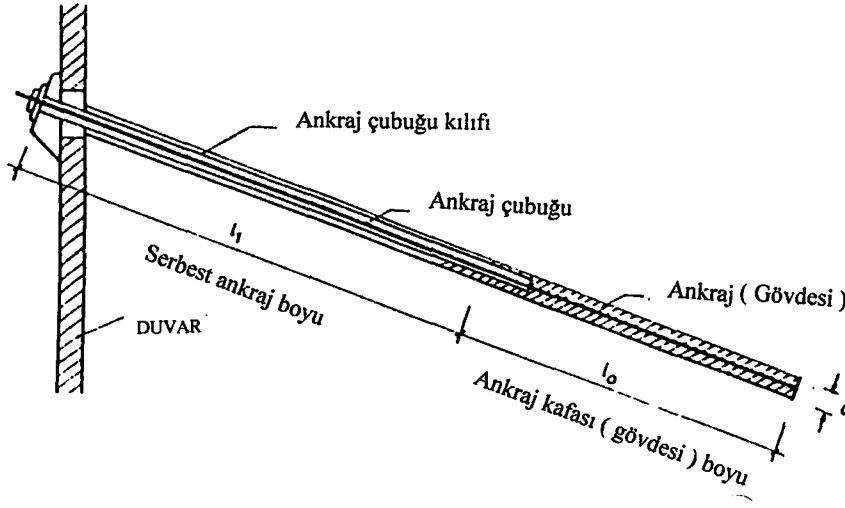
Dolgularda yol yüzeyinden gelen suların şevlerden aşağı gelişi güzel akmasını önlemek üzere dolgu banketlerinde bordür kullanılmalıdır. Bu bordür topraktan, bitümlü maddelerden ya da betondan olabilir. Yol yüzeyinden gelen sular önce bu bordürler tarafından tutulur. Belirli yerlerden oluklarla şevlerden aşağı akıtılır. Bu oluklar büz, yarım büz, kapaklı hendek şeklinde olabilir. Oynak ve oturmamış dolgu şevlerinde kullanılacak olukların kırılma bir malzemeden tek parça halinde yapılmış olmamaları, demir, sac, ağaç, plastik maddeler yada prefabrike beton oluk parçalarından olmaları idealdir. Bu tip oluklar tam oturmamış, oynak dolgu şevinin hareketi halinde, altları boşalıp düşseler bile kırılma ihtimalleri az olup tekrar kullanılabilirler. Fakat harçlı pere ve kesintisiz, sürekli beton olukların böyle bir durumda tekrar kullanılmaları mümkün değildir. Olukların şev eteği ya da etek kanalına birleştiği yerde oyulmaya karşı iyi bir önlem alınmalıdır. Hız kırılması konusunda yarma olukları için söylediklerimiz burada da geçerlidir.

Dolgu banketlerinden oluklarla alınıp aşağı indirilen, o şev yüzlerinden inen, dolgu şev eteğinden yanal olarak geçen tüm sular dolgu eteklerinde erozyona neden olabilir. Bu suları bir hendekte toplamak gereklidir. Bu amaçla dolgu eteklerinde hendekler yapılır. Yalnız bu hendeklerin yüzeyleri erozyonu önlemek üzere kaplanmalıdır. Hendeklerin dolgudan yana olan yüzeyleri dolgu etek çizgisinden en az 2 metre uzakta olmalıdır. Yolu enine kesen akım yolları ile birleşim yerlerinde şev eteğinden daha da uzak olmalıdırlar. Birleşim açısı ise dik olmamalıdır. Bu noktalarda oyulmaya karşı önlem gerekebilir. Dolgu şevi drenajı iyi ve şevler çim ile kaplanmış ise bu hendeklere süprüntü maddeleri az miktarda gelecektir.

## 7. ŞEV STABİLİTESİNDE ANKRAJ TEKİNİĞİ

Çekme kuvvetlerini ankrajlarla temel zeminine aktararak, bu kütlenin taşıyıcı olarak kullanılmasının büyük fayda ve ekonomi sağladığı, ilk defa 1930 yıllarındaki kaya ankrajı ile ilgili uygulamalarda görülmüştür. 1934 ve 1935 yıllarında Cezayir’de 2 Barajın yükseltilmesinde temel zeminini oluşturan kayaya ankre edilen çelik kablolar 1000 ton’a kadar varan yüklerin taşıtılması, zamanın modern ve ekonomik çözümleri sayılmışlardır. (Lendi 1969). Bundan sonra ankrajların kaya şevlerinde ve diğer kaya inşaatlarında değişik şekillerde kullanıldıkları görülmektedir. (Müller 1963)

Bu ilk uygulamalarından beri zemin ankrajları, kazı şevlerinin tutulmasında, desteklenmesinde, istinat duvarı, pilon, yüksek kule ve benzer yapıların çekme gerilmesi alan temelleri ile yer altı suyunun kaldırma etkisine karşı yapı temellerinin tespitinde, doğal ve suni şevlerin güvenliğinin artırılmasında başarıyla kullanılmaktadır. Bugünkü anlamıyla zemin ankrajlarının da kullanılan diğer yapı elemanlarından farkı, kuvvetleri taşıyıcı zemine bütün uzunluğu boyunca değil, ankraj gövdesi (kafası) bölgesinde aktarmasıdır.



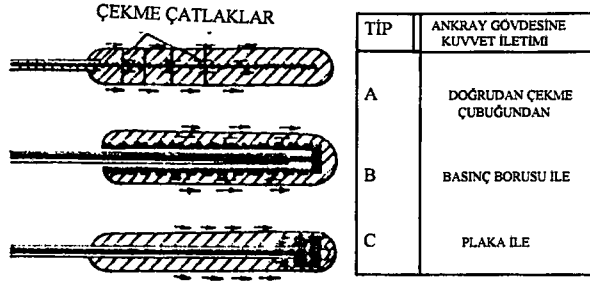
Şekil: 7.1. Zemin Ankraj Elemanları

## 7.1. KULLANILAN ANKRAJ TİPLERİ

Zemin ankrajları kullanma süresine göre geçici veya sürekli tipten hazırlanırlar. Yönetmeliklere göre 2 sene ve daha uzun kullanılacak ankrajlar sürekli cinsten sayılmaktadır.

Şekil 7.1'de görüldüğü üzere zemin ankrajları genelde başlıca şu kısımlardan meydana gelmektedir; çekme çubuğu, çekme çubuğunu zemine tutturarak ankraj kafası (gövdesi) ve dış kuvvetleri ankraj çubuğuna aktaran ankraj başlığı. Ankrajlarda çekme çubuklarından, ankraj gövdesine, buradan da zemine kuvvet nakli ankraj tipine göre 3 şekilde olabilir .

Şekil 7.2 Ankraj tipi A da ankraj gövdesi toplam boyca çekme çubuğuna kenetlenmiş olup, çekme kuvveti altında çatlaklar meydana gelebilmektedir. Ankraj tipi B de kuvvet ankrajın sonuna tespit edilmiş bir somuna , buradan da ankraj gövdesine iletilir. Gövde ankraj eksenini doğrultusunda basınca çalışır. Bu tip ankrajlar daha çok sürekli amaçlar için kullanılır. C tipi ankrajlarda ankraj kuvveti ankraj çubuklarının sonuna bağlanmış bir plaka vasıtasıyla iletilmekte olup, ankraj gövdesi basınca çalışmaktadır. Ankrajların korozyona karşı korunması büyük önem taşımaktadır. Geçici ankrajlarda ankraj gövdesini veya donatı alanını bir miktar büyük tutmak ve serbest ankraj boyunca çekme çubuğunu plastik kılıf içine almak yeterli olmaktadır.



Şekil: 7.2. Ankraj Gövdesine Kuvvet İletimine Göre Ankraj Tipleri.

Sürekli ankrajlarda ise, genel olarak hem serbest ankraj boyu, hem de ankraj gövdesi plastik kılıf içine alınır. Gövdedeki çelik donatı ayrıca çimento harcı ile sarılarak korunur.

## 7.2. ANKRAJLARIN HAZIRLANMASI

### 7.2.1. Ankraj kuyusunun Açılması

Ankrajlar için genellikle 8-15 cm çapında istenen yönde 30.0 m uzunluğa kadar kuyular açılabilmektedir. Hem darbeli hem de rotary tarzında delik açan makineler tercih edilmelidir. (Toğrol 1972). Bunlar boru sürme tertibatına sahip olmalıdırlar. Kuyu delme yönteminin seçiminde aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

- Zemin veya kaya tabakalarının özellikleri,
- Yer altı Suyu durumu,
- Delme yönteminden dolayı zeminde meydana gelebilecek zararlı durumlar (ankraj taşıma gücüne veya civardaki yapılara olmak üzere),
- Sondaj kuyusunun doğrultusundan sapma olasılığı,
- Kohezyonsuz zeminlerde borulu darbeli veya darbeli rotary delme sistemleri başarılı olmaktadır. Genelde kuyu açma yönteminin kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücüne tesiri azdır. Küçük çaplı ve darbeli makinelerle sıkı zeminlerde ilerlerken doğrultuları görülebilmektedir.

- Kohezyonlu zeminlerde su ile yıkanan borulu rotary sistemler veya bunların yüksek mukavemetli tabakalarında burgu deliciler kullanılmaktadır. Kuyunun içinin temizlenmesi işinde su, kil veya çimento şerbetleri, suya karşı hassas zeminlerde ise basınçlı hava kullanılabilir. Ayrıca hassas zeminlerde delik açıldıktan sonra enjeksiyon işlemine geçilmelidir.

### 7.2.2. Ankraj Techizatının Yerleştirilmesi ve Enjeksiyon İşlemi

Sondaj kuyusunun hazırlanmasından sonra çekme çubuk veya halatları içeri itilerek enjeksiyon işlemine geçilir. Enjeksiyon sırasında kaplama borusu adım adım geri çekilir. Serbest ankraj suyunu, ankraj gövdesinden ayırmak için çok kere üst kısımdaki fazla enjeksiyon şerbeti su veya bentonit süspansiyonu ile yıkanarak atılmaktadır. Ayrıca ankraj gövdenin sınırlanması elastik veya şişen tıkaçlarla da mümkün olmaktadır.

Kohezyonlu zeminlerde ve kaya tabakalarında kuyu açıldıktan hemen sonra temizlenerek enjeksiyonlama işlemine geçilmelidir. Kohezyonsuz zeminlerde çimento şerbeti (genelde agrega yerleştirilmeden) 10 kg/cm<sup>2</sup> minimum basınçla enjekte edilmelidir. Su çimento oranı 0.4 –0.5 arasında alınabilir. Kohezyonlu zeminlerde ve kayada bu oran 0.4 değerini geçmemelidir, bu tabakalarda fazla suyun emilme imkanı yoktur. (kayada çatlak olmadığı kabulüne göre).

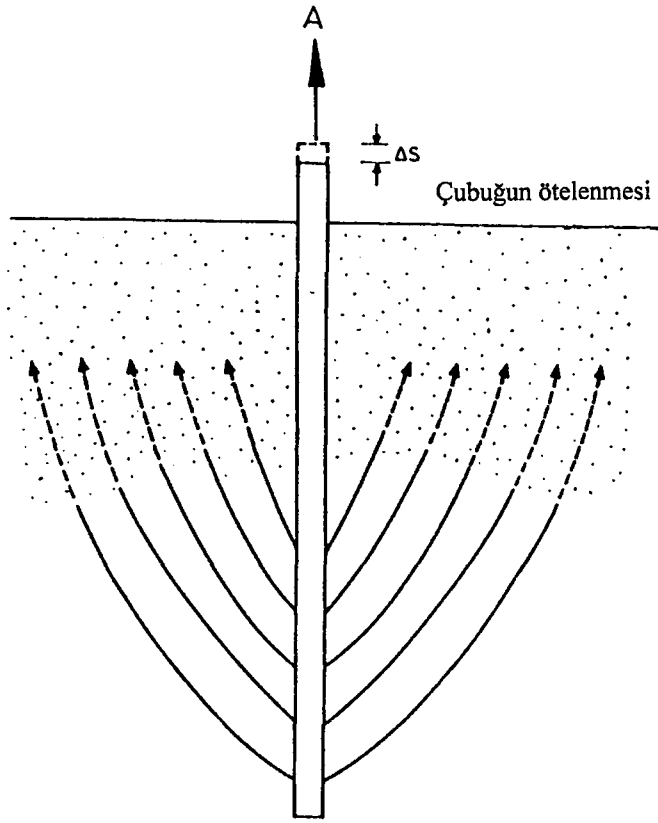
Kohezyonlu ve zayıf mukavemetli kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücünü yükseltmek amacıyla ikinci defa enjeksiyonlama işlemi Batı Avrupa'da başarıyla uygulanmaktadır. Birinci enjeksiyondan sonra beton prizini alınca, özel olarak yerleştirilmiş borudan yüksek basınçla (40 kg/cm<sup>2</sup>'e kadar) çimento şerbeti verilerek mevcut ankraj gövdesinin çatlamasına ve genel olarak gövdenin büyümesine ve böylece zeminde daha fazla bir sıkışmaya sebep olunmaktadır. Doğal olarak ikinci defa yapılan enjeksiyonun, civardaki bodrum veya kanallara dolabileceği, komşu temel zemini veya yapılarına zarar verebileceği göz önünde tutularak, çevre devamlı kontrol altında tutulmalıdır.

### 7.3.ANKRAJLARIN TAŞIMA GÜCÜ

10-15 cm çapında ve 4-6 m uzunluğunda enjeksiyon gövdesine sahip ankrajların kohezyonsuz zeminlerde 200 tona, kohezyonlu zeminlerde 100 tona kadar çekme kuvvetlerinin zemine emniyetle aktardıkları bilinmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde elde edilen yüksek çevre sürtünmesini değerlerinin ankraj çevresindeki kayma bandında meydana gelen genişleme (dilatasyon) ve bunun sonucu ankraj gövdesi ile zemin arasında meydana gelen sıkışmadan doğduğu bilinmektedir. Kayma bandındaki sıkışma sırasında meydana gelen progresif bir kemerlenme, çubuk boyunda belli bir uzunluktan sonra gerilmelerin ani düşüş göstermesine neden olarak gösterilebilir (İncecik 1980) (Şekil 7.3). Kohezyonsuz zeminlerde yukarıdaki sebeplerden ankraj gövdesinin belli değerden sonra artmasına karşılık ankraj taşıma gücünde bir yükseliş görülmemektedir.

#### 7.3.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Ankrajlarla İlgili Deneyimler

- Ankraj taşıma gücü zeminin relatif sıklığı ile orantılı olarak artmaktadır. Gevşek zeminlerde ankraj çevresinde bir genişleme meydana gelmediğinden sürtünme gerilemeleri daha düşük değerler almaktadır.
- Ankraj çevresinde meydana gelen progresif kemerlenme dolayısıyla, ankraj gövde boyunun belli bir değerden sonra artması ( $1 > 6 - 7$  m), ankraj taşıma gücünü pratik olarak değiştirmemektedir.
- Ankraj çapı büyüdükçe, çevre sürtünmesi gerilmesi azalmaktadır. Bu arada çevre alanı da büyüdüğünden, çap artışının taşıma gücüne etkisi değişik olabilmektedir. Genelde zeminin sıklığına ve dane dağılımına bağlı olarak  $D = 10-15$  cm arasında çapları ekonomik olduğu bilinmektedir.
- Kohezyonsuz zeminlerde ankrajların taşıma gücünü zemin parametrelerine göre veren genel formüller henüz geliştirilmiş değildir. Daha çok deneylerde elde edilen sonuçlardan taşıma gücü hakkında bir tahmin yürütülebilmektedir. Ostermayer deney sonuçlarını istatistiksel olarak değerlendirerek zemin cinsine ve yerleşim sıklığına bağlı olarak toplam taşıma güçlerini vermiştir.



Şekil: 7.3. Kohezyonsuz zeminde ankraj çubuğunun yer değiştirmesi sırasında meydana gelen kemerlenme

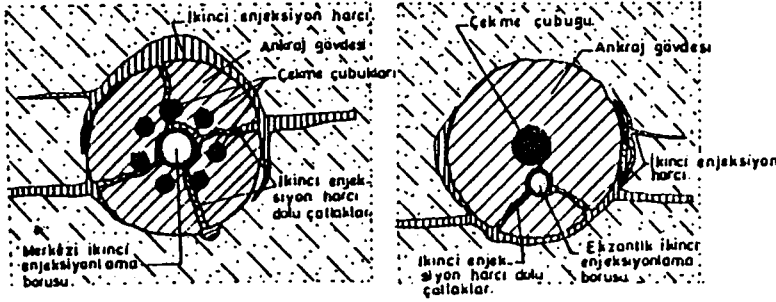
### 7.3.2. Kohezyonlu Zeminlerde Ankrajlar İle İlgili Deneyimler

- Çevre sürtünmesi değerleri düşük plastisiteli killerde daha yüksek, yüksek plastisiteli killerde daha düşük olarak elde edilmektedir.
- Ortalama çevre sürtünmesi değerleri, ankraj gövde uzunluğuna bağlı değildir, yani ankraj taşıma gücü gövde boyu ile orantılı olarak artmaktadır. Ancak sert kıvamlı zeminlerde istisnai durumlar tesbit edilmiştir.
- Ankraj çapının 10-15 cm arasında değiştiği değerlerde, taşıma gücü çapa orantılı olarak artmaktadır.
- İkinci defa enjeksiyon yapılması, ankraj çevre sürtünmesini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu artmaya sebep olarak, zeminde yüksek derecede sıkışma meydana gelmesi gösterilmektedir.
- Ayrıca çatlamlar nedeniyle başarısı zemin cinsine ve uygulanan yöneme göre değişmektedir. (Ehl 1986)

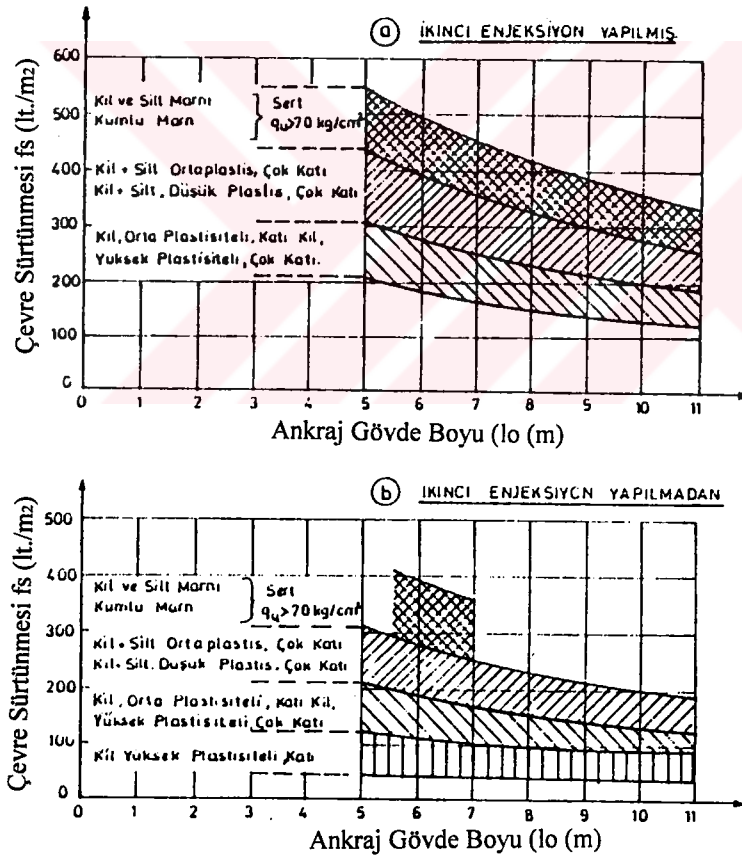
Little John sert killerde ve ayrılmış kayalar için aşağıdaki ortalama çevre sürtünmesi değerlerini tavsiye etmektedir. (Little John 1970)

Sert kil ve marnlarda;

$$f_s = 0.45 c_u - 0.60 c_u \dots \dots \dots 7.1$$



Şekil:7.4 . Değişik yöntemle yapılan ikinci enjeksiyonlama sonunda ankraj gövdesi kesitleri



Şekil: 7.5.- Kohezyonlu zeminlerde ikinci enjeksiyondan evvel ve sonra ortalama çevre sürtünmesi değerleri (Ostermayer) Ayrışmış kireçtaşı

$$f_s = 1.N_{30} \text{ (t/m}^2\text{)} \dots\dots\dots 7.2$$

Yukarıdaki ortalama değerlerden toplam taşıma gücü aşağıdaki bağıntıya hesap edilebilir.

$$A_T = \pi \cdot d_0 \cdot l_0 \cdot f_s \dots\dots\dots 7.3$$

Burada;

$c_u$  : Drenajsız kayma mukavemeti

$N_{30}$  : ortalama SPT vuruş sayıları

$d_0$  : Ankraj gövde çapı

$l_0$  : Gövde uzunluğunu

göstermektedir.

Yukarıda bulunan taşıma gücü değerinin bir güvenlik sayısına bölüneceği tabiidir. Genel olarak projelerde tahmin edilen ankraj taşıma gücüne  $G_s = 2.0$  güvenlik sayısı uygulamak doğru olacaktır.

Bazı araştırmacıların arazide elde ettikleri deney sonuçlarına göre değişik zemin cinsleri (kohezyonlu / kohezyonsuz) için yarı ampirik taşıma gücü bağıntıları geliştirmişler ve bunlardan halen uygulamada faydalanılmaktadır. (Toğrol-Sağlamer 1978, Littlejohn 1980).

### 7.3.3.Kayalarda ankrajlarla ilgili tecrübeler

Kayalarda ankrajların yüksek taşıma gücü değerlerine ulaştıkları bilinmekle beraber, bunlarda sıyrılma sınırına kadar yapılmış deney sayısı çok azdır. Az ayrılmış kayalarda emniyetli çevre sürtünmesi değerinin;

$$f_m = 10-15 \text{ kg /cm}^2 \dots\dots\dots 7.4$$

Mertebesinde alınabileceği ifade edilmektedir. (Littlejohn, Bruce 1977, Ostermayer 1982). Bu değerler  $l_0 = 3-6$  m gövde uzunlukları için geçerli olup,  $G_s = 2-3$  arasında güvenlik gözönüne alınmıştır.

#### 7.4.YAMAÇ STABİLİTESİNDE ANKRAJLARIN UYGULANMASI

Şevlerin stabilitenin artırılmasında ankrajlardan uzun zamandan beri yararlanılmaktadır. Ankrajlı sistemler doğal yamaçlarda kullanıldığı gibi, derin otoyol ve demiryolu kazı şevlerinin tutulmasında yaygın olarak uygulanmaktadır. Kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde genelde perdeler veya aralıklı kazıklar ankrajların önündeki zemini tutmakta, kaya tabakasında ise ayak veya kirişler üzerinden de kuvvetler aktarılabilmektedir. Kaya tabakalarında, bugün normal zemin ankrajları tercih edilmektedir. Şevlerde stabilitenin sağlanmasında, ani kaymalar veya göçmeler bekleniyorsa boyutlandırılacak ankrajlı sistemin güvenliğinin küçük tutulması, imalattan sonra yapılacak deformasyon ve kuvvet ölçümleri ile ilave tedbirlerin adım adım alınması ekonomik sonuçlar vermektedir. Bu ölçümleri bugünkü teknikle ankrajlar üzerinde sistematik olarak yapmak kolayca mümkün olmaktadır. Ayrıca şevlerin stabilitesini sağlamak için yapılan hesaplar oldukça yaklaşık kabullere dayandığından, önlemleri adım adım almak daha uygun olmaktadır.

Sık ankraj gerektiren, sistemlerde ankraj aralığının 2.0m'den daha yakın alınmaması tavsiye olunur. Bu tip grup ankrajlarda, yükleme deneyinin grup halinde yapılması doğru olacaktır. Yamaçlarda kullanılacak ankrajlar genellikle sürekli tipten olmaları için, bunların korozyona karşı muhafazası özel bir önem taşımaktadır.

Zemin Ankrajları ileri teknolojiye sahip bir çok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye'de 1970'li yılların sonlarından itibaren ankrajlı sistemler uygulanmaya başlamıştır. Ankrajların imali ve kontrolü itina ve tecrübe gerektirdiğinden, Batı Avrupa'da bir çok memleket bununla ilgili yönetmelikler veya tavsiyeler yayınlamıştır.

Türkiye'de bu konuda bir yönetmelik mevcut olmayışı nedeniyle esas alınacak prensipler yönünden uygulamada bazı zorluklarla karşılaşmaktadır.

Karşılaşılabilecek zorluklar ve yapılacak hataları en aza indirmek için, ankrajlı sistemin projesi hazırlanmadan evvel iyi bir zemin etüdünün yapılmış ve proje amaçlarına uygun “Ankrajların hazırlanması ve kontrolü” ile ilgili esasların belirlenmesi gerekmektedir. Bu günkü koşullarda bu hususta mevcut yabancı yönetmeliklerden faydalanılması tabiidir. Ayrıca yüklenici firmaların teknik imkanları da göz önünde tutulmalıdır. Şevlerin güvenliğinin alınmasında ankrajların kullanılması ekonomik ve pratik çözümler vermektedir.

## **8. ŞEV STABİLİTESİNE TEORİK YAKLAŞIMLAR**

### **8.1. ŞEVLERDE RİSK ANALİZİ**

Genel olarak mühendislik uygulamalarında tasarım aşamasında incelenen yapının geometrik ve malzeme özelliklerini, bu yapıyı etkileyecek yüklerin biçimini değerini ve süresini ve de bu yükler altında yapının davranışlarını önceden hesaplayabilmek ve böylece bir boyutlandırma yapabilmek amacıyla değişik bağıntılar ve yöntemler geliştirilmiştir.

Kullanılacak basit veya karmaşık yöntemlerde bir takım varsayımların olması ve basitleştirmelere gidilmesi, çoğu kez elde sınırlı sayıda veri olması, sonuçlarının gerçek durumu ne derece yansıttığı konusunda belirsizliklere yol açabilir.

Tipik bir zemin mekaniği probleminde karşılaşılan dış yükler sabit yükler, hareketli yükler, rüzgar yükleri, sismik yükler ve dalga yükleri olabilirler. Bir tasarımda bu yüklerin bir çok durumda kesin olarak tahmin edilmesi mümkün değildir. Mühendislik yapılarının tasarımında eldeki bilgilerin yeterli ve güvenilir olup olmamasından bağımsız olarak bir karar verilmeside gerekir. Bu da her mühendislik uygulamasında belirli bir riskin bulunmasına yol açar. Böyle bir durumda önemli olan bu riskin mertebesinin bilinmesidir. Bu nedenle istatistik ve olasılık hesap yöntemlerinin kullanılması çoğu kez zorunlu olarak gerekmektedir. Şevlerde stabilite analizleri yapılarken kullanılan güvenlik katsayıları ile birlikte kayma riskinin nasıl hesaplanabileceği açıklanacaktır.

## 8.2. ŞEVLERDE GÜVENLİK KATSAYISININ TANIMLANMASI

Şevlerde stabilitenin değerlendirilmesi için izlenen geleneksel yaklaşımla güvenlik katsayısının ( $G_s$ ), tanımı iki tahmini değerlerin oranı şeklinde yapılmaktadır. Bu tahmini değerlerden biri kaymaya karşı koyan kuvvetlerin bileşkesi, ( $R$ ), diğeri ise kaymaya yol açan kuvvetlerin bileşkesi ( $T$ ), olmaktadır.

Bu da  $G_s = R / T$ .....7.5.  
Şeklinde bir bağıntı ile gösterilebilir.

Mühendislik uygulamasında aracı koşul ise bu şekilde hesaplanan güvenlik katsayısının, tasarım için seçilmiş olan, tasarım güvenlik katsayısı ( $G_{s0}$ ) değerine eşit veya büyük olmasıdır.

$$G_s \geq G_{s0} \dots\dots\dots 7.6$$

Eğer bu koşul sağlanamıyor ise tasarımda bazı değişiklikler yapılarak bu koşulun yerine getirilmesi yoluna gidilir. Bu tür yaklaşım benimsendiğinde güvenlik katsayısının çok kesin bir şekilde hesaplanamayacağı da hatırlanmalıdır.

Güvenlik katsayısının değeri;

1. Şevlerde kaymaya yol açan kuvvetlere (üstü yapıdan gelen yükler, deprem kuvvetleri gibi ve bunların zaman içinde değişimlerine)
2. Şevde yer alan zemin tabakalarının özelliklerine
3. Şevin stabilitesini belirlemek için kullanılan hesap yöntemine bağlı olmaktadır.

### Risk Analizi;

Bu üç faktörde bazı belirsizliklerin bulunması güvenlik katsayısında da bir belirsizliğe yol açar. Bu nedenle, ( $G_s$ ) güvenlik mertebesinin gerçekçi bir ölçüsü olmaması, zemin özelliklerindeki ve diğer etkenlerdeki değişkenliklerin göz önüne alınmaması, ve de tasarım için seçilen güvenlik katsayısı,

( $G_{so}$ ), değerinin tamamen geçmiş tecrübelerle dayanılarak farklı yapılarda farklı şekil ve biçimlerde tanımlanması bu tür bir yaklaşımın yetersiz kalmasına yol açabilmektedir. Bu sebeple güvenlik katsayısı ile birlikte bir göçme veya kayma riski / olasılığı hesaplanarak daha güvenilir ve daha gerçekçi bir değerlendirme yapma imkanı verir.

Şevlerde kaymaya karşı kuvvetlerin bileşkesi R. İle kaymaya sebep olan kuvvetlerin bileşkesi (T), daha önce belirtilmiş olan nedenlerden dolayı bir düzensiz değişken özelliğini gösterirler. Bu durumda güvenlik aralığı, ( $G_A$ ) olarak tanımlanabilecek ;

$$G_A = R - T \dots\dots\dots 7.7$$

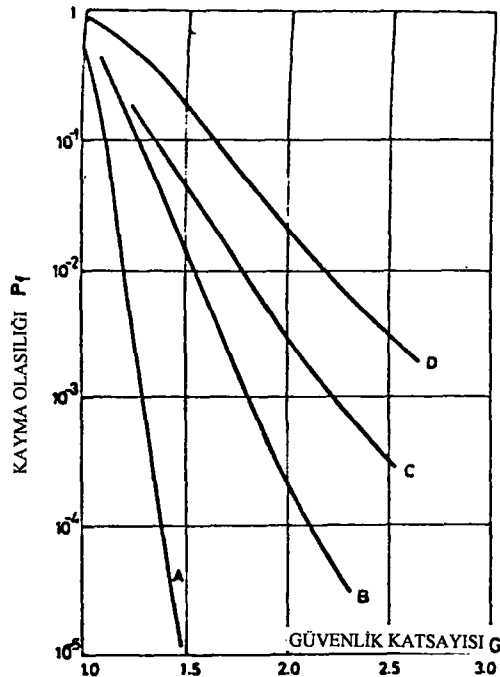
Değerinde kaçınılmaz olarak düzensiz bir değişken olacaktır. Şevlerde stabilite nin bozulması, bir kayma oluşması,  $G_A$  nın negatif değerler alması sonucunda ortaya çıkar O halde kayma olasılığı ( Pf), yi

$$Pf = P(G_A < 0) \dots\dots\dots 7.8$$

şeklinde göstermek doğru olur. Diğer bir şekilde kayma olasılığı  $G_A$  nın sıfırdan veya güvenlik katsayısının Pf = $P(G_s < 1)$  bağıntısında verildiği gibi 1 den küçük olma olasılığına eşittir. Bu olasılık kayma riski olarak tanımlanabilir.

Çizelge 8.1.: Örnek şevde olasılık hesapları  
İçin seçilen parametrelerin dağılım özellikleri

| JEK ADI | $V_r$ | n  | $K^s$ | $V^s$ | $K^r$ | $V^r$ |
|---------|-------|----|-------|-------|-------|-------|
| A       | 0.40  | 30 | 0     | 0     | 0     | 0     |
| B       | 0.40  | 30 | -0.05 | 0.10  | 0     | 0.05  |
| C       | 0.40  | 10 | -0.05 | 0.10  | 0     | 0.05  |
| D       | 0.40  | 10 | -0.10 | 0.10  | 0.10  | 0.10  |



Şekil: 8.1.Örnek şevde kayma olasılığı değişimi

Bütün mühendislik uygulamalarında olduğu gibi şevlerde stabilitenin hesaplanmasında geleneksel yöntemlerde güvenlik katsayısı değerlerinin tasarım için seçilmiş güvenlik katsayısı değerinden büyük veya eşit olma şartı aranır. Ancak gerekli zemin özelliklerinin bilinmesi bu yaklaşımdan çok kesin sonuçlar alınmasını sağlar. Bu sebeple bütün bu belirsizlikleri istatistik ve olasılık hesapları yöntemleri yardımıyla göz önüne almak ve bunlara bağlı olarak bir kayma olasılığı veya kayma riski belirlemek daha tercih edilen bir yaklaşım olmaktadır. Böyle bir yaklaşım benimsendiğinde şevlerin güvenliği konusunda daha gerçekçi bir değerlendirme yapılabilmektedir.

### 8.3.YAMAÇ STABİLİTESİNDE ÇÖZÜMLÜ ÖRNEKLER

1. Yamaç stabilitesi mühendise çoğunlukla dengenin tehlikeye düştüğü, ya da kaymanın oluşmasından sonra analiz problemi olarak gelir. Oluşturulacak yamacın güvenliği de bazen çözümlenmesi gereken bir sorun olarak belirir. Her iki durumda da hızlı sonuç alınması çalışmanın en önemli unsuru olmaktadır.
2. Su yapılarında yamaçların iç ve dıştan su basıncı almadığı durumların daha az karşılaşılan problemler olduğu söylenebilir. Burada boşluk suyu basıncına tabi, ve zemin koşullarına bağlı olarak farklı biçimde kayan şev ve yamaçlarda dengenin hızlı biçimde analizi için yöntemler, önceki bilgiler ışığında örneklerle verilmiştir.
3. Yamaçlar analiz amaçları için basitçe,
  - Doğal yamaçlar,
  - Sağlam zeminde oturan kohezyonsuz dolgular,
  - Sağlam zemin üzerinde kohezyonlu dolgular,
  - Yumuşak zeminler üzerinde oluşturulan dolgular,
  - Kazıyla oluşturulan yamaçlar,

Olarak guruplara ayrılabilir.

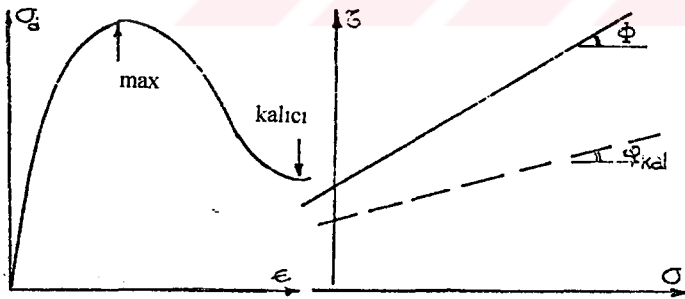
### 8.3.1.Yamaçların Dengesini Etkileyen Özellikler

#### 8.3.1.1.Doğal Yamaçlar

Uzun süre dengede kalmış doğal yamaçlarda denge geometrisinde yapılan değişiklik, özellikle burunda kazı, sonucu bozulma eğilimi gösterir. Bu durumda stabilite birkaç boşluk suyu basıncı dağılımı dikkate alınarak incelenmelidir.

Mevcut yer altı suyu rejiminde dengelenmiş yamaçta analiz efektif gerilmelerle yapılır. Zeminin direnç parametreleri drenajlı (CD) ya da konsolidasyonlu- drenajsız (CU) deneylerde ölçülmelidir. ( $u_w$  ölçümlü). Boşluk suyu basınçları arazide piyezo metrelerden; veya sızıntı analizinden belirlenir. Analizde yamaç dışı su kuvvetleri de dikkate alınmalıdır.

Başlangıçta stabil aşırı konsolide killeri uzun dönemde dengelerini yitirmektedirler. Bunun nedeni kilin maksimum kayma direnci ile kalıcı değeri arasında önemli fark olmasıdır. Her yıl birkaç mm hareket eden yamaçta direnç maksimum değerinden şekil 8.2’de görüldüğü gibi birkaç yıldan yüzyıla varan zaman aralığında kalıcı değerine düşeceğinden kayma kaçınılmaz olur. Kayma, bir veya birkaç düzlem ile dairesel kesitte olabilmektedir.



Şekil 8.2. Kilin Kayma Direncinin zamana bağlı değişimi

Yerinde oluşmuş yamaçlarda zeminin kayma direnci kayaktan kile değişiklik gösterdiğinden, stabilite analizi genellikle laboratuvar deneylerinden gelen katsayılarla başarılı şekilde yapılmamakta ve bir bölgede edinilen tecrübeye dayalı ampirik yaklaşımlar yerinde oluşmuş zeminlerde en güvenilir

yol olarak belirmektedir. Ayrıca zeminlerde kayma çoğunlukla sonsuz yamaç biçiminde oluşmaktadır.

- **Sağlam Zemin Üzerinde Oluşturulan Kohezyonsuz Dolgu**

Bu tür şevlerde denge, dolgu malzemesinin kayma direnci açısı, birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ) ve eğim ( $\beta$ ) ya bağlıdır. Kritik denge kaybı yüzeyde erozyonla belirir. Deprem bu tür zeminlerde sıvılaşma oluşturduğundan aynı derece tehlikelidir. Normal şartlarda kayma analizi sonsuz yamaç kabulü ile yapılabilir.

- **Sağlam Zemine İnşa Edilen Kohezyonlu Dolgular**

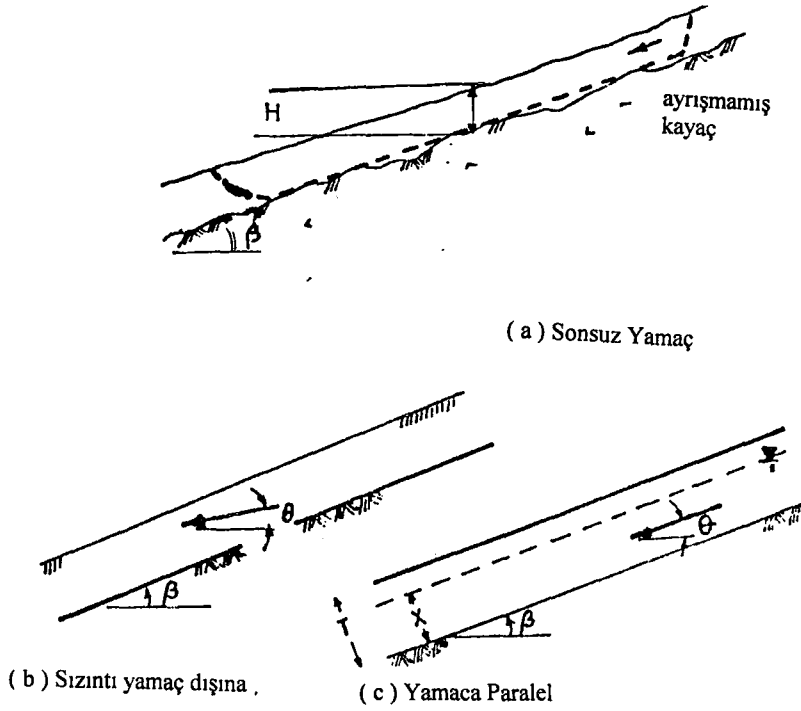
Kayaç ve sağlam zemin üzerine inşa edilen kil, killi kum, killi çakıl gibi kohezyonlu şevlerde kayma yamacın konumuna bağlı olarak sert tabakaya teğet daire veya kama biçiminde oluşmaktadır. Bu şevlerde stabiliteyi, kohezyon  $c(c')$ , şev yüksekliği ( $H$ ), ve boşluk suyu basınçları ( $u_w$ ) belirlemektedir. Bu yamaçlarda inşaat sonu veya kısa vadeli denge incelenmek istenirse arazi şartlarında sıkıştırılmış örneklerde yapılan hızlı (UU) deneylerden elde edilen ( $c$ ,  $\phi$ ) parametreleri ile hesap yapılır. Boşluk suyu basınçları hesaba katılmaz. Uzun vadeli stabilite hesapları (CD) veya (D) deneylerinden elde edilen sonuçlarla efektif gerilme cinsinden yapılır. Sızıntı analizinden elde edilen boşluk suyu basınçları ve dış su yükleri analizini içermelidir. Su düzeyinin aniden düşmesi durumunu yansıtan analiz (CU) deneyinden elde edilen sonuçlar kullanılarak,  $C$  ve  $\phi$  nin değerlerine başvurulmaksızın yapılır. Çünkü zemin kayma direnci konsolidasyon basıncına karşı noktalanmış drenajsız dayanım doğrusundan doğrudan okunabilecektir. Bu nedenle de boşluk suyu basınçlarının hesaplara ayrıca dahil edilmesi gerekmemektedir.

- **Yumuşak Zemin Üzerine Yapılmış Dolgular**

Yumuşak zeminler üzerine oluşturulan kohezyonlu dolgularda stabilite, dolgunun kayma direnci  $c$  ( $c'$ ),  $\phi$  ( $\phi'$ ) dolgunun birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), dolgu yüksekliği  $H$ ,  $\beta$  u,w, ve temelin kayma direnci  $c(c')$ ,  $\phi$  ( $\phi'$ )'ne bağlıdır. Kayma daîresinin büyük bir parçası dolgu içinden geçecektir. Yumuşak temel zeminin getirdiğı bir başka sorun da ani bir kayma gelişme bile dolgu ve temelin farklı katılıkları sonucu uzun vadede giderek kırılma (progressive failure) oluşması ihtimalidir. Bu şevlerde kısa süreli denge uzun vadeli stabiliteye oranla daha kritiktir. Kohezyonlu dolgunun stabilitesi toplam gerilme cinsinden hesaplanmalıdır.  $C$  ve  $\phi$  değerleri UU deneylerden alınır. Bu sırada yüksek plastisiteli temelde drenaj çok yavaş geliştirildiğinden kayma direnci burada da UU deneylerle bulunur. Genelde kayma direnci açısı sıfır olacağından kayma direnci ( $C_u$ ) değeri ile ifade edilir.

### 8.3.2. Yamaç Stabilitesi Hesabında Yöntemler

Dengeyi gösteren güvenlik sayısının bilinmeyen kayma yüzeyi için seçilecek biçime duyarlı olmadığı öncelikle kaydedilmelidir. Ancak, zeminin türüne bağlı olarak belirli bir kayma türünün de seçilmesi durumunda stabilite daha gerçekçi olarak incelenebilmektedir. Ayrıca, kayma hesabında kullanılan yöntemin seçiminde gösterilen itinanın zeminin kayma direnci parametrelerinin ölçümündeki hata olasılığı gözönünde tutularak aşırı olmaması gerekir. En doğru olduğu düşünülerek seçilecek uzun, ayrıntılı yönetimin kullanılmasıyla getirilen % 10-15'lik farkın kohezyon ve kayma direncinde hatalı ölçüm ve değerlendirmeye gelen % 50'lik fark yanında büyük önem taşamayacağı açıktır. Heyelanların ve şev kaymalarının yukarıda yapılan sınıflandırması ışığında burada dört analiz yöntemine değinilecektir.



Şekil 8.3. Sonsuz yamaçta stabilite

### 8.3.2.1.Sonsuz Yamaçta Stabilite

Kayan kitle derinliği diğer iki boyutuna oranla çok küçükse çözüm sonsuz yamaç kabulü ile yapılır. Zeminin kohezyonu yoksa yamaç üniform boşluk suyu basıncı alacağından güvenlik sayısı

$$F = \frac{\gamma'}{\gamma' + \gamma_w} + \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \quad \dots\dots\dots 8.1$$

ifadesinden kolayca hesaplanır. Kohezyonlu zeminde sızıntı kuvvetleri zeminin durumu ve geçirimsizlik katsayısına bağlı olarak yamaç eğimine paralel veya başka bir açıda etkiyebilir.

Akımın yamaç veya kaya yüzeyine paralel olması durumunda

$$r_u = \frac{X}{T} \frac{\gamma}{\gamma} w \cos^2 \beta \quad \dots\dots\dots 8.2$$

biçiminde tariflenen boşluk suyu basıncı katsayısı (şekil 8.3), akımın farklı eğimde olması halinde kaynak özelliği kazanacağından durum daha kritik olacağından

$$r_u = \frac{\gamma_w}{\gamma} + \frac{1}{1 + \tan \beta \tan \theta} \quad \dots\dots\dots 8.3$$

Formülü ile hesaplanacaktır.

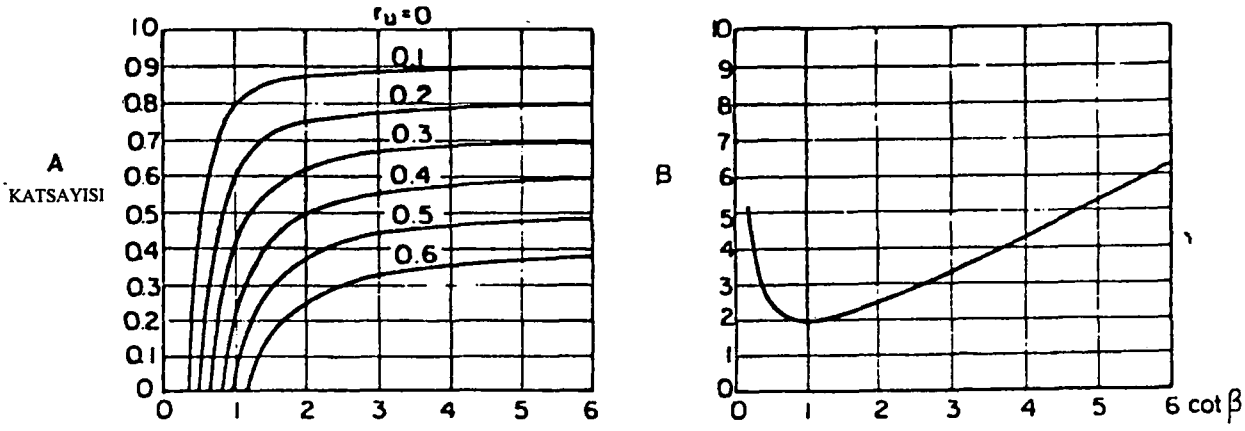
Yamaçta efektif gerilme analizi yapılacaksa şekil –8.4teki eğrilerin kullanılmasıyla güvenlik sayısı

$$F = A \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + B \frac{c}{\gamma H} \quad \dots\dots\dots 8.4$$

Formülünün kullanımıyla hesaplanır. Toplam gerilme analizinde boşluk suyu basınçları dikkate alınmayacağından formüle sadece  $\beta$  katsayısı girer. Böylece güvenlik sayısı

$$F = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + B \frac{c}{\gamma H} \quad \dots\dots\dots 8.5$$

İfadesiyle hesaplanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta yamaçlarda yükseklik olarak alınan H değerinin, sonsuz yamaçta da T den farkı olarak zemin yüzeyi ile kayma düzlemi arasında ki düşey mesafe olmasıdır. Ek I'de sonsuz yamaçla ilgili olarak bir örnek çözülmüştür.



Şekil 8.4.: Sonsuz Yamaçlarda Duraylık Hesabı İçin Abak

### 8.3.2.2. Stabilitenin dilim Yöntemleriyle Hesaplanması

Kayma yüzeyinin düzlemselden bir eğri biçimine yönelmesi durumunda analiz denge kaybının dairesel bir kesitte oluştuğunu kabulüne göre yapılır. Dairesel kitlenin kayma yüzeyinde belirli bir normal gerilme dağılımı varsayımı ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen dilim yöntemleri kitleyi düşey dilimlere bölmenin sonuçlara olumlu katkı getirmesini öngörmüştür.

Adi dilim yöntemi olarak da bilinen Fellenius yönteminde (OMS) yanal kuvvetler bileşkesinin her dilimin tabanına paralel etkidiği kabulü yapıldığından tabana dikey kuvvetler etkilenmemekte, böylece elde edilen güvenlik sayısı en düşük düzeyde çıkmaktadır. Boşluk suyu basınçlarının yüksek, yamaç eğiminin düşük olduğu durumlarda % 50 ye varabilen hatanın genelde gerçek güvenlik sayısından %10 düşük olduğu söylenebilir.

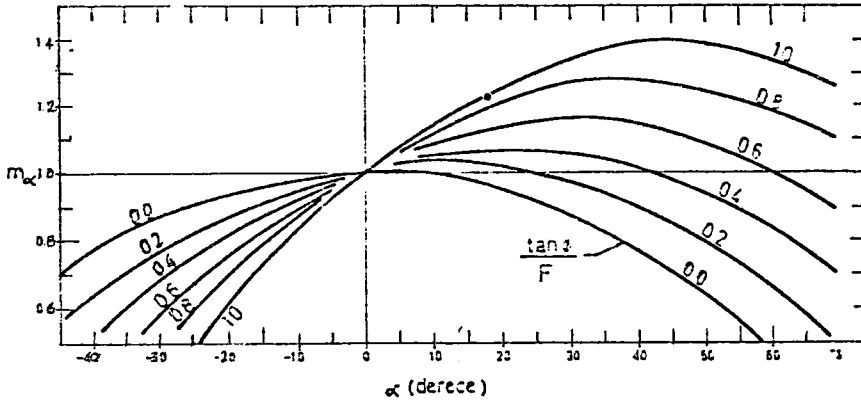
$$F = \frac{\sum (\cos \alpha - u w l) \tan \phi + \sum c l}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots 8.6$$

Formülü ile hesaplanan güvenlik sayısı geleneksel olması nedeniyle önem taşımaktadır. Terzaghi ve Peck tarafından kısmen batık yamaçlara uyarlanan sadeleştirilmiş Bishop yönteminde dilimlere etkileyen yanal kuvvetlerin yatay olduğu kabulü yapıldığından çözüm kolaylaşmaktadır. Güvenlik sayısı

$$F = \frac{\sum \frac{1}{m} \alpha}{\sum (W_a + W_b) \sin \alpha} \{cb + (W_a + W_b - u_w b) \tan \phi\} \dots\dots\dots 8.7$$

- |                                                 |                                          |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
| A : sonsuz yamaçta katsayı                      | $W_b$ : batık durumdaki zemin ağırlığı   |
| B : sonsuz yamaçta katsayı                      | X : YASS nin kayaktan yüksekliği (dikey) |
| H : yamaç düşey yükseklik                       | B : dilimlerin genişliği                 |
| T : kayan kitlenin kayma yüzeyine dik kalınlığı | I : dilim tabanında yay uzunluğu         |
| W : toplam zemin ağırlığı                       | $r_u$ : boşluk suyu basıncı katsayısı    |
| $W_a$ : YASS üstünde zemin ağırlığı             |                                          |

Şeklinde ifade edilirken çıkacak sonucun her durumda OMS dekinden daha yüksek ve gerçeğe yakın olması beklenmelidir. Bu yöntemin eksikliği güvenlik sayısının bir'den küçük kayma yüzeyinin derin olduğu durumlarda hataların artması; yamaçta farklı kayma dirençli zeminler olması durumunda uygulama zorlukları görülmesidir. Formül 8.7 de görülen  $m_\alpha$  katsayısı güvenlik sayısını içerdiğinden (şekil 8.5) bu yöntemde çözüme doğrudan ulaşılmamakta, kabul edilmiş bir F değerinin doğruluğu önce kontrol edilmektedir. OMS ve sadeleştirilmiş Bishop yöntemleri ile ilgili örnek EK-II'de verilmektedir.



Şekil 8.5: Bishop Yönteminde  $m_\alpha$  Eğrileri

### 8.3.3.3. Kama Analizi ile Stabilit 

Stabilitenin kama analizi ile incelenmesi özellikle su yapılarının incelenmesinde ilgi çeken bir yaklaşı  olmuştur. Getirdiği esneklik nedeniyle değişik şartlarda kolaylıkla uygulanabilir. Çözümde kayma olasılığı olan bölge 2,3 veya daha fazla dilime bölünerek her kamanın dengesi incelenir. Sonuçta kamalarda yatay ve düşey kuvvetler dengesi sağlanmaktadır. Ancak kamalar arası kuvvetlerin eğimi için kabul yapılması gerekmektedir. Eğer yataylık varsayılırsa bulunacak güvenlik sayısı bir minimum değer taşıyacaktır. Bir başka kabul de eğimin yamacın yüzey eğimi ile kayma direnci açısı arasında bir değer aldığıdır. Her iki durumda da hatanın % 15'i geçmemesi gerekmektedir.

Çizimle veya analitik yöntemle yapılabilen hesaplamalarda güvenlik sayısı için bir kabul yapmasıyla ba lanır. (C) ve  $\tan(\phi)$  nin uygulanan değerleri gerçek değerlerin güvenlik sayısına bölünmesiyle görülür. Her kamanın dengesi ayrı ayrı incelendiğinde son kamada bu dengenin sağlanıp sağlanmadığı incelenir. Sağlanmamı sa yeni ve ters yönde bir kabul yapılır. Ek III'te stabilitenin kama yöntemiyle, ve çizimle bulunması açıkça gösterilmektedir.

## 9. KAYA ŞEVLERİNDE STABİLİTE (DURAYLIK) ANALİZİ YÖNTEMLERİ

Kaya Şevlerin stabilite analizleri için çeşitli yollar ileri sürülmekte ve herkes tarafından belli koşullar altında kolayca uygulanabilecek çözüm ve çizim yöntemleri bulunmağa çalışılmaktadır. Fakat doğa da bir durum diğerine uymakta, s resizliklerin eğimi, yüksekliliği, çatlak geometrisi, pürüzsüzlüğü, dolgu malzemesi ve su durumu her zaman deği ebildiğinden, kaya Şevlerin stabilitesi için, bu kadar dek herkes tarafından uygulanabilecek bir formül, bir abak bulunmamıştır. Bununla beraber birçok araştırmacı, çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiş olup bunlardan önerilmiştir. En çok kullanılan duraylık analiz yöntemleri Şunlardır:

1. Ampirik yöntemler
2. Gerilme analiz yöntemleri

- Fotoelastisite yöntemleri
- Sonlu elemanlar yöntem
- 3. Limit denge yöntemi
- Vektörel analitik yöntem
- 4. Stereografik izdüşüm yöntemi
- 5. Fiziksel model yöntemleri
- Hareketsiz ölçekli (scaled) model yöntemi
- Hareketli (Kinematik) model yöntemi

### 9.1. AMPRİK YÖNTEM

Kazılacak bir kayaya verilmesi istenilen şev açısı en genel durumda, civar yamaçlara ya da kazılara bakılarak saptanabilir. Verilecek şev açısının derecesi, kazı civarında yamaçlarda istatistiksel ölçülerden ya da aynı malzeme üzerinde daha önce yapılmış araştırmalardan çalışmalardan elde edilen verilerin korelasyonu ve yardımı ile belirlenerek, kazı ampirik olarak projelendirilir. Burada projeyi yapanın ön çalışmaları, tecrübe ve yetenekleri önemlidir.

Halen bir çok kazılarda “Kaz ve Dene” yolu ile işler yürütülmektedir. Yani şu cins taşlara şu kadar eğim, şu tip taşlara da şu derece eğim verilmesi zorunludur diye bir yöntem yoktur. Gerek arazi ve gerek laboratuvar çalışmalarıyla formül ve abaklar bulunmağa çalışılmaktadır.

K. Terzaghi, 1962’de zemin mekaniğinde uygulanan yöntemlerden yararlanarak ayrışmamış sert kayalarda yapılacak şevlerin stabilitesi için bir takım öneriler yapmış ve

$$\tau_1 = c_1 + (\sigma - u) \tan \phi \dots\dots\dots 9.1$$

$$c_1 = c \cdot \frac{A_g}{A} \dots\dots\dots 9.2$$

Amprık formülünü vermiştir.

Burada; ( $c_1 < c$ )

$c_1$  = Etkin (efektif kohezyon)

$c$  = Kohezyon,

$A$  = Çatlak İncelenmesi yapılan alan,

$A_g$  = Bu alan içindeki çatlakların tüm alanıdır.

Zemin mekaniğinde  $c$  ve  $\emptyset$  değeri laboratuvar deneyleriyle bulunur. Fakat Terzaghi'nin çatlaklı kayalar için formüle ettiği  $C_1$  değerini saptayacak bir yöntem bugüne kadar bulunamamıştır. Bundan dolayı çatlaklı sert kayalarda oluşturulacak şevlerin stabilitesine bir çok parametrelerin etki yaptığı anlaşılmıştır.

Yukardaki formülde; Kohezyon ve boşluksuyu basıncı,

$$C_1 = 0$$

$$U = 0 \text{ alınırsa}$$

$$\tau_1 = \sigma \tan \emptyset \text{ elde edilir}$$

$W$  ağırlığında olan ve  $\beta$  eğim açılı bir süreksizlik düzlemi üzerinde bulunan bir bloğun normal ve teğet bileşenleri yukarı ki ifade de yerine konulduğunda

$$W \cdot \sin \beta \cdot G_s = W \cdot \cos \beta \cdot \tan \emptyset \dots\dots\dots 9.3$$

$$G_s = \frac{\tan \emptyset}{\tan \beta} \dots\dots\dots 9.4$$

bulunur.

Buradan görüleceği gibi kritik şev açısının saptanmasında (süreksizlik yüzeylerinde boşluksuyu basıncı ve kohezyonun sıfır olması halinde) sürtünme açısı ve süreksizliğin eğimi etkili görülmektedir. Halbuki bugün duraylığa jeolojik bir çok parametrelerin de ayrıca etki yaptığı bilinmektedir.

Laboratuvarda bazı kayalar üzerinde yapılan deneylerle bulunan içsel sürtünme ( $\emptyset$ ) açıları şöyledir:

| <u>Kayaç türü</u> | <u><math>\emptyset</math></u> |
|-------------------|-------------------------------|
| Riyolit           | 36                            |
| Andezit           | 33-35                         |
| Kalker            | 35                            |
| Killi Kalker      | 36                            |
| Konglomera        | 35-36                         |

Bununla beraber genellikle  $\emptyset_{\text{ort}} = 30^{\circ}$  alınmaktadır.

K. Terzaghi sert, çatlaklı kayalar için tabaka ve çatlak durumlarına göre verilmiş uygun şev açılarını Şekil 7.8'deki gibi ampirik olarak önermiştir. Burada ( $\emptyset$ ) içsel sürtünme açısı, ( $\beta$ ) tabaka eğimi ( $\gamma$ ) ve ( $\tau$ ) çatlak düzlemleri eğimidir. Çeşitli tabaka ve çatlak durumlarına göre kritik şev açısı ( $\alpha_c$ ) şekil 9.1 de görüldüğü gibi şöyle özetlenebilir.

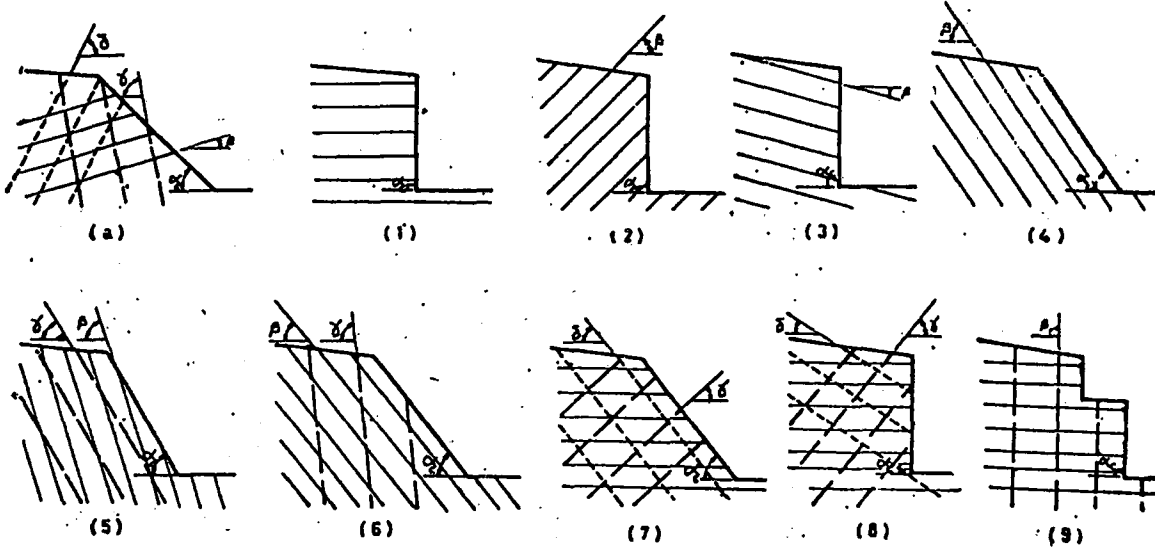
1. Tabakalar yatay ve çatlaksız ise;  
 $\alpha_c = 90^{\circ}$
2. Tabakalar şev içine doğru eğimli ve çatlaksız ise;  
 $\alpha_c = 90^{\circ}$
3. Tabakalar şev dışına doğru eğimli ve çatlaksız ise;  
 $\emptyset > \beta$  için  $\alpha_c = 90^{\circ}$
4.  $\emptyset < \beta$  için  $\alpha_c = \beta$

Tabakalar şev dışında eğimli ve çatlaklar da şev dışına doğru eğimli ise, kayma durumunu süreksizliklerin sürtünme katsayıları belirler.

Yani

4.  $\beta > \emptyset > \gamma$  için  $\alpha_c = \gamma$
5.  $\gamma > \emptyset = \beta$  için  $\alpha_c = \beta$

Tabakalar yatay, bir çatlak ( $\gamma$ ) şev içine doğru, diğer çatlak ( $\delta$ ) şev dışına doğru ise, kayma ancak şev dışında doğru olabilir ve bu durumda:



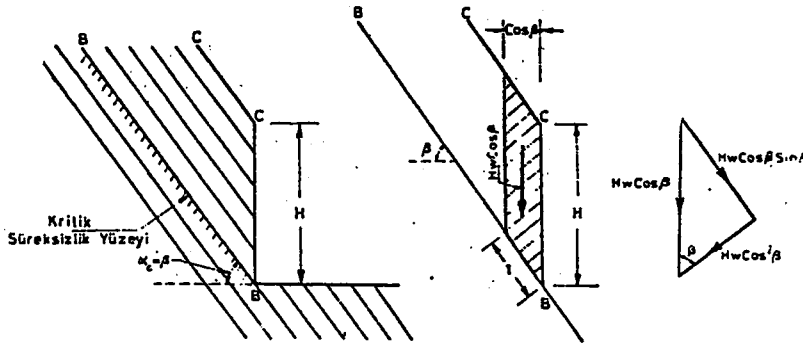
Şekil : 9.1. Tabaka ve çatlakların durumlarına göre şevlere verilmesi uygun kritik şev açıları (Terzaghi'nin verilerine göre düzenlenmiştir)

6.  $\delta = \emptyset$  için  $\alpha_c = \delta$
7.  $\delta < \emptyset$  için  $\alpha_c = 90^\circ$  dir.

Tabakalar yatay ve düşey çatlaklı ise düzlemler boyunca kayma olmaz. Bu durumda ancak düşmeleri önlemek için şevde uygun yükseklikte kademeler yapılmaktadır.

9.  $\alpha_c = 90^\circ$

Yukarıdaki bağıntılar kayaların sistematik şekilde süreksizlik düzlemleri ile kesildiği ve bunlar arasının tamamen boş ( $C_1 = 0$  ve  $u = 0$ ) olduğu varsayımına göre verilmiştir. Doğada çoğunlukla bu varsayımların bulunması mümkün olmaz. Eğer tabakalaşma düzlemleri arası boş değil, etkin kohezyonu  $C_1$  olan bir malzeme ile doldurulmuşsa, şev belirli bir  $H$  yüksekliğine kadar  $90^\circ$  eğimle, daha sonra ise tabaka eğimi altında kazılabilir. Düşey olarak açılacak  $H$  yüksekliğinin hesabı için, kalınlığı birim olan bir kaya bloğu gözününe alınır. (şekil 9.2)



Şekil 9.2. Süreksizlikleri kohezyonlu malzeme ile dolmuş çatlaklı kayalara verilecek eğim. (Terzaghi'den)

$$T = C_1 + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi_1 \dots \dots \dots 9.5$$

Genel kayma denkleminde, bloğa etkiyen tutucu ve kaydırıcı kuvvetlerin denge şartından ( $u=0$ ):

$$H \cdot W \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta = C_1 + H \cdot W \cdot \cos^2 \beta \operatorname{tg} \phi_1 \dots \dots \dots 9.6$$

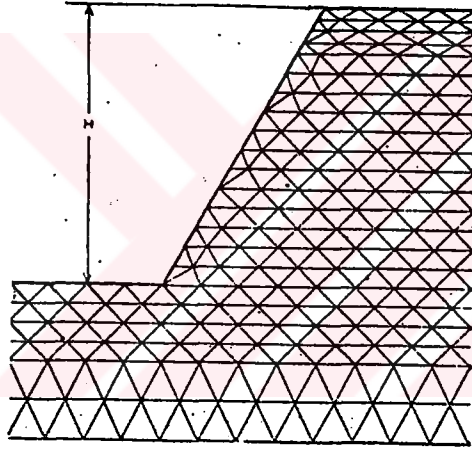
$$H = \frac{C_1}{W \cos \alpha (\sin \beta \operatorname{tg} \phi_1)} \text{ elde edilir} \dots \dots \dots 9.7$$

Doğada genellikle rastlanır bir hal olan boşluk suyu basıncının ( $u$ ) varlığı halinde hesaplanan bu  $H$  değerinin daha da küçük olması gerekir. Ancak bilinmeyenlerin çok olduğu doğada bu tip problemlerde mühendisin deneyimi ve önsezisi çok önemlidir.

## 9.2. GERİLME ANALİZİ YÖNTEMLERİ

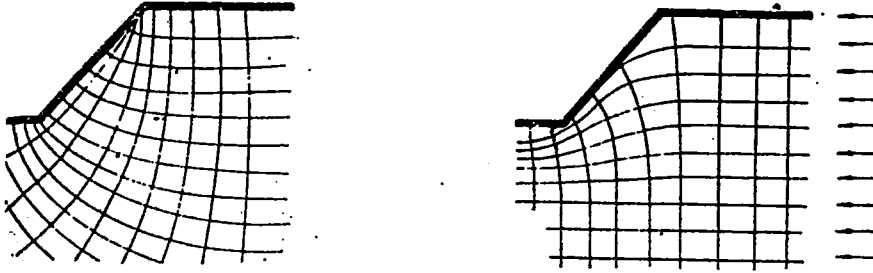
Gerilmenin fazla olduğu ortamlarda yapılan kazılara verilecek eğimlerin bulunmasında, sürekli ortamlara uygulanan Elastisite ve Sonlu Elemanlar Yöntemleri uygulanarak kaya şevlerinin stabilite analizleri yapılmaktadır. Fakat kaya şevlerinin stabilitesinde, şevlere gelen gerilmeler, çok yüksek olmadığından ve kaya kitleleri süreksizliklerle sınırlanmış bulunduğundan,

ortam yüksek basınçlı ve sürekli imiş gibi var sayılamamaktadır. Dolayısıyla çatlak ve faylarla sınırlanmış, ortama gelen gerilmeler kayma gerilmesine dönüşür ve süreksizlik düzlemleri üzerinde kaymalar oluşur. Bundan dolayı süreksiz olan çatlaklı kaya şevlerine, sürekli ortamlar teorilerini uygulamak yanlış sonuçlar verir. Ancak bu tür bir analiz, büyük bir şevde genel değişme ve yer altı suyu etkisini gösterme açısından yararlı olabilir. Son yıllarda, sürekli ortamlar teorisi bazı haller için, örneğin büyük ve tehlikeli süreksizliklerin bulunmadığı ve süreksizliklerin ufak bir alanda yer aldığı durumlarda uygulanmış ve olumlu sonuçlar vermiştir. Ayrıca son yıllarda, süreksiz ve elastoplastik malzeme özeliği gösteren kaya ortamlara, yöntem uygulanmaya başlanmıştır.



Şekil 9.3. Bir şevde sonlu elemanlar yöntemi için üçgen ve düğüm noktalarının oluşturulması.

Şekil 9.3’de gösterildiği gibi, bir şevde düşey ve yatay gerilmeler, basit gerilme ağları çizilerek bulunmaktadır. Bu şevlerde ana gerilmelerin çoğu yer çekiminden doğmakta, düşey ve yatay doğrultuda bulunmaktadır. Esas ve ikincil gerilme ağları birbirlerine dik açılarla keser ve kesişme sonucu oluşan şekiller eşit kenarlı olur. Çizim tatonman yolu ile yapılır. Örneğin, şevlerde bu yöntemle, normal gerilmelerin topukta olduğu ve kazının altında yatay gerilmelerin toplandığı görülür (Şekil 9.4).

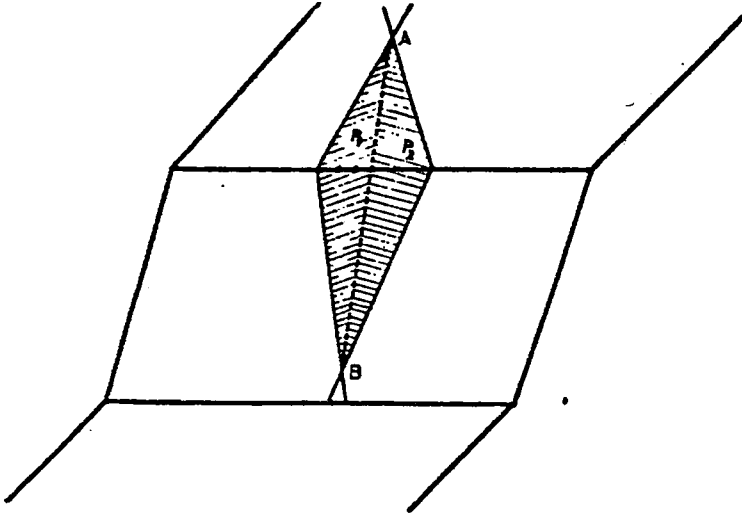


Şekil: 9.4- Bir şevin çeşitli bölgelerinde yerçekimi (sol) ve yatay kalıcı gerilmelerin akıları (sağ). (Müllerden)

Sonlu elemanlar metodu şevlere uygulanırken şev ve civarı, yatay, düşey ve verev çizgilerle Şekil 9.3'daki gibi kısımlara ayrılır, bu elemanların köşe noktaları olan düğüm noktaları (nodal pointas) saptanır, usulüne göre numaralanın ve buralara gelmesi olası yükler altında bu noktaların deformasyonları, elemanların mekanik özelliklerinin fonksiyonu olarak ele alınır ve ortamı oluşturan çok sayıda elemanların düğüm noktalarındaki deformasyon değerleri bilgisayarla bulunur. Bunlar yardımıyla da, düğüm noktalarına etkiyen gerilmeler ve tüm sistemin duraylılığı saptanır.

### 9.3. ANALİTİK YÖNTEM

Bu yöntemde çatlaklar arasında kalan kaya blokları, rijit bloklar olarak kabul edilir ve stabilizeye statik bir problem olarak bakılıp vektör analizleri uygulanarak problem çözülür (Wittke 1965, Goodman, Taylor 1966). Burada bloklarda ve dörtyüzlü (teraeder)lerde hareket kayma, dönme ya da bunların karışımı şeklinde olabilir. Bu hareket bir yüz üzerinde ya da iki yüzün arakesiti üzerinde (şekil 9.5) oluşur. Bazan da bir blok diğeri içine girere. Bu son hal için blokların rijitliği varsayımı ortadan kalktığından stabilize analizi, süreksizlik düzlemleri üzerinde kayan bloğun duraylılığının araştırılması şeklinde yapılamaz.



Şekil 9.5:- Bir şevde süreksizlikler nedeniyle oluşan kama.

Süreksizlik düzlemleri üzerinde kayma olasılığı bulunan bloğun duraylılığı, kaydıran ve kaymaya engel olan kuvvetlerin dengesi incelenerek bulunabilir. Kayma yüzeyleri üzerindeki engelleyici gerilmeler Coulomb'un kohezyonlu ve içsel sürtünmeli türde kayma direncini veren:

$$T = C + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots 9.8$$

formülüne uygundur diye düşünülür.

Süreksizlikler arazi çalışmalarından ve ayrıntılı jeolojik haritalarından bulunur ve yapılan çalışmalar ve kesitlerle kayması muhtemel bloklar saptanır. Buraya gelecek kuvvetler yönleri ve büyüklükleri, tek bir bloğa uygulanarak analizleri yapılır. Hareket etmesi olası (Kayma, dönme, arakesit) şekle göre problem ayrı ayrı ele alınır.

#### 9.4. STEREOGRAFİK İZDÜŞÜM YÖNTEMİ

Çatlaklı kayalarda oluşturulan şevlerin stabilitesinde son yıllarda Stereografik izdüşüm (projeksiyon) yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Arazide ölçülen ve haritaya geçirilen süreksizler (çatlak fay, tabakalaşma, şistiyet ve foliasyon) ayrıntılı olarak incelenir, stabilizeye etki yapması olası olan yüzeyler ve arakesitler saptanır.

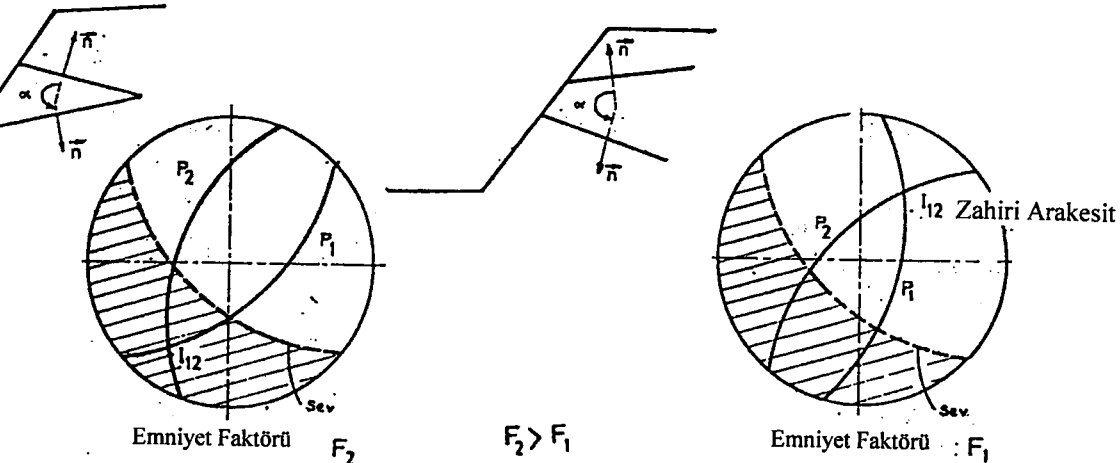
Bu yüzeysel ve çizgisel arakesitler, belli yöntemler izlenerek, stereografik projeksiyon üzerinde kolayca gösterilmekte ve duraylık analizi 3 boyutlu olarak yapılabilmektedir. Stereografik ağ, üzerinde bütün büyük ve küçük daireleri olan küreyi düzlemsel olarak gösteren bir şekildir. Bu şekil, düzlem ve çizgilerle ilgili problemleri üç boyutlu göstermek için ideal bir araçtır. İstatiksel bilgilerle ilgili problemleri üç boyutlu göstermek için ideal bir araçtır. İstatiksel bilgileri ve jeolojik verileri göstermede kullanılan eş-alan projeksiyonundan farklıdır.

Stereografik yöntemle analizde, önceden bazı varsayımlar önerilir bunların en önemlileri şunlardır:

- Her blok ayrı ve rijittir.
- Hareket düzlem ve arakesitler üzerinde olur.
- Hareket dönme şeklinde değil kayma şeklindedir.
- Süreksizlik yüzeyleri Coulomb tipi (Kohezyonlu ve Kayma dirençli) dir.
- Hareket ettiren kuvvet.
- $F_m = \sum W + T + U + C$  sonucu oluşmaktadır. Burada:

W = Toplam blok ağırlığı,  
T = Üzerindeki yapıların etkisi,  
U = Su basıncı,  
C = Deprem etkisi dir.

Burada stabilite süreksizliklerle oluşan kamaların durumuna dışa ya da içe bakışına ve kuvvetler bileşkesinin R nin doğrultusuna bağlıdır (Şekil 9.5)



Şekil : 9.6 Şevlerde dışa ve içe bakan kamaların stereografik izdüşümleri ve emniyet faktörleri.

### 9.5. Fiziksel Model Yöntemi

Son yıllarda kaya şevlerin ve kaya kazılarının duraylıkları çeşitli model deneyleriyle araştırılmaktadır. Duraylık analizlerinde çoğun hareketli (Kinematik) ya da ölçekli (scaled) model deneyleri kullanılmaktadır.

Ölçekli ve hareketli model deneyi çalışmalarında kullanılacak malzemenin özelliklerinin bilinmesi doğadakilere benzer malzemenin bulunması ve deney yöntemleri ayrı birer problem ve araştırma konularıdır. Son yıllarda bu hususlarda pek çok çalışma yapılmıştır. Kinematik model çalışmalarında doğada görülen kayma ve kırılmalar ve bunlara sebep olan Jeolojik faktörler, laboratuarlarda hazırlanan numuneler üzerinde, benzetilerek oluşturulur. Bu esnada bloklarda meydana getirilen hareketlerin oluşu, gelişimi ve çeşitli jeolojik faktörlerin örneğin, çatlak sıklığı, aralığı, ve şeklinin etkisi ve birbirleriyle olan ilişkileri saptanır. Doğada uzun sürede gelişen olaylar kısa bir sürede ve bir arada gözlenir. Çatlaklı kayaların bloklardan oluştuğu, yapılan şevlerin topuk, orta ve tepe kısımlarında blokların bir yüzey ya da arakesit boyunca hareket ettiği ve devrildiği görülür. Şevin nerelerinde boşlukların ve oyukların geliştiği, blokların hangi kısımlarda kırılıp parçalandığı ve blokların serbestlik derecesi saptanır

## SONUÇ VE ÖNERİLER

### Şevlerde stabilite sorunlarını doğuran sebepler:

- 1- Düşmeler
- 2- Hızlı ve yavaş akmlar
- 3- Heyelanlar
- 4- Kaymalar
- 5- Devrilmeler
- 6- Çökmeler
- 7- Karmaşık hareketler olarak sınıflandırılabilir.

Yer kabuğu iç ve dış olaylar etkisiyle çeşitli Jeomorfolojik şekiller kazanmıştır. Belli bir bölgeyi oluşturan litolojiler malzeme, tektonik jeolojik evrim, iklim koşullar ve başka bir çok unsur jeomorfolojik şekillerin oluşumunu denetler. Şev ve yamaçların jeomorfolojik incelenmeside bu kapsamda ele alınmalıdır.

Mühendislik yapılarının şevler üzerinde veya şevlerin yakınında inşa edilebilmesi için şevlerin stabilitesini sağlayacak tedbirler öncelikle alınmalıdır.

### Şevlerin Stabilesinin Etütü;

- 1- Doğada eğik yamaçlarda meydana gelecek heyelan ve kaymaların önceden saptanması ve korunma, önleme işlemlerinin belirlenmesi,
- 2- Yol yapımında oluşturulan yapay şevlere gerekli stabil durumun verilmesi kayma olasılıklarını giderilmesi,
- 3- Doğal veya yapay şevlerde oluşan kayma ve heyelanların düzeltilmesi, sağlamlaştırılması sorunlarının çözümü amacıyla yapılmaktadır.

Genel olarak, Mühendislik uygulamalarında tasarım aşamasında incelenen yapının geometrik ve malzeme özelliklerini, bu yapıyı etkileyecek güçlerin biçimini değerini ve süresini bu yükler altında yapının davranışların önceden hesaplayabilmek ve böylece bir boyutlandırma yapabilmek amacıyla değişik bağıntılar ve yöntemler geliştirmiştir.

### **Yamaç stabilitesinin hesabında**

- 1- Sonsuz yamaçta stabilite analizi,
- 2- Stabilitenin Dilim yöntemiyle hesaplanması,
- 3- Stabilitenin Kama analiziyle incelenmesi mümkünken,

### **Kaya şevlerinde Stabilite analizi yöntemleri olarak**

- 1- Amprik yöntemler,
- 2- Gerilme analizi yöntemleri,
- 3- Limit denge yöntemi,
- 4- Stereografik izdüşüm yöntemi,
- 5- Fiziksel model yöntemlerinden en çok kullanılan metotlar olarak

bahsetmek mümkündür.

### **Şevlerdeki heyelanların sağlamlaştırılmasında başlıca alınacak tedbirler;**

- 1 – Heyelan olan kesimden eksende yeterli bir ripaj yaparak yolu uzaklaştırmak,
- 2 – Yolda kırmızı çizgiyi yükseltmek,
- 3 – Yüzeysel drenaj yapmak,
- 4 – Derin yer altı Drenajı yapmak,
- 5 – Kayan zemini kaldırmak, geri kalan zeminde yükleri azaltmak, şev eğimini yatıklaştırmak,
- 6 - Etek ve Topuk kesimine karşılayıcı yükler koymak,
- 7 – Kaya şevlerinde basamak yapmak,
- 8 – Şev yüzeylerin bitkilendirilmesi olarak sayılabilir.

Şev stabilitesinde zemin ankrajları, kazı şevlerinin tutulmasında desteklenmesinde, istinat duvarı, yüksek kule ve benzeri yapıların temelleri ile yer altı suyunun kaldırma etkisine karşı yapı temellerinin tespitinde tabii ve suni şevlerin güvenliğinin artırılmasında kullanılmaktadır.

Şevlerin stabilite bozulmalarının oluşumu başlamadan önce alınacak önlemlerin etkinliği ve başarı şansı, şev stabilitesi bozulduktan sonra alınacak tedbirlerin başarılı olma ihtimaline göre daha fazla olup, maliyeti daha düşüktür.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

ANSAL Atilla, Şevlerde Risk Analizi Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri Cilt II, DSİ Samsun 1987.

ATALAY İzzet ve ARICA Şükrü, Yıl Yapım Notları, T.C.K. Matbaası, Ankara 1997.

ÇAĞLAYAN Burhan, Yol Yapım Tekniği, T.C.K. Matbaası, Ankara 1986.

ERGUVANLI Kemal, Mühendislik Jeolojisi, Seç Yayını, İstanbul 1995.

EROSKAY Okay, “Şev ve Yamaçların Jeomorfolojik İncelenmesi”, Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri, Cilt: II, D.S.İ., Samsun 1987.

GÜLTEKİN Bülent, “Yamaç ve Şev Kaymaları ve Alınacak Önlemler”, Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Dayanma Yapıları semineri, Cilt: II, D.S.İ., Samsun 1987.

LOEK E.& BARY J.W., Kaya Şevlerinin Stabilitesi, Kazan Ofset Maden M.O., Ankara 1995

İNCECİK Mete, “Şev Stabilitesinde Ankraj Tekniği”, Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri, Cilt: II, D.S.İ., Samsun 1987.

M.T.A. , Şev Stabilité Analizlerinde Kullanılan Pratik Yöntemler, Jeoteknik Çalışmalar, M.T.A. Matbaası, Ankara 1987.

KUMBASAR Vahit, ÜLKER Remzi, Yamaç ve Şevlerin Stabilitésinin İncelenmesinde Arazi ve Laboratuar Çalışmaları Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri, Cilt II D.S.İ. Samsun 1987.

ULUSAY Reşad, Pratik Jeoteknik Bilgiler, Teknomad Yayınları, Ankara 1989.

UTKU Turhan, Teori ve Tatbikatta Heyelanlar, T.C.K. Matbaası, Ankara 1975.

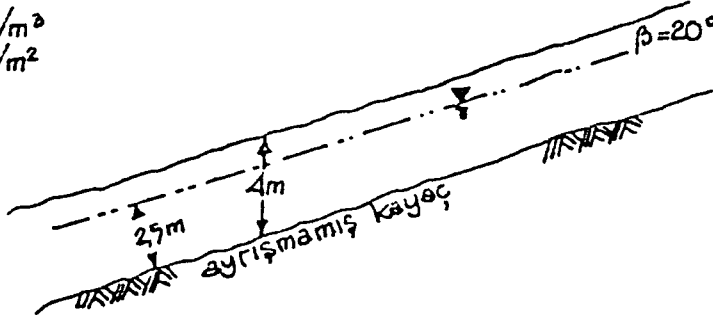
YÜZER Erdoğan ve VARDAR Mahir, Kaya Mekaniği Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul 1997.

YÜZER Erdoğan, “Yamaç ve Şevlerde Stabilité Bozulmalarını Denetleyen Etmenler”, Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri, Cilt: II, D.S.İ. , Samsun 1987.

## EK-I SONSUZ YAMAÇTA DURAYLIĞIN İNCELENMESİ

DURAYLIK YAMACA PARALEL; VE YATAY AKIMLAR İÇİN BULUNACAK

$$\begin{aligned}\gamma &= 1,92 \text{ T/m}^3 \\ c' &= 1,50 \text{ T/m}^2 \\ \phi' &= 30^\circ\end{aligned}$$



(a) YÜZEYE PARALEL SIZINTI DURUMU  $X = 2,5 \text{ m}$   $T = 4 \times \cos 20^\circ = 3,76 \text{ m}$

$$r_u = \frac{X}{T} \frac{\gamma_w}{\gamma} \cos^2 \beta = \frac{2,5}{3,76} \frac{1,00}{1,92} \cos^2 20^\circ = 0,31$$

ŞEKİL-B4'TEN  $\cot \beta = 2,75$   $r_u = 0,3$  İLE  $A = 0,68$   $B = 3,1$

$$\text{BURADAN } F = A \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} + B \frac{c'}{\gamma H} = 0,68 \frac{0,577}{0,364} + 3,1 \frac{1,5}{1,92 \times 4} = 1,68$$

(b) YATAY SIZINTI DURUMU  $\theta = 0^\circ$

$$r_u = \frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{1}{1 + \tan \beta \tan \theta} = 0,67$$

ŞEKİL-B4'TEN  $\cot \beta = 2,75$   $r_u = 0,67$  İLE  $A = 0,27$   $B = 3,1$

$$\text{BURADAN } F = A \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} + B \frac{c'}{\gamma H} = 0,27 \frac{0,577}{0,364} + 3,1 \frac{1,5}{1,92 \times 4} = 1,03$$

SIZINTININ YAMACA PARALEL DURUMDAN YATAYA YÖNELMESİYLE GÜVENLİK SAYISINDA ÖNEMLİ AZALMA OLUYOR.

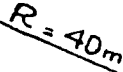
ЕК-IIА

HETEROGEN YAMAÇTA OMS YÖNTEMİYLE TOPLAM  
GERİLME ANALİZİ

|   |      |     |    |
|---|------|-----|----|
| A | 1,76 | 0,3 | 35 |
|---|------|-----|----|

|   |      |     |    |
|---|------|-----|----|
| B | 1,68 | 0,7 | 30 |
|---|------|-----|----|

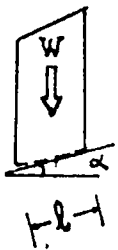
C 1,76 0,35 5,



1. DENEME DAİRELERİNİN SEÇİMİNDE, VEYA DİLİMLEMEDE, DİLİM TABANLARININ TEK MALZEMEDE KALMASINA ÖZEN GÖSTERİLMELİDİR
2. DİLİM SAYISI 10 CİVARINDA VE TERCİHAN EŞİT GENİSLİKTE ( $\Delta x$ ) OLMALI
3. EĞER YAMAÇ DIŞINDA SU VARSA O DA KAYMA DİRENCİ OLMAYAN AYRI DİLİMLER HALİNDE GÖSTERİLMELİDİR.

| DILIM | W     | l    | $\alpha$ | c    | $u_w$ | $u_w \cdot l$ | $W \cos \alpha$ | $W \cos \alpha - u_w \cdot l$ | $\tan \phi$ | $\phi$ | cl  | $W \sin \alpha$ |
|-------|-------|------|----------|------|-------|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------|--------|-----|-----------------|
|       | 1     | 2    | 3        | 4    | 5     | 6             | 7               | 8                             | 9           | 10     | 11  | 12              |
| 1     | 69,1  | 11,9 | -35      | 0,5  |       |               | 53,3            |                               | 0,577       | 30,8   | 6,0 | -37,3           |
| 2     | 77,3  | 9,8  | -21      | 0,35 |       |               | 71,8            |                               | 0,087       | 6,3    | 3,4 | -27,7           |
| 3     | 284,6 | 11,2 | -8       | 0,35 |       |               | 281,8           |                               | "           | 24,6   | 39  | -39,6           |
| 4     | 337,3 | 9,6  | 7        | 0,35 |       |               | 334,8           |                               | "           | 29,3   | 3,4 | 41,1            |
| 5     | 329,6 | 8,4  | 19       | 0,35 |       |               | 311,6           |                               | "           | 27,2   | 29  | 107,3           |
| 6     | 254,8 | 12,5 | 37       | 0,50 |       |               | 203,5           |                               | "           | 117,4  | 6,3 | 153,3           |
| 7     | 113,3 | 14,6 | 53       | 0,30 |       |               | 68,2            |                               | 0,70        | 37,3   | 4,4 | 90,5            |

$$\Sigma 272,9 \quad 30,6 \quad 287,6$$



$$F = \frac{\sum (W \cos \alpha - u_w l) \tan \phi + \sum c l}{\sum W \sin \alpha} = \frac{272,9 + 30,6}{287,6} = 1,06$$

## EK-II B

### HETEROGEN YAMAÇTA SADELEŞTİRİLMİŞ BISHOP YÖNTEMİ İLE TOPLAM GERİLME ANALİZİ

1. BISHOP YÖNTEMİNDE ZEMİNİN KAYMA DİRENCİNİN YEREL DEĞİŞİKLİK GÖSTERMESİ ÖNGÖRÜLMEMİŞTİR. BU ÇÖZÜM OMS İLE KARŞILAŞTIRMA AMACIYLA VERİLMEKTEDİR.

| DİLİM | W     | $\alpha$ | $\sin \alpha$ | $W \sin \alpha$ | $\tan \phi$ | c    | $c + \frac{W}{b} \tan \phi$ | ⑦.b  | $m_\alpha$ | ⑧/⑨  |
|-------|-------|----------|---------------|-----------------|-------------|------|-----------------------------|------|------------|------|
|       | 1     | 2        | 3             | 4               | 5           | 6    | 7                           | 8    | 9          | 10   |
| 1     | 65,1  | -35      | 0,574         | -37,3           | 0,577       | 0,50 | 4,79                        | -4,9 | 0,60       | 69,7 |
| 2     | 77,3  | -21      | 0,358         | -27,7           | 0,087       | 0,35 | 3,06                        | 30,6 | 0,83       | 36,9 |
| 3     | 284,6 | -8       | 0,139         | -39,6           | "           | "    | 1,09                        | 10,9 | 0,97       | 11,2 |
| 4     | 337,3 | 7        | 0,122         | 41,1            | "           | "    | 3,70                        | 32,4 | 1,01       | 32,1 |
| 5     | 329,6 | 19       | 0,326         | 107,3           | "           | "    | 9,63                        | 363  | 0,94       | 38,6 |
| 6     | 254,8 | 37       | 0,602         | 153,3           | "           | "    | 2,57                        | 25,7 | 0,82       | 31,3 |
| 7     | 113,3 | 53       | 0,798         | 90,5            | 0,700       | 0,30 | 9,31                        | 81,8 | 0,96       | 87,2 |

$\Sigma 190,6$

$\Sigma 259,6$

$\Sigma 305$

2. İLK GÜVENLİK SAYISI  $\Sigma ⑧ / \Sigma ④ = 259,6 \div 190,6 = 1,36$  OLARAK BULUNUR. BU DEĞER KULLANILARAK ŞEKİL-4 TEN  $m_\alpha$ 'LAR OKUNARAK KOLON ⑨ A İŞLENİR.

3. BURADAN

$$F = \frac{\Sigma c + \frac{W}{b} \tan \phi}{\Sigma W \sin \phi}$$

4. FORMÜLÜNÜN PAY TOPLAMI 305 OLARAK BULUNDUĞUNDAN GÜVENLİK SAYISI  $F = \Sigma ⑧ / \Sigma ④$  İLE 1,60 ÇIKAR. DEĞER 1,36 DAN

FARKLI OLDUĞUNDAN  $F \approx 1,5$  YENİ KABUL İLE ⑨ VE ⑩. KOLONLAR YENİDEN HESAPLANIR

5. BU İŞLEM KABUL EDİLEN VE YENİDEN HESAPLANAN F DEĞERLERİ EŞİT ÇIKANA KADAR TEKRARLANIR.

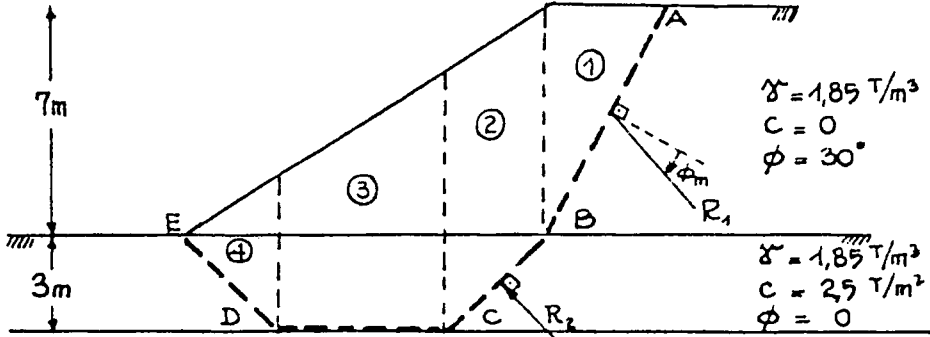
| DİLİM | $m_\alpha$ | ⑧/⑨  |
|-------|------------|------|
|       | 9          | 10   |
| 1     | 0,57       | 69,8 |
| 2     | 0,85       | 36,0 |
| 3     | 0,94       | 11,6 |
| 4     | 1,02       | 31,8 |
| 5     | 0,96       | 37,8 |
| 6     | 0,81       | 31,7 |
| 7     | 0,96       | 87,0 |

$\Sigma 306$

$$F = \frac{306}{191} = 1,60$$

# **EK - III HETEROGEN YAMAÇTA DENGENİN KAMA ANALİZİYLE HESAPLANMASI**

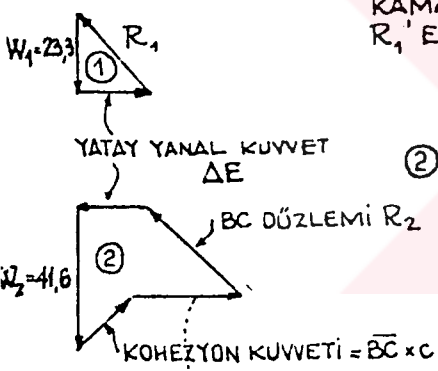
1. KAYMANIN OLUŞTUĞU KAMALAR BİLİNMIYORSA, KAYMA DÜZLEMLERİ EĞİMLERİ  $\theta_f = 45 \pm \phi/2$  KURALINDAN TAHMİN EDİLEBİLİR.
2. YAMAÇ KESİDİ ÖLÇEĞE ÇİZİLDİKTEN SONRA KAMA AĞIRLIKLARI HESAPLANIR VE HER KAMA İÇİN KUVVETLER POLİGONU YATAY DİLİMLERARASI KUVVET KABULUYLA YAPILIR



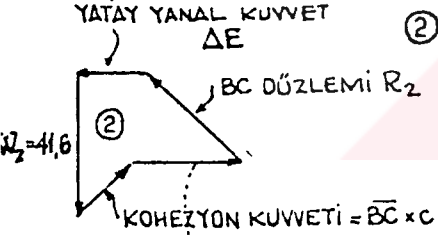
$W_1 = 23,31$   $W_2 = 41,62$   $W_3 = 60,12$   $W_4 = 13,88$  T OLARAK BULUNDU

DENEME İÇİN  $F = 1,5$  KABUL EDİLDİ :  $\phi_m = 21$  ,  $c = 1,67$

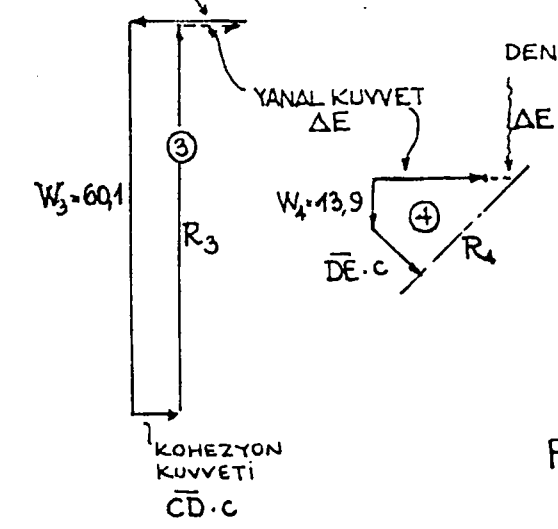
KAMA ① DE DİLİMLERARASI KUVVET, BİR YATAY VE  $R_1$ 'E ÇİZİLEN PARALELİN KESİŞMESİYLE ÇIKAR



②. KAMADA YUKARIDAN GELEN YANAL KUVVET VE AĞIRLIK, KOHEZYON KUVVETİ BİLİNİYOR POLİGON  $R_2$  YE PARALEL VE YATAY YANAL KUVVETİN KESİŞMESİYLE KAPATILIR



DENGESİZLİK MİKTARI 4,5T



SON POLİGON 4,5T İLE KAPANMADI ĞINDAN, YENİ DENEME DENGESİZLİĞİ TERS YÖNE CEVİRECEK  $F \sim 2$  İLE YAPILIR. DENGESİZLİK ÖRNEĞİN, + 6,8T ÇIKMIŞSA DENGEDURUMUNDA DOĞRU F ENTERPOLASYONLA BULUNUR : 1,7

