

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESTELEK BOR İŞLETMESİ, AÇIK İŞLETME DEKAPAJ SAHASI  
STABİLİTESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Gökçeçiçek BEKAROĞLU**

**Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği**

**Programı : Maden Mühendisliği**

**HAZİRAN 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESTELEK BOR İŞLETMESİ, AÇIK İŞLETME DEKAPAJ SAHASI  
STABİLİTESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Gökçeççek BEKAROĞLU  
(505081005)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Selamet G. ERÇELEBİ (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. E. Vural YAVUZ (İTÜ)  
Yrd. Doç. Dr. Atilla ÖZTÜRK (İTÜ)**

**HAZİRAN 2011**



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, Kestelek Bor Açık Ocak İşletmesi'nin dekapaj sahasının mevcut basamak ve nihai şevler için şev stabilite analizlerini yapmaktır.

Duraylılık analizi yapabilmek için öncelikle dekapaj sahasındaki mevcut basamakların ve şevlerin geometrisi tespit edilmiş, ocaktan alınan numunelerin laboratuvarında makaslama deneyi ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri bulunmuştur.

Dekapaj sahasının susuz ve sulu durumda şev stabilite analizleri Bishop Dairesel Kayma Analizi yöntemi ile elle hesaplanarak ve Galena bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir.

Haziran 2011

Gökçeçiçek BEKAROĞLU

Maden Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
SEMBOLLER .....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ŞEV STABİLİTESİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Şev Hakkında Genel Bilgi.....	3
2.2 Şev Türleri.....	4
2.2.1 Doğal yamaçlar .....	4
2.2.2 Mühendislik şevleri.....	5
2.3 Şev Stabilitesi Analizlerinin Amacı .....	5
2.4 Şev Kayma Şekilleri.....	6
2.4.1 Düzlemsel kayma şekilleri .....	7
2.4.1.1 Düzlemsel kayma.....	7
2.4.1.2 Basamak şeklinde kayma .....	8
2.4.1.3 Poligon türü kayma şekli.....	9
2.4.1.4 Kalın dilim kayma şekli .....	10
2.4.1.5 Kama türü kayma .....	10
2.4.2 Dairesel türü kayma .....	12
2.4.3 Devrilme türü kayma .....	13
2.4.4 Kaya düşmeleri .....	15
2.5 Kinematik Analiz Yöntemi .....	16
2.5.1 Düzlemsel kaymanın kinematik analizi .....	17
2.5.2 Kama türü kaymanın kinematik analizi .....	18
2.5.3 Devrilme türü kaymanın kinematik analizi.....	19
2.6 Limit Denge Analiz Yöntemleri.....	20
2.6.1 Düzlemsel kaymanın limit denge analizi .....	21
2.6.2 Dairesel kaymanın limit denge analizi.....	22
2.6.2.1 Bishop yöntemi .....	22
2.6.2.2 İsveç dilim yöntemi.....	25
2.6.2.3 Toplam gerilme analizi .....	26
<b>3. İŞLETMENİN TANITILMASI.....</b>	<b>29</b>
3.1 İnceleme Alanının Tanıtımı .....	29
3.2 İklim ve Meteoroloji Verileri .....	31
<b>4. JEOLJİK VE JEOTEKNİK DURUM.....</b>	<b>33</b>
4.1 Genel Jeoloji.....	33
4.2 Yapısal Jeoloji.....	34
4.3 Dekapaj Sahasının Jeolojisi.....	34
4.4 Jeoteknik Durum .....	34

4.5 Laboratuvarda Kesme Kutusu Deneyi .....	35
<b>5. DÖKÜM SAHASININ STABİLİTE ANALİZİ .....</b>	<b>41</b>
5.1 Basamak Yüksekliğinin ve Açısının Tayini .....	41
5.1.1 Susuz durumda Bishop dairesel kayma analizi .....	41
5.1.2. Basamak yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü sulu durumdayken Bishop dairesel kayma analizi .....	44
5.2. Basamak Genişliğinin Tayini .....	47
5.2.1 Susuz durumda Bishop dairesel kayma analizi .....	47
5.2.2. Basamak yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü sulu durumdayken Bishop dairesel kayma analizi .....	49
5.3. Döküm Sahasının Stabilesi .....	52
5.3.1 Bishop yöntemi kullanarak elle yapılan stabilite analizleri .....	52
5.3.1.1 Susuz durumda Bishop dairesel kayma analizi .....	52
5.3.1.2 Sulu durumda Bishop dairesel kayma analizi .....	54
5.3.2 Bilgisayar yazılımı kullanarak yapılan stabilite analizleri .....	57
5.3.2.1 Susuz durumda Bishop dairesel kayma analizi .....	57
5.3.2.2 Susuz durumda Spencer yöntemi ile stabilite analizi .....	57
5.3.2.3 Sulu durumda Bishop yöntemi ile stabilite analizi .....	58
5.3.2.4 Sulu durumda Spencer yöntemi ile stabilite analizi .....	58
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>63</b>

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 : Susuz bir şev için Bishop yöntemi .....	24
Çizelge 2.2 : Sulu bir şev için Bishop yöntemi .....	25
Çizelge 3.1 : Bölgenin iklim verileri .....	31
Çizelge 4.1 : Sondaj numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları .....	37
Çizelge 4.2 : Analizlerde kullanılan formasyonlara ait jeoteknik büyüklükler .	38
Çizelge 5.1 : Bishop dairesel kayma analizi (susuz durum).....	43
Çizelge 5.2 : Bishop dairesel kayma analizi (sulu durum).....	46
Çizelge 5.3 : Bishop dairesel kayma analizi (susuz durum).....	48
Çizelge 5.4 : Bishop dairesel kayma analizi (sulu durum).....	51
Çizelge 5.5 : Bishop dairesel kayma analizi (susuz durum).....	53
Çizelge 5.6 : Bishop dairesel kayma analizi (sulu durum).....	56
Çizelge 6.1 : Elle yapılan stabilite analizi sonuçları.....	59
Çizelge 6.2 : Galena bilgisayar yazılımı ile elde edilen analiz sonuçları .....	60



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Şev türleri .....	4
Şekil 2.2 : Doğal yamaçlarda meydana gelen duraysızlıklara neden olan faktörlerden bazılarının örnekleri : (a) topuğun oyulması, (b) heyelanlar, (c) moloz akması, (d) bozunma sonucu makaslama dayanımında azalma.....	5
Şekil 2.3 : Güvenlik katsayısının şev yüksekliği ve şev açısına bağlı değişimini gösteren stabilite analizi sonuçları .....	6
Şekil 2.4 : Düzlemsel kaymanın blok diyagramı ve bir açık işletmede düzlemsel kayma .....	7
Şekil 2.5 : Düzlemsel kayma mekanizması .....	8
Şekil 2.6 : Basamak şeklinde kayma .....	9
Şekil 2.7 : Poligon türü kayma mekanizması .....	9
Şekil 2.8 : Kalın dilim türü kayma. ....	10
Şekil 2.9 : Kama türü kayma duyarsızlığı. ....	11
Şekil 2.10 : Kama türü kayma mekanizması .....	11
Şekil 2.11 : (a) Dairesel kayma yüzeyi ve geriye doğru yatmış kütle, (b) doğal yamaçta dairesel kayma .....	12
Şekil 2.12 : Dairesel kayma mekanizması .....	12
Şekil 2.13 : Devrilme türü kayma şekli. ....	14
Şekil 2.14 : (a) Eklemlenmiş kaya şevlerinde meydana gelen bükülme devrilmesi ve (b) bu devrilme türüne Kastamonu KB'sından bir örnek.....	14
Şekil 2.15 : Bloklı devrilme (Hoek ve Bray, 1977). ....	15
Şekil 2.16 : (a) Kaya düşmesi (Monroe ve Wcander, 2005) (b) Ürgüp'teki bir kaya düşmesi .....	15
Şekil 2.17 : Kaya şevlerinde gelişen başlıca duyarsızlık türleri ve bunların stereonette gösterilmesi (Hoek ve Bray, 1977).....	17
Şekil 2.18 : (a) Düzlemsel kayma koşulu ve (b) düzlemsel kaymanın kinematik analizi (Norrish ve Wyllie, 1996) .....	18
Şekil 2.19 : (a) Düzlemsel kayma koşulu ve (b) düzlemsel kaymanın kinematik analizi (Norrish ve Wyllie, 1996).....	19
Şekil 2.20 : (a) Devrilme türü duraysızlık koşulu ve (b) devrilmenin kinematik analizi (Norrish ve Wyllie, 1996).....	20
Şekil 2.21 : Düzlemsel kaymanın analizi için gerilme çatlağının şev tepesi gerisinde (a) ve şev aynasında (b) gelişmesi koşullarında şev geometrisi (Hoek ve Bray, 1977) .....	22
Şekil 2.22 : Yer altı suyu bulunması durumunda dairesel kayma mekanizması. ....	23
Şekil 2.23 : Stabilite analizi için şevin örnek dilimlere ayrılması. ....	24
Şekil 2.24 : İsveç dilim yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler ile bunların konumları ve kuvvet poligonu (Nash, 1987).....	26
Şekil 2.25 : Toplam gerilme analizi (Nash, 1987).....	27

Şekil 3.1 : Coğrafi konum.....	29
Şekil 3.2 : Açık ocak mevcut döküm sahasının görünümü.....	30
Şekil 3.3 : Açık ocak mevcut döküm sahasının görünümü.....	30
Şekil 4.1 : Çalışma alanının jeolojisi .....	33
Şekil 4.2 : Makaslama mukavemeti deney aleti. ....	35
Şekil 4.3 : Normal gerilim ve kesme gerilimi ilişkisi .....	36
Şekil 4.4 : Deformasyon-kesme gerilmesi grafiği.....	36
Şekil 4.5 : Döküm malzemesinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri arasındaki ilişki.....	38
Şekil 5.1 : Stabilite analizi için tek basamaklı susuz şevin dilimlere ayrılması.....	42
Şekil 5.2 : Güvenlik katsayısının bulunması.....	44
Şekil 5.3 : Stabilite analizi için tek basamaklı sulu şevin dilimlere ayrılması .....	44
Şekil 5.4 : Güvenlik katsayısının bulunması.....	46
Şekil 5.5 : Stabilite analizi için iki basamaklı susuz şevin dilimlere ayrılması.....	47
Şekil 5.6 : Güvenlik katsayısının bulunması.....	49
Şekil 5.7 : Stabilite analizi için iki basamaklı sulu şevin dilimlere ayrılması.....	49
Şekil 5.8 : Güvenlik katsayısının bulunması .....	51
Şekil 5.9 : Stabilite analizi için yedi basamaklı susuz şevin dilimlere ayrılması.....	52
Şekil 5.10 : Güvenlik katsayısının bulunması.....	54
Şekil 5.11 : Stabilite analizi için yedi basamaklı sulu şevin dilimlere ayrılması.....	54
Şekil 5.12 : Güvenlik katsayısının bulunması .....	56
Şekil 5.13: A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı 30 <sup>0</sup> , Genişliği 30 m, F: 1,69.....	57
Şekil 5.14: A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı: 30 <sup>0</sup> , Genişliği 30 m, F: 1,68.....	57
Şekil 5.15 : A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı: 30 <sup>0</sup> , Genişliği 30 m, F: 1,32.....	58
Şekil 5.16 : A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı: 30 <sup>0</sup> , Genişliği 30 m, F: 1,31.....	58

## SEMBOLLER

$\sigma$	: Normal Gerilme
$\tau$	: Kayma Gerilmesi
$c$	: Kohezyon
$\Phi$	: İçsel Sürtünme Açısı
$R$	: Blok ile Düzlem Arasındaki Makaslama Dayanımı
$W$	: Dilimin Ağırlığı
$A$	: Dilimin Yüzey Alanı
$\beta$	: Kayma Yüzey Eğim Açısı
$b$	: Dilimin Genişliği
$h$	: Dilimin Yüksekliği
$\alpha$	: Şev Açısı
$r_u$	: Kayma Yüzeyine Dik Doğrultuda Etki Eden Su Basıncı
$F$	: Güvenlik Katsayısı
$\gamma$	: Şev Yüksekliği



## **KESTELEK BOR İŞLETMESİ, AÇIK İŞLETME DEKAPAJ SAHASI STABİLİTESİ**

### **ÖZET**

Bursa Mustafa Kemalpaşa’da Kestelek civarındaki bor yatakları (Kolemanit) MTA Enstitüsünün Linyit AraŐtırmaları esnasında 1954 yılında bulunmuştur. Kestelek Bor AÇık Ocak İŞletmesi, Ocak 2004 tarihinden itibaren tekrar yeniden yapılandırılarak, Eti Maden İŞletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı Bor İŞletme Müdürlüğü olmuŐtur. Eti Bor Kestelek AÇık Ocak İŞletmesi’nde, geÇmiŐte gerek formasyon gerek üretim Őartları nedeniyle bir çok stabilite problemi yaŐanmıŐtır. Eti Bor Kestelek AÇık Ocak Dekapaj Döküm Sahası’nın günümüzdeki Şev stabilitesinin sağlanması iŐini inceleyen bu çalışma, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü’nde hazırlanmıŐtır. Bu çalışmada, dekapaj döküm sahasının Şevlerinin stabiliteleri analiz edilerek, Şevlerde stabilitenin sağlanması için öneriler sunulmuştur.

Stabil olmayan Şevlerde gerÇekleşen kayma tipi, arazi gözlemlerine dayanarak “Dairesel Kayma” olarak tespit edilmiştir. Eldeki verilere dayanılarak analiz yöntemi olarak “Bishop’un BasitleŐtirilmiŐ Dairesel Kayma Analiz Metodu” seçilmiŐtir. Analiz çalışmaları ise hem bilgisayar programı kullanılmadan elle hesaplanarak hem de bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır.



## **THE FACE STABILITY OF BORON KESTELEK OPEN PIT**

### **SUMMARY**

Bor ore peds(Kolemanit) which are in Kestelek village in Bursa Mustafa Kemalpaşa are presented while Investigations of MTA Institute in 1954. Kestelek Open Pit was configured from January 2004 and became Eti Mining Bor Management. In the past, many stability problems occurred due to formations and production conditions, in Eti Boron Kestelek Open Pit. This study, which surveys Eti Mining Kestelek Open Pit's present day face stability, is prepared in ITU Mining Engineering Department. In this study, the stability of faces are analyzed and suggestions are presented to stabilize the unstable faces.

Referring site investigation, slipping type was determined as "Circular Slipping" for unstable faces. "Bishop's Simplified Circular Slipping Analysis Method" was chosen for analysis, considering the data. Analysis studies were performed by manual and computer aided calculations.



## 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze, gerek sanayinin artan hammadde ihtiyacını karşılamak gerekse çeşitli mühendislik çalışmaları için yüksek ve derin kazı işlemleri gerçekleştirilmektedir. Doğal ya da kazılarla oluşturulmuş şevlerin yüksekliklerinin yada genişliklerinin artması, bunlarda anlık ve zamanla, kendini herhangi bir deformasyon yada kayma olmadan duraylılık problemlerini de beraberinde getirmiştir.

Şev duraylılık analizini gerçekleştirebilmek için gerekli tüm verilerin arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilmesinden sonra, bu bölümün başında bahsi geçen yöntemler kullanılarak duraylılık analizleri yapılabilir.

Şevlerde duraylılık, güvenlik katsayısı adı verilen bir değerle ifade edilir. Bir şevin kendini tutabilmesi için güvenlik katsayısının birimsiz olarak 1,3 değerinin üzerinde olması istenir. Tespit edilen değerlerle belirlenen eğimlerde, şevlerin duyarlı olup olamayacakları, belirlenen emniyet katsayıları değerleri üzerinden karar verilir.

Bu çalışmada, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı Kestelek Açık Ocak İşletmesi'nin döküm sahasının elde edilen arazi ve laboratuvar verileri yardımıyla, çeşitli bilgisayar programları yardımıyla ve dairesel kayma yöntemleri kullanılarak duraylılık analizleri yapılmıştır.



## **2. ŞEV STABİLİTESİ**

### **2.1 Şev Hakkında Genel Bilgi**

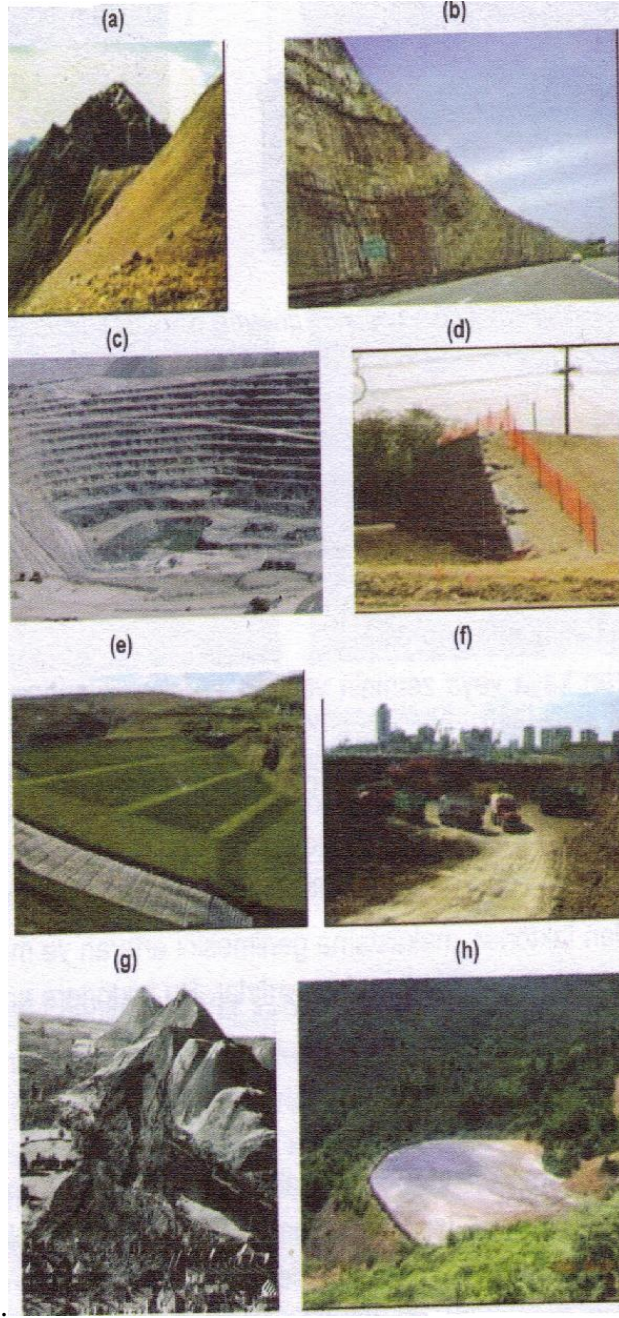
Şev, en genel manada; “Yatay yada mevcut arazi yüzeyi ile belirli bir açı yapan kitle” olarak tarif edilebilir. Doğal veya yapay zemin kitlelerinin eğik yüzlerine şev denir. Şev yüzeyinin, yatayla yaptığı açığa şev açısı, bu açının tanjantına da şev eğimi denir. Doğal yamaçlar, doğal yamaçlarda kazı sonucu oluşturulan eğik yüzeyler, toprak baraj ve dolguların eğik yüzeyleri, vb. şevlere örnek olarak verilebilir. Şev yüzeyi altındaki zeminin göçmesine ya da kırılmasına, şev kayması, toprak kayması veya heyelan denilir.

Şevler, yerçekimi kuvvetleri ve su akım kuvvetlerinin etkisi altında kayarlar. Şev stabilite (denge, duyarlılık) analizi ile mevcut bir şevde, kayma tehlikesinin incelenmesi veya meydana getirilecek bir şevin güvenli olarak açlandırılması anlaşılır. Şevler, zemin kitlesinde; ya kayma gerilmelerinin artması, veya zeminin kayma direncinin azalması sonucu kayarlar. Kayma gerilmesinin artmasına; şevin yüklenmesi, şev eğiminin artırılması, şev topuğunun kazı, oyulma, vb. ile boşaltılması örnek olarak verilebilir. Zeminin kayma direncinin azalmasına ise; kohezyonlu zeminlerde zemin su muhtevasının artması, deprem vb. titreşimler, boşluk suyu basıncının oluşması, artması örnek olarak verilebilir.

Şev stabilitesi, uzun yıllar boyunca zeminle uğraşan mühendisleri çok yakından ilgilendirmiştir. Bu ilginin nedeni, şev stabilite bozukluklarının depremler, sel baskınları, kasırgalar gibi doğal afetlere benzer olarak ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilmesidir (Özgenoğlu A., 1986).

### **2.2 Şev Türleri**

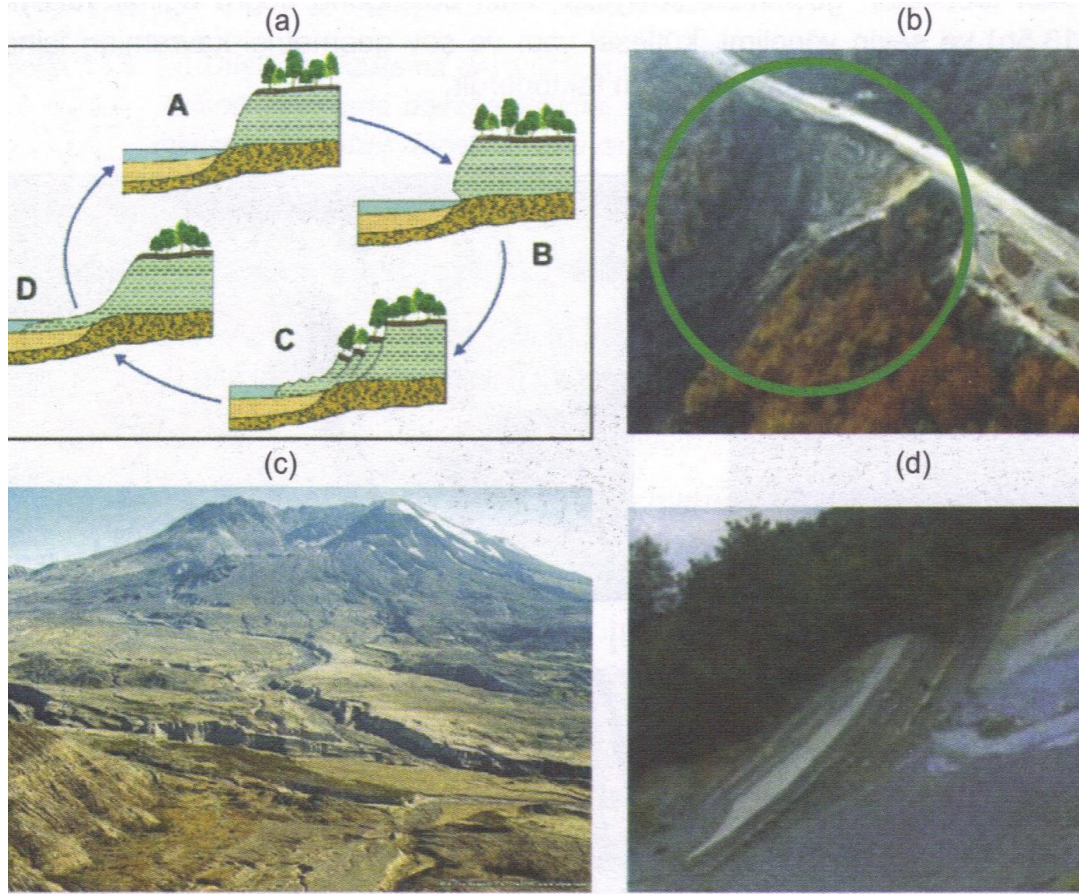
Şevler, düzensiz veya belirli bir geometriye sahip eğimli yüzeyler olup; doğal yamaçlar düzensiz geometrisi olan şevleri, mühendislik şevleri ise düzenli geometriye sahip şevleri (Şekil 2.1) temsil ederler.



Şekil 2.1 : Şev Türleri.

### 2.2.1 Doğal yamaçlar

Uzun süre duraylı kalabilen doğal şevler; dış kuvvetlerin etkisi, boşluk suyu basıncının artması, şevi oluşturan kaya veya zeminin süresizliklerinin makaslama dayanımının zamanla azalması, şevde gerilme koşullarının zamanla değişmesi ve bozunmanın etkisi gibi nedenlerle duraysızlığa uğrayabilirler. Bu faktörler, makaslama gerilmesini arttıran ve makaslama dayanımını azaltan faktörlerdir. (Şekil 2.2)



**Şekil 2.2 :** Doğal yamaçlarda meydana gelen duraysızlıklara neden olan faktörlerden bazılarına örnekler : **(a)** topuğun oyulması, **(b)** heyelanlar, **(c)** moloz akması, **(d)** bozunma sonucu makaslama dayanımında azalma.

### 2.2.2 Mühendislik şevleri

Mühendislik amaçlı şevler, başlıca 3 grupta değerlendirilir :

- Kazı şevleri
- Dolgu şevleri
- Açık işletmelerde pasa yığını şevleri ve atık depolama alanlarındaki atık yığını şevleri

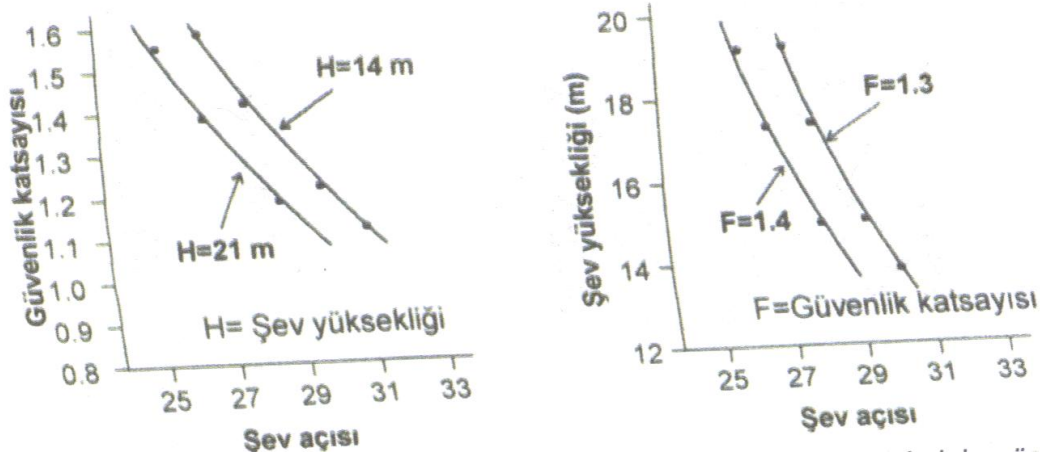
### 2.3. Şev Stabilitesi Analizlerinin Amacı

Kazı, yol dolgusu, dolgu tipi baraj, pasa ve atık yığını şevlerinin ekonomik ve güvenli şekilde tasarımı için stabilite analizleri, aşağıda belirtilen başlıca iki aşama esas alınarak yapılır.

- a. Ön analizler: Kritik olabilecek jeolojik, hidrojeolojik ve çevre koşulları ile malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve ekonomik değerlendirme yapılması
- b. Ayrıntılı analizler: Şev duraysızlığının özellikleri ile tekrarlanma sıklığının araştırılarak şevin tasarlanması ve iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi

Şev stabilitesi analizlerinin başlıca amaçları özetle aşağıda verilmiştir:

- 1) Farklı koşullar altında farklı özellikteki şevlerin stabilitesinin araştırılması
- 2) Şev yüksekliği ve şev açısı gibi şev tasarımı parametrelerinin tayini amacıyla şev ve malzeme özelliklerinin birbirine bağlı değişimlerinin incelenmesi (Şekil 2.3)
- 3) Duraysızlık mekanizmasının belirlenmesi
- 4) Şevin yeniden tasarlanması ve iyileştirici önlemlerin belirlenmesi
- 5) Deprem, yoğun yapılaşma, trafik vb. gibi dış yüklerin şev stabilitesi üzerindeki etkilerinin araştırılması.



**Şekil 2.3 :** Güvenlik katsayısının şev yüksekliği ve şev açısına bağlı değişimini gösteren stabilite analizi sonuçları.

## 2.4. Şev Kayma Şekilleri

Kayaçlarda şev kayması genellikle süreksizlikler boyunca meydana gelir. Her ne kadar bazı şekilleri belirgin ise de, kayma mekanizması (şekli) genellikle kompleks ve tespiti zordur. Gerçek kayma şekli, süreksizliklerin konumuna ve sıklıklarına bağlıdır. Bu yüzden şev stabilitesi analizi yapmak ve kayma şeklini tespit için, kaya kütesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti gerekir. Aynı zamanda, yapısal jeolojinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Çok çeşitli şev kayma şekilleri olmasına rağmen, genellikle beş ana grup altında incelenir.

- 1) Düzlemsel kayma (Plane failures) Şekilleri

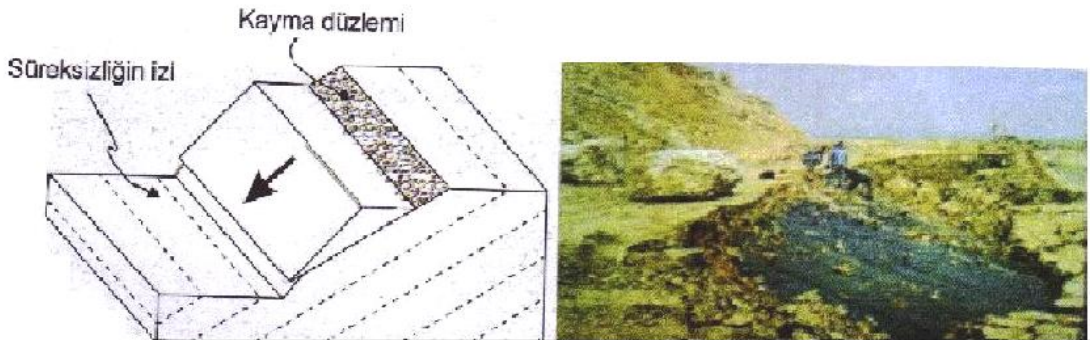
- a) Düzlemsel (Planar) kayma
  - b) Basamak şeklinde (Biplanar) kayma
  - c) Poligon türü (Multi planar) kayma
  - d) Kalın dilim türü (Slab) kayma
  - e) Kama türü (Wedge) kayma
- 2) Dairesel (Rotational) Kayma
  - 3) Devrilme (Toppling) Türü Kayma
  - 4) Kaya Düşmeleri (Rock falls)
  - 5) Eski Yer altı Üretim Boşluklarının Çökmesi (Oldworkings collapse)

### 2.4.1 Düzlemsel Kayma Şekilleri

Düzlemsel süreksizlikler boyunca meydana gelen bu tür kayma şekilleri, en çok görülen şev kayma şekilleridir. Kayma zonu genellikle bir kil tabakası fakat, daha yüksek eğimli şevlerde bu genellikle bir fay veya sedimanter yapı olmaktadır.

#### 2.4.1.1. Düzlemsel kayma

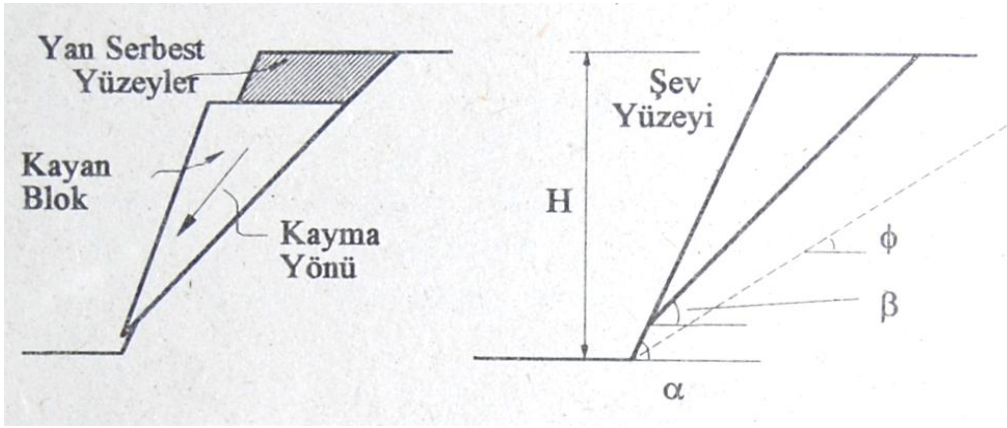
Düzlemsel kayma, genellikle düz veya az dalgalı bir süreksizlik yüzeyi boyunca gelişen makaslama yenilmesine bağlı olarak meydana gelir ve kütle yaklaşık olarak süreksizlik düzleminin genel eğimine paralel yönde hareket eder (Şekil 2.4). Bu tür kayma şeklinde hareket eden kütle fazla deforma olmaz ve kaya malzemesinin makaslama dayanımı kaymanın üzerinde geliştiği süreksizliğin makaslama dayanımından çok yüksektir. ( $\tau_{kaya} \gg \tau_{süreksizlik}$ ). Düzlemsel kayma, yapısal denetimli bir kayma türü olup, tabaka, fay, eklem, dilinim vb. Gibi süreksizlik yüzeyleri üzerinde meydana gelir. Ayrıca, şev tepesinde tansiyon çatlağı da gelişebilir.



**Şekil 2.4 :** Düzlemsel kaymanın blok diyagramı ve biraçık işletmede düzlemsel kayma.

Düzlemsel kayma mekanizması, bir süreksizlik boyunca oluşan basit bir kayma veya daha kompleks yapıya sahip sürtünme şeklindeki kaymalara kadar değişebilir. Bu kayma türünde kayma hızı, düşük açılı şevlerde yavaş, yüksek açılı şevlerde hızlı olmaktadır.

Düzlemsel kayma, oluşması için birçok geometrik koşulun bir araya gelmesini gerektirdiğinden kaya şevlerinde nadiren görülen bir kayma şeklidir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Düzlemsel kayma mekanizması.

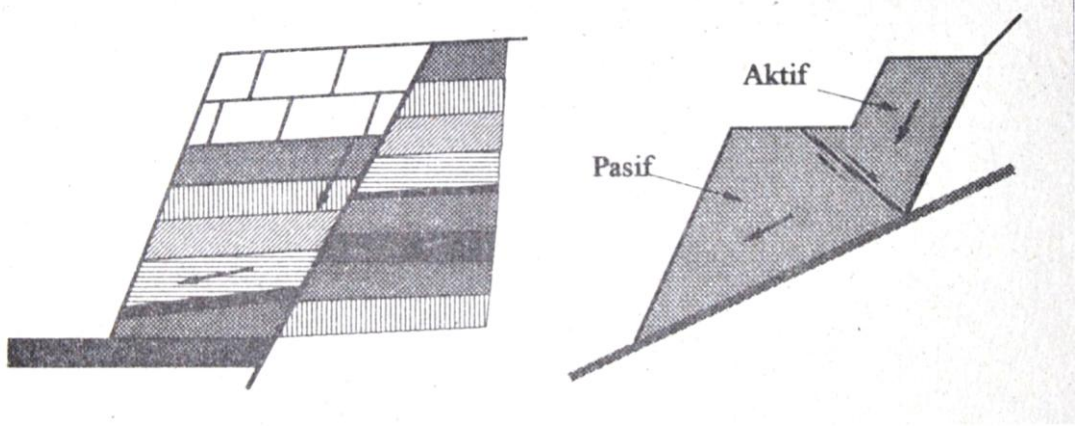
Bu kayma şeklinin meydana gelmesi için aşağıdaki koşulların yerine gelmesi gerekmektedir.

- 1) Kaza yönüne doğru eğimli bir süreksizliğin olması veya sedimanter yapının kazı yönünde eğimli olması,
- 2) Süreksizlik düzlemi şev yüzeyinde mostra vermeli,
- 3) Kayma düzlemi, şev yüzeyine paralel veya paralele yakın olmalı (yaklaşık olarak  $\pm 20^\circ$ )
- 4) Kayma düzleminin eğimi, içsel sürtünme açısından büyük ve şev açısından küçük olmalı ( $\alpha > \beta > \phi$ ),
- 5) Kaya bloğunun kaymasına yardımcı olabilecek, bir veya birden fazla yanal serbest yüzeylerin olması gerekir.

#### 2.4.1.2. Basamak şeklinde kayma

İkili kama olarak da bilinir ve iki yüzey üzerinde meydana gelen kompleks bir kayma türüdür. Bu kayma şeklinde genellikle aktif olan bir üst ve pasif olan bir kama bloğu

oluşur. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi üst aktif blok kayma yönündeki kuvvetleri oluştururken alttaki pasif blok da kaymaya karşı koymaktadır.

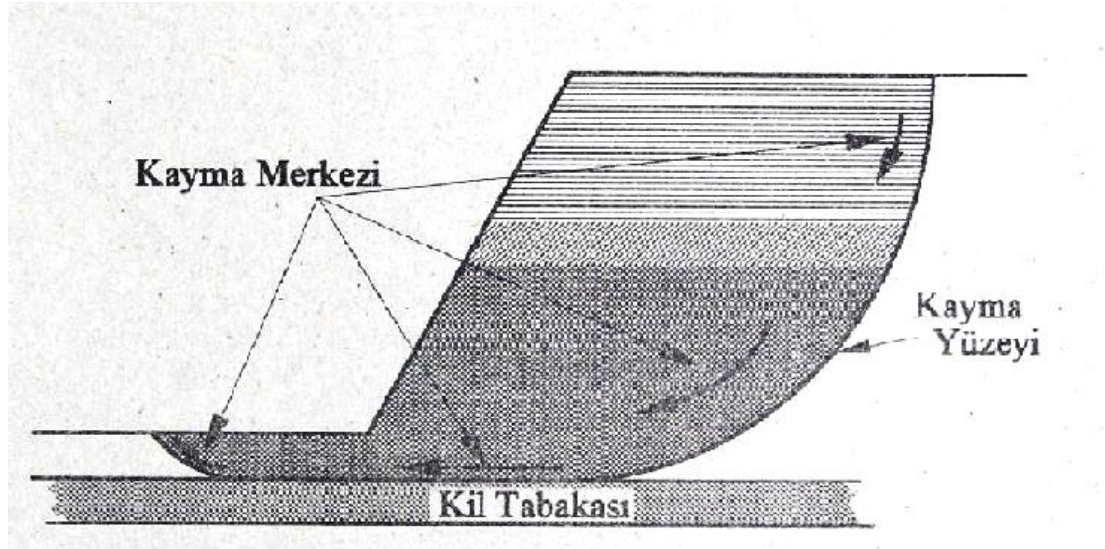


**Şekil 2.6 :** Basamak şeklinde kayma.

Kayma yüzeyleri hafif eğimli, yatay ve hatta bazı durumlarda (suyun bulunması durumunda) şevin içine doğru eğimli bile olabilir. Basamak şeklindeki kaymaların büyüklükleri bir küçük basamaktan, çok basamaklı bir şeve kadar değişebilir. Şevlerin arkasında fay ve sürekli eklemlerin (süreksizlikler) bulunması halinde, bu kayma olasılığı göz önünde bulundurulmaktadır.

#### 2.4.1.3. Poligon türü kayma şekli

Çok sayıda süreksizliklerin bulunduğu şevlerde, karmaşık jeolojik yapıdan da dolayı bu tür kaymaların meydana gelebilir. Şekil 2.7, bir poligon türü kayma mekanizmasını göstermektedir.



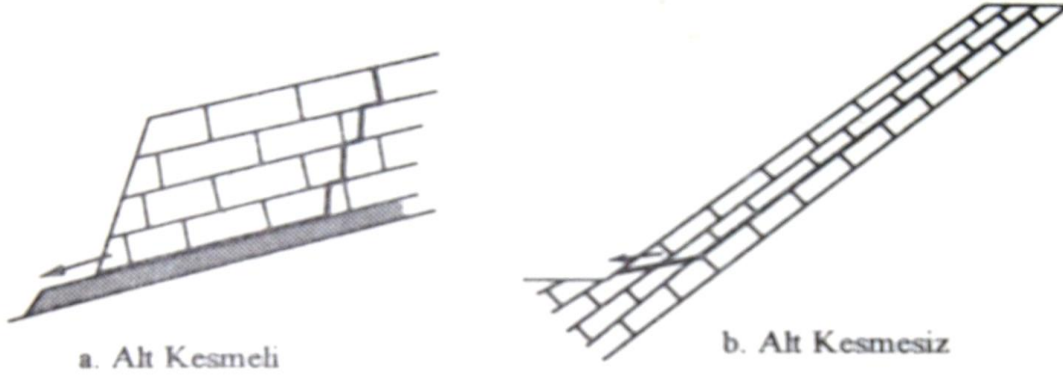
**Şekil 2.7 :** Poligon türü kayma mekanizması.

Bu kayma türünde kayma yüzeyleri çeşitli türlerde olabilir. Bunlar:

- 1) Değişik oryantasyona sahip üç veya üçten fazla süreksizliklerin oluşturduğu kayma düzlemi,
- 2) Yataklanma yüzeyleri, eklem ve çatlakların oluşturduğu basamak şeklindeki kayma düzlemi,
- 3) Fay ve faylar sonucu meydana gelen dik yüzeylerin etkisi ile oluşan kayma yüzeyleri olarak sayılabilir.

#### 2.4.1.4. Kalın dilim kayma şekli

Bu kayma türü düzlemsel kaymaların özel bir şekli olup, kazı doğrultusunda meyilli, tabakalı kayalarda gözlenmektedir. Kayma düzlemi normalde şev üst yüzeyine paraleldir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi iki çeşit kalın dilim kayma türü mevcuttur.



**Şekil 2.8 :** Kalın dilim türü kayma.

Alt kesmeli kayma türü kayma düzleminin şev aynasında görülmesi sonucu meydana gelir. Gerçek anlamda bu kayma türü özel bir geometriye sahip düzlemsel kayma türüdür. Alt kesmesiz kayma şeklinde kayma düzlemi şev aynasında görülmediğinden kayma, ya bir süreksizlik ya da şevin altında görülen zemin kabarması meydana gelir.

#### 2.4.1.5. Kama türü kayma

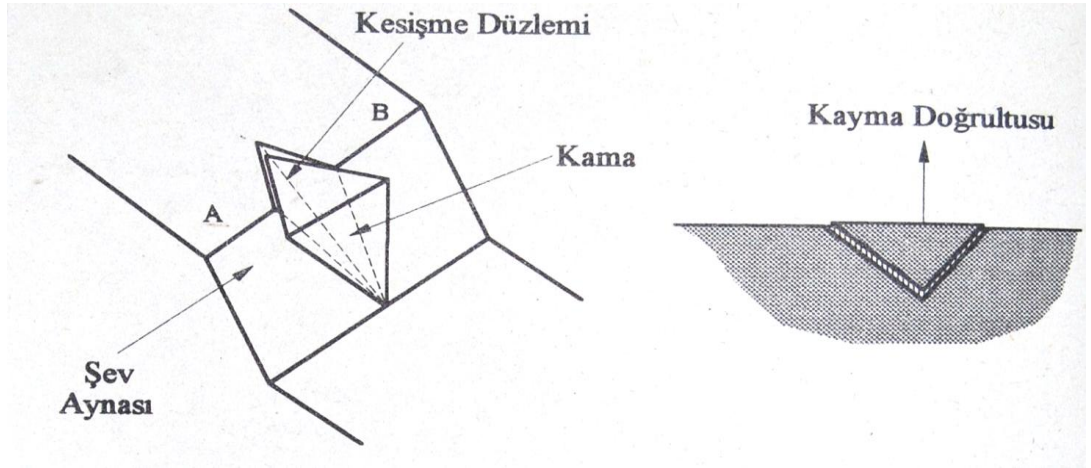
Eklemli kaya kütlelerinde ve devamlılığı yüksek fisürlere sahip aşırı konsolide killerde süreksizliklerin veya fisürlerin kesişmesi sonucu kama blokları oluşur. Süreksizliklerin kesişme hattının dalım açısının şevin eğiminden küçük olması ve bu

yüzelerin makaslama dayanımının aşılması halinde, söz konusu kama blokları kazı boşluğuna doğru hareket ederler (Şekil 2.9).



**Şekil 2.9** : Kama türü kayma duyarsızlığı.

Bu kayma türü, iki veya daha fazla süreksizliğin birbiriyle kesişmesi sonucu meydana gelir (Şekil 2.10). Bu süreksizliklerin oryantasyonları (eğim ve eğim yönü) bir kama türü kaymanın oluşumunda oldukça önemli yer tutar.



**Şekil 2.10** : Kama türü kayma mekanizması.

Bu kayma türünün meydana gelmesi için aşağıdaki şartların yerine gelmesi gerekmektedir.

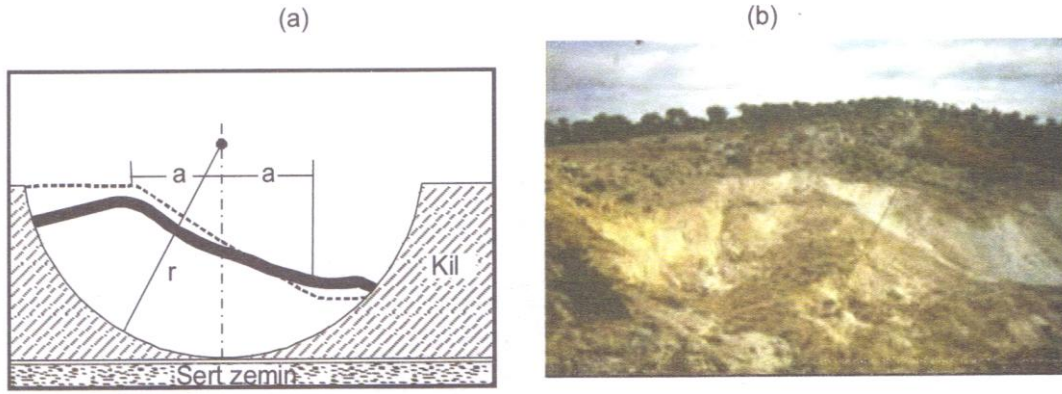
- 1) En az iki süreksizliğin mevcut olması ve bu süreksizliklerin birbirlerini kesmesi,
- 2) Kesişme düzleminin şev aynasında görülmesi (mostra vermesi),
- 3) Kesişme düzlemi, kazı yönüne doğru meyilli, kayacın içsel sürtünme açısından küçük olmalıdır.

Kama türü kaymalar genellikle küçük boyutlarda (<1000m<sup>3</sup>) meydana gelmelerine rağmen küçümsenmemeleri gerekir. Çünkü bu tür kaymalar çok ani ve uyarısız meydana gelirler. Bir kama türü kaymada kaymaya teşvik eden ve kaymaya karşı

koyan kuvvetlerin hesaplanması oldukça karmaşıktır (özellikle kamanın her iki tarafı farklı kayalardan oluşuyorsa).

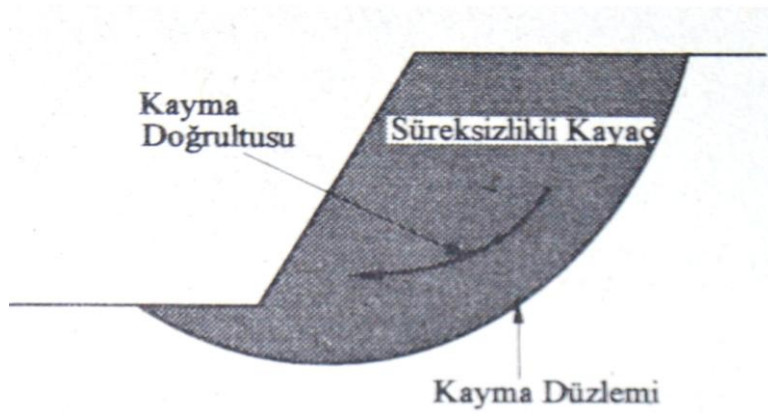
#### 2.4.2. Dairesel türü kayma

Dairesel türü kaymalar, kaşık şeklindeki bür yüzey boyunca gelşir ve harekete bağı çatlakalar plan görünümünde konsantrik olup,hareketin yönüne doğru dış bükeydir. Bu tür kaymaların tipik özelliğı, şev üzerindeki ağaç, kafes, drek vb. ile kayan kütlelerin geriye yatık olmasıdır (Şekil 2.11).



**Şekil 2.11 :** (a) Dairesel kayma yüzeyi ve geriye doğru yatmış kütle, (b) doğalyamaçta dairese kayma.

Bu tür şev kaymaları, genellikle dekapaj, dolgu ve toprak örtüsü gibi zeminlerde ve çok sayıda eklem takımı (süreksizlik seti) içeren kayalarda görülür. Kayma dairese bir yüzey üzerinde ve zemin ya da kaya kütlesi ağırlığından kaynaklanan yerçekimi kuvvetlerinin kaymaya karşı koyan kuvvetleri yenmesi sonucu ortaya çıkar. Kayma düzlemi tam dairese veya ark şeklinde olabilir (Şekil 2.12).



**Şekil 2.12 :** Dairesel kayma mekanizması.

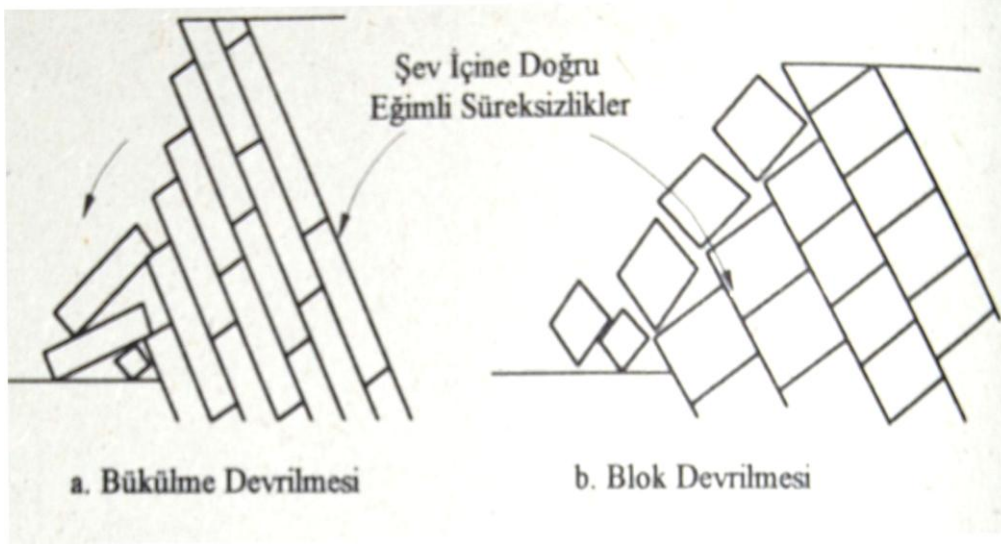
Dairesel kaymalarda, kayma düzlemi genellikle karşı kuvvetlerin minimum olduğu yerlerde bulunur. Ayrıca, zemin veya kaya kütlelerinde bulunan parçaların büyüklüğü şev ile kıyaslandığı zaman çok küçük olduğu ve bu tanelerin birbiriyle kenetli bulunmadığı durumlarda daireysel kaymalar meydana gelir.

Dairesel kaymalar, orta derecede bir hızla ve belirgin bir kayma yüzeyi boyunca gelişen makaslama yenilmeleri sonucu ve aşağıda belirtilen ortamlarda meydana gelirler :

- a) Zeminlerde açılmış şevlerde
- b) Akarsu yataklarında
- c) Dolgularda
- d) Atık sahalarında
- e) Maden işletmelerindeki toprak harmanlarında (Şekil 2.1g)
- f) İleri derecede eklemlili kaya kütlelerinde
- g) İleri derecede bozulmuş kayalarda

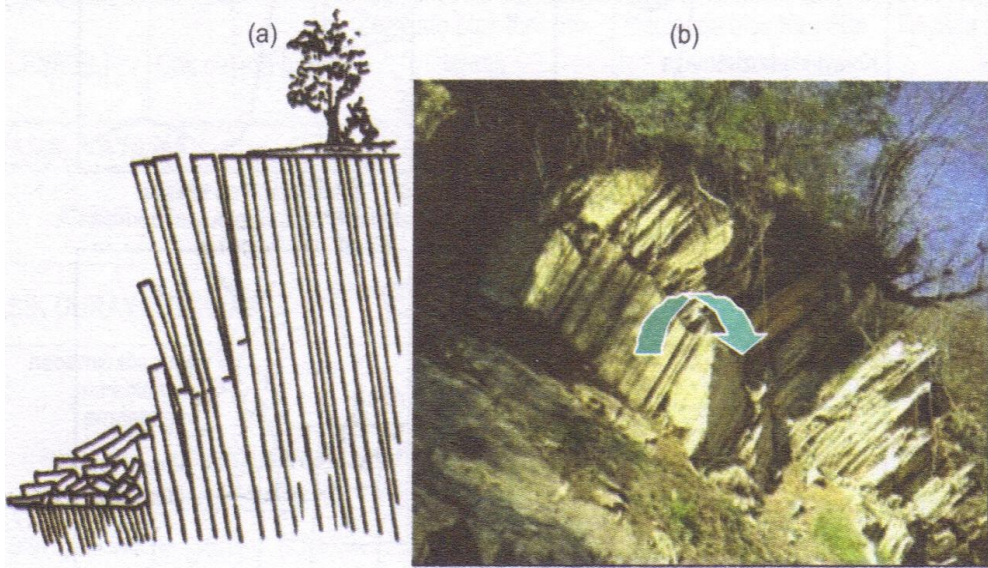
#### **2.4.3. Devrilme Türü Kayma**

Devrilme türü kaymalar, eğim yönü şevin tersi yönde olan süreksizliklerle bölünmüş kolonsal yapıya sahip birimlerde kolonların belirli bir dönme noktasının üzerinde komşu kolonların ve yerçekiminin etkisiyle kazı boşluğuna devrilmesi şeklinde elişir. Bu tür kaymalar, kolonsol yapıya sahip eklemlili kaya kütleleri ile fisürlü killerde daha çok gözlenir ve süreksizliklerin devamlılığının yüksek olması önem taşır. Devrilme, bir çökme davranışı olmayıp, doğrudan bir bükülme davranışını yansıtır. Devrilme türü kaymalar, dike yakın eğime sahip süreksizliklerle ayrılan uzun kolonların öne doğru bükülmesi veya blokların devrilmesi sonucu oluşur (Şekil 2.13).



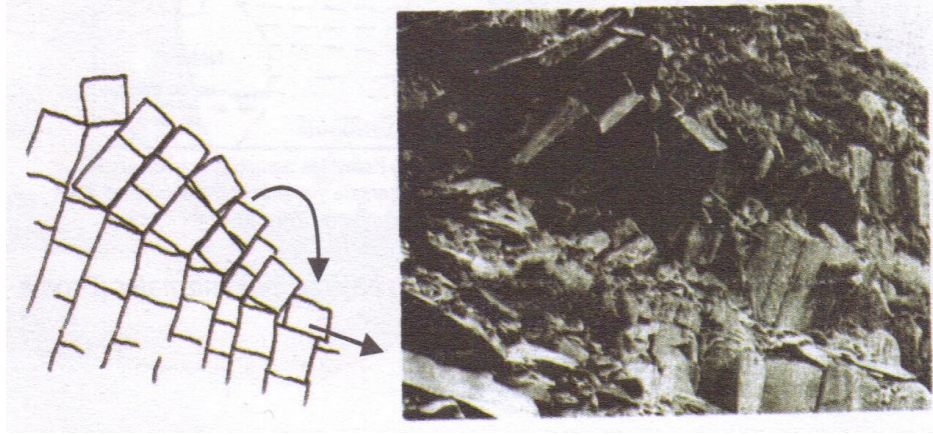
**Şekil 2.13** : Devrilme türü kayma şekli.

Bükülme devrilmesi, dike yakın eğime sahip süreksizliklerle ayrılan uzun kolların öne bükülüp kırılmaları sonucunda oluşurlar. Ayrıca, şev topuğunun erozyona uğraması, kayma, alttan kazı (madencilik vb. amaçlarla yapılan) gibi nedenlerle ince ve devamlılığı yüksek kolonların kazı boşluğuna doğru bükülmesi ve kayanın çekme dayanımının aşılmasıyla kolonların kırılması sonucu gelişir (Şekil 2.14).



**Şekil 2.14** : (a) Eklemlili kaya şevlerinde meydana gelen bükülme devrilmesi (Hoeve Bray, 1977) ve (b) bu devrilme türüne Kastamonu KB'sından bir örnek.

Blok devrilmesi ise sağlam kaya kolonlarının geniş aralıklı çapraz eklemlerle bölünmesi durumunda meydana gelir. Bu devrilme türünde, topuktaki ilk ve en kısa blok kayınca bunun gerisindeki bloklar da devrilme davranışı gösterirler (Şekil 2.15).



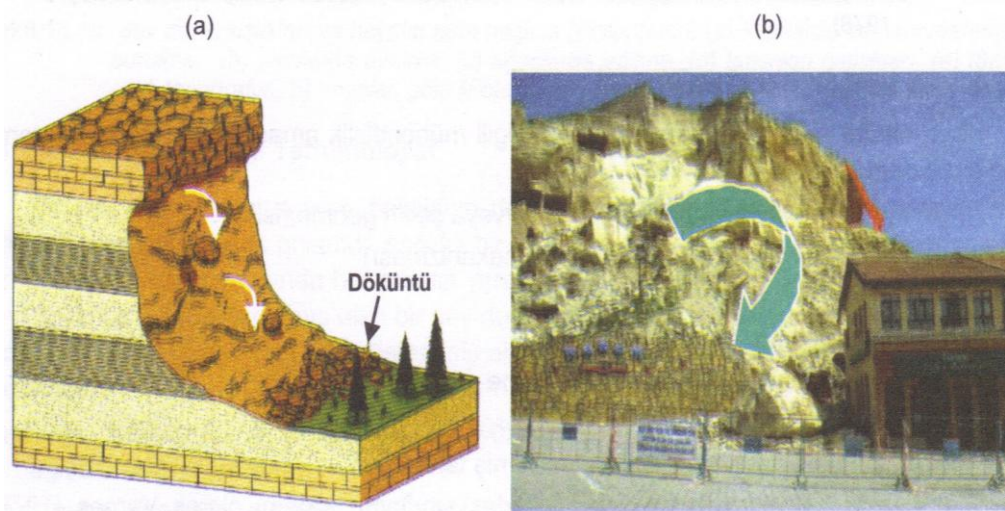
Şekil 2.15 : Bloklı devrilme (Hoek ve Bray, 1977).

Şev arkasında meydana gelen yer altı su basınçları veya yüzeyden çatlaklara dolan suyun meydana getirdiği su basıncı, devrilme işleminde büyük rol oynamaktadır. Ayrıca şevin süreksizliklerle olan konumu oldukça etkileyici bir faktördür.

#### 2.4.4. Kaya düşmeleri

Kaya düşmelerinin bir kayma türü olup olmadığı, uzun yıllardan beri bir tartışma konusudur. Gerçek şudur ki bu tür kaymalar küçük olmalarına ve süreksizlikler sonucu parçalanmış olan blokların şev yüzeyi üzerinde bulunması sonucu meydana gelmelerine rağmen, işletmelerdeki birçok kazanın sebebidirler.

Kaya düşmeleri, kayalarda blokların yada iri molozların dik ve derin bir yamaçtan herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın, yerçekimi etkisi altında düşmesi şeklinde gelişir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : (a) Kaya düşmesi (Monroe ve Wcander, 2005'ten) (b) Ürgüp'teki bir kaya düşmesi.

Kaya düşmelerinin iki kademedeyne meydana geldiği varsayılır. Birinci aşamada, kaya blokları kaya kütesinden kopar ve ikinci aşamada şev yüzeyi üstünde kopan blokların düşmesi ve taşınması olayı meydana gelir. Kaya düşmeleri çamur taşlarından granit kadar değişik kaya kütlelerinde meydana gelebilir. Fakat bu güne kadar kaya kütesinin dayanımı ile doğrudan bir ilişkisi kanıtlanmamıştır. Düşen kaya bloklarının büyüklüğü açısından bakıldığında, zayıf kayalarda küçük, granit gibi yüksek dayanımlı kayalarda ise büyük olduğu iddia edilmektedir.

## **2.5. Kinematik Analiz Yöntemi**

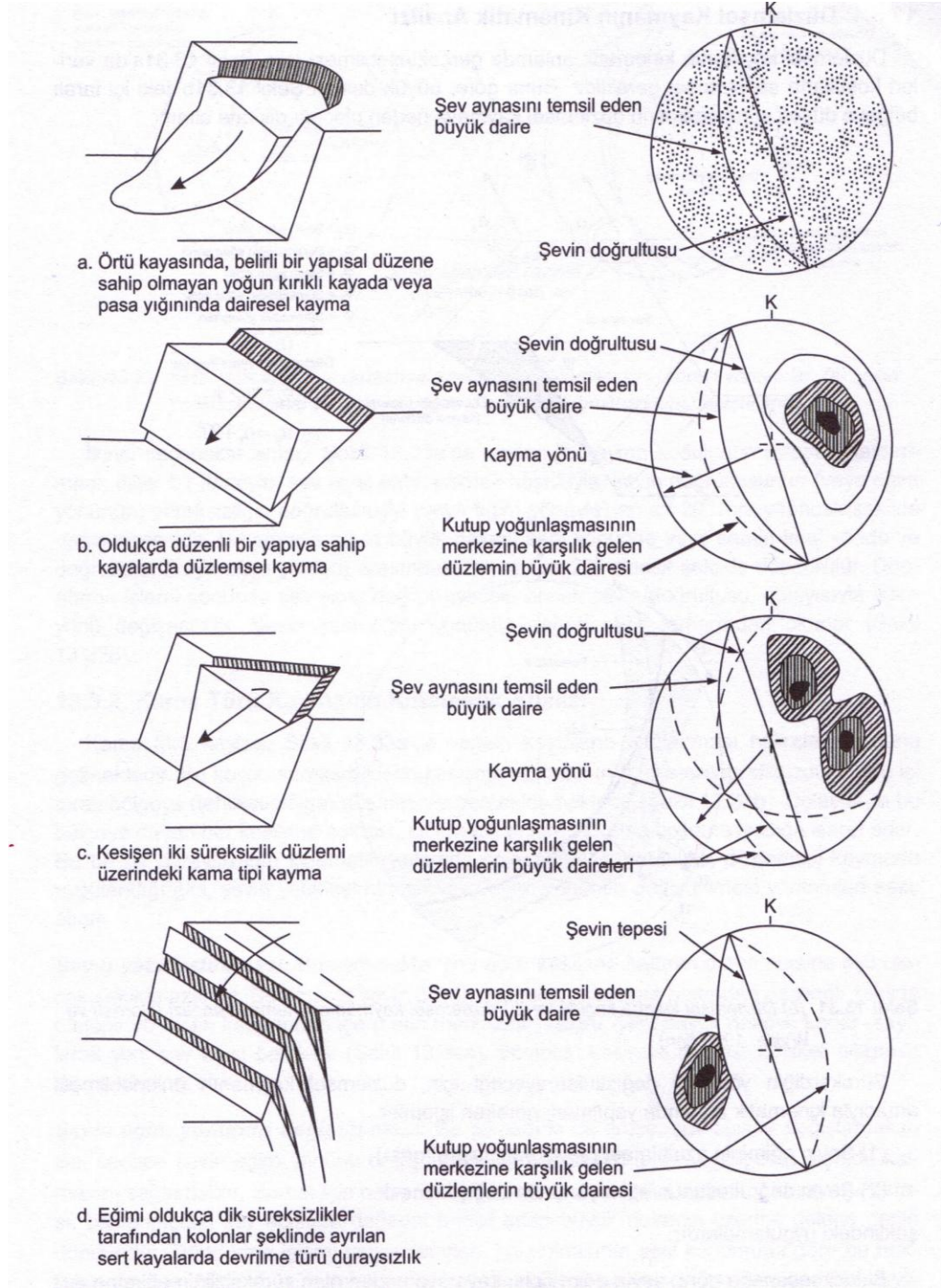
Şevlerin stabilitesi; kinematik, analitik ve nümerik analiz yöntemlerinden yararlanılarak incelenir. Kinematik analiz yöntemi, duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından denetlendiği kaya kütlelerinde duraylı ve duraysız olabilecek şevlerin ayırt edilmesi amacıyla, ayrıntılı analizlere başlanmadan önce yararlanılan pratik bir yöntemdir. Bu yöntemde; düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar incelenir.

Kinematik analiz yönteminde sadece süreksizliklerin yönelimleri, şevin yönelimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açıları dikkate alınır. Bunların dışında kalan; kohezyon, dış yükler, yer altı suyu koşulları, şev geometrisi, kayan kütlelerin ağırlığı ve dinamik yükler gibi faktörler ise göz ardı edilir. Bu nedenle, kinematik analiz yöntemi daha çok bir ön değerlendirme yöntemi olarak kabul edilir.

Kinematik analizlerde aşağıda belirtilen iki aşama izlenir:

1.aşama: Stereografik izdüşüm tekniğiyle şevin ve süreksizliklerin büyük daireleri ile kutup noktaları stereonete işlenir.

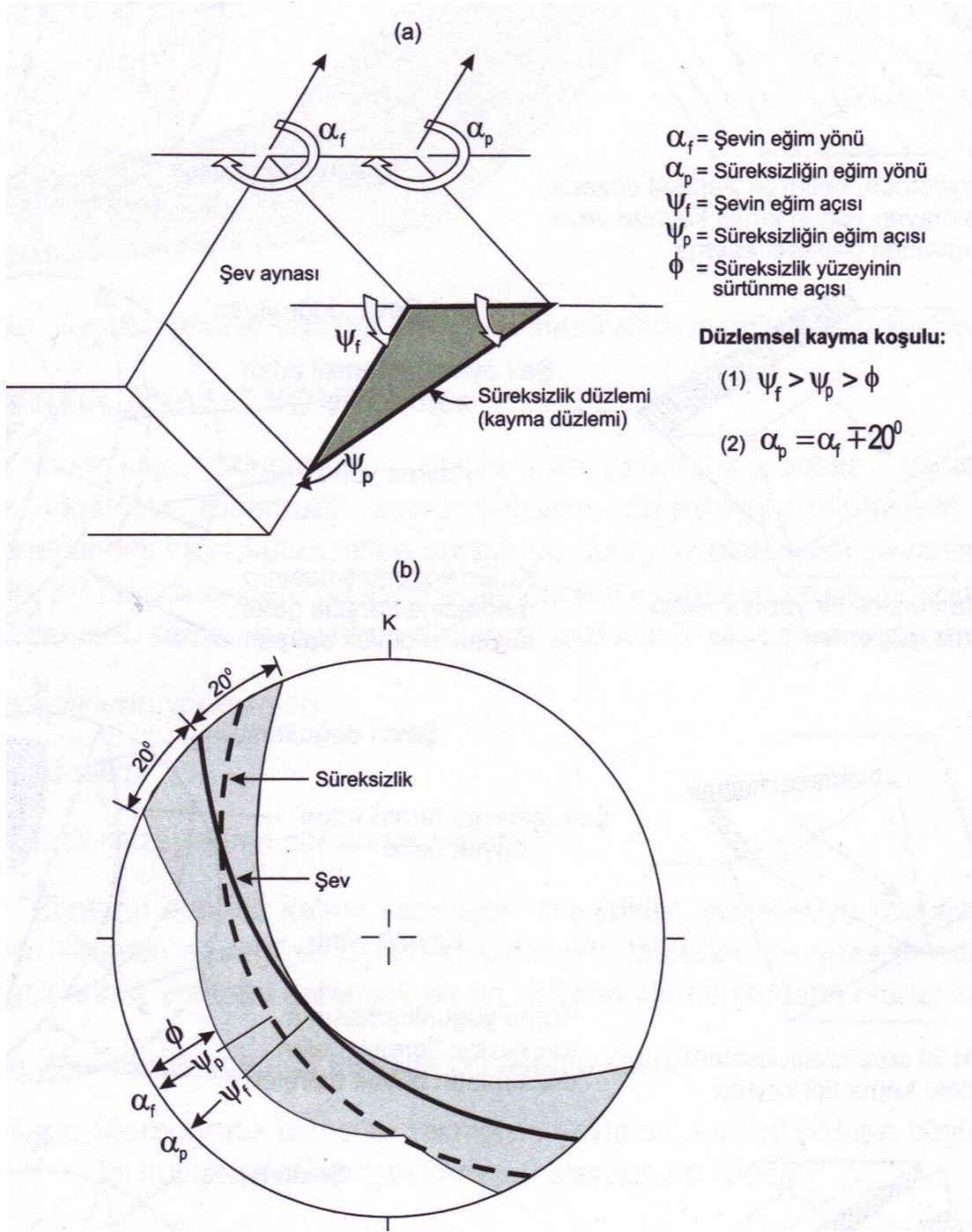
2.aşama: Yönelimler ve içsel sürtünme açısı dikkate alınarak, duraysızlık türü saptanır (Şekil 2.17).



**Şekil 2.17 :** Kaya şevlerinde gelişen başlıca duyarsızlık türleri ve bunların stereonette gösterilmesi (Hoek ve Bray, 1977).

### 2.5.1. Düzlemsel kaymanın kinematik analizi

Düzlemsel kaymanın kinematik anlamda gerçekleşebilmesi için, Şekil 2.18a'da verilen koşulların sağlanması gereklidir. Buna göre, büyük dairesi Şekil 2.18b'deki içi taralı bölgeye düşen süreksizliklerin düzlemsel kaymaya neden olacağı dikkate alınır.



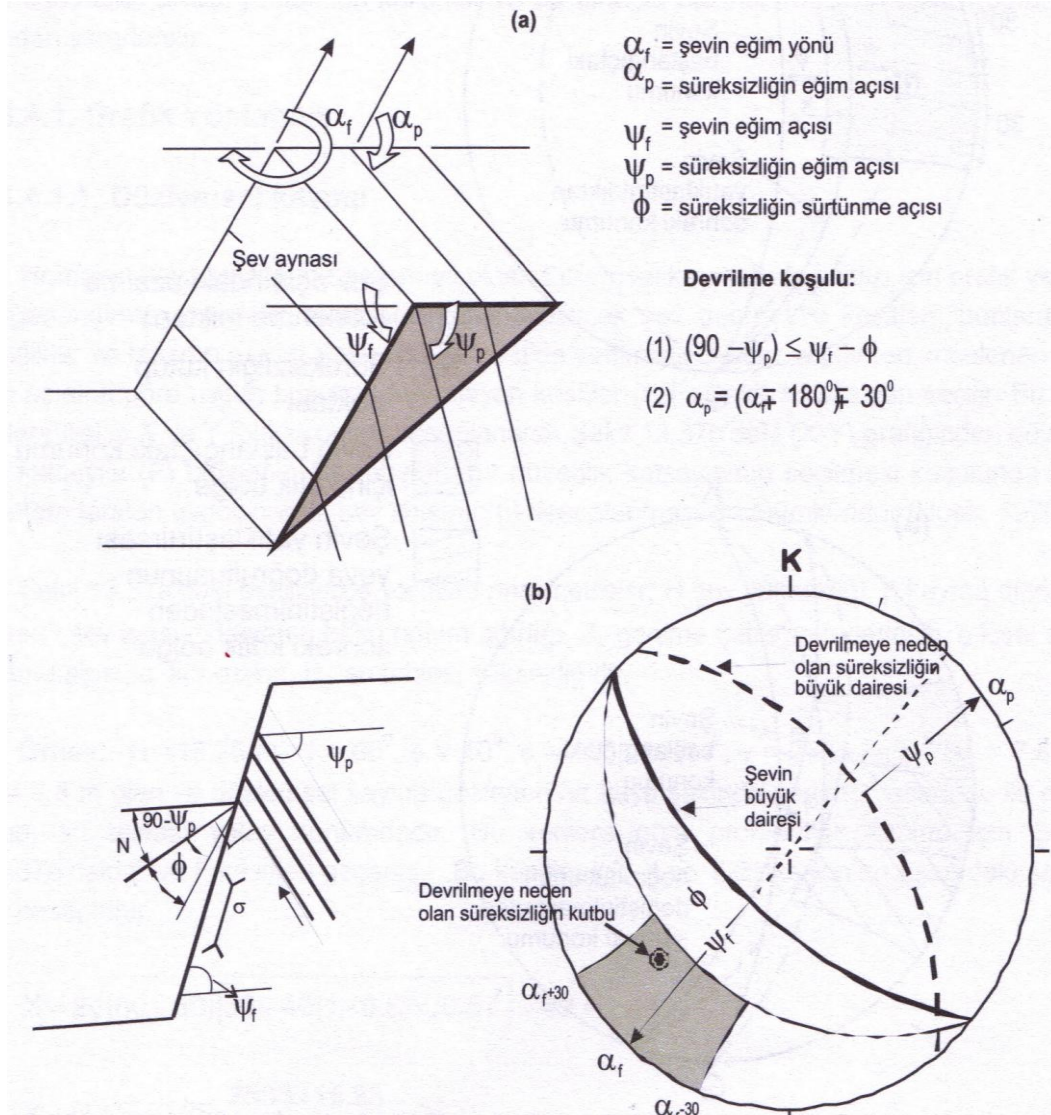
**Şekil 2.18 :** (a) Düzlemsel kayma koşulu ve (b) düzlemsel kaymanın kinematik analizi (Norrish ve Wyllie, 1996).

### 2.5.2. Kama türü kaymanın kinematik analizi

Kama türü kayma, Şekil 2.19a'da verilen koşulların sağlanması halinde meydana gelmektedir. Bu koşul, süreksizliklerin kesişme noktasının stereografik izdüşümde içi taralı bölgeye (tehlikeli bölge) düşmesiyle gerçekleşmektedir (Şekil 2.19b). Dolayısıyla bu bölgeye düşüne her kesişme noktası, kinematik anlamda kama tipi kaymaya işaret eder.



koşulların stereonet üzerinde gösterilmesi ise Şekil 2.20b’de sunulmuştur. Buna göre; şevin büyük dairesi çizildikten sonra, şevin büyük dairesinden itibaren netin kenarına doğru  $\phi$  kadar sayılarak  $\phi$ ’yi tanımlayan büyük daire çizilir.



Şekil 2.20 : (a) Devrilme türü duraysızlık koşulu ve (b) devrilmenin kinematik analizi (Norrish ve :Wyllie, 1996).

## 2.6. Limit Denge Analiz Yöntemleri

Limit denge koşulunu esas alan yöntemlerde, kinematik analiz yaklaşımından farklı olarak, jeolojik birimlerin ve süreksizliklerin içsel sürtünme açıları ve kohezyonları kayan kütlelerin geometrisi, yer altı suyu koşulları ve dış yükler de dikkate alınır. Bu yöntemlerde şevin genişliği 1 m kabul edilip, analizler iki boyut

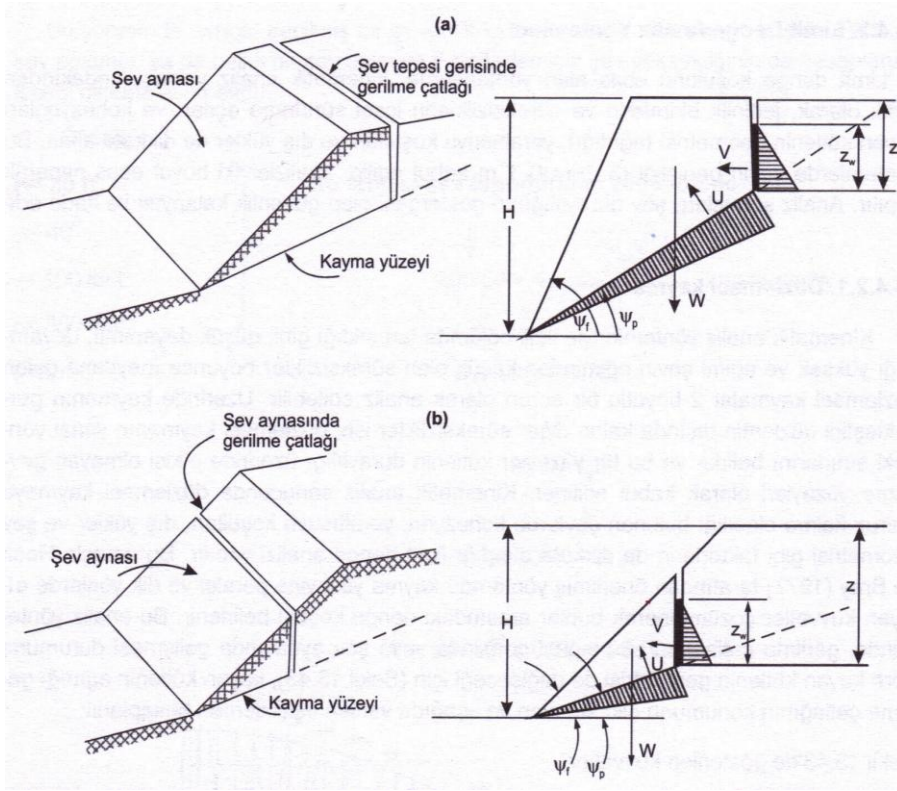
esas alınarak yapılır. Analiz sonuçları, şev stabilitesinin göstergesi olan güvenlik katsayısı ile ifade edilir.

### **2.6.1. Düzlemsel kaymanın limit denge analizi**

Düşük dayanımlı, devamlılığı yüksek ve eğimi şevin eğiminden küçük olan süreksizlikler boyunca meydana gelen düzlemsel kaymalar iki boyutlu bir sorun olarak analiz edilebilir. Üzerinde kaymanın gerçekleştiği düzlemin dışında kalan diğer süreksizlikler ise, düzlemsel kaymanın yanal yöndeki sınırlarını belirler ve bu tür yüzeyler kütlenin duraylılığı üzerinde etkisi olmayan gevşeme yüzeyleri olarak kabul edilirler.

Kinematik analiz sonucunda düzlemsel kaymaya maruz kalma olasılığı bulunan şevlerde kohezyon, yer altı suyu koşulları, dış yükler ve şev geometrisi gibi faktörlerin de dikkate alındığı limit denge analizi yapılır. Bu amaçla kayma yüzeyine paralel ve dik yönlerde etkiyen kuvvetler çözümlenerek bunlar arasındaki denge koşulu belirlenir.

Limit denge analiz yönteminde, gerilme çatlaklarının şev tepesi gerisinde veya şev aynasında gelişmesi durumuna göre kayan kütlenin geometrisi de değişir. Şekil 2.21'de gösterilen kuvvetler,  $H$  : şev yüksekliği,  $W$  : kayan kütlenin ağırlığı,  $A$  : kayan kütlenin taban alanı,  $\Psi_f$  : şev açısı,  $\Psi_p$  : kayma yüzeyinin eğimi,  $u$  : kayma yüzeyi boyunca etkiyen su basıncı,  $v$  : tansiyon çatlakındaki suyun basıncı,  $z$  : tansiyon çatlakının derinliği,  $z_w$  : tansiyon çatlakındaki suyun yüksekliğidir.



**Şekil 2.21 :** Düzlemsel kaymanın analizi için gerilme çatlığının şev tepesi gerisinde (a) ve şev aynasında (b) gelişmesi koşullarında şev geometrisi (Hoek ve Bray, 1977).

## 2.6.2. Dairesel kaymanın limit denge analizi

Limit denge yöntemleriyle dairesel kaymaların analizi yapılırken,

- Kayma yüzeyinin bir merkez etrafında döndüğü kabul edilir,
- Bu yüzey üzerinde etkiyen kuvvetlerin dengesi araştırılır,
- Çok sayıda merkez ve bu merkezleri esas alan değişik çapta dairesel kayma yüzeyleri denenerek, en kritik kayma yüzeyi (en küçük güvenlik katsayısını veren yüzey) tayin edilene kadar bu işleme devam edilir.

Şev stabilitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan üç farklı analiz yönteminin esasları ve hesaplama aşamaları aşağıda verilmiştir.

### 2.6.2.1. Bishop yöntemi

Bishop yöntem, Bishop (1955) tarafından geliştirilmiştir. Bishop yöntemi, yalnızca dairesel kayma analizleri için geçerlidir. Analiz, düşey kuvvetler ve genel moment

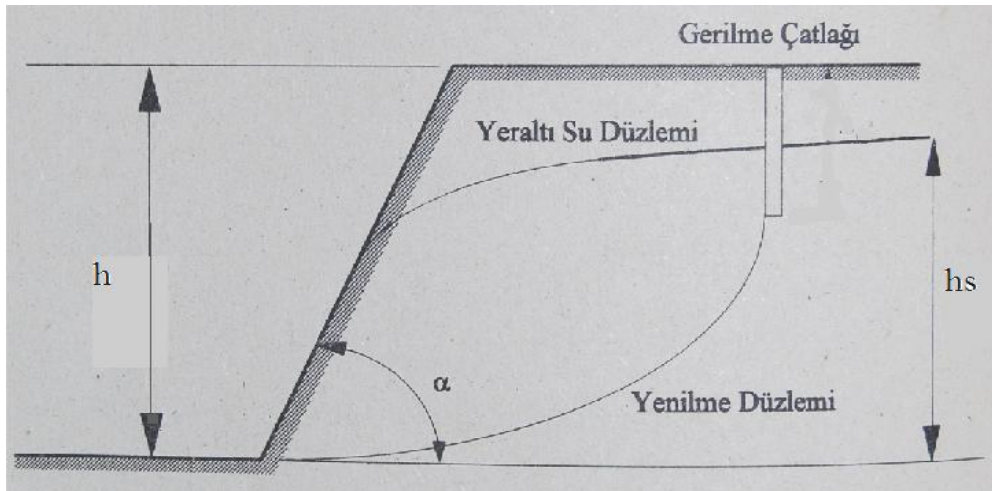
dengeğini sağlar. Yöntemde şevin geometrisi, gerçek yada tasarlanan profilin şevden geçen düşey bir düzlemde görülen haliyle belirlenir. Varsayılan kayma kütlesi belirli sayıda dilimle bölünür. Basit durumlar için genellikle 5 dilim yeterlidir. Her bir dilim için tanımlanan parametreler şunlardır:

- Kayma düzleminin eğim açısı ( $\alpha$ )
- Her bir dilimin ağırlığı ( $W$ ). Dilimin yüksekliği ( $h$ ), kayanın birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ) ve dilim genişliğinin ( $b$ ) çarpımıyla elde edilir.
- Her bir dilimin tabanındaki kaldırma basıncı ( $u$ ). Dilim tabanından doygun yüzeye olan yükseklik ( $h_s$ ), suyun birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ ) ve dilim genişliğinin çarpımından bulunur.

Her bir dilimin tabanında mevcut olan kesme dayanımı, duraylılık analizi için geçerlidir ve kaya kütlesinin üniform olduğu durumda, her bir dilimin tabanındaki kesme dayanım parametreleri ( $c$  ve  $\Phi$ ) aynı olarak kabul edilmiştir. Farklı kaya kütleleri içeren dilimler için her kaya kütlesinin kesme dayanım parametreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Emniyet katsayısı için başlangıçta tahmini bir değer alınarak aşağıda yazılan denklemden yeni bir emniyet katsayısı değeri hesaplanır. Peş peşe ortalama en az 3 defa hesaplama yapılır. Daha sonra tahmini ( $x$  eksen) ve hesaplanan ( $y$  eksen) emniyet katsayıları grafiğinin  $45^\circ$  doğru ile kesişim noktası doğru emniyet katsayısını verir.

$$F = \frac{\sum [(cb + W \tan \Phi) / m_\alpha]}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.1)$$



Şekil 2.22 : Yer altı suyu bulunması durumunda dairesel kayma mekanizması.

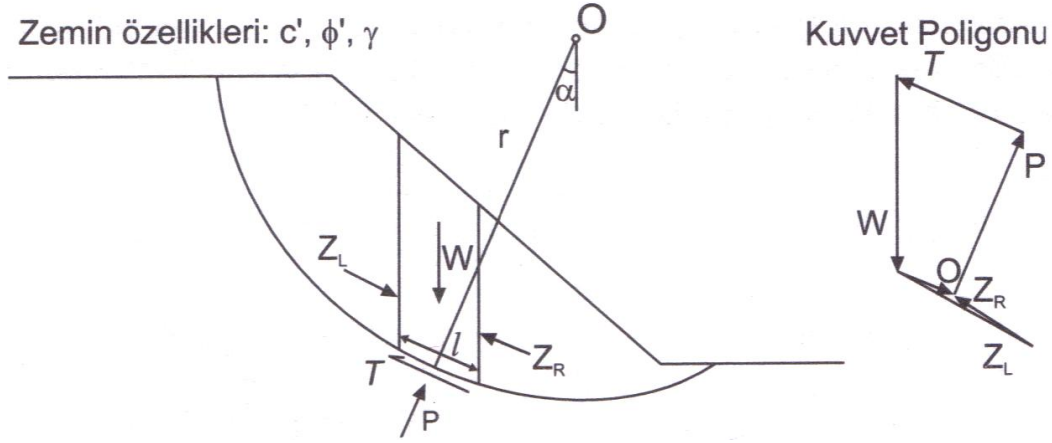


**Çizelge 2.2 : Sulu bir şev için Bishop yöntemi.**

Dilim	$A(m^2)$	$W(kN)$	$h_s$	$r_u$	$\alpha(^{\circ})$	$W \sin \alpha$	$c(kN/m^2)$	$\Phi(^{\circ})$	$cb+(W-ub)\tan\Phi$	$m_a$ (deneme $F_1$ )	$cb+(W-ub)\tan\Phi / F_1$	$m_a$ (deneme $F_2$ )	$cb+(W-ub)\tan\Phi / F_2$	$m_a$ (deneme $F_3$ )	$cb+(W-ub)\tan\Phi / F_3$
1															
2															
.															
.															
.															
						$\Sigma=$					$\Sigma=$		$\Sigma=$		$\Sigma=$

### 2.6.2.2 İsveç dilim yöntemi

Fellenius (1927, 1936) ve Nash (1987) tarafından geliştirilen bu yöntem, etkin gerilme cinsinden (uzun süreli duraylılık koşulu) basit dilim yöntemidir. Yöntemde Mohr-Coulomb yenilme ölçütü kullanılır ve kayan kütle dilimlere bölünür. Yöntem, sadece kayma merkezinin etrafında kaymaya karşı koyucu ve kayamaya neden olan kuvvetlerin moment dengesini dikkate alır ve dairesel kaymalar için uygulanır. Moment dengesi için tek bir eşitlik kullanılarak güvenlik katsayısının hesaplandığı bu yöntemde, dilimler arasında etkiyen kuvvetlerden düşey yönde olan ihmal edilir, diğerinin ise, o dilimin tabanına paralel yönde etkidiği varsayılır (Şekil 2.24).



**Şekil 2.24 :** İsveç dilim yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler ile bunların konumları ve kuvvet poligonu (Nash, 1987).

$\sigma$  : toplam normal gerilme,  $\tau$  : makaslama gerilmesi,  $u$  = boşluk suyu basıncı olup,

$$\text{yenilme ölçütü: } s=c' + (\sigma-u)\tan\phi' \quad (2.2)$$

$$\text{makaslama dayanımı } \tau = s/F \quad (2.3)$$

$$P = \sigma l \quad (2.4)$$

$$T = \tau l \quad (2.5)$$

$$T = (1/F) (c'l + (P - ul) \tan\phi') \quad (2.6)$$

Dilimler arası  $Q$  kuvvetinin dilim tabanına paralel olduğu kabul edilir ve dilimin tabanına dik yönde etkiyen kuvvet

$$P = W\cos\alpha \quad (2.7)$$

$$F = \sum (c'l + (W\cos\alpha - ul) \tan\phi') / \sum W\sin\alpha \quad (2.8)$$

elde edilir.

Hesaplanan güvenlik katsayısı aşırı tutucu olup, eğimin düşük ve su basınçlarının yüksek olduğu şevlerde olması gerekenden % 50-60 kadar daha küçük çıkar. Eğer boşluk suyu basınçları yüksek ise, bu yöntem kullanılmaması önerilmektedir (Whitman ve Bailey, 1967).

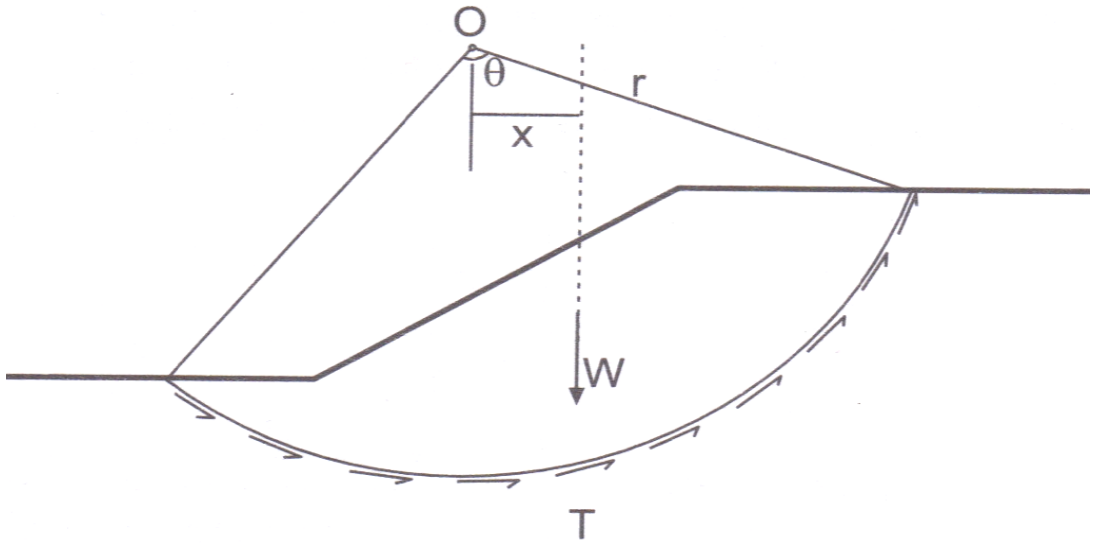
### 2.6.2.3. Toplam gerilme analizi ( $\phi_u = 0^\circ$ analizi)

Bu yöntem; dairesel kayma yüzeyleri için en basit analiz yöntemi olup, ' $\phi_u = 0^\circ$  yöntemi' adıyla anılır ve kazının tamamlandığı sıradaki duraylılık koşulunun (kısa süreli duraylılık) değerlendirilmesi amacıyla kullanılır. Hesaplamalarda, makaslama

dayanımının kayma yüzeyi boyunca sabit olacağı varsayılır ve drenajsız makaslama dayanımı olarak  $c_u$  ( $\phi_u = 0^\circ$ ) esas alınır. Zemin kütlelerinin genel duraylılığı; kayma dairesinin merkezi etrafında kütleyle etkileyen kuvvetlerin momentleri alınıp, bunların dengesine göre belirlenir. İlk kez Fellenius (1918; Nash, 1987'den) tarafından önerilen bu yöntemde güvenlik katsayısı aşağıda verilen denkleme göre hesaplanır.

$$F = c_u L r / W x \quad (2.9)$$

W : Bloğun ağırlığı, F : güvenlik katsayısı, L : yay uzunluğu



Şekil 2.25 : Toplam gerilme analizi (Nash, 1987).

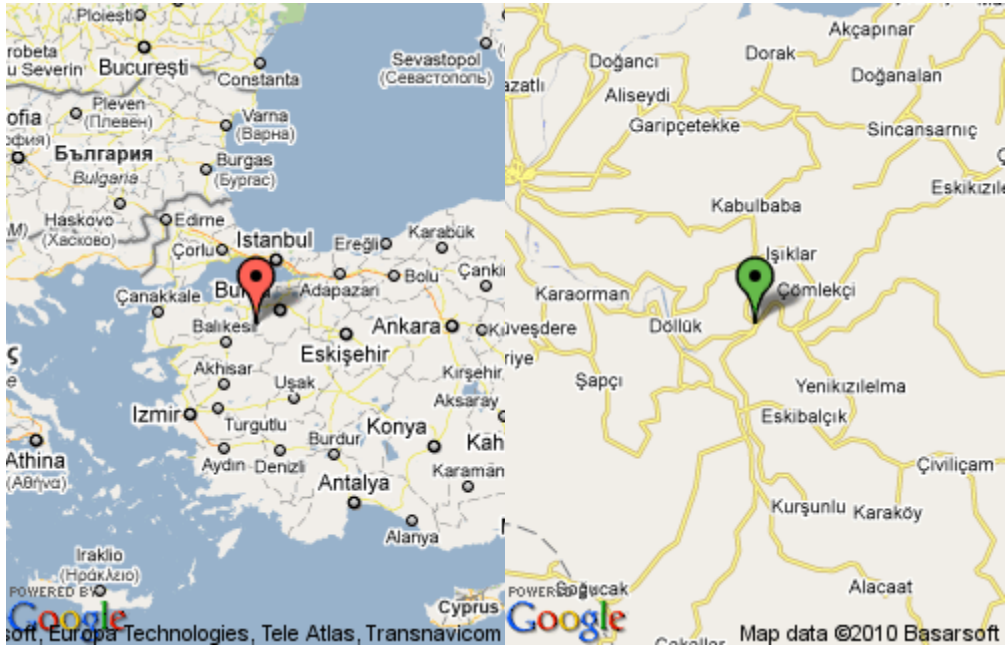


### 3. İŞLETMENİN TANITILMASI

Eti Bor Kestelek Açık Ocak İşletmesi'nin coğrafi konumu, iklim ve meteoroloji verileri ile jeolojisi ve jeoteknik durumu hakkındaki bilgiler, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Vakfı tarafından 2011 Mart ayında yapılan Kestelek Bor İşletmesi Açık Ocak Dekapaj Sahası Stabilitesi Projesi'nden esinlenerek yazılmıştır.

#### 3.1 İnceleme Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı, Bursa'ya bağlı M. Kemalpaşa ilçesinin Kestelek Köyü sınırları içerisindedir. Kestelek Köyü, M. Kemalpaşa ilçesine yaklaşık 23 km asfalt yol ile bağlanmaktadır. İnceleme alanına her mevsim ulaşım imkanı vardır. İstanbul'dan kara yolu ile Yalova-Bursa üzerinden veya Feribot ile Bandırma'ya oradan da karayolu ile M. Kemalpaşa'ya ulaşım her mevsim uygundur. Çalışma bölgesi civarındaki diğer önemli yerleşim birimleri Çaltılıbük ve Devecikonağı nahiyeleridir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Coğrafi konum.

Kestelek Köyü +60 kotunda alüvyon düzlük içerisinde kurulmuştur. Civardaki tepeler ve sırtlar çok yüksek olmamakla birlikte arazi çok engebeldir. Çalışma alanının güneyinde Kale Tepe (165 m), Mandayatak Tepe (319 m), Sarıçam Tepe (305 m), Kurtbeleni Tepe (160 m), kuzeyinde Akyokuş Tepe (305 m), Tepeköy Tepe (285 m), Mantarlı Tepe (205 m), Çamçukur Tepe (185 m) bulunmaktadır. Kuzey ve güney yönlü vadilerle yarılmış sırtlar dik yamaçlarla Orhaneli Çayı vadisine inerler. Bölgenin en önemli akarsuları Orhaneli Çayı ve Emet Çayı'dır. Bu iki çay çalışma alanının 1 km batısında Camandar Köyü yakınlarında birleşerek Kocaçay adını alır ve Uluabat Gölü'ne boşalırlar. Bitki örtüsü olarak çam, gürgen, meşe, bodur ağaçlar ve fundalıklar yaygındır. Bitkisel toprak tabakası oldukça kalın ve tarıma çok elverişlidir. Açık ocak mevcut döküm sahası Şekil 3.2 ve 3.3'de görülebilir.



**Şekil 3.2 :** Açık ocak mevcut döküm sahasının görünümü.



**Şekil 3.3 :** Açık ocak mevcut döküm sahasının görünümü.

### 3.2 İklim ve Meteoroloji Verileri

Kestelek Köyü ve civarında tipik Marmara Bölgesi iklimi hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve soğuktur.

**Çizelge 3.1 : Bölgenin iklim verileri.**

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
<b>Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2008)</b>												
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.4	6.0	8.5	13.0	17.7	22.4	24.6	24.3	20.1	15.4	10.3	7.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.6	10.5	13.8	18.8	23.7	28.5	30.7	30.7	26.9	21.6	15.7	11.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.6	1.8	3.7	7.3	11.2	15.2	17.4	17.4	13.7	10.1	5.7	3.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.0	12.7	12.0	11.5	8.0	5.9	3.2	3.1	5.5	9.3	11.6	14.2
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m <sup>2</sup> )	81.3	68.8	64.3	64.0	42.7	32.9	18.4	13.4	39.9	66.6	85.3	97.0
<b>Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2009)*</b>												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.8	25.0	30.6	34.6	35.9	41.3	43.8	41.2	38.9	37.3	28.5	25.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-11.8	-16.4	-8.0	-3.1	1.6	5.2	9.6	10.1	5.0	0.2	-4.4	-8.4

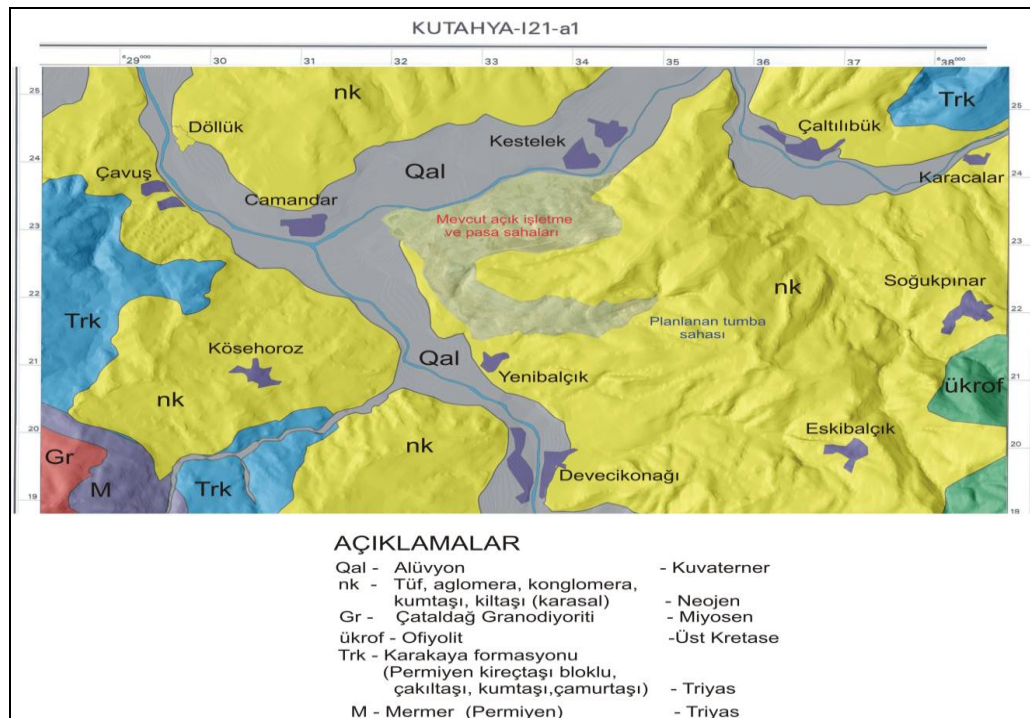


## 4. JEOLJİK VE JEOTEKNİK DURUM

### 4.1 Genel Jeoloji

Açık işletme alanının temelinde Permo Triyas yaşlı mermerlerle ardalanmalı ve aşırı deforme metagrovaktan oluşan Karakaya formasyonu (Trk ve M) bulunur. Bu birimlerin batısında intrüzif bir dokanakla Alt Miyosen yaşlı Çataldağ Granodiyoridi (Gr) yer alır. Kestelek köyünün güney doğusunda ise Kretase yaşlı ofiyolitik melanj (ükrof) bulunur. Tüm bu birimlerin üzerinde uyumsuz olarak Alt – Orta Miyosen yaşlı lav, aglomera arakatkılı kumtaşı, kıltaşı ve çamurtaşı serisi gelir. Havzanın orta kesimlerinde yataya yakın eğimli havza kenarlarında yüksek açılı eğimli olan istifi Kuvaterner alüvyonlar uyumsuz olarak örter (Şekil 4.1).

Açık işletme alanı içerisinde daha önce yapılan sondajlarda işletmenin kuzeyinde az siltli kumlu blok ve çakıldan oluşan alüvyon kalınlığı 10-16,5 m arasında değişmektedir. Bu birimin altında borat, kireçtaşı, konglomera, kumtaşı ara tabakalı marn gözlenmektedir. Bu neojen serisinde kil ve marnlar hakimdir. Killerin arasında boratlar oluşmuştur. Killer genellikle siyah ve gri renktedirler. Koyu renkli marnlar genellikle boratlı seviyenin tavanında görülürler.



Şekil 4.1 : Çalışma Alanının Jeolojisi.

## 4.2 Yapısal Jeoloji

Kestelek bölgesi Alp orojenezinin son evrelerinde meydana gelen kuvvetlerden kıvrımlanmış ve yer yer kırılıp kıvrımlanmışır. Çalışma alanının kuzeyinde 2 adet 100-150 m atımlı normal fay vardır. Tabaka eğimleri genellikle 15-25° arasında değişmektedir. Orhaneli Çayı'nın güneyinde bir senklinal oluşmuştur. Boratlı seviyelerin üzerinde görülen konglomeratik seviyeler yer yer çapraz tabakalıdır.

## 4.3 Dekapaj Sahasının Jeolojisi

Tumba alanı karasal neojen çökellerinden oluşmaktadır. Çalışma alanı içerisinde ve yakın civarında açılan sondajlardan elde edilen verilere göre üç ayrı sedimentolojik ortam tanımlanabilmektedir. Bunlar, (1) andezit, tuf ve aglomeradan oluşan volkanitler, (2) çakıltası-kumtaşı-kiltaşı ardalanmasından oluşan ve devresellik gösteren akarsu çökelleri, (3) organik kalıntılı, fosilli bazı yerleri kömürlü ve bor mineralleri içeren tufit, marn ve kilden oluşan göl çökelleridir. Akarsu ortamının düşük eğimli olduğu yerlerde ve göl ortamı ile geçiş arasında yer yer bataklık ortamların oluştuğu da yorumlanabilmektedir. Bu ortamlar yatayda ve düşeyde geçişlidirler.

Soğukpınar-Çaltılıbük-Kestelek civarında MTA tarafından yapılan kömür arama çalışmalarda neojen serisinin konglomera-kumtaşı ile başlayıp, üzerine marn-kumtaşı-kiltaşı – tuf – marn serisinin geldiğini, bu birimin yer yer volkanik kökenli birimlerle örtüldüğünü, en üstte ise kireçtaşı ve mermer çakıllı daha genç bir konglomera seviyesinin geldiğini belirtmişlerdir. Bu değerlendirmeye göre taban konglomerası üzerine gölsel ortamın ve bunun da üzerine tekrar akarsu ortamının geliştiği görülmektedir.

Akarsu çökellerinin 2002 yılında yapılan Ö11 sondajında 400 m den fazla olduğu gözlenmiştir. Diğer sondajlarda göl ortamında çökelen birimlerin (yer yer akarsu çökelleri ile birlikte) kalınlıkları yine 400 m den fazladır.

## 4.4 Jeoteknik Durum

Döküm sahasının stabilitesinin değerlendirilmesi için gerekli duyulan jeoteknik verilerin toplanması ve döküm malzemesinin tabanındaki doğal zemin

parametrelerinin tayini için öngörülen jeomekanik laboratuvar testlerinde kullanılmak üzere 3 ayrı lokasyonda sondaj yapılmıştır. Gerek eski gerekse yeni döküm malzemesi ve taban zemininde örselenmemiş numune alabilmek için ince çeperli tüpler (Shelby tüpü) ile numune alınması gerçekleştirilmiştir. Sondajlar yardımıyla eski pasa malzemesinin derinlik değişimleri ve yer altı su seviyesi de çıkarılmıştır.

Bölgede gerçekleştirilen bu sondaj çalışmalarından elde edilen numuneler üzerinde İTÜ İnşaat Fakültesi Hamdi Peynircioğlu Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneyler sonucunda döküm malzemesinin ve doğal zeminin mekanik özellikleri tayin edilmiştir. Numuneler üzerinde Serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Derinliğe bağlı olarak, birim hacim ağırlığı, su muhtevası serbest basınç dayanımı, elastisite modülü, kohezyon ve içsel sürtünme açısı indeks değerleri elde edilmiştir. Ayrıca İTÜ Maden Fakültesi Hidrojeoloji laboratuvarlarında derinliğe bağlı olarak pasa malzemesinin ve zeminin geçirgenlik özellikleri belirlenmiştir.

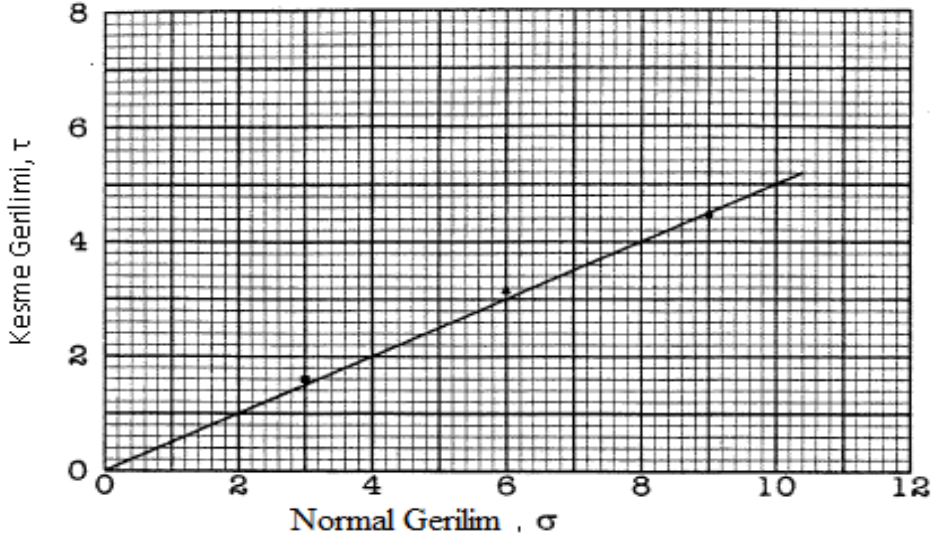
#### **4.5 Laboratuvarda Kesme Kutusu Deneyi**

Formasyonların kesme dayanımları, laboratuvarda Şekil 4.2'de görülen türden bir kesme kutusu deneyinden bulunabilir. Düzensiz yüzeyle numunelerde yüzey pürüzlülüğü etkileri deney sonuçlarını yorumlamayı zorlaştırdığından, en güvenilir değerler numunenin pürüzsüz, düzlemler yüzeyler içermesi halinde elde edilmektedir.

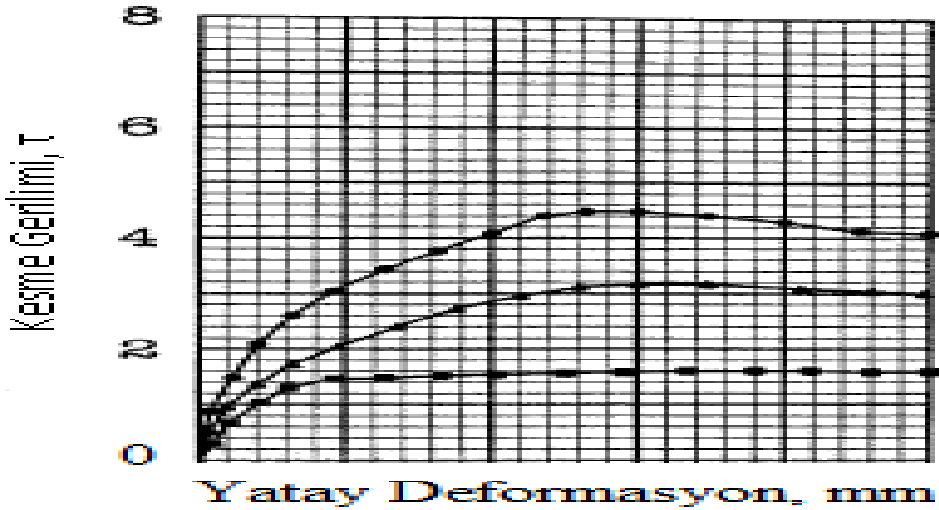


**Şekil 4.2 : Makaslama mukavemeti deney aleti.**

Her bir numune giderek artan normal yükler altında genellikle üç veya dört kere test edilir. Bunun anlamı, bir normal yük için rezidüel kesme gerilmesi elde edildiği zaman numune tekrar kurulu, normal yük arttırılır ve diğer kesme deneyi yapılır. Deney sonuçları kesme yer değiştirmesi-kesme gerilmesi şeklinde grafiğe aktarılır ve bu grafikten pik ile rezidüel kesme dayanımı değerleri belirlenir. Her bir deneyde bir çift kesme gerilmesi ile normal gerilme elde edilir ve bunlar da yüzeyin rezidüel pik ve rezidüel sürtünme açılarını belirlemek üzere grafiğe aktarılır.



Şekil 4.3 : Normal gerilim ve kesme gerilimi ilişkisi.



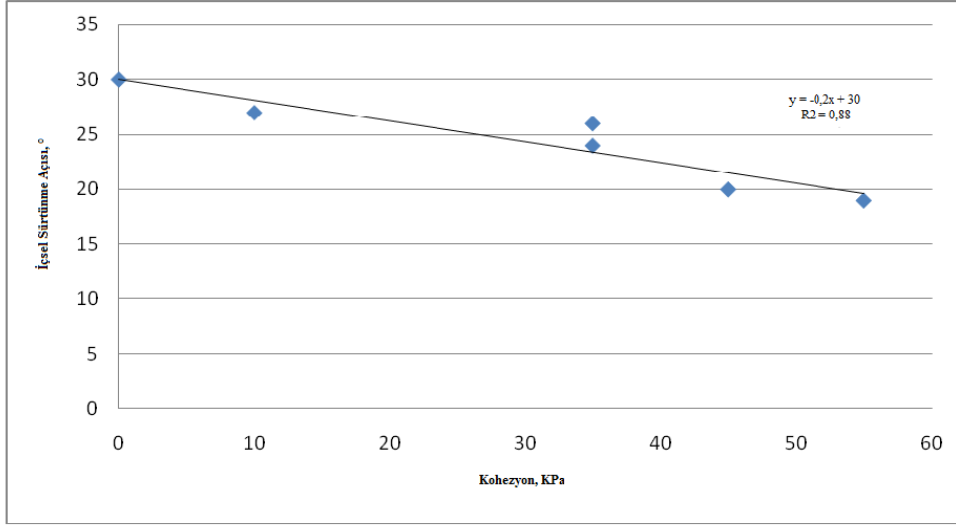
Şekil 4.4 : Deformasyon-kesme gerilmesi grafiği.

Yapılan bütün deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de toplu olarak verilmiştir:

**Çizelge 4.1:** Sondaj numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları.

Sr #	Sondaj No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Tanımlama	Açıklama
1	SK -1	3,50-4,00	19,00	0	30	Döküm	6 Aylık
2		7,50-8,00	19,80	35	24	Döküm	6 Aylık
3		13,00-13,50	20,20	50	25	Kil	Çakıllı Kil
4		13,50-15,00	19,80	55	14	Kil	Çakıllı Kil
5		24,00-27,00	20,20	60	22	Kiltaşı	
6	SK -2	3,00-3,50	20,30	55	19	Döküm	2 yıllık
7		10,00-10,50	20,40	35	26	Döküm	2 yıllık
8		14,50-15,00	20,20	70	10	Kil	Siltli kil
9		22,50-24,00	20,30	35	19	Kil	Siltli kil
10		28,50-30,00	19,20	25	20	Altere kiltası	Siltli altere
11	SK -3	4,00-4,50	18,00	45	20	Döküm	6 yıllık
12		10,00-10,50	19,00	10	27	Döküm	6 yıllık
13		16,50-18,00	18,30	55	11	Kil	Az kumlu siltli kil

Yukarıdaki veriler kullanılarak, döküm malzemesinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri arasında, aşağıdaki grafikte verilen bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntı tasarımlarda oluşturulacak olan şevlerin jeoteknik indeks verilerinin elde edilmesinde kullanılacaktır.



**Şekil 4.5 :** Döküm malzemesinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri arasındaki ilişki.

Bu verilerden hareket ederek stabilite analizleri için makaslama dayanımları ile birim hacim ağırlıkları aşağıda tablo halinde verilmiştir.

**Çizelge 4.2:** Analizlerde kullanılan formasyonlara ait jeoteknik büyüklükler.

Malzeme	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Açıklama
1	0,00- 7,50	18,00	0,00	30,00	Yeni Döküm
2	7,50-15,00	19,00	17,50	26,50	Yeni Döküm
3	0,00- 7,50	20,00	36,25	22,75	Konsolide döküm
4	7,50-15,00	20,00	36,25	22,75	Konsolide döküm
5	Doğal Zemin	19,61	25,00	17,50	Dökümün 20 m altındaki doğal zemin malzemesi

Yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere, döküm malzemesi; döküm yaşına ve derinliğine bağlı olarak farklı modellenmiştir. Bu özellikler tasarım sırasında gerçekleştirilen şev stabilite analizlerinde kullanılmıştır. Bu durum ise, dökümün derinliğine ve yaşına bağlı olarak kohezyon ve içsel sürtünme açı değerlerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Şev stabilite hesapları sırasında, kayma dairesinin içerisinde kalan ve doğal zemin olarak adlandırılan malzemenin mekanik özellikleri de Çizelge 4.2’de verilen sonuçlardan hareket ederek modellenmiştir. Bu modelleme sırasında birim hacim ağırlığı ve içsel sürtünme açısı değerleri doğal zemine ait

sonuçların aritmetik ortalaması olarak elde edilirken, kohezyon değeri ise en düşük kohezyon değeri ile temsil edilmiştir. Stabilit  analizlerinde 1. Döküm olarak gösterilen malzeme, derinliği 0,00-7,50 m arasındaki yeni döküm malzemesi, 2. Döküm olarak gösterilen malzeme, derinliği 7,50-15,00 m arasındaki yeni döküm malzemesi, 3. Döküm ve Mevcut Döküm olarak gösterilen malzeme ise konsolide olmuş döküm malzemesinin değerleri ile sayısallaştırılmıştır.

Sahada gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında yeraltı su seviyesi ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan bu ölçümlerde SK-1 no'lu sondajda, su seviyesi 14,20 m'de ölçülmüştür. Bu değer, yeraltı su seviyesinin mevcut dökümün 4 m altında olduğunu göstermektedir. SK-2 no'lu sondajda ise su seviyesi 10,20 m olarak ölçülmüştür. Bu değer ise su seviyesinin doğal zeminin 1 m üzerinde olduğunu göstermektedir. SK-3 sondajında ise, 13,00 m olarak ölçülen su seviyesi değeri, su seviyesinin yine döküm malzemesinin içinde ve doğal zeminin 2 m üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlardan hareket ederek dökümün yapıldığı şevlerde su seviyesinin dökümün alt kotunun 3 m üzerinden başlayarak dökümün üst basamağına kadar çıkabileceği duruma göre yeraltı su seviyesi belirlenmiştir.



## 5. DÖKÜM SAHASININ STABİLİTE ANALİZİ

Döküm şevlerinde döküm malzemesinin örselenmiş malzeme olması, zemin özelliklerini taşıması dolayısıyla bu şevlerdeki olası kayma hareketinin dairesel olacağını göstermektedir. Süreksizlik yüzeyleri içermeyen zemin türü malzemelerde yenilmeler, genellikle zemin içindeki en zayıf noktalardan geçen ve ideal şekli dairesel yüzey olarak tanımlanan dönel duraysızlık mekanizmasıyla gelişmektedir. Bu tür yenilmeler zeminin makaslama dayanımı tarafından denetlenmekte ve ayrıca boşluk suyu basınçları da etkin rol oynamaktadır. Pasaya çıkarılmış, dolayısıyla örselenmiş ve zamanla yer yer ince tane boyutuna kadar ufalanmış pasa malzemelerinde de bu tür bir yenilme mekanizması yaygın olarak gözlenmektedir. Dairesel kayma mekanizmasını analiz etmek için Bishop yöntemi en uygun yöntemdir.

### 5.1. Basamak Yüksekliğinin ve Açısının Tayini

Bu bölümde, basamak şevin susuz ve sulu durumdaki stabilite analizleri yapılmıştır. Analizlerde kullanılan jeoteknik ve geometrik parametreler aşağıda verilmiştir:

Döküm malzemesi basamağının ilk yarısı için kohezyon (c) 0 kPa, içsel sürtünme açısı ( $\phi$ )  $30^0$  ve birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ )  $18 \text{ kN/m}^3$  dür. Basamağın ikinci yarısı içinse bu değerler  $17,50 \text{ kPa}$ ,  $26,5^0$ ,  $19,0 \text{ kN/m}^3$ 'tür. Şev geometrisi ise; basamak yüksekliği (H) 15 m, şev açısı ( $\alpha$ ) ise  $30^0$  olarak planlanmıştır.

İlk olarak basamak kuru durumda analiz yapılmış, daha sonra basamak yüksekliğinin  $\frac{1}{4}$  ünün su altında olması durumunda analiz gerçekleştirilmiştir.

#### 5.1.1 Susuz durumda Bishop dairesel kayma analizi

İlk olarak kritik kayma dairesi Autocad programında çizilerek geometrik boyutları belirlenmiştir. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi tek basamaklı olan şev 16 dilime bölünmüştür. Her bir dilimin genişliği 2m olarak planlanmıştır.



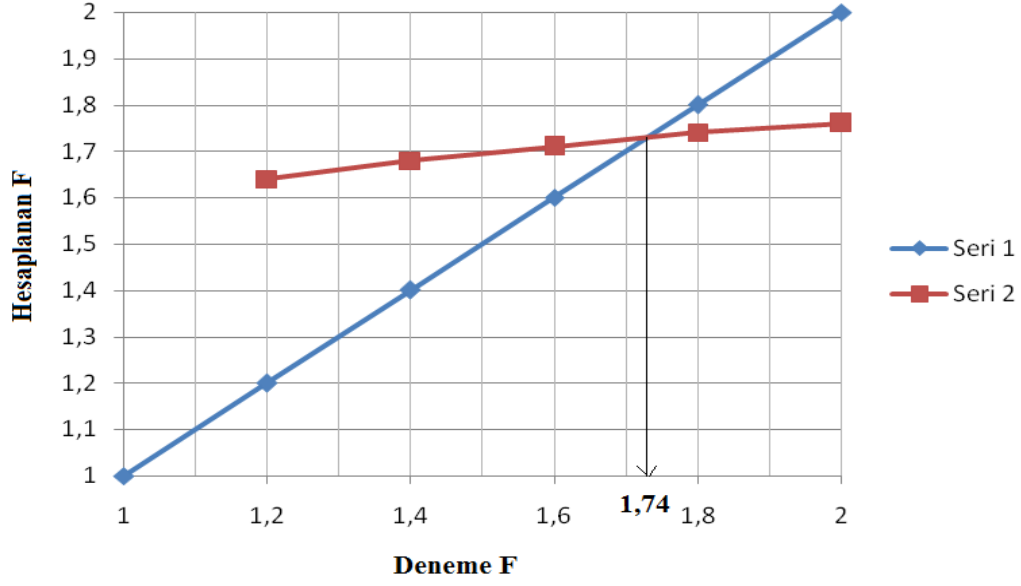
9)Her bir dilim için sütun 8 de hesaplanan değerler,  $m_\alpha$  değerlerine bölünmüştür. Bulunan sonuçların toplamı hesaplanmıştır. Sonuç olarak Güvenlik katsayısı, F, aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$F = \sum [(cb+W\tan\Phi) / m_\alpha] / \sum W\sin\alpha \quad (5.3)$$

Çizelge 5.1’de tek basamaklı şevin susuz durumda olması halinde Bishop yöntemi ile analiz hesapları gösterilmektedir.

**Çizelge 5.1 :** Bishop dairesel kayma analizi (susuz durum).

Dilim	A	W	$\alpha$	$W \sin\alpha$	c	$\Phi$	$cb+W\tan \Phi$	Deneme $F_1$	$cb+W\tan \Phi / F_1$	Deneme $F_2$	$cb+W\tan \Phi / F_2$	Deneme $F_3$	$cb+W\tan \Phi / F_3$
1	1,7	30,6	1,33	29,69	18	0,52	53,67	0,71	75,72	0,64	83,58	0,59	90,65
2	13,1	236,2	1,12	212,3	19	0,46	155,76	0,81	191,87	0,76	205,37	0,72	216,81
3	20,3	380,4	0,93	303,80	19	0,46	227,66	0,93	243,84	0,87	256,89	0,85	267,62
4	24	442,1	0,77	307,11	19	0,46	258,42	1,00	256,38	0,97	267,32	0,94	276,15
5	25,2	467,2	0,65	281,17	19	0,46	270,94	1,05	258,36	1,01	267,47	0,99	274,74
6	25,7	479,7	0,54	247,06	19,61	0,31	190,47	0,99	191,91	0,97	195,72	0,96	198,68
7	27,4	515,2	0,42	209,55	19,61	0,31	201,66	1,02	197,63	1,01	200,63	0,99	202,94
8	24,6	465,9	0,30	136,22	19,61	0,31	186,12	1,03	180,15	1,02	182,08	1,01	183,56
9	23,3	444,1	0,19	84,738	19,61	0,31	179,24	1,03	173,73	1,02	174,94	1,02	175,86
10	21,6	414,1	0,09	36,09	19,61	0,31	169,79	1,02	166,60	1,02	167,14	1,01	167,55
11	19,4	372,7	0	0	19,61	0,31	156,73	1	156,73	1	156,73	1	156,73
12	16,9	325,1	-0,10	-33,98	19,61	0,31	141,72	0,96	146,55	0,97	145,96	0,97	145,52
13	13,9	267,6	-0,21	-55,64	19,61	0,31	123,59	0,92	133,83	0,93	132,71	0,94	131,88
14	10,6	204,3	-0,31	-63,13	19,61	0,31	103,64	0,87	119,14	0,88	117,57	0,89	116,42
15	6,7	129,3	-0,42	-52,59	19,61	0,31	79,99	0,81	99,16	0,82	97,31	0,83	95,98
16	2,3	44,4	-0,52	-22,2	19,61	0,31	53,22	0,73	72,44	0,75	70,63	0,77	69,34
				$\Sigma=1620,2$					$\Sigma=2664,1$		$\Sigma=2722,1$		$\Sigma=2770,4$

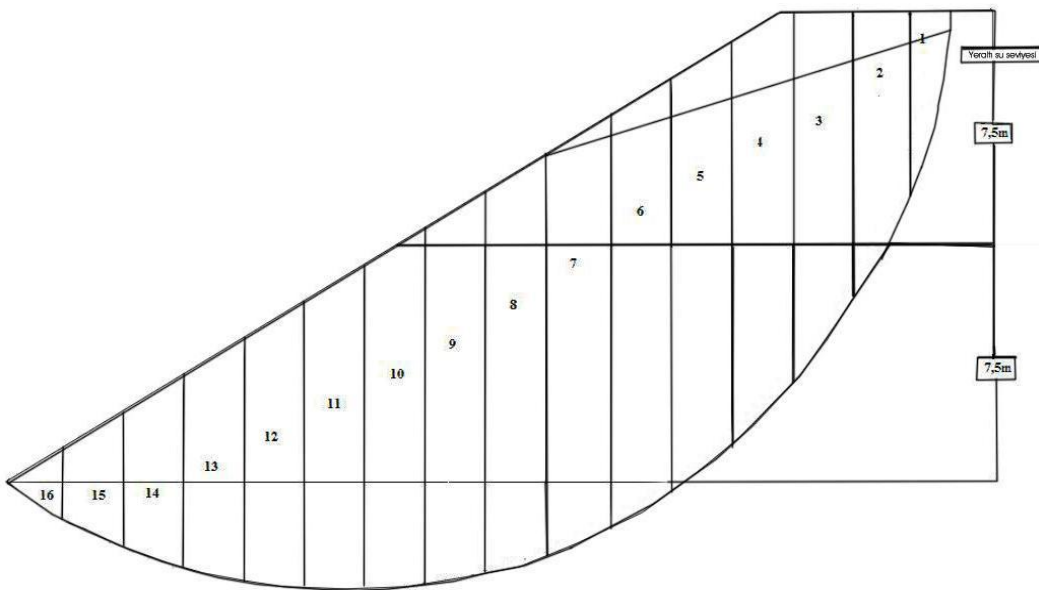


Şekil 5.2 : Güvenlik katsayısının bulunması.

Analiz sonucunda güvenlik katsayısı Şekil 5.2’de görüldüğü gibi 1,74 olarak bulunmuştur.

### 5.1.2. Basamak yüksekliğinin ¼’ü sulu durumdayken Bishop dairesel kayma analizi

Geometrik boyutları belirlenen kritik kayma dairesinin yer altı su seviyesi Şekil 5.3’de gösterilmektedir.



Şekil 5.3 : Stabilite analizi için tek basamaklı sulu şevin dilimlere ayrılması.

Analizin temelini oluşturan şev geometrisi ve ilgili eşitlikler ile çözüm sırasında izlenen aşamalar aşağıda verilmiştir:

- 1) Her bir dilimin alanı (A), dilim yüksekliği (h) ile dilim genişliğinin (b) çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 2) Her bir dilimin ağırlığı (W), dilim yüksekliği (h) ile alanın çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 3) Her bir dilim için su yükseklikleri,  $h_s$ , ölçülmüştür.
- 4) Su basıncı, u, su yüksekliği ile suyun yoğunluğunun çarpılmasıyla bulunmuştur.
- 5) Her bir dilimin eğim açısı ( $\alpha$ ) ölçülmüştür.
- 6) Her bir dilim için  $W \sin \alpha$  değerleri hesaplanmıştır.
- 7) Her bir dilimin kohezyon (c) değerleri belirlenmiştir.
- 8) Her bir dilimin sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ölçülmüştür.
- 9) Her bir dilim için aşağıdaki denklem hesaplanmıştır.

$$cb+(W-ub)\tan\Phi \quad (5.4)$$

- 10) Yine güvenlik faktörü olarak 1.2; 1.4 ve 1.6 değerleri alınarak her bir dilim için  $m_a$  değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$m_a = \cos\alpha + (\sin\alpha * \tan\Phi) / F \quad (5.5)$$

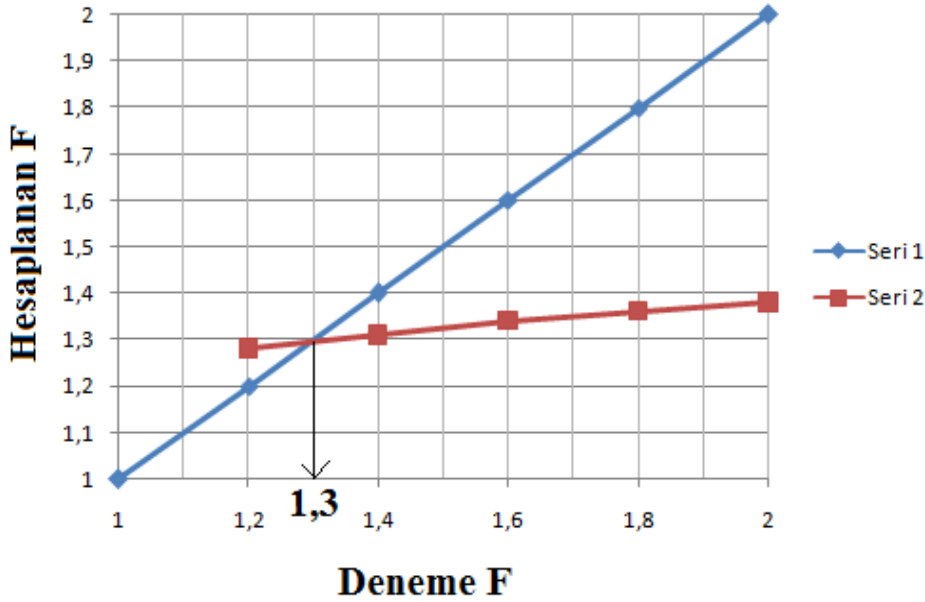
- 11) Her bir dilim için sütun 9 da hesaplanan değerler,  $m_a$  değerlerine bölünmüştür. Bulunan sonuçların toplamı hesaplanmıştır. Sonuç olarak Güvenlik katsayısı, F, aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır:

$$F = \sum [(cb+(W-ub)\tan\Phi) / m_a] / \sum W \sin\alpha \quad (5.6)$$

Çizelge 5.2'de tek basamaklı şevin susuz durumda olması halinde Bishop yöntemi ile analiz hesapları göstermektedir.

**Çizelge 5.2 :** Bishop dairesel kayma analizi (sulu durum).

Dilim	A	W	$h_s$	$r_u$	$\alpha$	$W \sin \alpha$	c	$\Phi$	$cb+(W-ub)\tan\Phi$	Deneme F1	$[cb+(W-ub)\tan\Phi]/F_1$	Deneme F2	$[cb+(W-ub)\tan\Phi]/F_2$	Deneme F3	$[cb+(W-ub)\tan\Phi]/F_3$
1	1,7	30,6	0	0	1,33	29,7	18	0,52	53,67	0,71	75,72	0,64	83,58	0,59	90,65
2	13,1	236,2	0	0	1,12	212,3	19	0,46	155,76	0,81	191,87	0,76	205,37	0,72	216,81
3	20,3	380,4	2,6	26	0,93	303,8	19	0,46	201,73	0,93	216,07	0,89	227,63	0,85	237,14
4	24	442,1	4,6	46	0,77	307,1	19	0,46	212,55	1,01	210,87	0,97	219,87	0,94	227,13
5	25,2	467,2	6	60	0,65	281,2	19	0,46	211,11	1,05	201,31	1,01	208,41	0,99	214,07
6	25,7	479,7	6,9	69	0,54	247,1	19,61	0,31	146,96	0,99	148,07	0,97	151,01	0,96	153,29
7	27,4	515,2	7,7	77	0,42	209,6	19,61	0,31	153,11	1,02	150,04	1,01	152,32	0,99	154,07
8	24,6	465,9	8,1	81	0,30	136,2	19,61	0,31	135,04	1,03	130,71	1,02	132,11	1,01	133,19
9	23,3	444,1	8,3	83	0,19	84,7	19,61	0,31	126,90	1,03	122,99	1,02	123,86	1,02	124,51
10	21,6	414,1	8,3	83	0,09	36,1	19,61	0,31	117,45	1,02	115,25	1,02	115,62	1,01	115,90
11	19,4	372,7	8	80	0	0	19,61	0,31	106,28	1	106,28	1	106,28	1	106,28
12	16,9	325,1	7,6	76	-0,10	-34	19,61	0,31	93,80	0,97	96,99	0,97	96,60	0,97	96,31
13	13,9	267,6	6,9	69	-0,21	-55,6	19,61	0,31	80,08	0,92	86,71	0,93	85,99	0,94	85,45
14	10,6	204,3	5,2	52	-0,31	-63,1	19,61	0,31	70,84	0,87	81,44	0,88	80,37	0,89	79,59
15	6,7	129,3	3,3	33	-0,42	-52,6	19,61	0,31	59,18	0,81	73,36	0,82	71,993	0,83	71,01
16	2,3	44,4	1,1	11	-0,52	-22,2	19,61	0,31	46,28	0,73	62,99	0,75	61,43	0,77	60,30
						$\Sigma=1620,3$					$\Sigma=2070,7$		$\Sigma=2122,5$		$\Sigma=2165,7$



**Şekil 5.4 :** Güvenlik katsayısının bulunması.

Analiz sonucunda güvenlik katsayısı Şekil 5.4'de görüldüğü gibi 1,3 bulunmuştur.

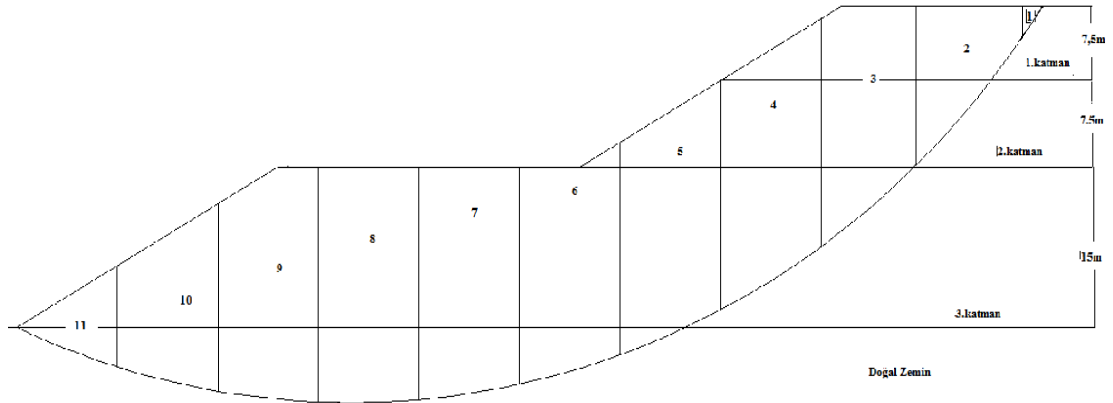
## 5.2. Basamak Genişliğinin Tayini

Basamak genişliğinin tayini için, basamak yüksekliğinin 15 m, basamak açısının ise  $30^{\circ}$  olduğu şev geometrisi için stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan jeoteknik ve geometrik parametreler aşağıda verilmiştir:

Döküm malzemesi basamağının ilk yarısı için kohezyon (c) 17 kPa, içsel sürtünme açısı ( $\Phi$ )  $26,5^{\circ}$  ve birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ )  $19\text{kN/m}^3$ ’dür. Basamağın ikinci yarısı içinse bu değerler 36,25 kPa;  $22,75^{\circ}$ ;  $20,0\text{ kN/m}^3$ ’tür. Doğal zemin içinse bu değerler 25kPa;  $17,5^{\circ}$ ;  $19,61\text{kN/m}^3$ ’tür. İlk olarak basamak kuru durumda analiz yapılmış, daha sonra basamak yüksekliğinin  $\frac{1}{4}$  ünün su altında olması durumunda analiz gerçekleştirilmiştir.

### 5.2.1 Susuz durumda Bishop dairesel kayma analizi

İki basamaklı olarak tasarlanan şev Şekil 5.5’te görüldüğü gibi 11 dilime bölünmüştür. Her bir dilimin genişliği 10m olarak planlanmıştır. Daha sonra aşamalı olarak şevin güvenlik katsayısı hesaplanmıştır.



Şekil 5.5 : Stabilite analizi için iki basamaklı susuz şevin dilimlere ayrılması.

Analizin temelini oluşturan şev geometrisi ve ilgili eşitlikler ile çözüm sırasında izlenen aşamalar aşağıda verilmiştir:

- 1) Her bir dilimin alanı (A), dilim yüksekliği (h) ile dilim genişliğinin (b) çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 2) Her bir dilimin ağırlığı (W), dilim yüksekliği (h) ile alanın çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

- 3) Her bir dilimin eğim açısı ( $\alpha$ ) ölçülmüştür.
- 4) Her bir dilim için  $W \sin \alpha$  değerleri hesaplanmıştır.
- 5) Her bir dilimin kohezyon ( $c$ ) değerleri belirlenmiştir.
- 6) Her bir dilimin sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ölçülmüştür.
- 7) Her bir dilim için aşağıdaki denklem hesaplanmıştır.

$$cb+W \tan \Phi \quad (5.7)$$

- 8) Yine güvenlik faktörü olarak 1.2; 1.4 ve 1.6 değerleri alınarak her bir dilim için  $m_a$  değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$m_a = \cos \alpha + (\sin \alpha * \tan \Phi) / F \quad (5.8)$$

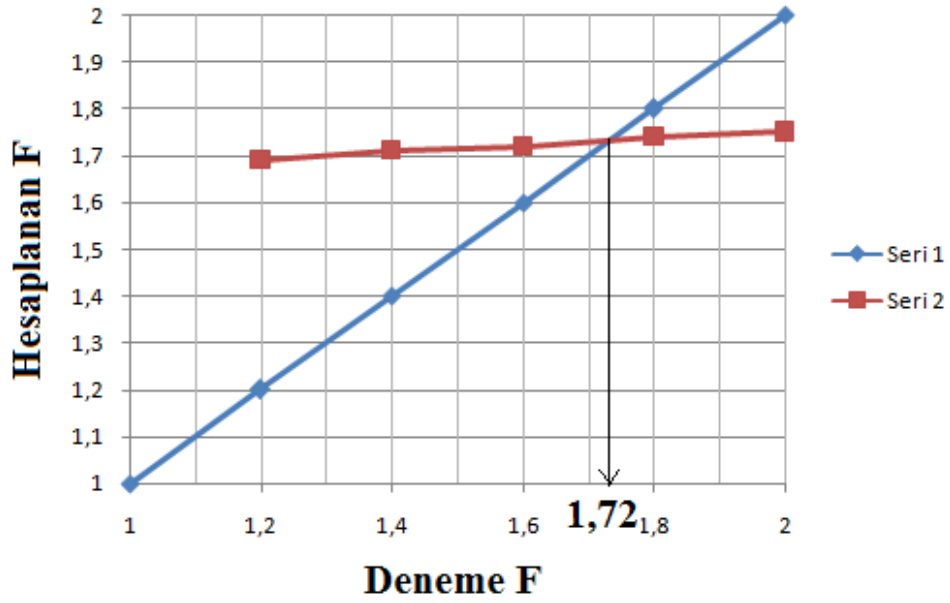
- 9) Her bir dilim için sütun 8 de hesaplanan değerler,  $m_a$  değerlerine bölünmüştür. Bulunan sonuçların toplamı hesaplanmıştır. Sonuç olarak Güvenlik katsayısı,  $F$ , aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$F = \sum [(cb+W \tan \Phi) / m_a] / \sum W \sin \alpha \quad (5.9)$$

Sonuç olarak, Çizelge 5.3'de basamağın susuz durumda olması halinde Bishop yöntemi hesapları gösterilmektedir.

**Çizelge 5.3 : Bishop dairesel kayma analizi (susuz durum).**

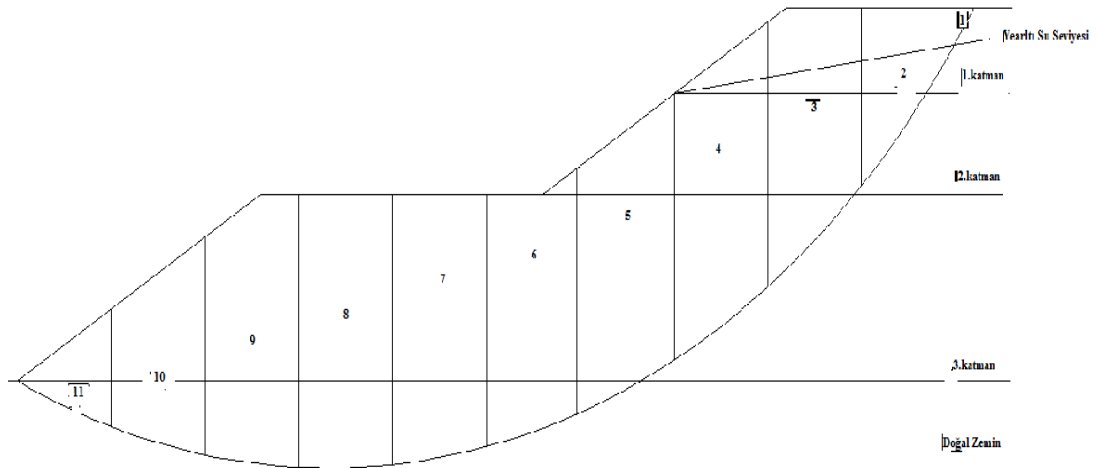
Dilim	A	W	$\alpha$	$W \sin \alpha$	c	$\Phi$	$cb+W \tan \Phi$	Deneme $F_1$	$cb+W \tan \Phi / F_1$	Deneme $F_2$	$cb+W \tan \Phi / F_2$	Deneme $F_3$	$cb+W \tan \Phi / F_3$
1	2,7	48,6	0,96	39,81	18	0,52	64,06	0,97	66,2	0,91	70,29	0,87	73,70
2	85,6	1609,3	0,86	1214,55	19	0,46	840,37	0,97	866,69	0,92	908,67	0,89	942,92
3	182,6	3447	0,68	2169,27	20	0,4	1485,44	1,00	1489,82	0,97	1538,3	0,94	1576,78
4	213,8	4138,8	0,54	2131,64	20	0,4	1775,54	1,04	1711,95	1,01	1755,47	0,99	1789,59
5	207,4	4136,3	0,40	1616,18	25	0,31	1354,17	1,02	1323,5	1,01	1342,75	1,00	1357,56
6	193,7	4064,3	0,28	1120,27	25	0,31	1331,47	1,03	1288,08	1,02	1301,1	1,01	1311,04
7	210	4500	0,14	626,28	25	0,31	1468,84	1,03	1430,46	1,02	1437,77	1,02	1443,31
8	218,3	4707,5	0,01	82,16	25	0,31	1534,27	1,00	1527,5	1,00	1528,49	1,00	1529,24
9	204,1	4403,5	-0,1	-460,29	25	0,31	1438,42	0,97	1487,42	0,97	1481,4	0,97	1476,93
10	134,6	2932	-0,22	-659,56	25	0,31	974,46	0,92	1064,67	0,92	1054,94	0,93	1047,76
11	47,2	1035,5	-0,35	-354,16	25	0,31	376,5	0,85	443,02	0,86	436,43	0,87	431,61
				$\Sigma=7526,15$					$\Sigma=12699,32$		$\Sigma=12855,62$		$\Sigma=12980,44$



Şekil 5.6 : Güvenlik katsayısının bulunması.

Analiz sonucunda güvenlik katsayısı Şekil 5.6’de görüldüğü gibi 1,72 olarak bulunmuştur.

**5.2.2 Basamak yüksekliğinin ¼’ü sulu durumda Bishop dairesel kayma analizi**  
Geometrik boyutları belirlenen kritik kayma dairesinin yer altı su seviyesi Şekil 5.7’de gösterilmektedir.



Şekil 5.7 : Stabilite analizi için iki basamaklı sulu şevin dilimlere ayrılması.

Analizin temelini oluşturan şev geometrisi ve ilgili eşitlikler ile çözüm sırasında izlenen aşamalar aşağıda verilmiştir:

- 1) Her bir dilimin alanı (A), dilim yüksekliği (h) ile dilim genişliğinin (b) çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 2) Her bir dilimin ağırlığı (W), dilim yüksekliği (h) ile alanın çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 3) Her bir dilim için su yükseklikleri,  $h_s$ , ölçülmüştür.
- 4) Su basıncı, u, su yüksekliği ile suyun yoğunluğunun çarpılmasıyla bulunmuştur.
- 5) Her bir dilimin eğim açısı ( $\alpha$ ) ölçülmüştür.
- 6) Her bir dilim için  $W \sin \alpha$  değerleri hesaplanmıştır.
- 7) Her bir dilimin kohezyon (c) değerleri belirlenmiştir.
- 8) Her bir dilimin sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ölçülmüştür.
- 9) Her bir dilim için aşağıdaki denklem hesaplanmıştır.

$$cb + (W - ub) \tan \Phi \quad (5.10)$$

- 10) Yine güvenlik faktörü olarak 1.2; 1.4 ve 1.6 değerleri alınarak her bir dilim için  $m_\alpha$  değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$m_\alpha = \frac{cb + (W - ub) \tan \Phi}{\sum W \sin \alpha} \quad (5.11)$$

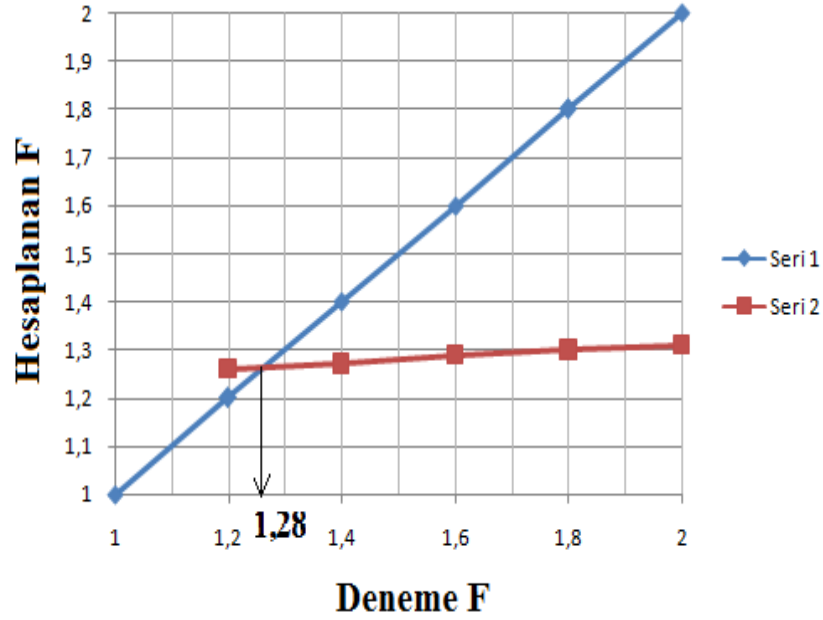
- 11) Her bir dilim için sütun 9 da hesaplanan değerler,  $m_\alpha$  değerlerine bölünmüştür. Bulunan sonuçların toplamı hesaplanmıştır. Sonuç olarak Güvenlik katsayısı, F, aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır:

$$F = \frac{\sum [cb + (W - ub) \tan \Phi]}{\sum W \sin \alpha} \quad (5.12)$$

Çizgele 5.4'de iki basamaklı şevin sulu durumda olması halinde Bishop yöntemi ile analiz hesapları göstermektedir.

**Çizelge 5.4 : Bishop dairesel kayma analizi (sulu durum).**

Dilim	A	W	$h_s$	$r_u$	$\alpha$	$W \sin \alpha$	c	$\Phi$	$cb+(W-ub)\tan\Phi$	Deneme $F_1$	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F_1$	$F_2$	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F_2$	$F_3$	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F_3$		
1	2,7	48,6	1,4	14	0,96	39,81	18	0,52	127,23	0,97	131,48	0,91	139,6	0,87	146,38		
2	85,6	1609,3	7,6	76	0,86	1214,55	19	0,46	613,45	0,97	632,66	0,92	663,3	0,9	688,31		
3	182,6	3447	15,1	151	0,68	2169,27	20	0,46	1165,75	1,04	1122,41	1,00	1164,28	0,97	1197,79		
4	213,8	4138,8	19,8	198	0,54	2131,64	20	0,46	1276,34	1,07	1191,55	1,04	1226,55	1,02	1254,19		
5	207,4	4136,3	21	210	0,4	1616,18	25	0,46	1265,26	1,08	1168,46	1,06	1194,03	1,04	1213,96		
6	193,7	4064,3	19	190	0,28	1120,27	25	0,31	932,40	1,03	902,02	1,02	911,14	1,01	918,1		
7	210	4500	21,1	211	0,14	626,28	25	0,31	1003,56	1,02	977,34	1,02	982,33	1,02	986,12		
8	218,3	4707,5	22	220	0,02	82,16	25	0,31	1040,61	1,00	1036,02	1,00	1036,69	1,0	1037,2		
9	204,1	4403,5	21,2	212	-0,1	-460,29	25	0,31	969,98	0,97	1003,03	0,97	998,97	0,97	995,96		
10	134,6	2932	13,7	137	-	-659,56	25	0,31	742,5	0,92	811,24	0,92	803,82	0,93	798,35		
11	47,2	1035,5	5,6	56	-	-354,16	25	0,31	399,92	0,85	470,59	0,86	463,59	0,87	458,47		
$\Sigma=7526,15$									$\Sigma=9446,78$			$\Sigma=9584,32$			$\Sigma=9694,82$		



**Şekil 5.8:** Güvenlik katsayısının bulunması.

Analiz sonucunda güvenlik katsayısı Şekil 5.8’de görüldüğü gibi 1,28 olarak bulunmuştur.

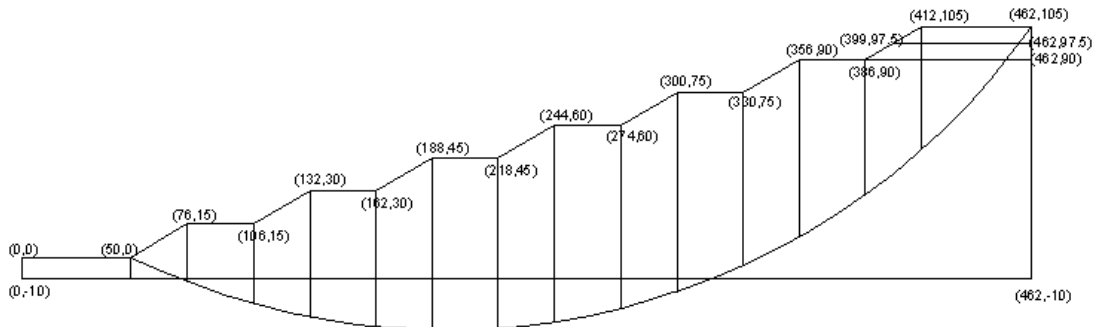
### 5.3. Döküm Sahasının Stabilitesi

Döküm şevlerinin zemin özelliklerine uygun olması, bu şevlerdeki olası kayma hareketinin dairesel olacağını göstermektedir. Bu duruma uygun olarak, kesitlerde en olası kayma dairesinin yerleri tayin edildikten sonra önce Bishop Yöntemi kullanılarak elle, daha sonra “Bishop Çoklu Stabilite Analizi” ve “Spencer Wright Stabilite Analizi” esaslarına göre; “Galena 5.02” yazılımı kullanılarak sulu ve susuz durumdaki stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Stabilite analizleri sonucunda şevlerin kaymaya karşı duraylılığını gösteren güvenlik katsayısı (F) değerleri elde edilmiştir.

#### 5.3.1 Bishop yöntemi kullanarak elle yapılan stabilite analizleri

##### 5.3.1.1 Susuz durumda Bishop dairesel kayma analizi

İlk olarak şev geometrisi autocad programında çizilerek koordinatları belirlenmiştir. Şekil 5.9’da gösterildiği gibi yedi basamaklı olan şev 14 dilime bölünmüştür.



Şekil 5.9 : Stabilite analizi için yedi basamaklı susuz şevin dilimlere ayrılması.

Analizin temelini oluşturan şev geometrisi ve ilgili eşitlikler ile çözüm sırasında izlenen aşamalar aşağıda verilmiştir:

- 1) Her bir dilimin alanı (A), dilim yüksekliği (h) ile dilim genişliğinin (b) çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 2) Her bir dilimin ağırlığı (W), dilim yüksekliği (h) ile alanın çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 3) Her bir dilimin eğim açısı ( $\alpha$ ) ölçülmüştür.
- 4) Her bir dilim için  $W \sin \alpha$  değerleri hesaplanmıştır.

5) Her bir dilimin kohezyon (c) değerleri belirlenmiştir.

6) Her bir dilimin sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ölçülmüştür.

7) Her bir dilim için aşağıdaki denklem hesaplanmıştır.

$$cb+W\tan\Phi \quad (5.13)$$

8) Yine güvenlik faktörü olarak 1.2; 1.4 ve 1.6 değerleri alınarak her bir dilim için  $m_a$  değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$m_a = \cos\alpha + (\sin\alpha * \tan\Phi) / F \quad (5.14)$$

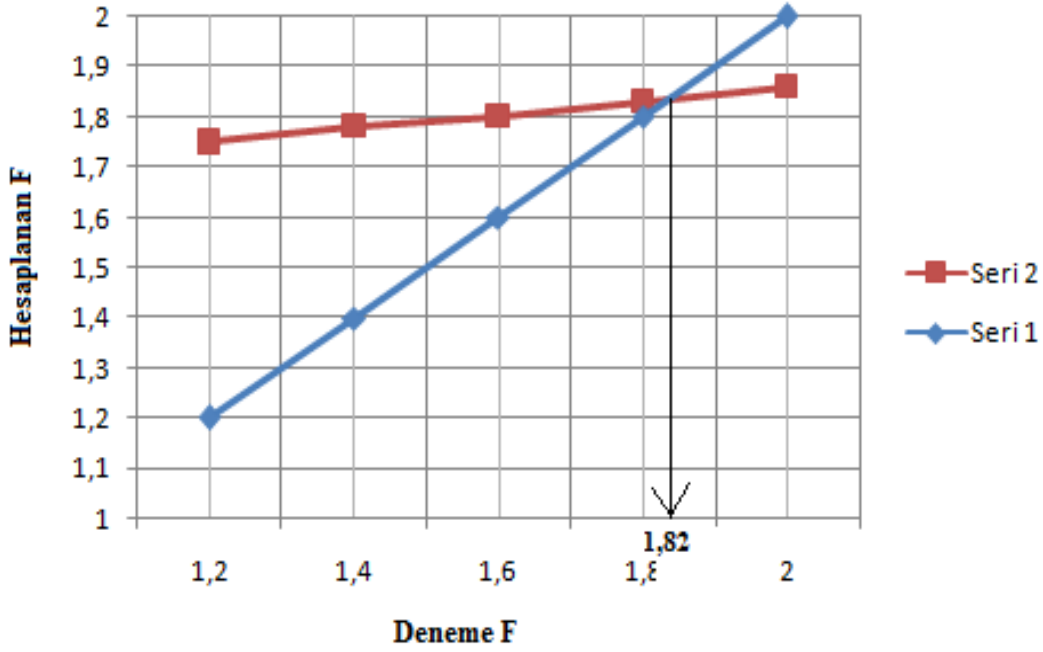
9) Her bir dilim için sütun 8 de hesaplanan değerler,  $m_a$  değerlerine bölünmüştür. Bulunan sonuçların toplamı hesaplanmıştır. Sonuç olarak Güvenlik katsayısı, F, aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$F = \sum [(cb+W\tan\Phi) / m_a] / \sum W \sin\alpha \quad (5.15)$$

Sonuç olarak, Çizelge 5.5'de yedi basamaklı şevin susuz durumda olması halind e Bishop yöntemi hesapları gösterilmektedir.

**Çizelge 5.5 : Bishop dairesel kayma analizi (susuz durum).**

Dilim	A	W	$\alpha$	W sin $\alpha$	c	$\Phi$	$cb+(W-ub)\tan\Phi$	Deneme F1	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F1$	Deneme F2	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F2$	Deneme F3	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F3$
1	1393,1	27862	0,84	20705,5	20	0,52	16186,1	1,02	15765,5	0,97	16590,98	0,93	17269,1
2	1522,8	30456	0,68	19166,6	20	0,46	15236,8	1,03	14670,2	1,00	15217,54	0,97	15655,5
3	2133,2	42664	0,58	23236,5	20	0,46	21331,5	1,06	20030,3	1,03	20657,37	1,00	21154,1
4	2073,9	41478	0,47	18830,6	20	0,46	20732,2	1,07	19202,9	1,05	19694,54	1,03	20080
5	2546,4	49934,9	0,38	18705,9	19,61	0,46	24955,5	1,08	23046,5	1,06	23529,73	1,04	23905,6
6	2264,4	44404,8	0,3	12982,7	19,61	0,30	14051,8	1,03	13601,2	1,02	13747,27	1,01	13858,8
7	2595,3	50893,8	0,19	9711,0	19,61	0,30	16105,6	1,03	15609,7	1,02	15718,9	1,01	15801,7
8	2169,4	42541,9	0,12	5184,6	19,61	0,30	13464,4	1,02	13141,5	1,01	13200,49	1,01	13245
9	2336,1	45810,9	0,02	799,5	19,61	0,30	14502,9	1,00	14438,9	1,00	14448,36	1,00	14455,4
10	1819	35670,5	-0,05	-1866,9	19,61	0,30	11297,9	0,98	11471,3	0,98	11448,51	0,98	11431,4
11	1787,2	35046,9	-0,14	-4877,6	19,61	0,30	11109,1	0,95	11648,4	0,95	11584,96	0,96	11537,8
12	1216,8	23861,4	-0,23	-5367,7	19,61	0,30	7574,5	0,92	8275,7	0,92	8200,07	0,93	8144,2
13	938,1	18396,1	-0,33	-5989,1	19,61	0,30	5859,1	0,86	6813,1	0,87	6717,65	0,88	6647,7
14	341,2	6824	-0,4	-2666,3	20	0,30	2203,6	0,82	2694,4	0,83	2646,94	0,84	2612,4
				$\Sigma=10855,3$					$\Sigma=190148$		$\Sigma=193136,9$		$\Sigma=195529,3$

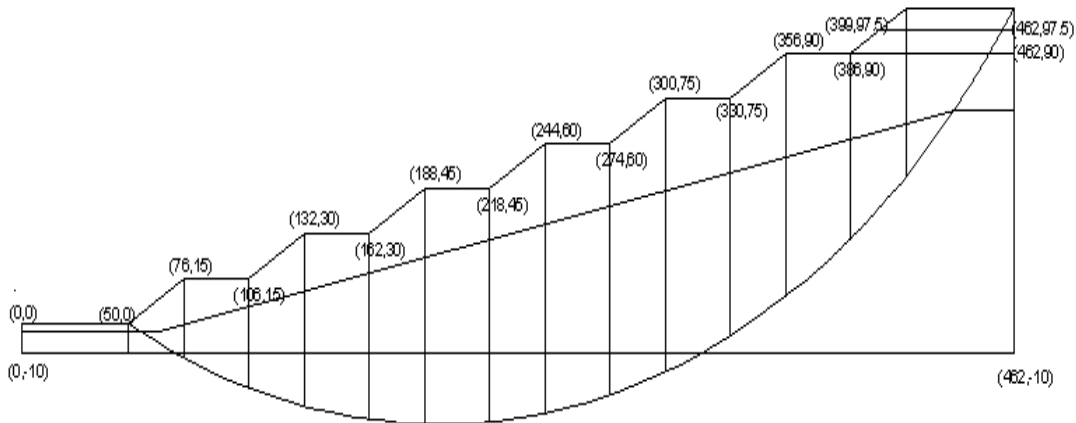


Şekil 5.10: Güvenlik katsayısının bulunması.

Analiz sonucunda güvenlik katsayısı Şekil 5.10’da görüldüğü gibi 1,82 olarak bulunmuştur.

### 5.3.1.2 Sulu durumda Bishop dairesel kayma analizi

Geometrik boyutları belirlenen kritik kayma dairesinin yer altı su seviyesi Şekil 5.11’de gösterilmektedir.



Şekil 5.11 : Stabilité analizi için yedi basamaklı sulu şevin dilimlere ayrılması.

Analizin temelini oluşturan şev geometrisi ve ilgili eşitlikler ile çözüm sırasında izlenen aşamalar aşağıda verilmiştir:

- 1) Her bir dilimin alanı (A), dilim yüksekliği (h) ile dilim genişliğinin (b) çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 2) Her bir dilimin ağırlığı (W), dilim yüksekliği (h) ile alanın çarpılmasıyla hesaplanmıştır.
- 3) Her bir dilim için su yükseklikleri,  $h_s$ , ölçülmüştür.
- 4) Su basıncı, u, su yüksekliği ile suyun yoğunluğunun çarpılmasıyla bulunmuştur.
- 5) Her bir dilimin eğim açısı ( $\alpha$ ) ölçülmüştür.
- 6) Her bir dilim için  $W \sin \alpha$  değerleri hesaplanmıştır.
- 7) Her bir dilimin kohezyon (c) değerleri belirlenmiştir.
- 8) Her bir dilimin sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ölçülmüştür.
- 9) Her bir dilim için aşağıdaki denklem hesaplanmıştır.

$$cb+(W-ub)\tan\Phi \quad (5.16)$$

- 10) Yine güvenlik faktörü olarak 1.2; 1.4 ve 1.6 değerleri alınarak her bir dilim için  $m_a$  değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$m_a = \cos\alpha + (\sin\alpha * \tan\Phi) / F \quad (5.17)$$

- 11) Her bir dilim için sütun 9 da hesaplanan değerler,  $m_a$  değerlerine bölünmüştür. Bulunan sonuçların toplamı hesaplanmıştır. Sonuç olarak Güvenlik katsayısı, F, aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır:

$$F = \sum [(cb+(W-ub)\tan\Phi) / m_a] / \sum W \sin\alpha \quad (5.18)$$

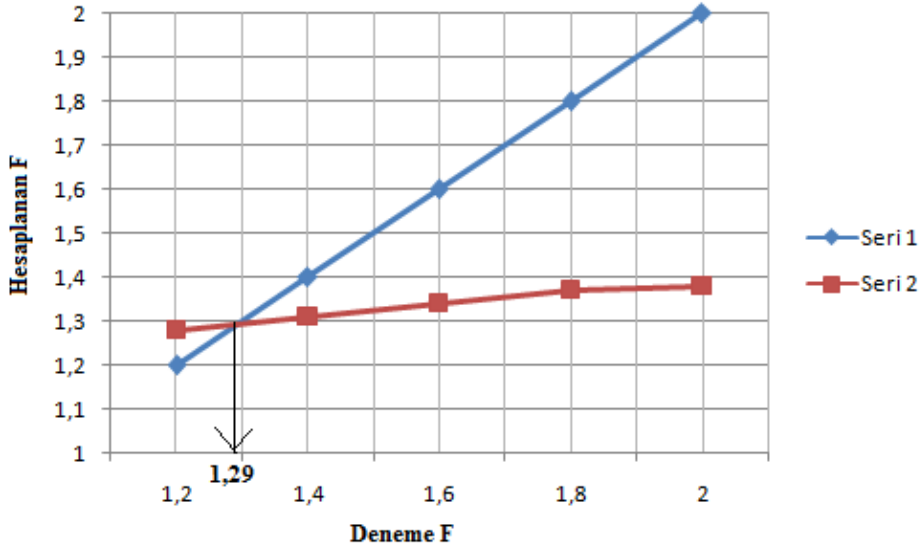
Çizelge 5.6'da yedi basamaklı şevin sulu durumda Bishop yöntemi ile analiz hesapları gösterilmektedir.

**Çizelge 5.6 : Bishop dairesel kayma analizi (sulu durum).**

Dilim	A	W	$h_s$	$r_u$	$\alpha$	W sin $\alpha$	c	$\Phi$	$cb+(W-ub)\tan\Phi$	Deneme $F_1$	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F_1$	$F_2$	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F_2$	$F_3$	$[cb+(W-ub)\tan\Phi] / F_3$
1	1393,1	27862	10,2	102	0,83	20705,5	20	0,52	15891,6	1,02	15478,7	0,97	16289,1	0,9	16954,9
2	1522,8	30456	25,8	258	0,68	19166,5	20	0,46	14902,3	1,03	14348,2	1,00	14883,5	0,97	15311,9
3	2133,2	42664	39,1	391	0,57	23236,4	20	0,46	20746,6	1,06	19481,1	1,03	20091	1,00	20574
4	2073,9	41478	50,5	505	0,47	18830,6	20	0,46	20077,5	1,07	18596,6	1,05	19072,6	1,03	19446
5	2546,4	49934,9	57,2	572	0,38	18705,9	19,61	0,46	24099,8	1,08	22256,4	1,06	22723	1,04	23086
6	2264,4	44404,8	61,1	611	0,29	12982,7	19,61	0,3	13550,9	1,03	13116,4	1,02	13257,2	1,01	13364,8
7	2595,3	50893,8	62,3	623	0,19	9711	19,61	0,3	15516,3	1,03	15038,6	1,02	15143,7	1,01	15223,5
8	2169,4	42541,9	62	620	0,12	5184,5	19,61	0,3	12956,1	1,02	12645,4	1,01	12702,1	1,01	12745
9	2336,1	45810,9	58,2	582	0,01	799,5	19,61	0,3	13952,4	1,00	13890,8	1,00	13899,9	1,00	13906,7
10	1819	35670,9	52,2	522	-0,05	1866,8	19,61	0,3	10869,9	0,98	11036,8	0,98	11014,8	0,98	10998,4
11	1787,2	35046,9	44,1	441	0,13	-4877,6	19,61	0,3	10691,9	0,95	11211	0,95	11149,	0,96	11104,
12	1216,8	23861,4	32,8	328	0,22	-5367,6	19,61	0,3	7305,5	0,91	7981,9	0,92	7908,9	0,93	7855,1
13	938,1	18396,1	19,8	198	0,33	-5989,2	19,61	0,3	5671,8	0,85	6595,3	0,87	6502,9	0,88	6435,2
14	341,2	6824	4,8	48	-0,4	-2666,3	20	0,3	2164,2	0,81	2646,2	0,83	2599,6	0,84	2565,7

$\Sigma=108555,3$

$\Sigma=184324,1$   $\Sigma=187239$   $\Sigma=189572,5$



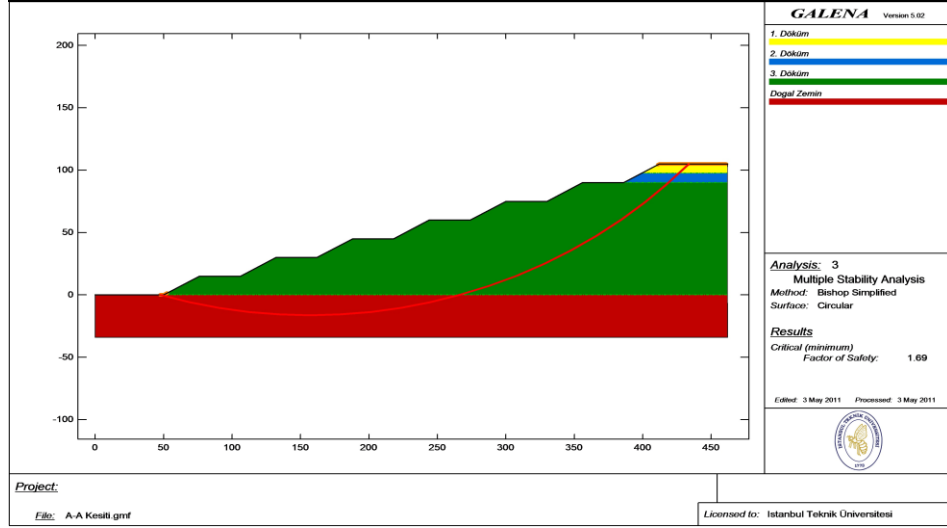
**Şekil 5.12:** Güvenlik katsayısının bulunması.

Analiz sonucunda güvenlik katsayısı Şekil 5.12’de görüldüğü gibi 1,29 olarak bulunmuştur.

## 5.3.2 Bilgisayar yazılımı kullanarak yapılan stabilite analizleri

### 5.3.2.1 Susuz durumda Bishop yöntemi ile stabilite analizi

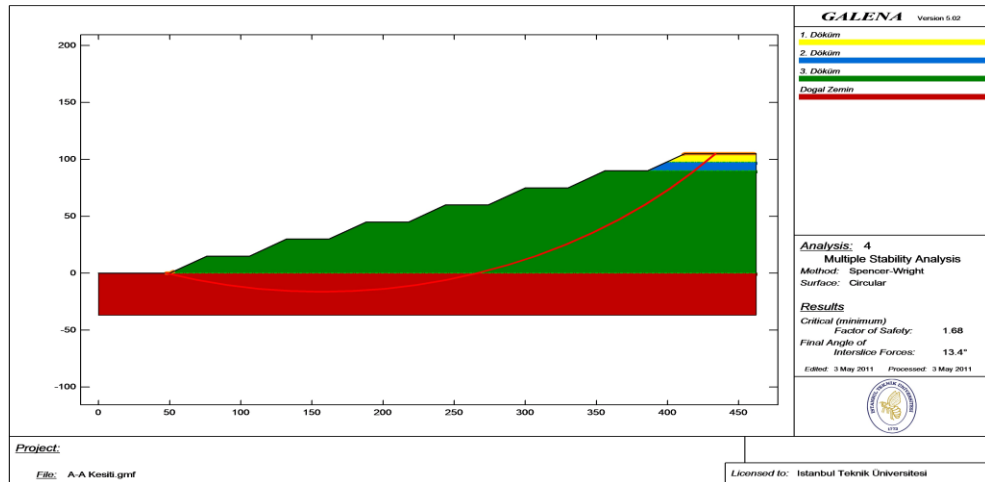
Şekil 5.13'den de görüleceği üzere, analiz sonucunda F değeri 1,69 olarak elde edilmiştir. Bu değer, döküm sahasının stabil olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.13 : A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı  $30^{\circ}$ , Genişliği 30 m, F: 1,69.

### 5.3.2.2 Susuz durumda Spencer yöntemi ile stabilite analizi

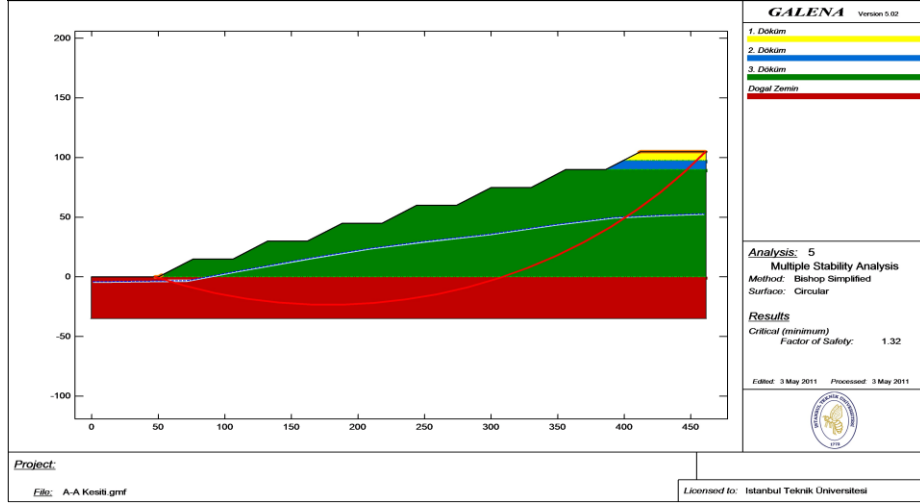
Şekil 5.14'den de görüleceği üzere, analiz sonucunda F değeri 1,68 olarak elde edilmiştir. Bu değer, döküm sahasının stabil olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.14: A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı:  $30^{\circ}$ , Genişliği 30 m, F: 1,68

### 5.3.2.3 Sulu durumda Bishop yöntemi ile stabilite analizi

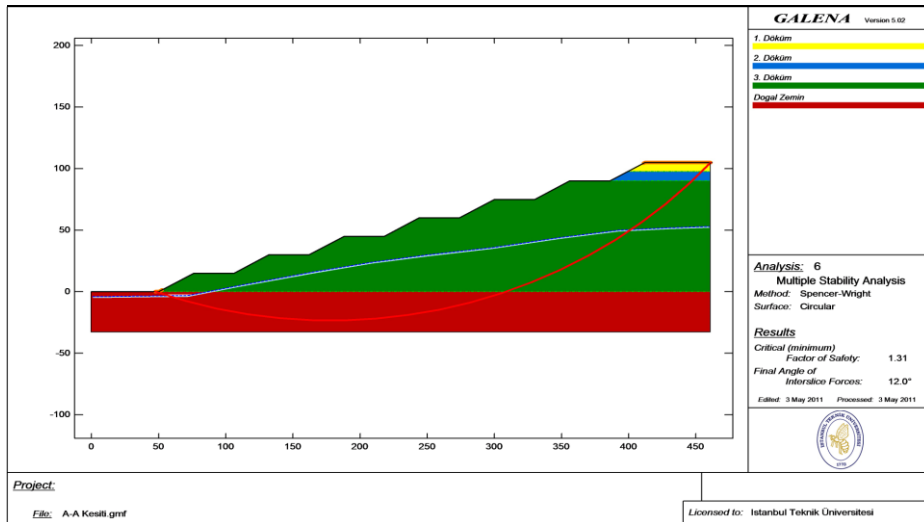
Şekil 5.15’den de görüleceği üzere, analiz sonucunda F değeri 1,32 olarak elde edilmiştir. Bu değer, döküm sahasının stabil olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.15: A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı: 30°, Genişliği 30 m, F: 1,32

### 5.3.2.4 Sulu durumda Spencer yöntemi ile stabilite analizi

Şekil 5.16’den de görüleceği üzere, analiz sonucunda F değeri 1,31 olarak elde edilmiştir. Bu değer, döküm sahasının stabil olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.16 A-A Kesiti, Basamak Yüksekliği 15 m, Açısı: 30°, Genişliği 30 m, F: 1,3

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışma, Kestelek Açık Ocak Dekapaj Sahasının Stabilitésinin analizlerini kapsamaktadır. Dekapaj sahasındaki stabil olmayan şevlerin geometrisi arazi çalışmalarına göre dairesel kayma olarak tanımlanmıştır. Bu şevlerin stabilitelerinin analizi “Bishop’un Dairesel Kayma Analiz” metodu kullanılarak elle yapılmıştır. Daha sonra stabilite analizleri Galena Slope Stability ve Spence Wright bilgisayar programları ile de yapılmıştır.

İlk olarak tek basamaklı şevin susuz durumdaki ve basamak yüksekliğinin ¼’ü sulu durumdaki stabilite analizleri hesaplanmıştır. Tek basamaklı şevin yüksekliği 15m, şev açısı 30° olarak alınmıştır. Daha sonra aynı geometriye sahip iki basamaklı ve yedi basamaklı şevin susuz durumdaki ve basamak yüksekliğinin ¼’ü sulu durumdaki stabilite analizleri hesaplanmıştır “Bishop’un Dairesel Kayma Analiz” metodunun uygulanması sonucu elde edilen güvenlik katsayıları Tablo 6.1.’de bir arada verilmiştir.

**Çizelge 6.1 :** Elle yapılan stabilite analizi sonuçları.

	<b>Susuz Durum</b>	<b>Sulu Durum</b>
<b>Tek Basamaklı</b>	1.74	1.30
<b>İki Basamaklı</b>	1.72	1,28
<b>Yedi Basamaklı</b>	1.82	1,29

Çizelge 6.1’deki veriler göz önünde bulundurulduğunda, ocaktaki stabilite problemlerinin, basamak geometrisinden bağımsız, su durumuna göre değişken olduğu görülmektedir. Suya doymuş şev güvenlik katsayıları 1,3 değerine yakınken susuz ya da tamamen drene edilmiş şevlerin güvenlik katsayıları 1,7-1.75 değerleri arasında yer almaktadır. Buradan yola çıkarak söylenebilir ki, ocaktaki kayma hareketlerinin nedeni, heyelanlı bölgedeki su geliridir. İş güvenliği ve ekonomiklik

açısından söz konusu bölgedeki suyun verimli bir şekilde drene edilmesi gerekmektedir.

Galena Slope Stability bilgisayar programı ile Bishop Simplified ve Spencer-Wright metodları kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ise Tablo 6.3.'de verilmiştir. A-A kesitli şevin basamak Yüksekliği 15 m, açısı:  $30^0$  ve genişliği 30 m olarak tasarlanmıştır.

**Çizelge 6.2.:** Galena bilgisayar yazılımı ile elde edilen analiz sonuçları.

	<b>Susuz Durum</b>	<b>Sulu Durum</b>
<b>Bishop Simplified</b>	1,69	1,32
<b>Spencer-Wright</b>	1,68	1,31

Çizelge 6.2.'deki verilerden, her iki metod kullanılarak bulunan sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca şevdeki su durumunun güvenlik katsayısını düşürdüğü anlaşılmaktadır.

İşletmede gerçekleştirilecek olan döküm işlemleri kamyon dökümü şeklinde olacaktır. Arazi gözlemlerinden kamyon dökümü ile oluşturulan basamakların şev açılarının, malzemenin içsel sürtünme açısına da bağlı olarak,  $30-35^0$  arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ancak çok sayıda basamaktan oluşan bir pasa profilinin  $30^0$ 'lik bir şev açısıyla tasarlanması mümkün olabilecektir.

Yapılan analizlerde yer altı su seviyesinin oluşturulacak tumba basamaklarında yükseleceği varsayılmıştır. Analiz sonuçlarından da görülebileceği gibi boşluk suyu basıncının şev stabilitesini olumsuz yönde etkileyeceği açıktır. Bu nedenle yerüstü yağış sularının tumba basamakları içine nüfuz etmesini engellemek için basamak kenarlarında oluşturulacak geçirimsiz kanallar vasıtasıyla drene edilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca, civardan gelecek yağış, dere, kaynak sularının tumba sahasına erişimini engellemek için tumba sahası etrafında su geçirmez kanalların yapılarak, çevre suyunun bu kanallar marifetiyle toplanıp uzaklaştırılması şev stabilitesi açısından önemlidir.

Şev basamakları altlarında delikli drenaj borularının döşenmesi ve şevlerin susuzlaştırılması şev stabilitesini her zaman olumlu yönde etkileyecektir. Drenaj borularına bir diğer alternatif basamak tabanlarına kum-kırmataş çakıl malzemesi döşeyerek basamaklarda birikebilecek suyun drene edilmesidir. Döküm

basamaklarında, kamyonla döküm yapıldıktan sonra silindir vasıtasıyla malzemenin sıkıştırılması konsolidasyonu artıracak ve şevlerin duraylılığına olumlu yönde etki yapacaktır.

## **KAYNAKLAR**

**Arioğlu, E.**, 2005. Çözümlü Problemlerle Şev Stabilitesi, s.128-184

**Hoek and Bray**, 1991. Kaya Şev Stabilitesi, *TMMOB Yayınları*.

**Monroe, I.S. and Wicender, R.**, 2005. Physical Geology: Exploring the Earth. *USA*

**Nash, D.**, 2005. A comparative Review of Limiting Equilibrium Method of Stability Analysis, *Journal of Slope Stability*

**Norrish, N.I. and Wyllie, D. C.**, 1996. Rock slope stability analysis., *Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, TRB, National Research Council, Washington*

**Özgenoğlu A.**, 1986. Madencilikte Şev Duraylılık Yaklaşımları, *Madencilik Dergisi, Cilt XXV(1)*, Ankara

**Teknik Rapor**, 2011. Kestelek Açık Ocak Dekapaj Döküm Sahası Stabilitesi Etüdü, *İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul

**Ulusay R.**, 1982. Şev Stabilite Analizlerinde Kullanılan Pratik Yöntemler ve Jeoteknik Çalışmalar, *M.T.A. Enstitüsü Yayınları*, Ankara

**Ulusay R.**, 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Sayı 38*, Ankara

**Ulusay R. and Doyuran, V.**, 1993. Characteristics of a multipleretrogressive failure in a coal mine in southwest Turkey., *Engineering Geology*.

**US Army Corps of Engineers**, 2003. Engineering and Design Slope Stability, *Department of the Army, 1110(2)*, s. 151-157, Washington

**Uzuner, B.A.**, 1998. Çözümlü Temel Problemlerle Zemin Mekaniği, *TMMOB Yayınları*

**Whitman, R.V. and Bailey, W. A.,** 1967. Use of Computers for Slope Stability Analysis, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division ASCE*

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Gökçeççek BEKAROĞLU  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Şişli, 25.09.1988  
**Adres:** Bulgurlu mah. Söğütluçayır cad. 2. Altınköy sit. 3B  
19/52 Üsküdar/İSTANBUL  
**Lisans Üniversite:** İstanbul Teknik Üniversitesi